

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

A. BUTENANDT

 Springer

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

UNTER MITWIRKUNG

VON

A. BUTENANDT BERLIN-DAHLEM	P. DEBYE BERLIN-DAHLEM	F. K. DRESCHER-KADEN GÖTTINGEN	H. v. FICKER WIEN	
R. GRAMMEL STUTT GART	O. HAHN BERLIN-DAHLEM	M. HARTMANN BERLIN-DAHLEM	F. KÖGL UTRECHT	A. KÜHN BERLIN-DAHLEM
M. v. LAUE BERLIN	E. v. d. PAHLEN POTSDAM	F. SAUERBRUCH BERLIN		
H. STILLE BERLIN	F. v. WETTSTEIN BERLIN-DAHLEM			

HERAUSGEGEBEN

VON

FRITZ SÜFFERT

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ARZTE
UND
ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

NEUNUNDZWANZIGSTER JAHRGANG 1941



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

1941

ISBN 978-3-642-51805-8 ISBN 978-3-642-51845-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-51845-4

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1941

Inhaltsverzeichnis.

Aufsätze.

Allgemeines, Philosophie und Mathematik.

- Stumpf, Felix, Außenwelt und Wahrscheinlichkeit. 218.
Ungerer, E., Hans Driesch. Der Naturforscher und Naturphilosoph (1867—1941). 457.
v. Weizsäcker, C. F., Die Physik der Gegenwart und das physikalische Weltbild. 185.

Astronomie.

- Kienle, H., Das kontinuierliche Spektrum und die Farbtemperatur der Sonne im Bereich 3000 bis 7000 Å. 124.

Reine und technisch angewandte Physik.

- v. Ardenne, Manfred, Elektronen-Übermikroskopie lebender Substanz. 521.
Bomke, Hans, Viktor Schumann. Zum 100. Geburtstag des Begründers der Vakuumspektroskopie. 729.
Dresler, A., Die subjektive Photometrie farbiger Lichter. 225.
Fischer, F. A., Gerichteter Schall. Die theoretischen Grundlagen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf Probleme mit Schallausbreitung in freien Medien. 138. (Berichtigung. 200.)
Fleischmann, R., Dampfdruckmessung reaktionsfähiger Stoffe. 485.
Frerichs, R., Heinrich Kayser zum Gedächtnis. 153.
Fritsch, Volker, Geoelektrische Beschaffenheit des Untergrundes und Blitzschutz. 397.
Gerlach, Walther, Zur 50. Wiederkehr des Promotionstages von A. Sommerfeld. 656.
Görtler, H., Neuere Beiträge zur Dynamik atmosphärischer und ozeanischer Strömungen. 473.
Heintz, Erwin, Physikalische Wirkungen hochverdünnter potenziertes Substanzen. 713.
v. Holst, Erich, und Dietrich Kückemann, Biologische und aerodynamische Probleme des Tierfluges. 348.
Husemann, E., E. Plötze und G. V. Schulz, Ergebnisse und Probleme aus der Chemie, physikalischen Chemie und Physik der makromolekularen Stoffe. 257, 305.
Israël, H., Der Elektrizitätshaushalt der Erdatmosphäre. 700.
Köhler, A., und W. Loos, Das Phasenkontrastverfahren und seine Anwendungen in der Mikroskopie. 49.
Kopfermann, Hans, Magnetische Dipolstrahlung und Kernmomente. 563, 581.
Kossel, W., Zum 25jährigen Jubiläum der Sommerfeldschen Arbeiten über die Feinstruktur der Spektrallinien. 609.
v. Laue, M., Zum 40jährigen Jubiläum des Wärmestrahlungsgesetzes. 137.
Liesegang, Raphael Ed., Zur Problematik der sogenannten Uri-Lloyd-Schichtung und ihrer möglichen Bedeutung für Meereskunde, Geologie und Meteorologie. 385.
Möglich, F., und R. Rompe, Zur Theorie fester Isolatoren. 105, 129.
Regener, E., Über die Temperatur der höchsten Atmosphärenschichten. 479.
Riehl, N., N. W. Timoféeff-Ressovsky und K. G. Zimmer, Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Elementareinheiten. 625.
Scharadin, H., Otto von Eberhard zum Gedächtnis. 17.
Stuhlinger, E., Isomere Atomkerne. 745.
Szolnoki, I., Der Eötvös-Effekt und seine Anwendungen. 273.
v. Weizsäcker, C. F., Die Physik der Gegenwart und das physikalische Weltbild. 185.

Reine und technisch angewandte Chemie.

- Bardenheuer, Peter, und Richard Bleckmann, Zur Frage des Erstarrens von Stahl in Gußblöcken. 550.
Becker, Erich, Die Pigmente der Ommin- und Ommatingruppe, eine neue Klasse von Naturfarbstoffen. 237.
Caspersson, Torbjörn, Studien über den Eiweißumsatz der Zelle. 33.
Dietzel, A., Strukturchemie des Glases. 537.
Flügge, S., Die Herstellung natürlich radioaktiver Elemente auf künstlichem Wege. Zusammenfassender Bericht. 462.
Funk, W., Über die Zusammensetzung des Porzellans und seiner Abarten. Ein entwicklungsgeschichtlicher Überblick. 18.
Götte, Hans, Neue bei der Uranspaltung auftretende Strontium- und Yttrium-Isotope. 496.
Hahn, Otto, und Fritz Strassmann, Über die Bildung von Zirkon und Protactinium bei der Bestrahlung des Thoriums mit Neutronen. 285.
Hüttel, Rudolf, Die chemische Untersuchung des Schreckstoffes aus Elritzenhaut. 333.
Husemann, E., E. Plötze und G. V. Schulz, Ergebnisse und Probleme aus der Chemie, physikalischen Chemie und Physik der makromolekularen Stoffe. 257, 305.
Jahr, K. F., Über Eigenschaften, Bildungsweise und Struktur der Heteropolyverbindungen. 505, 528.
Jordan, P., Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen. 89
Jost, W., Max Bodenstein zum 70. Geburtstag am 15. Juli 1941. 409.

- Kohlschütter, H. W., Lehre und Forschung. Eduard Zintl †. 241.
 Krisch, Alfred, Der Fließvorgang im Stahl bei Raumtemperatur unter ruhender Belastung. 547.
 Laves, F., Eduard Zintls Arbeiten über die Chemie und Struktur von Legierungen. 244.
 Liesegang, Raphael Ed., Zur Problematik der sogenannten Uri-Lloyd-Schichtung und ihrer möglichen Bedeutung für Meereskunde, Geologie und Meteorologie. 385.
 Schmidt, Otto, Charakterisierung und Mechanismus der Krebs erzeugenden Kohlenwasserstoffe. 146.
 Schröer, E., und H. J. Schumacher, Betrachtungen zur „Katalyse“. 411. (Berichtigung. 576.)
 Straßmann, Fritz, Die Auffüllung und die Erweiterung des periodischen Systems. 492.
 Thanheiser, G. †, und J. Heyes, Die spektralanalytische Untersuchung von Einschlüssen. 488.
 Zeile, K., Über eisenhaltige Fermente. 172.

Geographie und Meteorologie.

- Ertel, Hans, Heinrich von Ficker zu seinem 60. Geburtstage am 22. November 1941. 697.
 Görtler, H., Neuere Beiträge zur Dynamik atmosphärischer und ozeanischer Strömungen. 473.
 Israël, H., Der Elektrizitätshaushalt der Erdatmosphäre. 700.
 Jaeger, Fritz, Trockengrenzen in Algerien. 657.
 Regener, E., Über die Temperatur der höchsten Atmosphärenschichten. 479.

Geologie und Mineralogie.

- Gripp, K., und E. Dittmer, Die Entstehung Nord-Frieslands. 577.
 Liesegang, Raphael Ed., Zur Problematik der sogenannten Uri-Lloyd-Schichtung und ihrer möglichen Bedeutung für Meereskunde, Geologie und Meteorologie. 385.
 Lotze, Franz, Hans Stilles wissenschaftliches Werk. Zu seinem 65. Geburtstage am 8. Oktober 1941. 593.
 Von Hans Stille 1900—1940 veröffentlichte Arbeiten. 596.

Allgemeine und spezielle Biologie und Physiologie.

- v. Ardenne, Manfred, Elektronen-Übermikroskopie lebender Substanz. 521.
 — — und H. Friedrich-Freksa, Die Auskeimung der Sporen von *Bacillus vulgatus* nach vorheriger Abbildung im 200-kV-Universal-Elektronenmikroskop. 523.
 Bautzmann, H., Walther Vogt zum Gedächtnis. 345.
 Becker, Erich, Die Pigmente der Ommin- und Ommatingruppe, eine neue Klasse von Naturfarbstoffen. 237.
 Burgeff, H., Konstruktive Mutationen bei *Marchantia*. Vererbungsversuche zur Frage der Evolution der Lebermoose. 289.
 Caspersson, Torbjörn, Studien über den Eiweißumsatz der Zelle. 33.
 Dresler, A., Die subjektive Photometrie farbiger Lichter. 225.
 v. Frisch, K., Die Bedeutung des Geruchssinnes im Leben der Fische. 321.
 — — Karl Escherich zum siebzigsten Geburtstage am 18. September. 561.
 Geigy, R., und A. Portmann, Versuch einer morphologischen Ordnung der tierischen Entwicklungsgänge. 734.
 Goetsch, Wilhelm, Staatengründung und Kastenbildung bei Termiten. 1.
 Hämmerling, Joachim, Das Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie zu Rovigno d'Istria. 500.
 Harnisch, Otto, Versuch einer Analyse der Oxybiose wirbelloser Tiere. 277.
 Herter, Konrad, Die Vorzugstemperaturen bei Landtieren. 155.
 Hesse, Richard, Max Hartmann zum 65. Geburtstag. 393.
 v. Holst, Erich, und Dietrich Kuchemann, Biologische und aerodynamische Probleme des Tierfluges. 348.
 Hüttel, Rudolf, Die chemische Untersuchung des Schreckstoffes aus *Elritzenhaut*. 333.
 Jordan, P., Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen. 89.
 Köhler, A., und W. Loos, Das Phasenkontrastverfahren und seine Anwendungen in der Mikroskopie. 49.
 Koehler, O., Oskar Heinroth zum 70. Geburtstage. 169.
 — — Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Vögeln. 201.
 Krüger, Friedrich, Eine parthenogenetische Chironomide als Wasserleitungsschädling. 556.
 Lindahl, Per Eric, Physiologische Probleme der Entwicklung und Formbildung des Seeigelkeimes. 673.
 Prigge, R., Aktive Immunisierung gegen bakterielle Infektion. 599.
 Riehl, N., N. W. Timoféeff-Ressovsky und K. G. Zimmer, Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Elementareinheiten. 625.
 Straub, J., Chromosomenmutationen nach UV.-Bestrahlung. 13.
 Stubbe, Hans, Erich von Tschermak-Seysenegg zum 70. Geburtstage. 696.
 von Studnitz, G., Zapfensubstanz und Sehpurpur. 65.
 — — Zur Physiologie des Farbensehens. 377.
 — — Zur Pathologie des Farbensinns. 614.
 Timoféeff-Ressovsky, N. W., N. K. Koltzoff †. 121.
 Ungerer, E., Hans Driesch. Der Naturforscher und Naturphilosoph (1867—1941). 457.
 Weber, Hermann, Zum gegenwärtigen Stand der Allgemeinen Ökologie mit besonderer Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Sinnesreaktionen und den andersartigen Umweltsbeziehungen. 756.
 Wolpers, C., Zur Feinstruktur der Erythrocytenmembran. 416.

Anthropologie und Medizin.

- Lehmann, G., Der Einfluß von Nahrungs- und Genußmitteln auf die Leistung. 553.
 Prigge, R., Aktive Immunisierung gegen bakterielle Infektion. 599.

Kurze Originalmitteilungen.

- Ackeret, J., M. Ras und W. Pfenninger, Verhinderung des Turbulentwerdens einer Grenzschicht durch Absaugung. 622.
- Agduhr, Erik, Studien über hormonale Resistenzsteigerung und ihren Mechanismus. 777.
- von Ardenne, Manfred, Über Versuche zur Sichtbarmachung molekularer Rauigkeiten an gegen die Gitterebenen geneigt verlaufenden Kristallkanten im Universal-Elektronenmikroskop. 780.
- Asmus, E., und S. Eckhard, Zur Frage der Viskosität hochverdünnter Essigsäure. 574.
- Astrup, Tage, und Sven Darling, Antithrombin und Heparin. 300.
- Bagge, Erich, Kernzertrümmerungen und schwere Teilchen in der kosmischen Strahlung. 318.
- Bamann, E., und O. Schimke, d-Peptid-Spaltung durch Enzympräparate pflanzlicher Herkunft. 365.
- — — — — Über eine beachtenswerte Erscheinung bei der enzymatischen d-Peptid-Spaltung. 515.
- — — — — Zur Frage nach der Identität oder Verschiedenheit des die l-Peptid und d-Peptid-Spaltung verursachenden Enzyms. 558.
- Barnóthy, J., und M. Forró, Zerfallszeit der Mesonen. 404.
- Baroni, E., und H. Seifert, Experimenteller Nachweis der cis-trans-Isomerie bei Benzalacetone und Äthylstyrylketone. 560.
- Bauch, R., Experimentelle Mutationslösung bei Hefe und anderen Pilzen durch Behandlung mit Campher, Acenaphthen und Colchicin. 503.
- — Experimentell erzeugte Polyploidreihen bei der Hefe. 687.
- Birus, K., Zur Erklärung der Dielektrizitätskonstantenerhöhung durch Belichtung bei Kristallphosphoren. 779.
- Blum, Agnes, und Hildegard Ernst, Vermag die Temperatur die Konzeptionshäufigkeit zu beeinflussen? 623.
- Borgnis, F., Eine neue Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten und des Verlustfaktors dielektrischer Stoffe im cm-Wellenbereich. 516.
- Born, H. J., A. Lang, G. Schramm und K. G. Zimmer, Versuche zur Markierung von Tabakmosaikvirus mit Radiophosphor. 222.
- — — — — Helene Timoféeff-Ressovsky, Versuche mit radioaktivem Arsen an Mäusen. 182.
- Bothe, W., und A. Flammersfeld, Das 18-min-Molybdän aus Uran. 194.
- Breitenbach, Wolfgang, Zur Kenntnis des Mechanismus der Wärmepolymerisation des Styrols. 708. Berichtigung hierzu. 784.
- Briegleb, Günther, Kettenassoziation der Fluorwasserstoffsäure im Gaszustand. 420.
- — Modellbetrachtungen zur HF—HF-Bindung. Zur Deutung der HF—HF-Bindung. 644.
- — Berichtigung hierzu. 784.
- Brill, R., Über die zwischen linearen Kettenmolekülen mit Peptidbindungen wirkenden intermolekularen Kräfte. 220. Bemerkung hierzu. 337, 517.
- — Über den Mechanismus der Verfestigung des Naturseidenfadens beim Spinnen. 221.
- —, C. Hermann und Cl. Peters, Bemerkung zu einer Arbeit von A. Brager und H. Shdanov über die Natur der chemischen Bindung in Graphit und Bornitrid. 784.
- Brosset, Cyrill, Gleichgewichte in salzsauren Al^{3+} , Fe^{3+} und F^- enthaltenden Lösungen. 455.
- Brücher, Heinz, Vitalitätssteigerung bei Mutanten in künstlichem Klima. 422.
- Bücher, Theodor, und Erwin Negelein, Versuche zum Quanten-Problem der Kohlensäure-Assimilation. 591.
- Busch, L., und H. J. Neumann, Kryptoxanthin in der Hühner-Iris. 782.
- — — — — und G. v. Studnitz, Sehpurpurlöslichkeit in Zephirol. 781.
- Caspersson, T., Cl. Nyström und L. Santesson, Zytoplasmatische Nucleotide in Tumorzellen. 29.
- — — — — und B. Thorell, Die Lokalisation der Adenyl-nucleotide in der quergestreiften Muskelfaser. 363.
- Clusius, K., u. G. Dickel, Reindarstellung des Isotops ^{86}Kr im Trennrohr. 560.
- — — — — und Gebhard Faber, Rotationsumwandlungen in festem Monogerman. 468.
- Cocconi, Giuseppe, Über die Sekundärstrahlung der Mesotronen. 336.
- Cristescu, G., und R. Grigorovici, Optische Temperaturbestimmungen an der hochfrequenten Fackelladung. 571.
- Dam, Henrik, Johannes Glavind, S. Orla-Jensen und Anna D. Orla-Jensen, Bildung von Vitamin K in Colibakterien auf synthetischem Substrat. 287.
- Danneel, R., Ein Papillom-Virus aus Kaninchenhaut. 364.
- Dietzel, A., Kristallchemische Gesichtspunkte bei der Deutung der Konstitution von Gläsern. 81.
- Drehmann, U., Versuche über die Anreicherung von radioaktivem Mangan (^{56}Mn). 708.
- Druckrey, Hermann, und Rudolf Richter, Zum Nachweis von Peroxyden mit Luminol. 28.
- — — — — und Rudolf Vierthaler, Zur Entstehung krebserzeugender Substanzen beim Menschen. 63.
- Dufait, R., und L. Massart, Über die Katalyse der Phosphatübertragung durch Metallionen. 651.
- Eckart, F., und B. Gudden, Zur Kenntnis des Sperrschicht-Photoeffektes. 575.
- — — — — und A. Kittel, Über Halleffektmessungen am Selen. 371.
- — — — — und K. Raithel, Über das amphotere Verhalten des Bleiselenids als Halbleiter. 572.
- Enders, C., und R. Marquardt, Methylglyoxal als Zwischenprodukt der Melanoidin- und Karamelbildung. 46.
- v. Euler, Beth, Hans v. Euler und Inga Pettersson, Brenztraubensäure-Stoffwechsel als Funktion des Sexualzyklus bei Ratten. 63.
- Fischer, Albert, Anlässlich des Absterbens der ersten Dauerreinkultur von Säugetier-Carcinomzellen in vitro. 650.
- — — — — Heinz, Über den Wirkungsgrad des negativen Glimmlichts. 27.
- Franz, Walter, Zur Theorie des Farbsehens. 766. Bemerkungen hierzu von G. v. Studnitz. 767.
- Fricke, R., Über die Oberflächenenergie von Metallkristallen. 365.
- Friedheim, J., und J. G. Weiss, Sekundäremissionsausbeute von Silber-Magnesiumlegierungen. 777.
- Funcke, I. C., Über die zwischen linearen Kettenmolekülen mit Peptidbindungen wirkenden intermolekularen Kräfte. 517.

- Gerlach, Joachim, Über den Verbleib natürlich-radioaktiver Stoffe im Organismus nach parenteraler Zuführung. 300.
- Gerö, L., und R. Schmid, Über die „isolierte Liniengruppe“ in den 4300 Å-Banden im CH- und CD-Spektrum. 239.
- — — — — Schwingungsanalyse von ultravioletten CD- und CH-Banden. 504.
- Glemser, O., Zur Bindung des Wassers in Zeolithen. 769.
- Götz, F. W. Paul, Eine neue Strahlung im Nordlicht des 18./19. September 1941. 690.
- Gralén, Nils, und The Svedberg, Konvektive Anreicherung gelöster Stoffe. 270.
- Groth, W., und P. Harteck, Untersuchung von Adsorberoberflächen mit Hilfe von Xenonisotopen. 535.
- Hahn, Otto, und Fritz Strassmann, Über die bei der Uranspaltung auftretenden Molybdän-Isotope. 369.
- Harder, R., und H. v. Witsch, Über die Bedeutung der Kohlensäure und der photoperiodischen Belichtung für die Blütenbildung bei *Kalanchoe Bloßfeldiana*. 770.
- Haul, R., Zur Berechnung von Oberflächenenergien fester und flüssiger Stoffe. 706.
- Hedvall, J. Arvid, und Olof Jönsson, Über den Einfluß von Ultraschall auf die Geschwindigkeit von Anlaufreaktionen von Kupfer. 726.
- Herken, H., A. Schmitz und R. Merten, Über die enzymatische Hydrolyse von d-Peptiden. 670.
- Hintenberger, H., Über das amphotere Verhalten des Bleisulfids als Halbleiter. 79.
- Hoffmann, Josef, Experimentelle Erfassung von Uran in lebenden Süßwasserorganen. 403.
- Holtz, P., und K. Credner, Decarboxylierung von Dioxypheylalanin (Dopa) und Histidin in vivo. 649.
- Israël, H., und K. Wurm, Das Blitzspektrum. 778.
- Janssen, L. W., Die Zentrifugierung und die Sedimentationskonstante des Maul- und Klauenseuche-Virusproteins. 102.
- Jayme, Georg, Martin Sätre und Spyros Maris, Über den oxydativen Abbau von Polysacchariden. 768.
- Jenckel, E., und S. Süß, Zur Polymerisation in einem Fällungsmittel. 339.
- Jensen, Hans, und Ludwig Waldmann, Zur Theorie des Clusiusschen Trennröhrs. 467.
- Kausche, G. A., Über Transplantations- und Kreuzungsversuche zur Frage der natürlichen und erworbenen Infektreaktion bei virusinfizierten Tabakpflanzen. 404. Berichtigung. 536.
- — — — — E. Pfankuch und H. Ruska, Beobachtungen über Schall- und Ultraschalleinwirkungen am Protein des Tabakmosaikvirus. 573.
- Kautsky, H., und G. Müller, Phosphoreszenzwandlung durch Sauerstoff. 150.
- — — — — W. Zedlitz, Fluoreszenzkurven von Chloroplasten-Grana. 101.
- Kiese, Manfred, Die Aktivierung der Kohlensäureanhydrase. 116.
- Kirchberg, H., und H. Möller, Bestimmung der Eisenverteilung in Erzdünnschliffen mit Röntgenstrahlen. 166.
- Klement, R., und P. Dihn, Isomorphe Apatitarten. 301.
- — — — — F. Gembruch, Versuche über Isomorphie in der Wagneritgruppe. 301.
- — — — — R. Uffelmann, Gitterkonstanten der Alkali-Erdalkaliphosphate. 300.
- Klemm, Werner, und Adolf Smekal, Über den Grundvorgang des Polierens von Gläsern. 688.
- — — — — Über die Bildung von Diamanteindrücken in Glasoberflächen. 710.
- Knoll, M., Steuerwirkung eines geladenen Teilchens im Feld einer Sekundäremissionskathode. 335.
- Kochendörfer, A., Plastische Eigenschaften von Einkristallen und metallischen Werkstoffen. 117.
- — — — — Über den Zusammenhang zwischen Verfestigung und Gitterverbiegungen. 456.
- Köhler, E., Eine übersehene Kartoffelvirose. 390.
- Kohler, Max, Elektrischer und thermischer Übergangswiderstand von Metallkontakten. 164.
- Kraus, O., und F. Mussng, Identität von Lorenzenit und Ramsayit. 182.
- Kubowitz, Fritz, und Paul Ott, Isolierung und Kristallisation eines Gärungsferments aus Tumoren. 590.
- Kurzke, H., und J. Rottgardt, Über die Entfärbung verfärbter Alkalihalogenidkristallite. 46.
- Kutscher, Waldemar, und Helmut Wüst, Nebenniere und alkalische Phosphatase. 319.
- Lang, A., und G. Melchers, Über den hemmenden Einfluß der Blätter in der photoperiodischen Reaktion der Pflanzen. 82.
- Lehmann, F. E., Die Indophenolreaktion der Polplasma von *Tubifex*. 101.
- — — — — Die Lagerung der Polplasma des *Tubifex* in ihrer Abhängigkeit von der Eirinde. 101.
- Leiner, Michael, Der Kohlensäureanhydratasegehalt in Geweben und im Blut. 468.
- — — — — Gertrud Leiner, Die Aktivatoren der Kohlensäureanhydratase. 195.
- — — — — Der Gehalt an Zink und Kohlensäureanhydratase in den Augen, in anderen Organen und im Blut von Wirbeltieren. 763.
- Lettré, Hans, Marianne Albrecht und Hans Fernholz, Ein einfaches Mitosegift. 390.
- Lindberg, Olov, Ein neuer Phosphatester und seine Wirkung im Brei von Seegeleiern. 651.
- Loos, W., W. Klemm und A. Smekal, Anwendung der Phasenkontrast-Mikroskopie auf Modellversuche zum Poliervorgang von Gläsern. 769.
- Ludwig, Wilhelm, Untersuchungen zum Rechts-Links-Problem an *Hydroides norvegica*. 423.
- Lunde, Gulbrand, Hans Kringstad und Erling Jansen, Weitere Untersuchungen über den Anti-graue-Haare-Faktor B_x . 62.
- Lundegårdh, H., Die Veratmung verschiedener Zuckerarten in der Oberfläche des Protoplasmas. 648.
- Malm, M., Quantitative Bestimmungen der Permeabilität der Hefezellen für Phosphat. 318.
- Maschmann, Ernst, Über substratspezifische Dipeptidasen. 370.
- — — — — Über die Fähigkeit des normalen Organismus, d-Peptide zu spalten. 518.
- — — — — Über die Aktivierung der d-Leucyl-glycin-spaltenden Peptidase. 691.
- — — — — Über die Reinigung der d-LG-Peptidase und ihre Trennung von der l-LG-Peptidase; zugleich ein weiterer Beitrag über substratspezifische Amino-peptidasen. 709.
- — — — — Über Unterschiede im Verhalten „natürlicher“ (l-)Amino-peptidasen gegen l- und d,l-Peptide. 783.
- Massart, L., und R. Dufait, Enzymatische Hydrolyse von Heroin. 572. Anmerkung hierzu. 743.
- Maurer, W., und W. Ramm, Untersuchung über das „19-Minuten“-Isotop von Molybdän und das daraus entstehende Isotop von Element 43. 368.

- Merker, E., und Fr. Stauder, Der kohlen-saure Kalk des Süßwassers als Lichtschutz. 299.
- Merz, K. W., und W. Hagemann, Synthese des Äsculins. 650.
- Meyer, Kurt H., Die Anordnung der Glucosereste im Glycogen. 287. Bemerkung hierzu. 364.
- Michel, Kurt, Die Darstellung von Chromosomen mittels des Phasenkontrastverfahrens. 61.
- Möllenstedt, G., und Ilse Ackermann, Verbesserung der Elektronenoptik für Interferenzversuche. 647.
- Montfort, C., Die Beziehungen zwischen Stagnationseffekt, photooxydativer Chlorophyllzerstörung und funktionellem Sonnenstich bei Wasserpflanzen. 238.
- Moriyama, Hideo, und Shunkichi Ohashi, Über die Zusammenwirkung des H_2S mit Schwermetallsalz auf das Lab. 334.
- Mothes, K., und H. Sagromsky, Über experimentelle chromatische Adaptation bei grünen und braunen Meeresalgen. 271.
- Müller, Erwin W., Abreißen adsorbierter Ionen durch hohe elektrische Feldstärken. 533.
- Mussngug, F., Trimethylammoniumjodid und Trimethylsulfoniumjodid. 256.
- Negelein, Erwin, und Theodor Bücher, Photochemische Spaltung von Kohlenoxyd-Myoglobin. 672.
- Nitka, H., Röntgenographische Hochtemperaturaufnahmen an Berylliumoxyd. 336.
- Noack, K., und H. Liebich, Die Eisengarnitur der Chloroplasten vom Spinat. 302.
- Nowotny, H., Die Kristallstruktur von Al_2La . 654.
- Oehme, Curt, Wachstumsenergie und Aminosäuren. 725.
- Ohlmeier, P., und R. Dufait, Wirkung einseitiger Elektrodialyse auf Enzyme. 672.
- Orla-Jensen, S., und Anna D. Orla-Jensen, Bildung von Vitamin K in Colibakterien auf synthetischem Substrat. 287.
- Penndorf, R., Die Entstehung der stratosphärischen D-Schicht durch Absorption der Wasserstofflinie 1215 \AA . 195.
- Pfeiffer, H. H., Beugungspolarisatorische Messungen an gedehnten und kontrahierten Mesenchymkulturen in vitro. 239.
- Pirschle, Karl, Über den Chlorophyllgehalt autopolyploider Pflanzen. 45.
- — Mittelwellige UV.-Strahlung als Klimafaktor für Hochgebirgspflanzen. 165.
- — Resistenzversuche mit polyploiden Pflanzen. 338.
- Ploetz, Th., Über die Bildung von Lävulinsäure aus Kohlehydraten. 707.
- Plötze, E., Systematische röntgenographische Untersuchungen an polymerhomologen Reihen von Cellulosefasern. 707.
- Rabe, P., G. Hagen und H. E. Voss, Über die chemotherapeutische Bedeutung der Vinyl- bzw. der Äthylgruppe der Chinaalkaloide. 44.
- Rathje, Werner, Die Methode der acidimetrischen Ausfällung. 221.
- Regener, E., Zur Erklärung der physiologischen Wirkungen des Föhns. 30.
- Reichel, L., Zur Kenntnis der Ellagengerbstoffe. 16.
- Runnström, John, Variationen der Fluoridhemmung der Hefeatmung und -gärung. 690.
- Ruska, H., Über ein neues bei der bakteriophagen Lyse auftretendes Formelement. 367.
- Ruthemann, G., Diskrete Energieverluste schneller Elektronen in Festkörpern. 648.
- v. Schelling, H., Bemerkungen zur Verteilung von Pascal. 517.
- Schoon, Th., und H. Klette, Der Aufbau typischer Adsorbentien. (Nach Untersuchungen mit dem Übermikroskop.) 652.
- — — — — Untersuchungen über den Adsorptionsvorgang. 653.
- Schreiber, H., Zur Frage des biologischen Wirkungsmechanismus der Strahlung. 669.
- Schreuer, E., und K. Osterhammel, Eine neue Methode der Messung von Ultraschallabsorptionen. 44.
- Schumann, W. O., Über Elektronenbewegungen in Plasmen und einige Anwendungen. 389.
- Schwab, Georg-Maria, und Elly Schwab-Agallidis, Sichtbarmachung einer Gitter-Umklappung. 134.
- Selényi, P., Über den Druck der Elektronenstrahlen. 78.
- Sommerfeld, A., Zur Feinstruktur der Wasserstofflinien. 286.
- Sperber, Erik, Über die Phosphorylierung und die Aufnahme von Aneurin durch Hefe. 765.
- Staudinger, H., und K. Eder, Über das Viskositätsgesetz für Fadenmoleküle. 221.
- — — — — und E. Husemann, Über die Anordnung der Glucosereste im Glykogen. (Bemerkung zu der Arbeit von K. H. Meyer.) 364.
- — — — — Über anormale Viskositätszahlen von Nitrocellulosen aus Holz. 534.
- Steenberg, Börje, Ein neues Desorptionsverfahren. 79.
- Stranski, I. N., Über das Verhalten nichtpolarer Kristalle dicht unterhalb des Schmelzpunktes und beim Schmelzpunkt selbst. 743.
- v. Studnitz, G., Bemerkungen zu der Mitteilung von Franz: Zur Theorie des Farbensehens. 767.
- Thilo, Erich, Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $MeLi[PO_4]$ und den Silikaten der Olivin-Monticellit-Reihe. 239.
- — — — — Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $(Me_1)_3(Me_2)_2[PO_4]_5$ und den Silikaten der Granatgruppe. 239.
- Thomsen, Ellen, Ringdrüse und Corpus allatum bei Musciden. 605.
- Vogt, Marguerite, Weiterer Beitrag zur Ursache der unterschiedlichen gonadotropen Wirkung der Ringdrüse von *Drosophila funebris* und *Drosophila melanogaster*. 80.
- — — — — Bemerkung zum Corpus allatum von *Drosophila*. 725.
- Wahl, Walter, Die Isotopenzusammensetzung und das Atomgewicht von Ytterbium. 536.
- Waldmeier, M., Eine neue Aktivitätszone der Sonnenkorona. 150.
- Warburg, Otto, und Walter Christian, Isolierung und Kristallisation des Gärungsferments Enolase. 589.
- — — — — Chemischer Mechanismus der Fluorid-Hemmung der Gärung. 590.
- von Wartenberg, H., Schmelzpunkt von NdF_3 und PrF_3 . 771.
- Watanabe, Atusi, Über den Polymorphismus des Sulfanilamids. 116.
- v. Wessely, F., E. Kerschbaum, A. Bauer und F. Schimke, Über die östrogene Wirkung von Derivaten des Diäthylstilböstrols. 15.
- Westphal, Ulrich, Umwandlung von Progesteron und Desoxy-corticosteron zu Pregnandiol im Organismus des Kaninchens. 782.

- Wiberg, E., und Th. Johannsen, Über einen flüchtigen Galliumwasserstoff der Formel Ga_2H_6 und sein Tetramethylderivat. 320.
- Widström, Gösta, Versuche über Impfung von Kaninchen gegen aviäre Tuberkulose. 362.
- Wiedling, Sten, Sulfonamidhemmende Wirkung der p-Aminobenzoesäure bei autotrophen Organismen. 455.
- Willems, J., Über orientierte Aufwachsungen von Phenolen auf verschiedenen Mineralarten. 319.
- Winkler, E., und W. Kast, Die Temperaturabhängigkeit der Strömungsdoppelbrechung des Benzols. 288.
- Wurm, K., Das Spektrum des Ro-Sternes H.D. 182040. 686.
- Zahn, H., Strukturuntersuchungen an Faserkeratinen. Über die Einlagerung von Schwermetallverbindungen insbesondere der Phosphor-12-Wolframsäure in Wolle. 591.
- Ziegler, K., G. Schenck und E. W. Krockow, Synthese des Cantharidins. 390.

Besprechungen.

- Annual Review of Biochemistry. Vol. VIII. Herausgegeben von J. M. Luck und J. H. C. Smith (Butenandt). 152.
- von Ardenne, Manfred, Elektronen-Übermikroskopie. Physik. Technik. Ergebnisse (W. Gerlach). 183.
- Baumgärtel, Traugott, Mikrobielle Symbiosen im Pflanzen- und Tierreich. (Die Wissenschaft in Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und Technik Bd. 94. Hrsg. v. Wilhelm Westphal) (A. Koch). 744.
- Bavink, Bernhard, Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften. 6. neu bearb. und erw. Aufl. (H. Kienle). 405.
- Bawden, F. C., Plant Viruses and Viruses Diseases (A New Series of Plant Science Books. Edited by Grans Verdoorn, Vol. V (G. A. Kausche). 340.
- Berg, Georg, und Ferdinand Friedensburg, Das Gold. (Die metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Begr. v. Paul Krusch †, herausgeg. v. Ferdinand Friedensburg. 3. H.) (Ramdohr). 48.
- Bergdolt, Ernst, Karl von Goebel, Ein deutsches Forscherleben in Briefen aus sechs Jahrzehnten (1870 bis 1932) (O. Renner). 693.
- Berger, Hans, Das Elektrenkephalogramm des Menschen. (Nova Acta Leopoldina. Abhandlungen d. Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutschen Akademie d. Naturforscher. Hrsg. u. red. v. Emil Abderhalden. Neue Folge. Bd. 6. Deutsche Akademie d. Naturforscher Nr. 38 (1938) (A. E. Kornmüller). 624.
- Die Binnengewässer. Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten. Unter Mitwirkung von Fachgenossen hrsg. v. August Thiennemann. Bd. XVI (E. Hentschel). 655.
- Braun, Gustav, Die Formenwelt des deutschen Bodens. (Deutscher Boden. Bd. VII) (J. Werdecker). 168.
- Brinkmann, Roland, Emanuel Kaysers Abriß der Geologie. I. Bd. Allgemeine Geologie. 6. gänzlich neu bearbeitete Aufl. (H. Stille). 371.
- Diesterwegs Populäre Himmelskunde und mathematische Geographie. Neu hrsg. von Arnold Schwassmann (Lambrecht). 727.
- Dotterweich, H., Das Biologische Gleichgewicht und seine Bedeutung für die Hauptprobleme der Biologie (W. Ludwig). 371.
- Eitel, Wilhelm, Physikalische Chemie der Silikate. 2. völlig neu bearbeitete Auflage (F. Machatschki). 424.
- Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 19. Band. Redig. v. F. Trendelenburg in Gemeinschaft mit F. Hund. 19. Bd. (H. Kienle). 223.
- Escherich, K., Die Forstinsekten Mitteleuropas. Ein Lehr- und Handbuch. V. Band: Hymenoptera (Hautflügler) und Diptera (Zweiflügler) I. Lieferung (A. Hase). 592.
- Festschrift für Elis Strömgren. Astronomical Papers, dedicated to Elis Strömgren (H. Kienle). 272.
- Geology of North America. Edited by Rudolf Ruedeman and Robert Balk. (Geologie der Erde. Hrsg. v. E. Krenkel). Vol. I (H. Stille). 519.
- Ginzberger, August, Pflanzengeographisches Hilfsbuch, zugleich ein botanischer Führer durch die Landschaft. Unter Mitwirkung von Josef Stadelmann (Troll). 744.
- Goetsch, W., Vergleichende Biologie der Insektenstaaten. Probleme der Biologie, hrsg. v. Erich Ries und Karl Wetzel, Bd. 4 (H. Weber). 470.
- Götze, Kurt, Kunstseide und Zellwolle nach dem Viskoseverfahren (E. Correns). 198.
- Gstirner, F., Chemisch-physikalische Vitaminbestimmungsmethoden für das chemische, physiologische und klinische Laboratorium. 2., umgearbeitete und erweiterte Auflage (H. Dannenberg). 197.
- Hämmerling, J., Fortpflanzung im Tier- und Pflanzenreich. (Sammlung Göschen Bd. 1138) (H. Ulrich). 118.
- Handbuch der analytischen Chemie. Herausgegeben von R. Fresenius und G. Jander. III. Teil: Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden. Band Ia. Elemente der ersten Hauptgruppe (einschließl. Ammonium). Lithium, Natrium, Kalium, Ammonium, Rubidium, Caesium. Bearbeitet von E. Brennecke, F. Busch, L. Fresenius, R. Fresenius. Band IIa. Elemente der zweiten Hauptgruppe. Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium Radium und Isotope. Bearbeitet von F. Busch, O. Erbacher, K. Lang, A. Schleicher, G. Siebel, F. Strassmann, M. Strassmann-Heckter, K. E. Stumpff, C. Tanne, B. Wandrowsky (O. Hönigschmid). 151.
- — Enzymologie. Herausgegeben von F. F. Nord und R. Weidenhagen (K. Zeile). 197.
- — Erbibiologie des Menschen. In Gemeinschaft mit K. H. Bauer, E. Hanhart und J. Lange † herausgegeben von G. Just. II. Band: Methodik. Genetik der Gesamtperson. Redigiert von G. Just (F. Steigner). 103.
- — Metallphysik. Herausgegeben von G. Masing. Bd. I: Der metallische Zustand der Materie, 2. Teil. Bearbeitet von C. Wagner und W. Kuntze (H. Ulich). 504.
- Harang, Leiv, Das Polarlicht und die Probleme der höchsten Atmosphärenschichten. (Probleme der

- kosmischen Physik, Bd. XX.) Herausgegeben von Ch. Jansen (J. Zenneck). 83.
- Hecht, Friedrich, und Julius Donau, Anorganische Mikrogewichtsanalyse (G. Jander). 469.
- Hückel, W., Theoretische Grundlagen der Organischen Chemie. 1. Band. 3. Auflage (H. Dannenberg). 31. 2. Bd., 3. Aufl. (H. Dannenberg). 624.
- Israël, Hans, Radioaktivität. I. Grundlagen und Meßmethoden. (Geophysik, Meteorologie, Astronomie. Bd. 2) (O. Erbacher). 303.
- Jurasky, K., Kohle. Naturgeschichte eines Rohstoffes. (Verständl. Wissensch. 45) (R. Kräusel). 118.
- Kepler, Johannes, Gesammelte Werke. Herausgegeben im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften unter der Leitung von Walther von Dyck † und Max Caspar. Bd. VI. Harmonice Mundi. Herausgegeben von Max Caspar (Ludendorff). 302.
- Klima — Wetter — Mensch. Bearbeitet von E. Brezina, W. Hellpach, R. Hesse, E. Martini, B. de Ruder, A. Schittenhelm, A. Seybold, L. Weickmann, Hrsg. v. Heinz Woltereck (H. Philipps). 575.
- Kochendörfer, Albert, Plastische Eigenschaften von Kristallen und metallischen Werkstoffen. (Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen. Hrsg. v. W. Köster. Bd. 7) (U. Dehlinger). 711.
- Koenig, Paul, Die Entdeckung des reinen Nikotins im Jahre 1828 an der Universität Heidelberg durch Reimann und Posselt mit einer Beschreibung ihrer Vorläufer und mit Abbildungen (Spaeth). 406.
- Kollmann, F., Die Esche und ihr Holz. (Schriftenreihe Eigenschaften und Verwertung der deutschen Nutzhölzer. I. Bd.) (Frey-Wyssling). 692.
- Kopfermann, Hans, Kernmomente (H. Schüler). 340.
- Krenkel, E., Der Geologische Bau der Deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee (Deutscher Boden. Bd. II) (H. Stille). 391.
- — Geologie der Deutschen Kolonien in Afrika (H. Stille). 391.
- Kuhn, Oskar, Palaeozoologie in Tabellen (E. Hennig). 184.
- Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik. Herausgegeben von Korschewsky und Runge. Band I: Grundlagen und mathematische Hilfsmittel der Hochfrequenztechnik, von H. G. Möller. Band II: Ausstrahlung, Ausbreitung und Aufnahme elektromagnetischer Wellen, von L. Bergmann u. H. Lassen (Feldtkeller). 168.
- Lock, Fritz, Aus dem Leben der Spinnen (U. Gerhardt). 48.
- Louis, Herbert, Das natürliche Pflanzenkleid Anatoliens, geographisch gesehen. Geographische Abhandlungen. Begr. v. Albrecht Penck, hrsg. von Norbert Krebs. 3. Reihe, 12. Heft (F. Firbas). 406.
- Machatschek, Fritz, Das Relief der Erde. Versuch einer regionalen Morphologie der Erdoberfläche. II. Bd. (Schlußband) (Carl Troll). 692.
- Martini, E., Lehrbuch der medizinischen Entomologie (A. Haase). 392.
- Masing, Georg, Grundlagen der Metallkunde in anschaulicher Darstellung (R. Schenck). 339.
- Matthaei, Rupprecht, Die Farbenlehre im Goethe-Nationalmuseum. Eine Darstellung auf Grund des gesamten Nachlasses in Weimar mit der ersten vollständigen Bestandsaufnahme (H. Korte). 469.
- Die Methoden der Fermentforschung. Unter Mitarbeit von Fachgenossen herausgegeben von E. Bamann und K. Myrbäck. Lieferung 3 und Lieferung 4 (G. Schramm). 118.
- Meyer, Kurt H., und H. Mark, Hochpolymere Chemie. Ein Lehrbuch und Handbuch für Chemiker und Biologen. Bd. II. Kurt H. Meyer: Die hochpolymeren Verbindungen (Freudenberg). 728.
- Mittasch, Alwin, Julius Robert Meyers Kausalbegriff. Seine geschichtliche Stellung, Auswirkung und Bedeutung (Otto Schartau). 47.
- Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut zu Düsseldorf, herausgegeben von Friedrich Körber (G. Wassermann). 47.
- Mittmann, Otfried, Erbbiologische Fragen in mathematischer Behandlung (W. Ludwig). 240.
- Müller, Bruno, Erdgeschichte und Bau des Sudetenlandes (Deutscher Boden Bd. IX) (H. Stille). 576.
- Eugen, Neuere Anschauungen der organischen Chemie. — Organische Chemie in Einzeldarstellungen, herausgegeben von H. Bredereck und E. Müller. Band I (A. Butenandt). 135.
- Nauck, Ernst, Th., Das Problem der Menschwerdung. Teil I: Die Stammesentwicklung im Lichte der Einzelentwicklung (E. Heberer). 774.
- Neuberg, Arthur, Das Weltbild der Biologie. In seinen Grundzügen und Hauptergebnissen betrachtet. 2. Aufl. (Das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart. 2. Teil) (O. Schartau). 727.
- Pohl, R. W., Einführung in die Elektrizitätslehre. 5., verb. u. erg. Aufl. (H. Auer). 772.
- Prell, Heinrich, Die Verbreitung des Elches in Deutschland zu geschichtlicher Zeit (Krieg). 470.
- Regionale Geologie der Erde. Herausg. v. K. André, H. A. Brouwer und W. H. Bucher. Bd. I: Die alten Kerne. Bd. III: Jüngere orogenetische Zonen (H. Stille). 607.
- Richter, Manfred, Grundriß der Farbenlehre der Gegenwart. (Wissenschaftliche Forschungsberichte. Naturwissensch. Reihe. Hrsg. v. Raphael Ed. Liesegang. Bd. 51) (H. Korte). 469.
- Riehl, Nikolaus, Physik und Anwendungen der Lumineszenz. (Technische Physik in Einzeldarstellungen, hrsg. v. W. Meissner und G. Holst. Bd. 3) (P. Brauer). 743.
- Rudolph, Willi, Die Vitamine der Hefe (U. Westphal). 712.
- Ruttner, Franz, Grundriß der Limnologie. Hydrobiologie des Süßwassers (A. Thienemann). 136.
- Scharfetter, Rudolf, Das Pflanzenleben der Ostalpen (v. Wettstein). 774.
- Schindewolf, Otto H., Fortschritte der Geologie und Paläontologie Bd. 12, H. 41. „Konvergenzen“ bei Korallen und bei Anemonen (W. Gross). 391.
- Schneiderhöhn, Hans, Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. I. Bd.: Die Lagerstätten der magmatischen Abfolge (S. v. Bubnoff). 654.
- Schoenichen, Walther, Biologie der geschützten Pflanzen Deutschlands. Eine Einführung in die lebenskundliche Betrachtung heimischer Gewächse (F. Knoll). 32.
- Schuppe, Hans, Physik der Leibesübungen. Eine Grundlegung (A. Sommerfeld). 320.
- Schussnig, Br., Vergleichende Morphologie der niederen Pflanzen. Eine Einführung in deren Formbildung und Formwechsel auf entwicklungsgeschichtlicher Grundlage. I. Teil: Formbildung (H. Kylin). 392.

- Soo v. Bere, R., Vergangenheit und Gegenwart der pannonischen Flora und Vegetation. (Novo Acta Leopoldina, N. F. 9, Nr 56) (R. Kräusel). 152.
- Stach, E., Großdeutschlands Steinkohlenlager (Deutscher Boden, Bd. X) (Jurasky). 773.
- Stille, Hans, Einführung in den Bau Amerikas (Fr. Lotze). 607.
- Strömgren, B., Universets Udforskning. (Hirschsprungs Popularvidenskabelige Haandboger VII) (H. Kienle). 104.
- Technologie der Wolle. Chemische Technologie und mechanische Hilfsmittel für die Veredlung der Wolle. Bearbeitet von H. Glafey, D. Krüger und G. Ulrich. (Technologie der Textilfasern. Herausg. von K. O. Herzog † und F. Oberlies. VIII. Bd., 3. Teil, B) (Weltzien). 424.
- Thomson, G. P., and W. Cochrane, Theory and Practice of electron diffraction (Kossel). 136.
- Thorade, H., Ebbe und Flut. Ihre Entstehung und ihre Wandlungen. (Verständliche Wissenschaft, Bd. 46) (A. Defant). 456.
- Tischler, Friedrich, Die Vögel Ostpreußens und seiner Nachbargebiete (Steiniger). 744.
- v. Uexküll, J., Bedeutungslehre. (Bios, Abhandlungen zur theoretischen Biologie und ihrer Geschichte so- wie zur Philosophie der organischen Naturwissenschaften. Bd. X) (O. Koehler). 113.
- Ulich, Hermann, Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie. 2. veränd. u. ergänzte Auflage (W. Jost). 224.
- Walden, Paul, Geschichte der organischen Chemie seit 1880. II. Bd. zu C. Graebe, Geschichte der organischen Chemie (R. Kuhn). 773.
- Weinert, Hans, Der geistige Aufstieg der Menschheit vom Ursprung bis zur Gegenwart (G. Heberer). 712.
- Wintergerst, Erich, Die technische Physik des Kraftwagens. (Technische Physik in Einzeldarstellungen. Bd. 2) (M. v. Laue). 184.
- Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925—1927. Hrsg. im Auftrage der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft von A. Defant. Bd. VII, 2. Teil. Ozeanographische Sonderuntersuchungen. 1. Lieferung. Arnold Schumacher, Stereophotogrammetrische Wellenaufnahmen (G. Weinblum). 31.
- Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken. Werkstoff-Sonderheft. Herausg. von der Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Forschungsarbeiten der Siemens-Werke (L. Bergmann). 771.

Mitteilungen.

Astronomie.

- Zur Konstitution der Venusatmosphäre. 471.
Moleküle im interstellaren Raum. 694.

Physik, Chemie, Technik.

- Neuere Arbeiten über proteolytische Enzyme. 639.
Elektroöfen in der Metallurgie. 663.

Geologie, Geographie, Völkerkunde.

- Die Erforschung der untermeerischen Täler. 303.
Rassen und Kulturen Afrikas. 342.

Gesellschaft für Erdkunde Berlin.

- Vom Tanganyikasee nach Westangola. 119.
Das Landschaftsbild Amazoniens. 120.
Die Verbreitung der Runddörfer in Deutschland. 120.
Mit Luftschiff und Flugzeug in Südamerika. 198.
Zur Geologie und Bodenkunde Zentral-Brasiliens. 199.
Das nordeuropäische Staatensystem. 199.
Reisen in Hadramaut. 374.
Wirtschaftsgeographische Eindrücke einer Weltreise 1938/39. 375.
Scylla und Charybdis und die Gezeitenströmungen in der Straße von Messina. 376.
Das heutige Iran und seine Probleme. 775.

- Neue Forschungen über das Kartenbild Deutschlands von Nicolaus Cusanus bis Gerhard Mercator. 776.

Biologie.

- Bedeutungslehre in der Biologie. 113.

Botanische Mitteilungen.

- Die Physiologie der Wasseraufnahme. 406.
Die Beziehungen der Pflanze zum tagesperiodischen Licht-Dunkelwechsel. 407.
Plasmaveränderungen während des Alterns pflanzlicher Zellen. 408.
Über die pflanzengeographischen Verhältnisse im Amazonasgebiet. 408.

Gesellschaften, Tagungen.

- Haupttagung der Deutschen Bunsengesellschaft in Leipzig, Ende Oktober 1940. 84.
Arbeitstagung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart am 25. und 26. März 1941. 372.
Tätigkeitsbericht der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften für das Geschäftsjahr 1940/41. 425.
Veröffentlichungen aus den Kaiser Wilhelm-Instituten April 1940 bis März 1941. 433.

Sachregister¹⁾.

- Acidimetrische** Ausfällung. *Z* 221.
Adaptation, chromatische, bei Meeresalgen. *Z* 271.
Adenylnukleotide, Lokalisation in der quergestreiften Muskelfaser. *Z* 363.
Adsorbentien im Übermikroskop. *Z* 652.
Adsorberoberflächen, Untersuchung mit Xenonisotopen. *Z* 535.

- Adsorptionsvorgang. *Z* 653.
Afrika, Rassen und Kulturen. *M* 342.
—, Tanganyikasee. *M* 119.
Al₂La, Kristallstruktur. *Z* 654.
Algerien, Trockengrenzen. *A* 657.
Alkali-Erdalkaliphosphate, Gitterkonstanten. *Z* 300.
Alkalihalogenidkristallite, Entfärbung. *Z* 46.

¹⁾ *A* = Aufsatz; *Z* = Kurze Originalmitteilung; *B* = Besprechung; *M* = Mitteilung.

- Altern pflanzlicher Zellen. *M* 408.
 Amazonasgebiet, Pflanzengeographie. *M* 408.
 Amazonien, Landschaftsbild. *M* 120.
 Amerika, Bau (Stille). *B* 607.
 Amino-Peptidasen. *Z* 709.
 l-Amino-peptidasen, Verhalten gegen l- und d,l-Peptide.
Z 783.
 p-Aminobenzoensäure, sulfonamidhemmende Wirkung.
Z 455.
 Anatolien, Gliederung der Vegetation (Louis). *B* 406.
 Aneurin, Aufnahme durch Hefe. *Z* 765.
 Anti-graue-Haare-Faktor B_x. *Z* 62.
 Antikörper usw., Spezifität. *A* 89.
 Antithrombin und Heparin. *Z* 300.
 Apatitarten, isomorphe. *Z* 301.
 Arsen, radioaktives, in Mäusen. *Z* 182.
 Äsculin. *Z* 650.
 Astronomie (Strömgen). *B* 104.
 Atmosphäre, Elektrizitätshaushalt. *A* 700.
 —, Temperatur der höchsten Schichten. *A* 479.
 Atmung der Pflanzen, Veratmung verschiedener
 Zuckerarten. *Z* 648.
 Atomkerne, isomere. *A* 745.
 Aufwachungen von Phenolen auf verschiedenen Mine-
 ralarten. *Z* 319.
 Außenwelt, Realität. *A* 218.
 Automobil, technische Physik (Wintergerst). *B* 184.
- Bacillus vulgatus**, Auskeimung der Sporen nach Ab-
 bildung im Elektronenmikroskop. *A* 523.
 Bakteriophage Lyse, neues Formelement. *Z* 367.
 Bedeutungslehre (v. Uexküll). *B* 113.
 Berylliumoxyd, röntgenographische Hochtemperatur-
 aufnahmen. *Z* 336.
 HF—HF-Bindung. *Z* 644. (Berichtigung hierzu. 784.)
 Biochemistry, Annual Review Vol. VIII (Luck u.
 Smith). *B* 152.
 Biologisches Gleichgewicht (Dotterweich). *B* 371.
 Bleiselenid als Halbleiter, amphoterer Verhalten. *Z* 572.
 Bleisulfid als Halbleiter. *Z* 79.
 Blitzschutz u. geoelektr. Beschaffenheit d. Unter-
 grundes. *A* 397.
 Blitzspektrum. *Z* 778.
 Bodenstein, Max, 70. Geburtstag. *A* 409.
 Brasilien, Geologie und Bodenkunde. *M* 199.
 Brenztraubensäure-Stoffwechsel im Sexualzyklus. *Z* 63.
 Bunsengesellschaft, Tagung. *M* 84.
- Cantharidin**, Synthese. *Z* 390.
 Carcinomzellen, Dauerreinkultur in vitro. *Z* 650.
 Cellulosefasern, polymerhomologe Reihen. *Z* 707.
 CH- und CD-Spektrum, isolierte Liniengruppe. *Z* 239.
 Chemie, analytische, Handbuch (Fresenius u. Jander).
B 151.
 —, organische, neuere Anschauungen. *Z* 135.
 —, —, theoretische Grundlagen (Hückel). *B* 31.
 Chinaalkaloide, chemotherapeut. Bedeutung. *Z* 44.
 Chironomide, parthenogenetische, als Wasserleitungs-
 schädling. *A* 556.
 Chloroplasten, Eisengarnitur. *Z* 302.
 — -Grana, Fluoreszenzkurven. *Z* 101.
 Chromosomen, Phasenkontrastverfahren. *Z* 61.
 Chromosomenmutationen nach UV.-Bestrahlung. *A* 13.
 Clusiusches Trennrohr, Anwendung. *A* 485.
 — —, Theorie. *Z* 467.
 Corpus allatum von Drosophila. *Z* 725.
- Dampfdruckmessung** reaktionsfähiger Stoffe. *A* 485.
 Decarboxylierende Fermente. *Z* 649.
 Deutschland, Geomorphologie (Braun). *B* 168.
 —, Kartographie. *M* 776.
- Diamanteindrücke in Glasoberflächen, Bildung. *Z* 710.
 Diäthylstilböstrol, östrogene Wirkung von Derivaten.
Z 15.
 Desorptionsverfahren, neues. *Z* 79.
 Dielektrizitätskonstanten dielektrischer Stoffe. *Z* 516.
 Dipeptidasen, substratspezifische. *Z* 370.
 Dipolstrahlung und Kernmomente, magnetische. *A* 563,
 581.
 Driesch, Hans. *A* 457.
 Drosophila, Corpus allatum. *Z* 605.
 —, Ringdrüse. *Z* 80.
- Ebbe** und Flut (Thorade). *B* 456.
 v. Eberhard, Otto †. *A* 17.
 Einkristalle, plastische Eigenschaften. *Z* 117.
 Einschlüsse, spektralanalytische Untersuchung. *A* 488.
 Eisenverteilung, Bestimmung mit Röntgenstrahlen.
Z 166.
 Elch, Verbreitung in Deutschland (Prell). *B* 470.
 Elektroencephalogramm d. Menschen (Berger). *B* 624.
 Elektronen, in Festkörpern, Energieverluste. *Z* 648.
 — -Übermikroskopie (v. Ardenne). *B* 183.
 — — lebender Substanz. *A* 521.
 Elektronenbeugung (Thomson u. Cochrane). *B* 136.
 Elektronenmikroskop, Sichtbarmachung molekularer
 Rauigkeiten. *Z* 780.
 Elektronenoptik für Interferenzversuche. *Z* 647.
 Elektronenstrahlen, Druck. *Z* 71.
 Elektroöfen i. d. Metallurgie. *M* 663.
 Ellagengerbstoffe. *Z* 16.
 Elritzenhaut, Schreckstoff. *A* 333.
 Entomologie, medizinische, Lehrbuch (Martini). *B* 392.
 Entwicklungsgänge, tierische, morphologische Ordnung.
A 737.
 Enzyme, proteolytische. *M* 639.
 —, Wirkung einseitiger Elektrodialyse. *Z* 672.
 Enzymologie, Handbuch (Nord u. Weidenhagen). *B* 197.
 Eötvös-Effekt. *A* 273.
 Erbbiologie, mathematische Behandlung (Mittmann).
B 240.
 — d. Menschen, Handbuch (Just). *B* 103.
 Erdoberfläche, regionale Morphologie (Machatschek).
B 692.
 Erythrocytenmembran, Feinstruktur im Elektronen-
 mikroskop. *A* 416.
 Erzlagerstättenkunde (Schneiderhöhn). *B* 654.
 Esche und ihr Holz (Kollmann). *B* 692.
 Escherich, Karl, 70. Geburtstag. *A* 561.
- Fackelladung**, hochfrequente, optische Temperatur-
 bestimmungen. *Z* 571.
 Fadenmoleküle, Viskositätsgesetz. *Z* 221.
 Farbenlehre der Gegenwart (Richter). *B* 469.
 — i. Goethe-Nationalmuseum (Matthaei). *B* 469.
 Farbsehen, Physiologie. *A* 377.
 —, Theorie. *Z* 766.
 —, — Bemerkungen hierzu. 767.
 Farbensinn, Pathologie. *A* 614.
 Faserkeratine, Strukturuntersuchung. *Z* 591.
 Feinstruktur der Wasserstofflinien. *Z* 286.
 Fermente, eisenhaltige. *A* 172.
 Fermentforschung, Methoden (Bamann u. Myrbäck).
B 118.
 von Ficker, Heinrich, 60. Geburtstag. *A* 697.
 Fische, Geruchssinn. *A* 321.
 Fluoridhemmung der Hefeatmung und -gärung. *Z* 690.
 Föhn, physiologische Wirkungen. *Z* 30.
 Forstinsekten Mitteleuropas (Escherich). *B* 592.
 Fortpflanzung i. Tier- u. Pflanzenreich (Hämmerling).
B 118.
 Fourier-Synthese. *Z* 784.

- Gärung**, Mechanismus der Fluorid-Hemmung. *Z* 590.
 Gärungsferment Enolase, Kristallisation. *Z* 589.
 — aus Tumoren, Kristallisation. *Z* 590.
 Galliumwasserstoff Ga_2H_2 . *Z* 320.
 Geologie der Erde, regionale. *Z* 607.
 —, Lehrbuch (Brinkmann). *B* 371.
 — und Paläontologie, Fortschritte (Schindewolf).
B 391.
 Geruchssinn der Fische. *A* 321.
 Geschlechtshormone, Steigerung der Vitalität. *Z* 777.
 Gitter-Umklappung. *Z* 134.
 Glas, Konstitution. *Z* 81.
 —, Strukturchemie. *A* 537.
 Glimmlicht, negatives, Wirkungsgrad. *Z* 27.
 Glycogen, Anordnung der Glucoseresste. *Z* 287.
 —, — — Bemerkung hierzu. 364.
 von Goebel, Karl, Briefe (Bergdolt). *B* 693.
 Gold (Berg u. Friedensburg). *B* 48.
 Grenzschicht, Verhinderung des Turbulentwerdens.
Z 622.
- Hadramaut**, Reisen in *M* 374.
 Hartmann, Max, 65 Jahre. *A* 393.
 Hefezellen, Permeabilität für Phosphat. *Z* 318.
 Heinroth, Oskar, 70 Jahre. *A* 169.
 Heroin, enzymatische Hydrolyse. *Z* 572.
 —, — — Anmerkung hierzu. 743.
 Heteropolyverbindungen. *A* 505, 528.
 Himmelskunde, populäre (Diesterweg). *B* 727.
 Hochfrequenztechnik (Möller). *B* 168.
 Hochpolymere Verbindungen (K. H. Meyer). *B* 728.
- Immunisierung**, aktive. *A* 599.
 Insekten-Staaten, vgl. Biologie (Goetsch). *B* 470.
 Interstellarer Raum, Moleküle. *M* 694.
 Iran. *M* 775.
 Isolatoren, feste. *A* 105, 129.
 Isomere Atomkerne. *A* 745.
 Isotypie zwischen Phosphaten und Silikaten. *Z* 239.
- Kaiser Wilhelm-Gesellschaft**, Tätigkeitsbericht für das
 Geschäftsjahr 1940/41. *M* 425.
 — — -Institut für Eisenforschung, Mitteilungen (Kör-
 ber). *B* 47.
 — — -Institut für Metallforschung, Arbeitstagung.
M 372.
 Kartoffelvirose. *Z* 390.
 Kartographie. *M* 776.
 Katalyse. *A* 411.
 — Berichtigung hierzu. 576.
 Kausalbegriff Robert Mayers (A. Mittasch). *B* 47.
 Kayser, Heinrich †. *A* 153.
 Kepler, Werke (Caspar). *B* 302.
 Kernmomente (Kopfermann). *B* 340.
 Kettenassoziation der Fluorwasserstoffsäure im Gaszustand.
Z 420.
 Kettenmoleküle, intermolekulare Kräfte. *Z* 220.
 —, — — Bemerkung hierzu. 337, 517.
 Klima — Wetter — Mensch (Woltereck). *B* 575.
 Kohle (Jurasky). *B* 118.
 Kohlenoxyd-Myoglobin, photochem. Spaltung. *Z* 672.
 Kohlensäure-Anhydratase, Aktivatoren. *Z* 195.
 — —, Aktivierung. *Z* 116.
 — — und Zinkgehalt der Organe. *Z* 763.
 — -Anhydratasegehalt i. Geweben u. Blut. *Z* 468.
 — -Assimilation, Quanten-Problem. *Z* 591.
 Kohlenwasserstoffe, Krebs erzeugende. *A* 146.
 Kolonien, deutsche, in Afrika und der Südsee, Geologie
 (Krenkel). *B* 391.
 Koltzoff, N. K. †. *A* 121.
- Konvektive Anreicherung gelöster Stoffe. *Z* 270.
 Konzeptionshäufigkeit, Beeinflussung durch Tempera-
 tur. *Z* 623.
 Kosmische Strahlung, Kernzertrümmerungen und
 schwere Teilchen. *Z* 318.
 Krebserzeugende Substanzen, Entstehung. *Z* 63.
 Kristalle, nichtpolare, Verhalten beim Schmelzpunkt.
Z 743.
 Kristallphosphore, Dielektrizitätskonstantenerhöhung
 durch Belichtung. *Z* 779.
 —, plastische Eigenschaften (Kochendörfer). *B* 711.
 Krypton-Isotop ^{86}Kr , Reindarstellung im Trennrohr.
Z 560.
 Kryptoxanthin in der Hühner-Iris. *Z* 782.
- Lab**, Einwirkung von H_2S + Schwermetallsalz. *Z* 334.
 Lävulinsäure, Bildung aus Kohlehydraten. *Z* 707.
 Lebermoose, Mutationen. *A* 289.
 Legierungen, Chemie und Struktur. *A* 244.
 Leibesübungen, Physik (Schuppe). *B* 320.
 Lichtschutz im Süßwasser. *Z* 299.
 Limnologie, Grundriß (Ruttner). *B* 136.
 Lösungen, hochverdünnte, physikalische Wirkungen.
A 713.
 Lorenzenit und Ramsayit. *Z* 182.
 Lumineszenz (Riehl). *B* 743.
 Luminolreaktion. *Z* 28.
- Makromolekulare Stoffe**. *A* 257, 305.
 Mangan, radioaktives, Anreicherung. *Z* 708.
 Maul- und Klauenseuche-Virusprotein, Zentrifugierung.
Z 102.
 Menschheit, geistiger Aufstieg (Weinert). *B* 712.
 Mesenchymkulturen, beugungspolarisatorische Mes-
 sungen. *Z* 239.
 Mesonen, Zerfallszeit. *Z* 404.
 Mesotronen, Sekundärstrahlung. *Z* 336.
 Metallkontakte, Übergangswiderstand. *Z* 164.
 Metallkunde, Grundlagen (Masing). *B* 339.
 Metallphysik, Handbuch (Masing). *B* 504.
 „Meteor“-Expedition (Defant). *B* 31.
 Methylglyoxal. *Z* 46.
 Mikrogewichtsanalyse, organische (Hecht u. Donau).
B 469.
 Mikroskopie, Phasenkontrastverfahren. *A* 49.
 Mitosegift. *Z* 390.
 Molybdän-Isotope bei der Uranspaltung. *Z* 369.
 —, 18-Minuten-Isotop. *Z* 194.
 —, 19-Minuten-Isotop. *Z* 368.
 Monogerman, Rotationsumwandlungen. *Z* 468.
 Morphologie der niederen Pflanzen (Schussnig). *B* 392.
 Mutanten, Vitalitätssteigerung i. künstl. Klima. *Z* 422.
 Mutationen, konstruktive. *A* 289.
 Mutationsauslösung, bei Hefe, experimentelle. *Z* 503.
- Nahrungs- und Genußmittel**, Einfluß auf die Leistung.
A 553.
 Naturwissenschaften, Ergebnisse und Probleme (Ba-
 vink). *B* 405.
 —, exakte, Ergebnisse (Trendelenburg u. Hund). *B* 223.
 Nebenniere u. alkalische Phosphate. *Z* 319.
 Nikotin, Entdeckung (Koenig, Paul). *B* 406.
 Nitrocellulosen aus Holz, anormale Viskositätszahlen.
Z 534.
 Nordamerika, Geologie (Ruedemann u. Balk). *B* 519.
 Nordeuropa, Staatensystem. *M* 199.
 Nordfriesland, Entstehung. *A* 577.
 Nordlicht, neue Strahlung. *Z* 690.
- Oberflächenenergie** fester und flüssiger Stoffe. *Z* 706.
 — in Metallkristallen. *Z* 365.

- Ökologie, allgemeine. *A* 756.
 Ommin- und Ommatinpigmente. *A* 237.
 Organische Chemie, theoretische Grundlagen (Hückel).
B 624.
 Ostalpen, Pflanzenleben (Scharfetter). *B* 774.
 Oxybiose wirbelloser Tiere. *A* 277.
- Palaeozoologie**, Tabellen (O. Kuhn). *B* 184.
 Pannonische Flora (Soo v. Bere). *B* 152.
 Papillom-Virus aus Kaninchenhaut. *Z* 364.
 Pascalsche Verteilung. *Z* 517.
 d-Peptide, enzymatische Hydrolyse. *Z* 670.
 d-Peptid-Spaltung, enzymatische. *Z* 515.
 — — — durch den normalen Organismus. *Z* 518.
 — — — durch pflanzl. Enzympräparate. *Z* 365.
 l-Peptid- und d-Peptid-Spaltung, Frage der Identität
 des Enzyms. *Z* 558.
 Peptidase, d-Leucyl-glycin-spaltende, Aktivierung.
Z 691.
 d-LG.-Peptidase, Reinigung. *Z* 709.
 Periodisches System, Auffüllung und Erweiterung.
A 492.
 Pflanzen-Biologie (Schoenichen). *B* 32.
 Pflanzengeographisches Hilfsbuch (Ginzberger). *B* 744.
 Phasenkontrastverfahren in der Mikroskopie. *A* 49.
 Phosphatester, neuer. *Z* 651.
 Phosphatübertragung, Katalyse durch Metallionen.
Z 651.
 Phosphoreszenzumschwandlung durch Sauerstoff. *Z* 150.
 Photometrie, subjektive. *A* 225.
 Photoperiodismus. *Z* 82.
 — der Pflanzen. *M* 407.
 Photosynthese, Inaktivierung durch Sonnenlicht. *Z* 238.
 Physikalische Chemie, Lehrbuch (Ulich). *B* 224.
 Phytoplankton der Süßwasser (Thienemann). *B* 655.
 Plasmen, Elektronenbewegungen. *Z* 389.
 Polarlicht (Harang). *B* 83.
 Polieren von Gläsern, Grundvorgang. *Z* 688.
 Poliervorgang an Gläsern, Modellversuche. *Z* 769.
 Polymerisation in einem Fällungsmittel. *Z* 339.
 Polyploide Pflanzen, Chlorophyllgehalt. *Z* 45.
 — — —, Resistenzversuche. *Z* 338.
 Polyploidreihen bei der Hefe, exper. erzeugte. *Z* 687.
 Polysaccharide, oxydativer Abbau. *Z* 768.
 Porzellan, Zusammensetzung. *A* 18.
 Progesteron, Umwandlung zu Pregnandiol. *Z* 782.
- Radioaktive** Elemente, natürliche, Herstellung auf
 künstl. Wege. *A* 462.
 — Stoffe, Verbleib im Organismus. *Z* 300.
 Radioaktivität (Israel). *B* 303.
 Rechts-Links-Problem bei *Hydroides norvegica*. *Z* 423.
 Ringdrüse und *Corpus allatum* bei Musciden. *Z* 605.
 Ro-Stern, Spektrum. *Z* 686.
 Rovigno d'Istria, Deutsch-Italienisches Institut für
 Meeresbiologie. *A* 500.
 Runddörfer in Deutschland. *M* 120.
- Schall**, gerichteter. *A* 138.
 —, — Berichtigung hierzu. 200.
 Schumann, Viktor, 100. Geburtstag. *A* 729.
 Scylla und Charybdis. *M* 376.
 Seeigelkeim, Entwicklungsphysiologie. *A* 673.
 Sehpurpurlöslichkeit in Zephirol. *Z* 781.
 Seidenfaden, Mechanismus der Verfestigung. *Z* 221.
 Sekundäremissionsausbeute von Silber-Magnesium-
 legierungen. *Z* 777.
 Sekundäremissionskathode, Steuerwirkung eines ge-
 ladenen Teilchens. *Z* 335.
 Selen, Halleffekt. *Z* 371.
- Silikate, physikalische Chemie (Eitel). *B* 424.
 Sommerfeld, A., goldenes Doktorjubiläum. *A* 656.
 Sommerfelds Arbeiten über Feinstruktur d. Spektral-
 linien. *A* 609.
 Sonne, kontinuierliches Spektrum u. Farbtemperatur.
A 124.
 Sonnenkorona. *Z* 150.
 Spektrallinien, Sommerfelds Arbeiten über Feinstruk-
 tur. *A* 609.
 Sperrschicht-Photoeffekt. *Z* 575.
 Spinnen, Biologie (F. Lock). *B* 48.
 Stahl, Erstarren in Gußblöcken. *A* 550.
 —, Fließvorgang bei Raumtemperatur. *A* 547.
 Stille, Hans, 65. Geburtstag. *A* 593.
 —, —, 1900—1940 veröffentl. Arbeiten. *A* 596.
 Strahlen, ionisierende, Wirkung auf biolog. Elementar-
 einheiten. *A* 625.
 Strahlenwirkung, biologische. *Z* 669.
 Stratosphärische D-Schicht, Entstehung. *Z* 195.
 Strömgen, Elis, Festschrift. *B* 272.
 Strömungen, Dynamik atmosphärischer und ozeani-
 scher. *A* 473.
 Strömungsdoppelbrechung des Benzols, Temperatur-
 abhängigkeit. *Z* 288.
 Styrol, Mechanismus d. Wärmepolymerisation. *Z* 708.
 (Berichtigung hierzu. 784.)
 Sudetenland, Erdgeschichte und Bau (Br. Müller).
B 576.
 Südamerika. *M* 198.
 Sulfanilamid, Polymorphismus. *Z* 116.
 Symbiosen, mikrobielle (Baumgärtel). *B* 744.
- Tabakmosaikvirus**, Markierung mit Radiophosphor.
Z 222.
 —, Schall- und Ultraschalleinwirkungen. *Z* 573.
 Täler, untermeerische. *M* 303.
 Termiten, Kastenbildung. *A* 1.
 Thoriumspaltung, Zirkon und Protactinium. *A* 285.
 Tierflug, Biologie und Aerodynamik. *A* 348.
 Trefferprinzip. *A* 625.
 Trimethylammoniumjodid und Trimethylsulfonium-
 jodid. *Z* 256.
 von Tschermak-Seysenegg, Erich, 70. Geburtstag. *A* 696.
 Tuberkulose, Impfung von Kaninchen. *Z* 362.
 Tubifex, Indophenolreaktion d. Polplasmen. *Z* 101.
 —, Lagerung der Polplasmen im Ei. *Z* 101.
 Tumorzellen, zytoplasmatische Nukleotide. *Z* 29.
- Übermikroskopie**, s. Elektronen-Übermikroskopie.
 Ultraschall, Einfluß auf den Anlaufvorgang bei Metal-
 len. *Z* 726.
 Ultraschallabsorptionen, Messung. *Z* 44.
 Ultraviolette CD- und CH-Banden, Schwingungs-
 analyse. *Z* 504.
 Uran in lebenden Süßwasseralgen. *Z* 403.
 Uranspaltung, neue Strontium- und Yttrium-Isotope.
A 496.
 Uri-Lloyd-Schichtung. *A* 395.
 UV.-Strahlung und Hochgebirgspflanzen. *Z* 165.
- Vakuumspektroskopie**, Begründer. *A* 729.
 Venusatmosphäre, Konstitution. *M* 471.
 Verfestigung und Gitterverbiegungen, Zusammenhang.
Z 456.
 Virusinfizierte Tabakpflanzen, Infektreaktion. *Z* 404.
 — — — Berichtigung hierzu. 536.
 Viruskrankheiten der Pflanzen (Bawden). *B* 340.
 Viskoseverfahren (Götze). *B* 198.
 Viskosität hochverdünnter Essigsäure. *Z* 574.
 Vitamin K. *Z* 287.

- Vitaminbestimmungsmethoden, chemisch-physikalische (Gstirner). *B* 197.
 Vitamine der Hefe (Rudolph). *B* 712.
 Vögel, Erlernen unbenannter Anzahlen. *A* 201.
 — Ostpreußens (Tischler). *B* 744.
 Vogt, Walther †. *A* 345.
 Vorzugstemperaturen bei Landtieren. *A* 155.
- Wachstumsenergie** u. Aminosäuren. *Z* 725.
 Wagneritgruppe, Isomorphie. *Z* 301.
 Wärmestrahlungsgesetz, Geschichte. *A* 137.
 Wasseraufnahme der Pflanzen, Physiologie. *M* 406.
 Wellen, elektromagnetische (Bergmann u. Lassen).
B 168.
- Wellenaufnahmen, stereophotogrammetrische (Schumacher). *B* 31.
 Weltbild, physikalisches. *A* 185.
 Wirtschaftsgeographie. *M* 375.
 Wolle, Veredlung (Glafey, Krüger u. Ulrich). *B* 424.
- Ytterbium**, Isotopenzusammensetzung u. Atomgewicht.
Z 536.
- Zapfensubstanz** und Sehpurpur. *A* 65.
 Zelle, Eiweißumsatz. *A* 33.
 Zeolithe, Bindung des Wassers. *Z* 769.
 Zintl, Eduard †. *A* 241.
 —, —, Arbeiten über Legierungen. *A* 244.

Autorenregister¹⁾.

- Ackeret, J. 622.
 Ackermann, Ilse 647.
 Agduhr, Erik 777.
 Albrecht, Marianne 390.
 André, K. 607.
 v. Ardenne, Manfred 183,
 521, 523, 780.
 Asmus, E. 574.
 Astrup, Tage 300.
- Bagge, Erich 318.
 Bamann, E. 118, 365, 515,
 558.
 Bardenheuer, Peter 550.
 Barnóthy, J. 404.
 Baroni, E. 560.
 Bauch, R. 503, 687.
 Bauer, A. 15.
 Baumgärtel, Traugott 745.
 Bautzmann, H. 345.
 Bavink, Bernhard 405.
 Bawden, F. C. 340.
 Becker, Erich 237.
 Berg, Georg 48.
 Bergdolt, Ernst 693.
 Berger, Hans 624.
 Bergmann, L. 168.
 Birus, K. 779.
 Bleckmann, Richard 550.
 Bluhm, Agnes 623.
 Bomke, Hans 729.
 Borgnis, F. 516.
 Born, H. J. 182, 222.
 Bothe, W. 194.
 Braun, Gustav 168.
 Breitenbach, Johann
 Wolfgang 708, 784.
 Briegleb, Günther 420,
 644, 784.
 Brill, R. 220, 221, 337, 784.
 Brinkmann, Roland 371.
 Brosset, Cyrill 455.
 Brouwer, H. A. 607.
 Brücher, Heinz 422.
 Bucher, W. H. 607.
 Bücher, Theodor 591, 672.
 Burgeff, H. 289.
 Busch, L. 781, 782.
- Caspersson, T. 29, 363.
 — Torbjörn 33.
 Christian, Walter 589, 590.
 Clusius, K. 560.
 — Klaus 468.
 Cocconi, Giuseppe 336.
 Cochrane, W. 136.
 Credner, K. 649.
 Cristescu, G. 571.
- Danneel, R. 364.
 Darling, Sven 300.
 Dickel, G. 560.
 Diesterweg 727.
 Dietzel, A. 81, 537.
 Dihm, P. 301.
 Dittmer, E. 577.
 Donau, Julius 469.
 Dotterweich, H. 371.
 Drehmann, U. 708.
 Dresler, A. 225.
 Druckrey, Hermann 28,
 63.
 Dufait, R. 572, 651, 672,
 743.
- Eckart, F. 371, 572, 575.
 Eckhard, S. 574.
 Eder, K. 221.
 Eitel, Wilhelm 424.
 Enders, C. 46.
 Ernst, Hildegard 623.
 Ertel, Hans 697.
 Escherich, K. 592.
 v. Euler, Beth 63.
 — Hans 63.
- Faber, Gebhard 468.
 Fernholz, Hans 390.
 Fischer, Albert 650.
 — F. A. 138.
 — Heinz 27.
 Flammersfeld, A. 194.
 Fleischmann, R. 485.
 Flügge, S. 462.
 Förster, Th. 84.
 Forró, M. 404.
 Franz, Walter 766.
- Frerichs, R. 153.
 Fresenius, R. 151.
 Fricke, R. 365.
 Friedensburg, Ferdinand
 48.
 Friedheim, J. 777.
 Friedrich-Freksa, H. 523.
 v. Frisch, Karl 321, 561.
 Fritsch, Volker 397.
 Funcke, I. C. 517.
 Funk, W. 18.
- Geigy, R. 734.
 Gembruch, F. 301.
 Gerlach, Joachim 300.
 — Walther 656.
 Gerö, L. 239, 504.
 Ginzberger, August 744.
 Glafey, H. 424.
 Glemser, O. 769.
 Görtler, H. 473.
 Goetsch, Wilhelm I, 470.
 Götte, Hans 496.
 Götz, F. W. Paul 690.
 Götze, Kurt 198.
 Gralén, Nils 270.
 Grigorovici, R. 571.
 Gripp, K. 577.
 Groth, W. 535.
 Gstirner, F. 197.
 Gudden, B. 575.
- Hagemann, W. 650.
 Hagen, G. 44.
 Hahn, Otto 285, 369.
 Hämmerling, J. 118.
 —, Joachim 500.
 Harang, Leiv 83.
 Harder, R. 770.
 Harnisch, Otto 277.
 Harteck, P. 535.
 Haul, R. 706.
 Hecht, Friedrich 469.
 Hedvall, J. Arvid 726.
 Heintz, Erwin 713.
 Herder, Konrad 155.
 Herken, H. 670.
 Hermann, C. 784.
- Hesse, Richard 393.
 Heyes, J. 488.
 Hintenberger, H. 79.
 Hoffmann, Josef 403.
 v. Holst, Erich 348.
 Holtz, P. 649.
 Hückel, W. 31, 624.
 Hüttel, Rudolf 333.
 Hund, F. 223.
 Husemann, E. 257, 305,
 364, 534.
- Israël, H. 303, 700, 778.
- Jaeger, Fritz 657.
 Jahr, K. F. 505, 528.
 Jander, G. 151.
 Jansen, Erling 62.
 Janssen, L. W. 102.
 Jayme, Georg 768.
 Jenckel, E. 339.
 Jensen, Hans 467.
 Jönsson, Olof 726.
 Johannsen, Th. 320.
 Jordan, P. 89.
 Jost, W. 409.
 Jurasky, K. 118.
 Just, G. 103.
- Kast, W. 288.
 Kausche, G. A. 404, 536,
 573.
 Kautsky, H. 101, 150.
 Kerschbaum, E. 15.
 Kienle, H. 124.
 Kiese, Manfred 116.
 Kirchberg, H. 166.
 Kittel, A. 371.
 Klement, R. 300, 301.
 Klemm, Werner 688, 710,
 769.
 Klette, H. 652, 653.
 Knoll, M. 335.
 Kochendörfer A. 117, 456.
 — Albert 711.
 Köhler, A. 49.
 — E. 390.

¹⁾ Die Zahlen in *Kursiv*-Schrift bezeichnen Aufsätze, die Zahlen in steiler Schrift kurze Originalmitteilungen, Besprechungen und Mitteilungen.

- Köhler, Max 164.
 Koehler, O. 113, 169, 201.
 Koenig, Paul 406.
 Körber, Friedrich 47.
 Kohlschütter, H. W. 241.
 Kollmann, F. 692.
 Kopfermann, Hans 340, 563, 581.
 Kossel, W. 609.
 Kraus, O. 182.
 Krenkel, E. 391, 519.
 Kringstad, Hans 62.
 Krisch, Alfred 547.
 Krockow, E. W. 390.
 Krüger, D. 424.
 — Friedrich 556.
 Kubowitz, Fritz 590.
 Küchemann, Dietrich 348.
 Kuhn, Oskar 184.
 Kuntze, W. 504.
 Kurzke, H. 46.
 Kutscher, Waldemar 319.
- Lang, A. 82, 222.
 Lassen, H. 168.
 v. Laue, M. 137.
 Laves, F. 244.
 Lehmann, F. E. 101.
 — G. 553.
 Leiner, Gertrud 195, 763.
 — Michael 195, 468, 763.
 Lettré, Hans 390.
 Liebich, H. 302.
 Liesegang, Raphael Ed. 395.
 Lindahl, Per Eric 673.
 Lindberg, Olov 651.
 Loch, Fritz 48.
 Loos, W. 49, 769.
 Lotze, Franz 593.
 Louis, Herbert 406.
 Luck, J. M. 152.
 Ludwig, Wilhelm 423.
 Lunde, Gulbrand 62.
 Lundegårdh, H. 648.
- Machatschek, Fritz 692.
 Malm, M. 318.
 Maris, Spyros 768.
 Mark, H. 728.
 Marquardt, R. 46.
 Martini, E. 392.
 Maschmann, Ernst 370, 518, 691, 709, 783.
 Masing, G. 504.
 — Georg 339.
 Massart, L. 572, 651, 743.
 Matthaei, Rupprecht 469.
 Maurer, W. 368.
 Melchers, G. 82.
 Merker, E. 299.
 Merten, R. 670.
- Merz, K. W. 650.
 Meyer, Kurt H. 287, 728.
 Michel, Kurt 61.
 Mittasch, Alwin 47.
 Mittmann, Otfried 240.
 Möglich, F. 105.
 Möllenstedt, G. 647.
 Möller, H. 166.
 — H. G. 168.
 Montfort, C. 238.
 Moriyama, Hideo 334.
 Mothes, K. 271.
 Müller, Bruno 576.
 — Erwin W. 533.
 — Eugen 135.
 — G. 150.
 Mussgnug, F. 182, 256.
 Myrbäck, K. 118.
- Nauck, Ernst, Th. 774.
 Negelein, Erwin 591, 672.
 Neumann, H. J. 781, 782.
 Nitka, H. 336.
 Noack, K. 302.
 Nord, F. 197.
 Nowotny, H. 654.
 Nyström, Cl. 29.
- Öehme, Curt 725.
 Ohashi, Shunkichi 334.
 Ohlmeyer, P. 672.
 Orla-Jensen, Anna D. 287.
 — — S. 287.
 Osterhammel, K. 44.
 Ott, Paul 590.
- Penndorf, R. 195.
 Peters, Cl. 784.
 Pettersson, Inga 63.
 Pfankuch, E. 573.
 Pfeiffer, H. H. 239.
 Pfenninger, W. 622.
 Pirschle, Karl 45, 165, 338.
 Ploetz, Th. 707.
 Plötze, E. 257, 305, 707.
 Pohl, R. W. 772.
 Portmann, A. 734.
 Prell, Heinrich 470.
 Prigge, R. 599.
- Rabe, P. 44.
 Raithel, K. 572.
 Ramm, W. 368.
 Ras, M. 622.
 Rathje, Werner 221.
 Regener, E. 30, 479.
 Reichel, L. 16.
 Richter, Manfred 469.
 — Rudolf 28, 63.
 Riehl, N. 625.
 — Nikolaus 743.
 Rompe, R. 105, 129.
- Rottgardt, J. 46.
 Rudolph, Willi 712.
 Runnström, John 690.
 Ruska, H. 367, 573.
 Ruthemann, G. 648.
 Ruttner, Franz 136.
- Sagromsky, H. 271.
 Santesson, L. 29.
 Sätre, Martin 768.
 Schäffner, A. 639.
 Schardin, H. 17.
 Scharfetter, Rudolf 774.
 v. Schelling, H. 517.
 Schenck, G. 390.
 Schimke, F. 15.
 — O. 365, 515, 558.
 Schindewolf, Otto H. 391.
 Schmid, R. 239, 504.
 Schmidt, Otto 146.
 Schmitz, A. 670.
 Schneiderhöhn, Hans 654.
 Schoenichen, Walther 32.
 Schoon, Th. 652, 653.
 Schramm, G. 222.
 Schreiber, H. 669.
 Schreuer, E. 44.
 Schröer, E. 411.
 Schulz, G. V. 257, 305.
 Schumacher, Arnold 31.
 — H. J. 411.
 Schumann, W. O. 389.
 Schuppe, Hans 320.
 Schussnig, Br. 392.
 Schwab, Georg-Maria 134.
 Schwab-Agallidis, Elly 134.
 Schwassmann, Arnold 727.
 Seifert, H. 560.
 Selényi, P. 78.
 Smekal, Adolf 688, 710, 769.
 Smith, J. H. C. 152.
 Sommerfeld, A. 286.
 Soó v. Bere, B. 152.
 Sperber, Erik 765.
 Stach, E. 773.
 Stauder, Fr. 299.
 Staudinger, H. 221, 364, 534.
 Steenberg, Börje 79.
 Stille, Hans 607.
 Stranski, I. N. 743.
 Strassmann, Fritz 285, 369, 492.
 Straub, J. 13.
 Strömgren, B. 104.
 — Elis 272.
 Stubbe, Hans 696.
 von Studnitz, G. 65, 377, 614, 767, 781.
 Stuhlinger, E. 745.
- Stumpf, Felix 218.
 Süß, S. 339.
 The Svedberg 270.
 Szolnoki, I. 273.
- Thanheiser, G. 488.
 Thienemann, August 655.
 Thilo, Erich 239.
 Thomsen, Ellen 605.
 Thomson, G. P. 136.
 Thorade, H. 456.
 Thorell, B. 363.
 Timoféeff-Ressovsky, N. W. 121, 182, 625.
 Tischler, Friedrich 744.
 Trendelenburg, F. 223.
- Uffelmann, R. 300.
 Ulich, Hermann 224.
 Ulrich, G. 424.
 Ungerer, E. 457.
- Vierthaler, Rudolf 63.
 Vogt, Marguerite 80, 725.
 Voss, H. E. 44.
- Wagner, C. 504.
 — Karl Willy 663.
 Wahl, Walter 536.
 Walden, Paul 773.
 Waldmann, Ludwig 467.
 Waldmeier, M. 150.
 Warburg, Otto 589, 590.
 v. Wartenberg, H. 771.
 Watanabe, Atusi 116.
 Weber, Hermann 756.
 Weidenhagen, R. 197.
 Weinert, Hans 712.
 Weiss, J. G. 777.
 v. Weizsäcker, C. F. 185.
 v. Wessely, F. 15.
 Westphal, Ulrich 782.
 Wiberg, E. 320.
 Widström, Gösta 362.
 Wiedling, Sten 455.
 Willems, J. 319.
 Winkler, E. 288.
 Wintergerst, Erich 184.
 Wirtz, K. 84.
 von Witsch, H. 770.
 Wolpers, C. 416.
 Woltereck, Heinz 575.
 Wüst, Helmut 319.
 Wurm, K. 471, 686, 694, 778.
- Zahn, H. 591.
 Zedlitz, W. 101.
 Zeile, K. 172.
 Ziegler, K. 390.
 Zimmer, K. G. 222, 625.

Staatengründung und Kastenbildung bei Termiten.

Von WILH. GOETSCH, Breslau.

Im Kampf der Menschen gegen die Insekten, der in anderen Ländern mit ganz anderer Wucht geführt werden muß als in unseren Breiten, spielen die Termiten die Rolle, welche man den sagenhaften „fünften Kolonnen“ zuschreiben möchte: Sie arbeiten geheimnisvoll im Dunkeln, bis man plötzlich den Erfolg sieht. So kann es in den Tropen und Subtropen tatsächlich oft geschehen, daß ganz unvermutet Möbelstücke oder sogar Gebäude zu-

welchen außer den Ameisen auch die Bienen, Hummeln, Wespen u. a. m. gehören. Zum Unterschied von diesen fehlt ihnen auch das Stadium der fußlosen Maden und der unbeweglichen Puppen; aus den Eiern der Termiten schlüpfen vielmehr sechsfüßige Larven, die sich von den erwachsenen Tieren äußerlich kaum unterscheiden und von Anfang an selbständig zu fressen vermögen (Fig. 2). Hierin wie auch in vielen anderen Kennzeichen erinnern die Termiten an die Schaben (Blattaria), denen sie im Insektenreiche überhaupt am nächsten stehen.

Auch die staatliche Organisation ist anders als bei den Ameisen. Dort haben wir in der Masse der Arbeiter und Soldaten lediglich verkümmerte Weibchen, während bei den Termiten in gleicher Zahl Weibchen und Männchen in allen Kasten vorkommen und sich an den Arbeiten beteiligen.

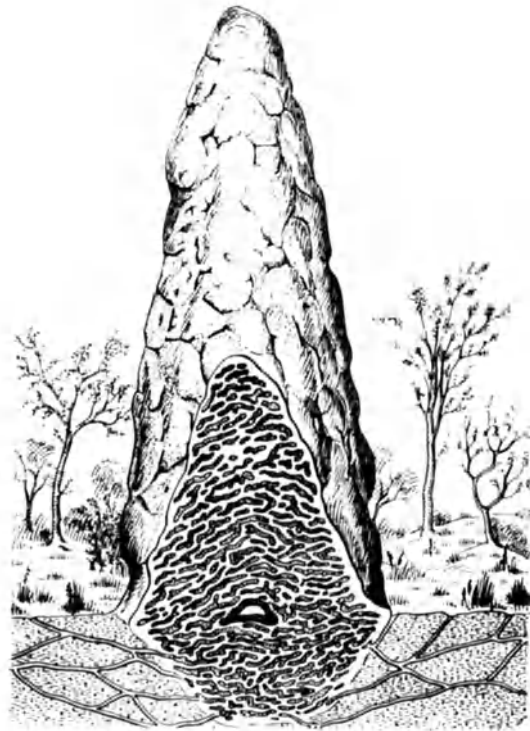


Fig. 1. Hügel der Termiten *Cornitermes similis* (Brasilien, Paraguay, Nordwest-Argentinien). Manche Nester, die ich in Misiones (bei Porvenir und am Ñacanguazú) untersuchte, waren 1 m hoch.

sammenbrechen, innerlich ausgehöhlt durch Termiten, von deren Anwesenheit man vorher gar nichts bemerkte.

Infolge ihres unterirdischen Lebens, das die Beobachtung sehr erschwert, ist man über Einzelheiten der Termiten-Biologie viel weniger gut unterrichtet, als dies bei den Ameisen der Fall ist, mit denen die Termiten oft verwechselt werden. Sie bilden indessen eine besondere Gruppe der Insekten, die Isoptera, und durchlaufen ihre Entwicklung ganz anders als die Hymenoptera, zu

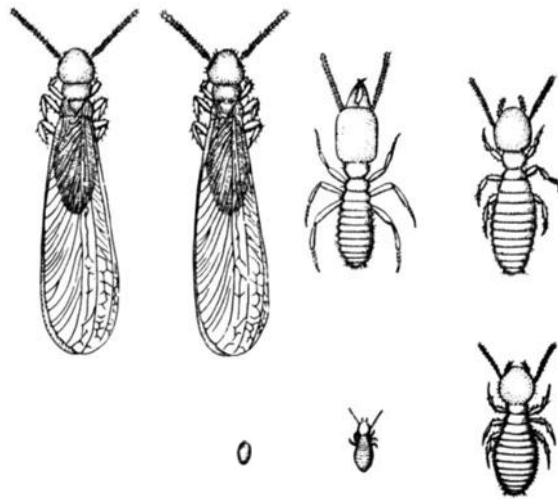


Fig. 2. Verschiedene Kasten der Termiten (Gattung *Reticulitermes*). Obere Reihe: Geflügeltes Männchen und geflügeltes Weibchen vor dem Hochzeitsflug (vgl. Fig. 4 b), Kiefer-Soldat (vgl. Fig. 5 a), Arbeiter. Untere Reihe: Ei, junge Larve (Stadium II), ältere Larve (Stadium IV).

verstärkt noch durch die älteren Larvenformen, die ebenfalls daran teilnehmen. Wir haben ferner neben der Königin und Stamm-Mutter des Staates auch einen König, der jahrelang am Leben bleibt und nicht, wie bei den Bienen und Ameisen, nach dem Hochzeitsfluge stirbt (vgl. Fig. 2 u. 4).

Mit den Vorbereitungen für den Hochzeitsflug beginnt auch bei den Termiten ein neuer selbständiger Staat sich anzubahnen, und zu diesem

Hochzeitsflug verlassen das geheimnisvolle Dunkel ihres lichtlosen Lebens als einzige Glieder des Staates freiwillig die geflügelten Vollinsekten (Imagines). Auch sie nur für eine ganz beschränkte Zeit: Denn nach kurzem Flattern schon fallen sie zu Boden, werfen die Flügel ab und kehren, wenn alles gut geht, jetzt paarweise in das Dunkel zurück. Paarweise graben sich dann auch Männchen und Weibchen gemeinsam ein, so die Hochzeitskammer bereitend, in welcher dann nach einiger Zeit die Begattung erfolgt. Denn eigenartigerweise sind die beiden Tiere, welche zur Staatenründung schreiten, noch nicht geschlechtsreif; ihre Keimdrüsen reifen vielmehr erst nach und nach heran (vgl. Fig. 3b).

Die Besonderheiten der Staatenründung und die dabei auftretenden Instinktäußerungen im einzelnen zu verfolgen, war schon lange mein Bestreben, nachdem ich bereits bei einer größeren

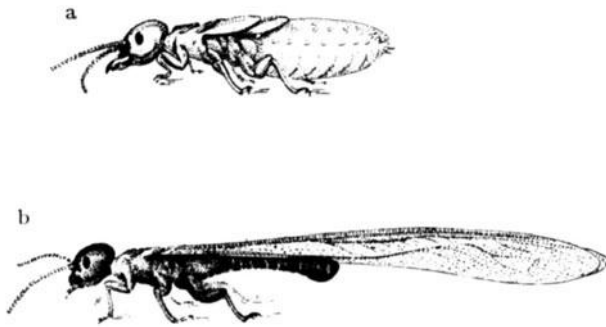


Fig. 3. a) Letztes Entwicklungsstadium einer Voll-Termite (= Nympe VII oder Spät-Nymphe, vgl. Tabelle I) (große Flügelsätze, dicker Hinterleib mit großem Fettkörper). An der Hinterleibsspitze die zwei sog. Styli, welche nur bei den Männchen vorkommen. — b) Erwachsenes Voll-Insekt (= Imago) vor Hochzeitsflug. Große Flügel, Hinterleib zusammengefallen. Er schwillt erst wieder an, wenn nach Abwurf der Flügel die Keimdrüsen heranwachsen (vgl. Fig. 4).

Zahl von Termiten in Chile, Brasilien und Argentinien sowie in Italien und Spanien Hochzeitsflüge beobachtet hatte. Die Mittelmeer-Termite *Kaloterme flavicollis* gab in diesem Jahre hierzu gute Gelegenheit, da es gelungen war, Geschlechtstiere in Kunstnestern aus Gips, Holz und Glas heranzuzüchten.

Die Termiten brauchen, um von der ersten Larve zur Imago zu gelangen, eine geraume Zeit; es dauert Monate oder auch Jahre, bis das Endstadium erreicht ist. Bei *Kaloterme*-Arten können wir 8 Entwicklungsphasen annehmen (KALSHOVEN u. a.); das vorletzte, VII. Stadium sind die sog. Nymphen mit großen Flügelsätzen sowie wohl ausgebildeten Augen (= Spät-Nymphen, vgl. Fig. 3a u. Tabelle 1). Aus ihnen schlüpfen die Imagines, die zuerst bis auf die Augen ganz weiß sind. Der Hinterleib erscheint dick durch einen reichlich ausgebildeten Fettkörper, der sich schon im

Nymphenstadium anlegt (Fig. 3a). Symbiontische Darmflagellaten, welche bei den primitiveren Termiten (Masto-, Pro- und Mesotermitiden) zur Ausnutzung der bevorzugten Holznahrung notwendig sind, fehlen in diesem Zustande fast immer; sie werden hier wie auch bei früheren Häutungen mit den Kotmassen abgestoßen.

Es dauert mindestens 6 Tage, bis die geflügelten *Kaloterme flavicollis* ausgefärbt sind; dabei spielt keine Rolle, ob eine Belichtung stattfindet oder nicht. Während der Ausfärbung, die an der Oberseite beginnt, verschwindet der Fettkörper immer mehr. Nach 8—10 Tagen sind die zunächst prallen Hinterleiber papierdünn geworden (Fig. 3b); nur die Endspitze bleibt dicker und knopfartig verbreitert. Dort befinden sich die von Chitin gestützten Kopulationsorgane, die bei den Männchen als einziges äußeres Kennzeichen die sog. Styli (Griffel) aufweisen (Fig. 3a).

Diese knopfartige Hinterleibsspitze enthält weiterhin zwischen den letzten Chittringen noch Drüsen, die bald darauf eine sinnesphysiologische Rolle spielen; denn Hand in Hand mit den gestaltlichen Veränderungen geht auch eine psychische Umstimmung vor sich.

Die Geflügelten mit dickem, fetthaltigem Abdomen sind noch völlig lichtscheu. Mit dem Schwinden des Fettkörpers ändert sich aber das Verhalten nach und nach. Es tritt zunächst eine Bereitschaft auf, die Helligkeit zu ertragen, und in diesem Zustand kann man die Tiere schon zum Hochzeitsflug veranlassen. Vermehrte Wärme und stärkere Beleuchtung bewegt dann die Geflügelten, oft ganz plötzlich den Kopf dem Lichte zuzuwenden; und mit eigenartigen Schritten marschieren sie ins Helle, bewegen die Flügel mit schwirrendem Geräusch und flattern ab. Im Laboratorium wird stets das Fenster oder eine künstliche Lichtquelle angefliegen; die irgendwo anprallenden und absinkenden Tiere erheben sich unter Flügelschwirren noch viele Male von neuem. Nach kurzer Zeit erlahmt indessen der Flugdrang, und verrottete Pflanzenteile oder feuchte Holzstücke, auf die sie fallen, wirken sofort als neuer Reiz. Eine eifrige Untersuchung beginnt; besonderes Interesse erregen Ritzen und Vertiefungen, in welche der Kopf prüfend hineingesteckt wird. Manchmal ganz plötzlich dreht sich dann die Termite um; der Hinterleib wird an vorstehende Erhebungen oder Rauigkeiten der Unterlage angepreßt, und schon liegen die Flügel, an den vorbereiteten Bruchstellen abgeknickt, neben dem davoneilenden Tier. Dem einmal ausgelösten Trieb des Flügelabwurfs wird so eifrig nachgegangen, daß die Tiere einige Male auf meiner Hand zwischen den Fingern die Schwingen abstießen.

Gelegentlich benehmen sich die Weibchen schon vor dem Abwurf der Flügel ein wenig anders. Sie recken den Hinterleib empor, so daß er mit der Unterlage einen Winkel bildet, und dann kann man sehen, daß zwischen den Ringen der Hinterleibsspitze helle Gebilde ausgestülpt werden: die schon

Tabelle 1. Kasten von *Kaloterme flavicollis*, aus Naturnestern und Zuchtkulturen, im Hinblick auf:

	Systematische Bezeichnung	Morphologische Ausbildung	Physiologische Leistung	Entwicklungsgeschichtl. Stellung
1	Larven (Junglarven)	helle kleine Larven ohne Flügelansätze ohne Augen kleine Kiefer	nicht funktionierende unreife Gonaden ♂ und ♀	Stadium I—III
2	„Arbeiter“ (Altlarven)	helle große Larven ohne Flügelansätze ohne Augen kleine Kiefer	Geschlechtsuntüchtige ♂ und ♀	Stadium IV—V
3	Ersatz-Weibchen und Männchen IV—V	± dunkle Neoten. Ind. ohne Flügelansätze kleine Augen kleine Kiefer	Geschlechtstüchtige ♂ und ♀	Stadium IV—V
4	„Soldaten“ (Großköpfe)	± dunkle Sonderkaste ohne Flügelansätze ohne Augen große Kiefer	Geschlechtsuntüchtige ♂ und ♀	Stadium IV—V
5	Soldaten-Königin und -König	± dunkle Sonderkaste ± Flügelansätze ohne Augen große Kiefer	Geschlechtstüchtige ♂ und ♀	Stadium IV—V
6	Früh-Nymphen (Nymphen II. Form)	helle Nymphen kleine Flügelansätze ohne Augen kleine Kiefer	Geschlechtsuntüchtige ♂ und ♀	Stadium VI
7	Ersatz-Weibchen und Männchen VI	± dunkle Nymphen kleine Flügelansätze kleine Augen kleine Kiefer	Geschlechtstüchtige ♂ und ♀	Stadium VI
8	Spät-Nymphen (Nymphen I. Form)	helle Nymphen große Flügelansätze große Augen kleine Kiefer	Geschlechtsuntüchtige ♂ und ♀	Stadium VII
9	Geflügelte (Imagines)	± dunkle Imagines mit Flügeln große Augen kleine Kiefer	Unreife ♂ und ♀	Stadium VIII
10	Ersatz-Imagines	± helle Imagines schlecht entflügelt große Augen kleine Kiefer	Geschlechtstüchtige ♂ und ♀	Stadium VIII
11	Falsch-König und -Königin (Achrestogonime)	dunkle Imagines ± abgestoßene Flügel große Augen kleine Kiefer	Geschlechtsuntüchtige ♂ und ♀	Stadium VIII
12	König und Königin	dunkle Imagines normal entflügelt große Augen kleine Kiefer	Geschlechtstüchtige ♂ und ♀	Stadium VIII

Ersatz-Tiere aller Art, einschließlich der Soldaten-Könige und -Königinnen, entstanden in Nestern ohne Geschlechtsformen bei Fütterung durch die Arbeiter. Soldaten dann, wenn reichliche Eiweißnahrung (Eier, Leichen) unmittelbar nach der Häutung zur Verfügung stand.

erwähnten Drüsen, welche ein Sekret abgeben. Deutlicher als bei *Kaloterme*-Arten ließ sich dieser Vorgang bei *Anoplotermes* beobachten, wo sich ebenso wie bei den großen *Kaloterme chilensis* die Funktion dieser Drüsen gut feststellen ließ: Sie dienen zur Anlockung und veranlassen die Männchen zum Anfliegen und später zum Nachlaufen. Gelang es doch, mit abgeschnittenen Hinterleibs-

spitzen die Männchen über weite Strecken hinwegzulocken und den auf Stöckchen befestigten Drüsen auch über scharf riechende Substanzen (wie Zitronellaöl) nachlaufen zu lassen, ein Zeichen dafür, wie stark die Männchen auf diesen Duft, und auf ihn allein, reagieren.

Ehe wir diesen sog. „Liebesspaziergang“ und den ihm folgenden Vorgängen weiter nachgehen,

seien einige Versuche beschrieben, die das Verhalten unter abgeänderten Bedingungen zeigen.

Die Geflügelten lassen sich, schon bevor sie aktiv zum Hochzeitsflug schreiten, durch experimentelle Behandlung zum Flügelabwurf bringen: Dadurch nämlich, daß man sie bei dem Eintritt der Bereitschaftsphase in die Luft wirft und so zum Flattern bringt. Verhindert man dagegen die Geschlechtstiere längere Zeit nach Eintritt der Bereitschaftsphase am Abflug,

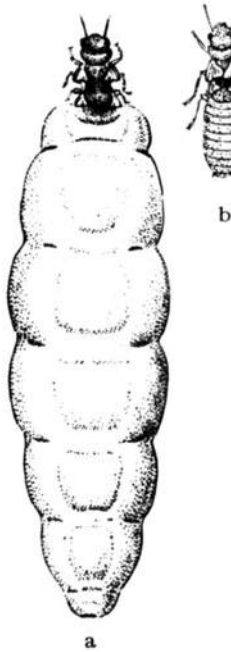


Fig. 4. Erwachsene Termiten nach Hochzeitsflug ohne Flügel, die an einer vorher bestimmten Stelle, den sog. Bruchgelenk, abgeworfen werden. Das Weibchen (= Königin) schwillt durch die wachsenden Keimdrüsen unmaßig an.

ihrer Anwesenheit die später noch zu erwähnenden Ersatzgeschlechter heranzüchten (Nest 5 und 6, vgl. Tabelle 2). Es muß also geflattert werden, damit die Entwicklung weitergeht.

Eine Anzahl weiterer Versuche zeigte indessen, daß es auf ein wirkliches Fliegen dabei weniger ankommt, als vielmehr auf eine heftige Bewegung. Ich schnitt den Imagines, welche zum Abflug bereit waren, die Flügel in verschiedener Länge ab. Selbst mit geringstem Flügelrest versuchten die Tiere noch zu fliegen; gelang es nicht, so warfen sie sich wenigstens immer wieder durch Emporschnellen des Körpers in die Höhe, sobald sie ins Helle kamen. Nach solcher Anstrengung wurden sie dann von Geschlechtspartnern als „voll“ genommen und

warfen auch stets die kleinsten Flügelstummel richtig am Bruchgelenk ab. Das gleiche geschah, wenn ich die Tiere im Hellen wiederholt in die Luft warf. Mit einem solchen künstlichen nachträglichen Hochzeitsflug gelang es sogar, Tiere wieder zu Ehepartnern umzubilden, die schon auf dem Wege zu Achrestogonimen waren, d. h. im Nest die Flügel zum Teil abgewetzt hatten und keine Neigung mehr verspürten, aktiv irgend etwas zu unternehmen.

Unter natürlichen Bedingungen werden die Geflügelten kaum schon zu Beginn der Bereitschaftsphase das Nest verlassen, sondern erst nach einiger Zeit. Tiere, welche die Fettkörper schließlich völlig aufgebraucht haben, beginnen zunächst zu fressen, d. h. sich durch das Holz zu nagen; jedenfalls besitzen ältere Geflügelte wieder Holzfasern im Darm, sowie auch Symbionten. Weiterhin ist mit dem beginnenden Drang nach dem Licht auch eine gewisse Scheu vor Feuchtigkeit verbunden, wie die Beobachtungen in Gipsnestern zeigten. So kommen sie schließlich auch unter natürlichen Verhältnissen immer mehr an die Oberfläche. Warme Tage lassen dann den Drang übermächtig werden; die noch entgegenstehenden Hindernisse werden überwunden, d. h. Holz oder sonstige Hüllen des Nestes zernagt, wie sich ebenfalls bei den Kunstnestern ergab. Daß hierdurch sich ebenso wie durch das aktive Fressen die Möglichkeit des Symbionterwerbes ergibt, sei dabei erwähnt. Und da hier, wie bei Ameisen und Bienen, schließlich die Erregung ansteckend wirkt, kann es schließlich zu den Massenabflügen kommen, die so oft schon beschrieben wurden.

Da manchmal die Männchen eher reif werden als die Weibchen, ist die Zusammensetzung der Flügel verschieden und begünstigt eine Befruchtung zwischen Tieren verschiedener Nester; bei *Kaloterme*s sowohl wie bei *Anoplotermes* vereinigen sich aber auch Angehörige desselben Nestes zum

Liebesspaziergang,

dem wir uns jetzt zuwenden.

Die Frage, welches Geschlecht bei dem Liebesspaziergang die Führung hat, war lange Zeit ungeklärt, und ich fand bei *Kaloterme*s *chilensis* bald Männchen, bald Weibchen voranlaufend. Bei *Anoplotermes* ist meist „sie“ vorn und folgt „er“ ihren Spuren, oft auch von fern, um sich dann manchmal sogar anzuklammern und ziehen zu lassen. Wenn das dadurch sehr erregte Weibchen das Männchen aber verlor, begann sie zu suchen und konnte dann ihrerseits nachlaufen. Ähnliches ließ sich dann bei *Kaloterme*s *flavicollis* beobachten; hier konnte ebenfalls ein erregtes Weibchen ein weniger aktives Männchen anstoßen, so in Bewegung setzen und ihm dann folgen. Auch suchte einmal ein Weibchen, das zu einem im Holz verkrochenen Männchen gesetzt wurde, dieses aktiv auf, um dann erst die Flügel abzustoßen.

Durch geeignete Auswahl der Partner erreichte ich endlich sogar, daß die Männchen den Weibchen

Tabelle 2. *Kaloterme flavicollis* Auftreten von Ersatzgeschlechtstieren.

Lfd. Nr.	Kultur	Nest-art	Inhalt		Vers. Zeit	abgel. Eier	Ersatzgeschlecht	
			zu Beginn	am Ende			Zahl	Geschlecht
1	1 B	Gips	20	12	3	—	1 ¹⁾	1 ♂
2	1 III	Gips	ca. 50	24	3	—	1 ¹⁾	1 ♂
3	4 ⁵⁾	Glas	65	16	3	+	3 ³⁾	2 ♀ 1 ♂
4	2 I	Gips	32	13	2	+	1	1 ♀ VI
5	2	Glas	63	19	2	+	2	1 ♀ 1 ♂
6	5	Glas	42	15	2	—	2	1 ♂ 1 ♂ VI
7	6 ⁶⁾	Glas	40	14	2	+	1	1 ♀ 1 ♂
8	8	Glas	22	15	2	+	2	1 ♀ 1 ♂
9	9 ⁴⁾	Glas	65	50	2	+	2	1 ♀ 1 ♂
10	10	Glas	127	88	2	+	3	2 ♀ VI 1 ♂
11	11 ⁴⁾	Glas	84	57	2	+	2 ³⁾	1 ♀ 1 ♂
12	12	Glas	20	8	2	+	2	1 ♀ 1 ♂
13	3	Glas	23	—	2	—	— ²⁾	—
14	36 A	Gips	9	9	1 1/2	—	1	1 ♂
15	36 B	Gips	8	8	1 1/2	—	1	1 ♀
16	17	Glas	23	8	1	—	2	1 ♀ 1 ♂
17	18	Holz	18	18	1	—	2	1 ♀ 1 ♂
18	13 A	Holz	12	6	1	—	2	1 ♀ 1 ♂
19	13 B	Holz	36	10	1	—	2	1 ♀ 1 ♂
20	15	Holz	6	6	1/2	—	2	1 ♀ 1 ♂
21	21 A	Glas	6	6	1/2	—	1	1 ♂
22	99 IV	Glas	20	19	1/4	—	1	1 ♀

Wo keine Bezeichnung hinter dem Geschlecht steht, handelt es sich um Ersatztiere ohne Flügelansätze (Stadium IV—V).

1) = Nester schlecht im Stand; am Absterben. 2) = Nest starb aus.

3) = Ersatz bestand zum Teil aus Soldaten.

4) = Nest bildete nach Wegnahme der Ersatztiere nach 1—2 Monaten neuen Ersatz.

5) = Nest bildete nach Wegnahme der Ersatztiere (Soldaten) nach 1 Monat erneut Soldaten als Ersatz aus.

6) = Nach Absterben des Ersatz-Weibchens und 4 weiterer Tiere bestand das Nest nur noch aus 9 ♂; es wurde hier auch nach 1 1/2 Monaten kein Ersatz gebildet (vgl. Tabelle 3, Nr. 15).

Tabelle 3. *Kaloterme flavicollis*.

Erstes Auftreten von Ersatz-Geschlechtstieren bei dem in verschiedene Teile zerlegten Nest Kal. 22, das schon 3 Monate in Beobachtung war, aber ungestört blieb. Es enthielt beim Öffnen (4. VI. 1940):

1 ♀ 1 ♂ (Gründer) 4 Ersatztiere (♀ ♂), 303 Eier, 382 junge Larven (Stad. I—III), 283 „Arbeiter“ (Stad. IV bis VI), 80 Früh-Nymphen (Stad. VI), 248 Spät-Nymphen (Stad. VII), 2 Imagines (Stad. VIII), 39 Soldaten (6 klein, 16 mittel, 15 groß).

Lfd. Nr.	Kultur	Nestart	Inhalt				Ersatzgeschlechtstiere		
			Larven Stad. I—III	Arb. u. Nymph. Stad. IV—VI	Spät-Nymphen Stad. VII	Soldaten	nach	Zahl	Geschlecht
1	H	Glas	20	47	—	—	10 Tagen	1	1 ♀
2	J	Glas	20	50	—	—	11 „	2	2 ♀
3	VI C	Holz	12	6	—	—	11 „	1	1 ♀
4	VI	Gips	20	25	10	—	11 „	1	1 ♂
5	K	Gips	20	50	—	—	14 „	2	1 ♀ 1 ♂
6	L	Gips	20	75	—	—	3 Wochen	2	1 ♀, 1 ♂
7	G	Glas	25	30	—	1	3 „	1	1 ♂ VI
8	O	Glas	40	10	—	—	3 „	1	1 ♂ (?)
9	F	Glas	12	18	—	6	3 „	1	1 ♂ VI
10	M V	Holz	40	8	—	—	1 1/2 Mon.	2	1 ♀ 1 ♂ (?)
11	II	Gips	10	25	75	—	1 3/4 „	2	1 ♀ 1 ♂ VI
12	S	Holz	—	3	—	—	2 „	1*	1 ♀
13	P	Glas	ca. 30	—	ca. 30	—	2 „	—	—
14	R	Glas	—	—	ca. 50	—	2 „	—	—
15	B	Holz	8 (♂)	10 (♂)	—	—	4 „	—	—

Auch innerhalb von 3 Monaten traten keinerlei Geschlechtstiere auf in den Teilnestern, welche schon Geschlechtstiere enthielten (Gipsnest VI b, das neben dem Gründer-♂ und einem alten Ersatz-♀ 13 Larven Stad. I bis III, 6 Arbeiter Stad. IV—VI und eine Spät-Nymphe Stad. VII enthielt); weiter in Gipsnest A mit 1 Ersatz-♀ und 3 Ersatz-♂, 13 Arbeitern Stad. IV—V und 4 Früh-Nymphen Stad. VI. In diesem Nest A mit einer Überzahl von Ersatztieren trat sogar eine Rückbildung ein, so daß zuletzt nur ein Pärchen blieb.

Ein Fragezeichen (?) bedeutet, daß das Geschlecht bei den noch lebenden Tieren nicht genau festgestellt werden konnte, ein Stern (*), daß hier nur erst eine Anlage zu einem Ersatz-Geschlechtstier vorlag.

nachließen und diese wieder den Männchen, also zwei Tiere sich im Kreis umeinander drehten („Liebesrundlauf“). Dies geschah z. B. dann, wenn man Tiere nach stürmischem Hochzeitsflug längere Zeit isoliert gehalten hatte. Die Anziehung wirkt demnach gegenseitig; sie dient nicht nur dazu, die Partner einander nahezubringen, sondern sie auch zusammenzuhalten.

Dies ist für den weiteren Ablauf der

Staatengründung

von großer Bedeutung. Hierdurch wird nämlich bewirkt, daß Männchen und Weibchen stets im Dunstkreis des anderen bleibt und beide gemeinsam arbeiten. Wie sehr dabei der Duft der Hinterleibsdrüsen den Zusammenhalt bewirkt, lehrten eine Anzahl von Beobachtungen und Versuchen. Hatte man Pärchen in Tuben zur Gründung zusammengesetzt und ein Männchen oder ein Weibchen verschwand *nicht* im Holz oder kam nach einiger Zeit wieder heraus und lief umher, dann konnte man sicher sein, daß dem Partner etwas zugestoßen war. Auch geschwächte und verletzte Männchen oder Weibchen hielten die gesunden Partner zurück, solange die Hinterleiber noch lebensfähig waren. Schließlich ließ ich Männchen und Weibchen sogar mit abgeschnittenem Abdomen des anderen Geschlechts zur Gründung schreiten. Die Tiere liefen wirklich auf die in das Holz gesteckten Hinterleiber zu, blieben in ihrer Nähe und begannen, sich neben ihnen einzugraben, und die Verdickung ihrer Körper zeigte an, daß die Keimdrüsen wirklich zu schwellen begannen, was nur bei erfolgreichem Gründungsbeginn geschieht.

Im Vorhergehenden haben wir die Erscheinungen bereits angeführt, die als Kennzeichen einer beginnenden und fortschreitenden Gründung dienen: Die Schwellung der Hinterleiber, welche der nach 10—14 Tagen einsetzenden ersten Eiablage vorangeht. An diesen Kennzeichen ließ sich bei weiteren Experimenten erweisen, ob eine Störung erfolgreich überwunden war. Gestört wurde die Nestgründung meist dann, wenn die geflogenen Männchen und Weibchen nicht allein blieben, sondern in Nester kamen, in welchen sich schon eine größere Zahl von Entwicklungsstadien befanden (z. B. Nest 6). Die Paare fanden dann meist nicht zueinander oder wurden wieder getrennt; in der Mehrzahl der Fälle versuchten sie übrigens auch das Weite zu suchen. Einzelne Geschlechtstiere konnten dagegen in Staaten ohne König oder Königin sofort aufgenommen werden und dienten dann als Ergänzung des Herrscherpaares. Wenn die Paare sich schon gefunden und eine Zeitlang gemeinsam gearbeitet hatten, war es dagegen ohne weiteres möglich, solche Tiere zusammen oder auch getrennt als Ersatz in weisellose oder halbverwaiste Nester zu geben, oder ihnen Arbeiter und Larven aller Stadien zuzugesellen (Nest 51, 52 u. a. m.). Eine abhängige unselbständige Staatengründung ist demnach bei den Termiten durchaus möglich.

Als störend erwiesen weiterhin die Experimente die Anwesenheit überzähliger Männchen oder Weibchen (Kulturen 33 fgd.). Stets ließ sich bei Versuchen dieser Art zeigen, daß, von gelegentlichen Beißereien abgesehen, keine heftigen Kämpfe stattfanden; zwei Männchen oder zwei Weibchen suchten sich aber doch gegenseitig wegzudrängen. Da das Weibchen meist keinen Bewerber bevorzugte, war einmal der eine einmal der andere an seiner Seite — und eine ganz ähnliche Lage ergab sich bei Anwesenheit von zwei Weibchen und einem Männchen. Das überzählige Tier begann sich dann stets wieder in die Arbeit zur Gründung einer Königskammer einzudrängen, und so ergaben sich immer neue Störungen. Starb ein überzähliger Partner, so wurde er aufgefressen oder eingebaut, und die Gründung ging dann ebenso normal weiter wie dann, wenn es einem Paar gelang, sich mit Kot und Holzspänen einzumauern und so den Störenfried auszuschließen. Der ausgeschlossene Überzählige lief daraufhin außen umher, sein Abdomen, das vielleicht durch längeres Beisammensein mit einem Partner schon etwas geschwollen war, verschmälerte sich wieder, und schließlich verkümmerte das Tier immer mehr, falls man es nicht noch zur rechten Zeit mit einem neuen Partner zusammengab. Solche Experimente führten durchaus zum Ziel und bewiesen, daß vielleicht auch in der Natur solchen „Ausgeschlossenen“ gelegentlich ein neues Glück beschert sein mag!

Daß eine normale Gründung nur innerhalb einer gewissen Zeitspanne möglich ist, zeigten Versuche, in welchen überalterte Männchen und Weibchen zur Gründung gebracht werden sollten. Es war dabei gleichgültig, ob es sich um eine

Überalterung

vor oder nach dem Hochzeitsfluge handelte, oder ob die Tiere außerhalb oder innerhalb eines Nestes gehalten worden waren; die Gründung blieb aus, sofern die Bereitschaft dazu verpaßt war. Sie glückte auch nicht, wenn nur ein Partner überaltert, der andere dagegen funktionstüchtig war, wie z. B. in den Nestern 89—93.

Dies Nichtglücken einer Gründung ist den Fällen an die Seite zu stellen, in welchen ein Partner nicht geflogen war. In solchen Fällen funktionierten die Drüsen nicht, das eine Mal, weil sie nicht in Wirksamkeit traten, das andere Mal, weil sie rückgebildet waren. Es handelt sich dabei, wie wir später noch sehen werden, nicht nur um die Anlockungssekrete der letzten Abdominalringe, sondern auch um andere Ausschwitzungen, die mit der Weiterbildung der Gonaden Hand in Hand gehen und allem Anschein nach die Keimdrüsen des anderen Geschlechts anregen. Das läßt sich immer wieder auch an dem Verhalten der Gründer zeigen, die richtig ausgebildete Partner unaufhörlich beriechen und belecken, oft so stürmisch, daß sie sogar Körperteile anfressen, wie z. B. Fußspitzen oder Fühler, welche bei älteren Gründern meist abgeknabbert oder angenagt sind.

Die überalterten Imagines können in künstlichen Termitennestern noch lange am Leben bleiben und damit auch vielleicht sogar in natürlichen Staaten aufgenommen werden. Sie stellen dann unechte oder

falsche Könige und Königinnen

dar, in gleicher Weise wie die schon erwähnten Achrestogonime, die sich von ihnen nur durch die nicht richtig abgeworfenen Flügel unterscheiden. Beide spielen aus den angeführten Gründen als Geschlechtspartner keine Rolle und erscheinen damit in dieser Hinsicht wirklich als zwecklos.

Für den Gesamtstaat sind sie indessen, wie meine Beobachtungen zeigten, doch nicht ganz unnütz, denn sie beteiligen sich oft recht eifrig an

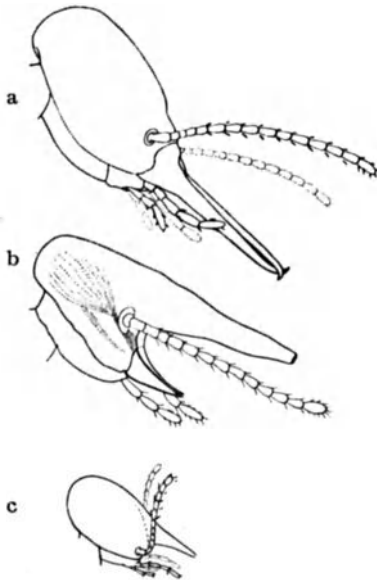


Fig. 5. Verschiedene Soldaten-Typen. a) Kiefer-Soldat von *Amitermes* (Mittel- und Südamerika); große Kiefer, kleine Stirndrüse. — b) Kiefer-Nasutus von *Anoplotermes* (Misiones, Nord-Argentinien), große Kiefer und große Stirndrüse. Diese Art von Soldaten wurde in natürlichen Nestern niemals beobachtet und nur im Laboratorium erzielt. — c) Nasen-Soldat (= Nasutus) von *Nasutitermes* (Südamerika). Keine Kiefer, riesige Stirndrüse.

der Brutpflege. Ihr mütterlicher oder väterlicher Instinkt ist demnach mit der Ausschaltung der Keimdrüsen nicht verschwunden, und so erweisen sie sich als das, was man bei höheren Termiten wie bei Bienen und Ameisen als „Arbeiter“ bezeichnet; als eine Sonderkaste also, die bis zum Imaginalstadium fortgeschritten ist. Für den *Kaloterme*s-Staat, welcher in den älteren Larven und den jüngeren Nymphen eine genügend große Zahl arbeitender Nestgenossen besitzt, ist der praktische Wert dieser geschlechtslos gewordenen Imagines jetzt sicher gering; für die Vorfahren der Termiten, deren Brutpflege vermutlich ebenso wie jetzt noch bei manchen Schaben sich nur auf die jüngsten

Entwicklungsstadien beschränkte, könnte die Anwesenheit solcher Helfer noch von Bedeutung sein. Für die theoretische Betrachtung liefert jedenfalls die Entdeckung dieser „falschen Könige und Königinnen“, sowie die Feststellung ihrer Entstehung durch Verkümmern der Gonaden und ihrer Funktion als Mitarbeiter eine wertvolle Bereicherung. Gestatten sie es doch, uns eine bessere Vorstellung davon zu machen, wie bei primitiven Insekten aus einfacher Brutpflege Vorstufen staatlichen Lebens entstanden.

Sie geben außerdem noch Hinweise auf die erstmalige Ausbildung anderer

Sonderkasten

im Termiten-Staat, die überall auf ähnliche Weise, aber aus *Entwicklungsstadien* hervorgehen. Bei den höheren Termiten-Gruppen (Meso- und Meta-termitiden) gibt es echte Arbeiter, die nicht, wie bei den primitiveren Formen (Masto- und Pro-

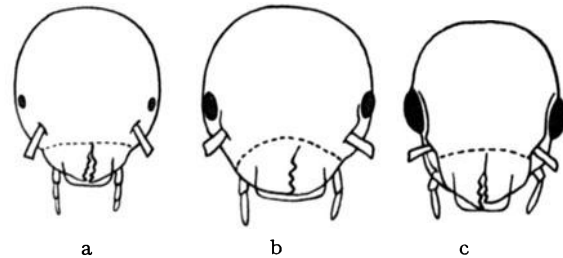


Fig. 6. Köpfe von *Kaloterme*s *chilensis* (Süd-Chile). a) Arbeiter mit kleinen Augen, die bei anderen *Kaloterme*s-Arten sogar fehlen (z. B. bei *Kaloterme*s *flavicolis*). b) Ersatzgeschlechtstier mit mittelgroßen Augen. c) Geschlechtstier mit großen Augen.

termitiden), nur ältere, noch umbildungsfähige Larven sind, sondern ein Endstadium und damit eine besondere Kaste darstellen. Sie verhalten sich, da sie geschlechtsuntüchtig wurden, zu den ihnen angehörigen Larvenformen ähnlich wie die „Achrestogonime“ zu den echten Königen und Königinnen. Als Abzweigungspunkte kommen in Betracht die Larvenstadien III, IV und V (vgl. Tabelle 1), und damit stimmt überein, daß bei manchen hochentwickelten Termiten (wie z. B. bei *Trinervitermes*) tatsächlich auch dreierlei verschiedene echte Arbeiterkaste gefunden werden. Meist sind allerdings nicht alle diese Möglichkeiten verwirklicht; wie schon erwähnt, gibt es bei *Kaloterme*s und anderen primitiveren Formen nach jetziger Kenntnis überhaupt keine besondere Arbeiterkaste, die sich aber vielleicht einmal durch besondere Bedingungen herausdifferenziert.

Ähnlich wie mit den echten Arbeitern steht es mit den Soldaten: es gibt hier die gleichen Möglichkeiten der Abzweigung (Larvenstadium III—V, vgl. Tabelle 1), und demgemäß Termiten mit 3 (*Capritermes*, *Acanthoterme*s u. a.), mit 2 (wie *Kaloterme*s, *Mirotermes* u. a.), mit 1 (*Mastoterme*s, *Reticuliterme*s u. a.) sowie ohne jede Soldatenkaste (*Anoplotermes*), und hier, bei *Anoplotermes*, ist es

wirklich geglückt, im Kunstnest die fehlenden Soldaten zu erzielen, und zwar in einem Typ, der in der Natur nie vorkommt (Fig. 5 b).

Damit sind wir bei dem Problem angelangt, was denn für die Entstehung der Sonderkasten verantwortlich gemacht werden muß. Es besteht nach jetziger Kenntnis wohl Übereinstimmung darüber, daß es nicht genetische Faktoren sind, wie man gelegentlich annahm, sondern äußere Bedingungen (ESCHERICH, EMERY, WEYER, KALSHOVEN u. a.), und zwar besondere Ernährung zu bestimmter Zeit (GOETSCH), welche, ähnlich wie bei den Ameisen, die Entwicklungsrichtung festlegt (vgl. Naturwiss. 25, 803). Als Ernährung kommen für die bisher genauer untersuchten Termitenlarven in Betracht: Holz- und verrottete Pflanzenteile, welche sie schon vom Stadium II an selbständig aufnehmen und mit Hilfe der Symbionten verwerteten; Eier und eigene Nestgenossen, die oft schon vor ihrem Ende eifrig angenagt werden, sowie endlich Abscheidungen bestimmter Futterdrüsen, die für die erwachsenen Königinnen und Könige meist die alleinige Speise darstellen. Hinzu kommt dann noch bei vielen Formen vorverdaute Holznahrung und Kot, den die ersten Larvenstadien unmittelbar am After älterer Tiere aufnehmen und sich so mit Symbionten infizieren, sowie Mycelien, die vermutlich der Eiweißnahrung (Eier, Larven) entsprechen und außerdem, wie dort, Chitin liefern.

Nach dem, was wir bis jetzt wissen, scheint ebenso wie bei den Ameisen feste Eiweißnahrung die Soldatenentwicklung zu begünstigen. Dies läßt

sich daraus schließen, daß bei den in der Natur soldatenlosen *Anoplotermes* Großköpfe und ihre Vorstadien dann entstanden, als infolge unnatürlicher Verhältnisse nur Eier und Leichen verzehrt wurden. Weiterhin ist bei *Kalotermes*-Arten die Prozentzahl der Soldaten in jungen, kleinen Nestern, in welchen immer viel Eier gefressen und verfüttert werden, stets stark erhöht gegenüber großen Staaten mit viel Pflegern, die Holz in Massen zernagen und verarbeiten (vgl. Tabelle 4 sowie GOETSCH, KALSHOVEN u. a.). Vermutlich werden die verschiedenen Stadien nie *einseitig* gefüttert, es spielt vielmehr eine bestimmte Menge eines bestimmten Futters zu einer bestimmten Zeit eine Rolle, um die Entwicklung in dieser oder jener Richtung zu beeinflussen. So ist es auch zu erklären, daß in jungen Staaten mit geringer Nahrungsmenge alle zuerst schlüpfenden Tiere kleiner bleiben, aber sich doch auch Soldaten bilden (Tabelle 4, lfd. Nr. 1—5).

Bei den erst nach Abschluß der Niederschrift erfolgreichen Versuchen, absichtlich Großköpfe zu erhalten, entstanden die Soldaten lediglich in Nestern, in welchen viele Leichen gefressen wurden, wie z. B. in der Kultur I, wo in $4\frac{1}{2}$ Mon. die Zahl der Tiere von 70 auf 20 sank. Es kann dies Eiweißfutter aber nur zu einer bestimmten Zeit wirken, wie die kleine Kultur B zeigte. Hier befanden sich die Tiere in einem einfachen Holznest; d. h. in einem ausgehöhlten Brettchen, das mit einer Glasscheibe bedeckt war. 5 Monate lang war an der Kultur, die fast ausschließlich von Holz lebte und nur gelegentlich eine Leiche

Tabelle 4. *Kalotermes flavicollis*. Übersicht über die Anfangsnester aus Ischia.

Kultur	Alter Jahre	Bemerkungen	Geschlechtstiere (zu Beginn) ¹⁾	Eier	Larven Stad. I—III	„Arbeiter“ Stad. III—VI		Nymphen Stad. VII	Imagines	Soldaten		Verhältnis Arb. : Sold.		
						klein	groß			klein	groß			
1	19	I	gezüchtet	Gründer ♀ u. ♂	+	einige	4	—	—	—	1	—	4 : 1	
2	7	ca. I	einjähriger	Gründer ♀ u. ♂	+	—	5	—	—	—	1	—	5 : 1	
3	25	ca. I	Zuchtkolonie	Gründer ♀ u. ♂	+	5	3	—	—	—	1	—	3 : 1	
4	15	ca. I	gleich	Gründer ♀ u. ♂	+	13	3	—	—	—	1	—	4 : 1	
5	16	I—2	etwas größere	Gründ.-♀, Ers.-♂ ²⁾	+	40	3	—	—	—	6	2	3 : 1	
6	I A	ca. 2	Bauten, wenig	Ers.-♀, Gründ.-♂	+	einige	ca. 40	—	—	—	2	4	7 : 1	
7	9	ca. 2	Kot	Gründ.-♀, Ers.-♂ ²⁾	+	10	ca. 65	—	—	—	10	1	6 : 1	
8	8	2—3	noch keine	—	—	—	—	22	—	—	1	2	11 : 1	
9	4	2—3	Nymphen	—	—	—	—	65	—	—	1	7	8 : 1	
10	6	2—3	wenig Kot,	Ers.-♀ ³⁾	—	15	—	40	2	—	1	2	13 : 1	
11	99	2—3	noch Gründer	Gründ.-♀, Ers.-♂	+	99	7	—	269	—	ca. 50	5	16	14 : 1
12	22	ca. 3	vorhanden	Ers.-♀, Gründ.-♂	+	303	391	—	621	248	7	22	17	16 : 1
13	13 AB	alt	Teilstücke	— Ers.-♂ ³⁾	—	—	5	—	59	11	—	—	4	15 : 1
14	2	„	von alten	—	—	—	9	—	63	5	—	—	4	16 : 1
15	5	„	Nestern; lange	—	—	—	16	—	42	einige	—	—	2	21 : 1
16	11	„	verlassene	—	—	—	—	—	84	2	—	—	4	21 : 1
17	3	„	Gänge, mit	—	—	—	7	—	23	einige	—	—	1	23 : 1
18	17	„	Kotmassen	—	—	+	14	—	23	2	—	—	1	23 : 1
19	I III	„	angefüllt;	—	—	—	—	—	ca. 50	einige	—	—	2	25 : 1
20	14	„	Nymphen	—	—	—	—	—	63	einige	—	—	2	31 : 1
21	10	„	vorhanden	—	—	—	—	—	127	9	—	—	4	32 : 1
22	I B	„	—	—	—	—	—	—	ca. 20	einige	—	—	—	?

¹⁾ Bei allen Nestern ohne Geschlechtstiere gab es später Ersatzgeschlechter.

²⁾ Hier wurde eine der ersten Nymphen zu einem Ersatz-♂.

³⁾ Das Geschlecht war nicht genau feststellbar.

verzehrte, nichts zu bemerken. Als aber infolge zu starker Befeuchtung die Hälfte der Termiten innerhalb zweier Tage einging, und die andere Hälfte die Leichen auffraß, bekam ein frisch gehäutetes Kalotermes-Männchen des Stad. IV einen großen Kopf und verlängerte Mandibeln. *Der auslösende Faktor der Eiweißnahrung traf hier mit der Bereitschafts-Phase unmittelbar nach der Häutung zusammen und ließ so beinahe unter meinen Augen einen Soldaten entstehen.*

In stark besiedelten Nestern mit vielen Pflegern steht den Jungen neben anderem Futter auch viel Nahrung aus den Kopfdrüsen zur Verfügung, eine Art Nährspeichel, welcher in der Hauptsache dem Königspaar gegeben wird. Dieser Futtersaft begünstigt bei der Königin das oft riesige Anschwellen des Hinterleibes (Fig. 4); er bewirkt aber auch die Entwicklung der Larven in Richtung zu Geschlechtstieren. Wenn nun in einem Nest das Königspaar stirbt oder weggenommen wird, dann steht Nahrungsspeichel im Überfluß zur Verfügung, es erhalten nunmehr alle möglichen anderen Tiere mehr von dieser besonderen Nahrung als sonst, und so kommt es schließlich dazu, daß sog.

Ersatzgeschlechtstiere

auftreten.

Dieser „Monarchen“-Ersatz kann nun bei ein und derselben Termitenart ganz verschieden aussehen. Es handelt sich nie um echte Weibchen oder Männchen mit normal abgeworfenen Schwingen; wohl aber können Tiere mit mehr oder weniger entwickelten Flügeln dabei angetroffen werden, ferner solche mit und ohne Flügelscheiden, gelegentlich sogar Individuen vom Soldatentyp, die ihrerseits wieder mit oder ohne Flügelanlagen auftreten. Da das Aussehen all dieser Tiere je nach dem Alter wechselt, gibt es eine Fülle von Möglichkeiten, deren Deutung und Entstehung bis jetzt nie recht gelang (vgl. WEYER).

Dadurch, daß ich noch einen ganz neuen Typ von Ersatzköniginnen in meinen Zuchten erzielen konnte, vermehrte sich die Zahl der Möglichkeiten noch etwas; dieser neue Typ liefert aber gleichzeitig den Schlüssel zum Verständnis der anderen Ersatztiere und gestattete außerdem den Anschluß an die echten Könige und Königinnen. Es handelt sich bei diesen Tieren um Spätnymphen (Fig. 3a), die in engen Holznestern unter einer Anzahl größerer Larven zu Imagines wurden. Die schlüpfenden Tiere vermochten im beengten Raum der Zuchtgefäße ihre Flügel nicht richtig zu entfalten; ihre in Ausbreitung befindlichen, noch nicht voll entspannten Schwingen klebten vielmehr an den Wänden der Nester an und verkümmerten auf diese Weise. Hierdurch wurde der Entwicklungsablauf stark verzögert; das tat sich beispielsweise kund in verlangsamter Ausfärbung des Pigments. Erhielten solche Tiere, die durch das Ankleben teilweise unbeweglich geworden waren, von den Nestgenossen viel Futter, so wurde die Weiterentwicklung in Richtung auf das endgültige Imago-

stadium gehemmt, die Pigmentierung von Thorax und Abdomen blieb hell und auch der Fettkörper nahm nicht so ab wie bei Normaltieren. Dagegen begannen die Keimdrüsen zu wachsen und waren nach kurzer Zeit so funktionsfähig, daß Eier abgelegt werden konnten, — weit zeitiger als bei Normalweibchen, die, wie wir sahen, ja auch erst geflogen und mit einem Männchen zusammen gegründet haben mußten, bevor die Eiablage begann.

Es wurde demnach auf diesem kurzen, innerhalb weniger Tage ablaufenden Entwicklungsstadium eine Hemmung der Gesamtentwicklung erzielt, während die Keimdrüsen sich beschleunigt entfalteten.

Ganz das gleiche geschah nun auch in Versuchen, bei denen verschiedene *Larvenformen* benutzt wurden: auch sie vermochten sich dann, wenn sie ohne echte „Monarchen“ gehalten wurden, in geschlechtstüchtige Formen zu verwandeln, obwohl die Weiterentwicklung im Gesamtbau gehemmt blieb. Es entstanden so mit anderen Worten in den Zuchten die schon aus Freilandnestern bekannten *Ersatzgeschlechtstiere*; wenn man von einem während der Versuchszeit ausgestorbenen Nest absieht, sogar in 100% der Fälle, wie Tabelle 2 zeigt, und zwar Ersatzgeschlechtstiere, deren Auftreten und Weiterbildung dauernd kontrolliert war.

Als Ausgangsform kamen in Betracht Frühnymphen (Stadium VI) oder die Larvenstadien V und IV. In jedem der 3 Fälle wurde nach etwa 2 Monaten Eiablage festgestellt, sofern es sich um Weibchen handelte, oder die Geschlechtstüchtigkeit durch die später noch zu behandelnden Versuche biologisch kontrolliert. Es kam der Beobachtung zugute, daß mit beginnender Ausbildung der Gonaden sich ein, wenn auch nur geringer, Farbumschlag einstellt; die sonst gelblich-weiße Tönung des Körpers ging zunächst in ein schwer beschreibbares opalisierendes Bläulich-Violett über, das, als man erst darauf eingestellt war, sofort erkannt werden konnte. Später machte sich die Verfärbung auch dadurch geltend, daß die Augen pigmentiert wurden, die bei den Larven und Frühnymphen von *Kalotermes flavicollis* im Gegensatz zu *Kalotermes chilensis* nicht erkennbar sind (vgl. Fig. 6). Die Verfärbung, die einmal sogar schon am 3. Tage erkennbar war, nahm nur allmählich zu, um nach 3 Monaten etwa leicht hellbraun zu werden und sich später so darzustellen, wie die Ersatzgeschlechtstiere in der Literatur beschrieben werden.

Nachdem die schon von GRASSI festgestellte Möglichkeit, bei Abwesenheit von König und Königin in verhältnismäßig kurzer Zeit Ersatzgeschlechtstiere zu erhalten, hier im großen bestätigt war, ging ich dazu über, einen voll erwachsenen Staat (Nest 22) in viele Kulturen aufzuteilen. Die für das Problem in Betracht kommenden Versuche sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Aus dieser Tabelle sowie aus gleichzeitig

laufenden „Kleinststaaten“ von nur 3—6 Tieren, aus Nestern mit *nur* Soldaten oder *nur* Ersatztieren, aus Hungerkulturen in leeren Gipsnestern, sowie endlich Kontrollkolonien mit Geschlechtstüchtigen ließen sich dann einzelne Faktoren herauschälen, die für die Umbildung verantwortlich gemacht werden müssen.

Zunächst war festzustellen, daß die gleichen Termiten, die während des Zusammenlebens im gemeinsamen Staat in 3 Monaten gerade nur 4 Ersatztiere geliefert hatten, jetzt nach der Trennung in nicht ganz 2 Monaten 16 aufzogen. Als zweites ergab sich, daß die Umbildung sehr rasch vor sich ging; bei manchen Teilnestern (22 H.G. VI C u. VI) waren sie schon am 10. bis 11. Tage, bei einem anderen, dem die umgebildeten Ersatztiere wieder weggenommen wurden, sogar schon am 3. Tage erkennbar. Im Zusammenhang damit konnte die Frage geklärt werden, ob der Umbildung eine Häutung vorausgehen hat. Diese Frage ist dahin zu beantworten, daß bei frisch gehäuteten Individuen die Umbildung schneller geschieht; die Tiere sind dann, wie auch WEYER meint, in einer Art embryonaler Umprägbarkeit. Es ist aber keinesfalls so, als ob der Reiz, welcher die Umbildung bewirkt, *vor* einer Häutung einsetzen müßte und erst *nach* der Häutung erkennbar wäre; die verschiedenen Larvenstadien wandeln sich vielmehr unmittelbar um, wie schon KALSHOVEN aus seinen Experimenten schloß. Es wandelten sich auch, genau wie bei diesen Versuchen, nicht nur die Frühnymphen (Stadium VI) um, sondern Larven ohne Flügelstummel (Stadium V u. IV); für Stadium III fehlt mir noch der Beleg. Die Umbildung ging in gleicher Zeit vor sich bei Hungertieren oder solchen, die an Stelle der gewohnten Nahrung mit Zucker oder Hefe gefüttert wurden. In völlig leeren Gipsnestern schritten sogar die dort entstandenen Ersatzweibchen der Stadien VI und V schon nach etwa einem Monat zur Eiablage.

Daraus geht eindeutig hervor, daß für die Entstehung des Ersatzes lediglich die Fütterung mit den Abscheidungen der Kopfdrüsen in Betracht kommen kann, denn andere Nahrung stand den Hungertieren gar nicht zur Verfügung.

Eine äußere Umbildung ließ sich dagegen nie feststellen bei Kleinnestern von 4 Tieren und weniger; in diesen Fällen reicht vermutlich das Futter nicht aus. Interessant ist dagegen, daß doch einmal bei einem Nest mit nur 3 Tieren (1 ♂, 2 ♀) bei einem Weibchen nach einem Monat eine geringere Vergrößerung des Ovars festgestellt werden konnte. Es war aber kleiner als bei den übrigen Ersatzweibchen und enthielt nur 4 Eiröhren (Tabelle 3, 22 S.). Danach ist offenbar die Stärke der Ausbildung von dem Quantum des Futtersaftes abhängig, wie dies ja auch an anderer Stelle angenommen werden muß: Eine einzige Königin schwillt um so mehr an, je stärker der Staat ist; wird sie durch mehrere Ersatztiere abgelöst, so erreicht keine derselben die völlige Größe.

Aus der Tabelle 2 geht ebenfalls hervor, daß man im allgemeinen auf *mehr* Ersatztiere zählen kann, wenn *viele* Fütterer vorhanden sind; wir werden später sehen, daß bei zu wenig Pflegern junge Ersatztiere sogar rückgebildet werden können (vgl. Bemerkungen zu Tabelle 3). Noch nicht spruchreif ist die Frage, warum bei Nestern mit nur Nymphen die Umbildung unterblieb (Teilnest 22 P u. R u. a.). Es ist aber auch möglich, daß man den Monarchenersatz bei Stadium VII einfach nicht erkannte. Da die Tiere auf diesem Stadium Augen- und Geschlechtsorgananlagen besitzen, ist es kaum möglich zu sagen, ob man eine Übergangsform zu echten Imagines vor sich hat oder künftige Ersatztiere. FR. WEYER hat bei *Microcerotermes* Ersatzgeschlechtstiere auch von Stadium VII beobachtet, so daß solche Tiere wohl auch bei *Kaloterme*s möglich sind. Sind doch meine imaginalen Ersatzweibchen ein deutliches Zeichen dafür, daß sogar das Stadium VIII noch unmittelbar umbildungsfähig ist.

Versuche zur Erzielung von Ersatzgeschlechtstieren der Stadien VII, die aus Mangel an geeignetem Material nur in kleinerem Maßstabe stattfanden, brachte bisher keine endgültige Klärung; sie zeigten aber überraschenderweise, daß man auch künstlich geschlechtstüchtige

Soldaten-Männchen und -Weibchen

unmittelbar heranziehen kann. In eine Kultur (10 A) waren eingesetzt 9 Spätnymphen (Stadium VII), 38 Frühnymphen (Stadium VI) sowie 4 Soldaten. Durch Verwandlung zum späteren Stadium und Abfliegen der Imagines bestand das Nest noch 3 Wochen aus 38 Spätnymphen, 1 Frühnymphe und noch 2 Soldaten. Die Untersuchung ergab bei den Nymphen kein eindeutiges Kennzeichen der Ersatzgeschlechtstiere, wohl aber war unter den zwei Soldaten der eine ein geschlechtstüchtiges Männchen mit voll ausgebildetem Hoden, der andere ein Weibchen mit reifen Eiern. Beide Tiere erwiesen sich im Vergleich zu anderen Soldaten als besonders stark ausgefärbt. Auch in anderen Nestern, wie z. B. in 22 FI mit 6 Soldaten beiderlei Geschlechts und 5 Larven, zeigte die Sektion, daß in genau derselben Zeit wie bei Arbeitern (Tabelle 3) ein Soldat schon nach 11 Tagen wohl ausgebildete Ovarien besaß.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde den Soldaten auch bei den anderen Nestern erhöhtes Interesse zugewandt. Es ergab sich dabei, daß in Nest 4, in welchem sich gegen die Erwartung trotz großer Zahl von Arbeitern während 3³/₄ Monaten zunächst nur 1 Ersatzweibchen erkennen ließ (Tabelle 2, Nr. 4), einer der 6 Soldaten ein voll entwickeltes Männchen, ein anderer ein Weibchen war; die übrigen zeigten keine Gonaden oder nur Anlagen.

Im Nest 9, das nur 5 Soldaten enthielt, unterblieb die Ausbildung von Ersatztieren. Dies konnte daran liegen, daß hier zu wenig Individuen zusammensaßen; der Grund konnte aber auch ein anderer sein: Alle Tiere waren *Männchen*, und in

solchen Fällen unterblieb auch bei Arbeitern die Ausbildung von Ersatz-Königen oder -Königinnen (vgl. Tabelle 3 B, sowie Tabelle 2 Bemerkung zu Nest 6).

Wir kommen damit zu einem neuen Punkt: Es muß allem Anschein nach stets mindestens ein Tier des anderen Geschlechts im Nest sein, wenn Ersatzgeschlechtstiere auftreten sollen. Es spielten also nicht nur bestimmte Mengen des Futtersaftes eine Rolle, sondern auch vermutlich Stoffe, die das andere Geschlecht abscheidet.

Hemmung und Rückbildung.

Damit sind wir wieder bei Erscheinungen angelangt, die wir schon bei der normalen Nestgründung fanden: auch dort bildet sich ein Männchen oder Weibchen nicht weiter, sofern sich ihm nicht ein Partner zugesellt. Nur bei Anwesenheit des anderen Geschlechts schwillt das Abdomen richtig an, und die Schwellung geht wieder zurück, wenn der Geschlechtspartner fehlt oder Überzählige aus der Hochzeitskammer ausgeschlossen werden.

Die Ersatztiere verhalten sich nun ganz so wie die vollwertigen Geschlechter; sie vermögen übrigens auch dann, wenn sie reif geworden sind, allein oder in Verbindung mit Normal-Imagines neue Staaten zu gründen. Dies geschah beispielsweise bei Nest A I, wo beide Partner Ersatztiere, und 10 D, 10 E, 22 II und 77, wo Männchen oder Weibchen Entflügelte waren. Die Rückentwicklung der Kennzeichen einer Umbildung zeigten dagegen die isolierten Tiere, welche infolge nicht abgeschlossener Ausbildung noch der Ernährung mit Futtersäften bedurften, oder die mit unreifen Geschlechtspartnern irgendwelcher Art zusammengesetzten Männchen und Weibchen. So enthielt z. B. Nest 8 zwei Ersatzmännchen und ein nicht voll entwickeltes Ersatzweibchen. Schon nach 12 Tagen ließ sich bei diesen ein Rückgang der Färbung erkennen, und die braunen Augen verblaßten immer mehr. Bei den Männchen dauerte die Rückfärbung etwas länger; die anatomische Untersuchung ergab aber, daß die Hoden in Rückbildung waren. Bei Nest C 10, mit einer Imago und einem Ersatzweibchen, ging bei dem ersten die Ovarbildung nicht weiter, wie die äußerliche Betrachtung und die spätere Sektion ergab; das zweite Weibchen bildete die Färbung wieder zurück, so daß von den Augen zuletzt nur die Umrisse sichtbar blieben, und das Ovar zeigte nach dem Abtöten typische Zerfallerscheinungen (vgl. WEYER). Mit am schönsten waren die Beobachtungen an dem Ersatzweibchen des Versuches 11 B, das im Kunstnest bereits längere Zeit über Eier gelegt hatte. Nach der Isolierung bildeten sich Färbung sowohl wie Ovar wieder völlig zurück, so daß es von einer Larve des Stadiums VI kaum unterschieden werden konnte. Bemerkenswert ist endlich, daß auch nur erst angelegte Kennzeichen einer Umbildung in Richtung zum Ersatz rückgängig gemacht werden und solche Tiere dann wieder

normalen Larven gleichen. Dies geschah z. B. bei Männchen des Nestes 22 A, in welchem bei nur wenig Pflegern 4 Ersatztiere lebten (vgl. Bemerkungen bei Tabelle 3). Solche Tiere, bei denen die Entwicklung *gehemmt* ist, werden vermutlich in einem großen Nest viel mehr vorhanden sein als feststellbar ist, und sie sind es sicherlich auch, die schon in kürzester Zeit zu Geschlechtstüchtigen heranwachsen, wie dies sich beispielsweise bei Nestern ergab, wo nach Entfernung von König und Königin schon nach 3 Tagen Anzeichen dafür erkennbar wurden. Auch hierfür haben wir ja ein Analogon bei der normalen Gründung, wo die in Bereitschaft stehenden Tiere, auch wenn längere Zeit in der Entwicklung gehemmt, nur eines auslösenden Anstoßes bedürfen. —

Bei einem Rückblick über die Vorgänge bei der Staatengründung und der Entwicklung von Ersatzgeschlechtstieren ergibt sich eine einheitliche Linie, die immer wieder auf zwei Faktoren beruht, nämlich auf

Bereitschaft und Auslösung.

Durch entwicklungsgeschichtliche Vorgänge werden die Geflügelten bereit zum Hochzeitsflug; um ihn auszuführen, bedürfen sie eines auslösenden Faktors. Der Hochzeitsflug selbst liefert die Vorbedingung für den Abwurf der Flügel, den Liebes-spaziergang und das Zusammenhalten der Partner; alle diese Vorgänge unterbleiben bei seinem Ausfall. Bei Ernährung mit dem Futter, das bei Anwesenheit geschlechtstüchtiger Könige und Königinnen diesen zugute kommt, wird bei den verschiedensten Larvenformen die Gonadenbildung gefördert, die Normalentwicklung dagegen gehemmt, und dies bildet wieder die Vorbedingung für den Ersatz. Denn solche Tiere können sich, wenn als auslösender Faktor die Anwesenheit von Geschlechtspartnern hinzukommt, zu wirklichen Ersatz-Königen und -Königinnen umbilden, in genau der gleichen Weise, wie auch die entflügelten Imagines ihre Gonaden weiter entwickeln, wenn ein Tier des anderen Geschlechts vorhanden ist.

Überall muß der auslösende Faktor auch zur *richtigen Zeit* eintreten, sonst ist er unwirksam; dies ergibt sich z. B. bei der Soldaten-Entwicklung. Fehlt der auslösende Faktor zur richtigen Zeit, so sehen wir sogar Rückbildung der Bereitschaft, wie die überalterten Könige und Königinnen zeigen, sowie die Ersatztiere, die wieder larvenähnlich werden. Aber sogar dann, wenn durch bestimmte Ernährung und zu bestimmter Zeit eine Entwicklung eingeschlagen ist, die nicht mehr rückgängig gemacht werden kann, wirkt ein auslösender Faktor noch gelegentlich; dies zeigen am eindrucklichsten die geschlechtsreif werdenden Soldaten.

Daß in vielen dieser Fälle, sei es für die Bereitschaftsstellung oder für die auslösenden Reize, die

Wirksamkeit bestimmter Stoffe

eine Rolle spielt, ist anzunehmen. Um welche Stoffe es sich handelt, muß noch festgestellt

werden; wir können hier nur darauf hinweisen, daß bei dem Wurm *Bonellia* ebenfalls Abscheidungen des anderen Geschlechts Hemmung der Entwicklung und frühzeitige männliche Keimbildung bewirkt, und daß weiterhin bei Amphibien Schilddrüsenextrakt die Gesamtentwicklung der Kaulquappen sehr beschleunigt, das Wachstum aber abstoppt und in gewissem Gegensatz dazu Stoffe der Thymusdrüse die Larven groß werden lassen, die Entwicklung (Metamorphose) aber hemmen. Mit solchen Riesenlarven, die wir bei Fröschen, Kröten und Molchen leicht herstellen können, haben die Ersatzgeschlechtstiere der Termiten eine gewisse Ähnlichkeit, am meisten vielleicht mit den sog. neotenischen Larven von *Amblystoma* (Axolotl), die normalerweise geschlechtsreif werden.

Alle solche Fragen lassen sich hier nur ganz kurz streifen, und ebenso andere allgemein-biologische Probleme, die sich bei der Betrachtung der Termitenentwicklung ergeben.

So steht z. B. in Wechselwirkung

die Symbiose der Einzeltiere und die Pilzzucht der Gesamtheit,

wie unsere Untersuchungen bereits ergaben, derart, daß bei Pilznahrung auch bei den normalerweise Flagellaten beherbergenden *Kaloterme*s die Protozoenfauna im Darm stark eingedämmt wurde.

Im Zusammenhang damit ist zu erwähnen die sog. organizistische Betrachtungsweise, welche die Insektenstaaten als Organismen höherer Ordnung auffaßt. Erinnern wollen wir dabei nur noch einmal daran, daß wir bei den Termiten ein

staatliches Regenerationsvermögen

fanden, welches auch im einzelnen an die Wiederherstellungsvorgänge bei niederen Tieren anklängt, wenn wir die *Elemente der Regeneration* berücksichtigen. Die indifferenten Larvenformen der Stadien I—III sind vergleichbar den nicht differenzierten Regenerationszellen, neben denen es dann noch solche gibt, die bereits relativ determiniert erscheinen: in gleicher Weise wie die älteren Larven von *Kaloterme*s, die zwar schon in Richtung zu Geschlechtstieren festgelegt sind und keine Soldaten mehr werden können, wohl aber noch die verschiedensten Arten von Männchen und Weibchen. Sie *warten* gewissermaßen nur auf auslösende Reize, ganz gleich den betreffenden Zellen einer Hydra und einer Planarie, um als Ersatz in Funktion treten zu können, und sind ebenso manchmal nur zu beginnender Entwicklung angeregt, um dann wieder gestoppt zu werden. Und wie bei der Individualregeneration manchmal an Stelle des verlorengegangenen Organs deren mehrere entstehen, werden auch durch das staatliche Wiederherstellungsvermögen der Termiten viele zugleich geschaffen, wie sich bei den Ersatzgeschlechtstieren immer wieder ergibt, als ein Zeichen dafür, daß hier wie dort eine *bewußte* Planung nicht vorliegt.

So ergeben sich auch gelegentlich einmal Sinnlosigkeiten, wie die Entstehung vieler Männchen im Termitenstaat ohne Weibchen, oder umgekehrt (vgl. Tabelle 2 u. 3), oder aber die Ausbildung von mundlosen, jedoch stark bewaffneten Hydren, wie sie in meinen Versuchen auftraten (GOETSCH 1925).

Solche Wehrformen erweisen sich indessen bei der zusammengefaßten Vielheit (Hydroiden-Kolonien) als Vorteil, so wenig lebensfähig sie *allein* sind, und ähnlich steht es mit den Soldaten der Termiten, die als Einzelwesen eine Sinnlosigkeit darstellen, im Staate dagegen von Nutzen sind.

Mit den Organismen höherer Ordnung hat man die Insektenstaaten ja schon oft verglichen, ohne allerdings wohl darauf hinzuweisen, daß sich bei ihnen sogar eine Art

Generationswechsel

anbahnt, wenn wir dies Wort im weitesten Sinne anwenden. Sehen wir doch bei manchen Formen, wie auch gerade bei *Kaloterme*s, daß die Gründer nach Erzeugung einer Anzahl von Nachkommen sterben und durch andersgestaltete Männchen und Weibchen ihrer Nachkommen ersetzt werden. Diese sind es im allgemeinen, welche dann erst wieder richtig geflügelte Individuen erzielen.

Dies führt zu einem weiteren Punkt: der

Entwicklung neuer Formtypen,

wie sie sich am ausgeprägtesten in dem spontanen Auftreten vorher nicht vorhandener Soldaten bei *Anoploterme*s unmittelbar im Laboratorium ergab.

Wir dürfen annehmen, daß in der Natur sich die Vorgänge ähnlich abspielen: daß nämlich aus irgendeinem Grunde, vielleicht durch gar nicht in Erscheinung tretende Genmutationen, eine latente Bereitschaft zu Extremformen entstand, eine besondere Reaktionsform besonders plastischer Organe, welche dann unter dem Einfluß eines auslösenden Reizes plötzlich die Sonderkaste lieferte. So übergangslos und so verschieden von den früheren Typen, daß man sie oft, wie die Soldaten, als andere Art oder vielleicht sogar Familie ansehen würde, wenn man um ihre Herkunft nichts wüßte. Eine verschiedene Umwelt als auslösender Reiz liefert dann sicherlich auch *verschiedenartige* Soldaten, so daß es mir nicht ganz richtig erscheint, auf Grund der *Soldaten* besondere Arten aufzustellen. So sind, wie bei vielen anderen Formen, die Larven und Imagines der chilenischen *Kaloterme*s völlig gleich, die Soldaten aber im Norden und Süden verschieden. Bei einer konsequenten Durchführung eines solchen Gesichtspunktes müßte man ja auch meine Breslauer *Anoploterme*s als eine andere Gattung ansehen, da gerade die „Waffenlosigkeit“ als so typisch angesehen wurde, daß man der weitverbreiteten Gattung diesen Namen gab.

Die einmal erworbene Plastizität der Formen trug sicher dazu bei, die

Anfänge der Gemeinschaft

zu fördern, für welche die Termiten von ihren Vorfahren, den Schaben (Blattaria), schon allerlei

mitbrachten. Wie noch nicht abgeschlossene Versuche zeigten, gibt es dort neben Brutpflege besonders bei jungen Tieren einen starken Zusammenhalt auf Grund von Geruchsstoffen, ja sogar eine Vorstufe des Alarms. Der Schritt zu einer festeren Familiengemeinschaft durch Mithilfe von Larven und geschlechtslosen Imagines, die wir bei *Kaloterme*s kennenlernten, ist dann gar nicht so groß. Wenn dann auf die oben beschriebene Weise noch Soldaten dazugekommen sind und sich so die Arbeitsteilung verstärkte, dann sind wir schon angekommen bei den Staaten der primitiveren Mastotermiden und Protermiden. Von ihnen gibt es nur gradweise Unterschiede zu den Meso- und Metatermitiden mit ihrer so komplizierten und so sinn-

voll sich abspielenden Organisation, gegen welche sogar der Mensch zur Zeit meist noch völlig machtlos ist.

Zu den Problemen der Morphologie und Physiologie, der Entwicklung und der Soziologie, welche immer wieder an die Grundfragen der Biologie heranführen, kommt bei den Termiten demnach noch das Problem ihrer *Bekämpfung*. Es ist nur im Zusammenhang mit dem genauen Studium der Biologie zu lösen; denn nur dann, wenn wir einen Gegner ganz genau kennen, ist es möglich, Schritte zu seiner Vernichtung zu unternehmen.

Ausführliches Schriftenverzeichnis in: W. GOETSCH, Vergleichende Biologie der Insekten-Staaten. Leipzig 1940.

Chromosomenmutationen nach UV.-Bestrahlung¹⁾.

Von J. STRAUB, Berlin-Dahlem.

Die experimentelle Mutationsforschung versucht neben anderem, die physikalisch-chemischen Vorgänge zu erfassen, welche sich bei der Entstehung von Mutationen in der Zelle oder im Kern abspielen. Ein Weg zu diesem Ziel ist dadurch gekennzeichnet, daß der Einfluß von verschiedenwelliger Strahlung an den Chromosomen beobachtet wird. Verhältnismäßig gut sind unter diesem Gesichtspunkt die Wirkungen von Röntgenstrahlen einerseits, der UV.-Strahlung andererseits untersucht worden. Eingehende Analysen verdanken wir STADLER und SPRAGUE (1, 2, 3) sowie STADLER (4). Es ist zum Verständnis unserer eigenen Versuche nötig, kurz die Methoden dieser Autoren zu nennen. Ihr Versuchsobjekt war der Mais, *Zea mays*. Die Feststellung von Chromosomenmutationen geschah größtenteils auf rein genetischem Wege. Normale Eizellen wurden durch Bestäubung mit UV.-bestrahltem Pollen befruchtet. Unter Anwendung einer bestimmten Genkombination lassen sich dann einzelne Deficiencias (= Stückverluste) unmittelbar an der Schale des jungen Maisornes, andere an der erwachsenen Pflanze erkennen; Translokationen und Inversionen verraten sich an den Pollenverhältnissen der blühenden Pflanzen oder sind im Ablauf der Meiosis direkt nachweisbar. Die wesentlichen Ergebnisse von STADLER und SPRAGUE sind durch folgende vier Unterschiede der UV.-Strahlenwirkung gegenüber der Röntgenwirkung gekennzeichnet: 1. Im UV.-Versuch ist die Zahl der Translokationen gering [zu derselben Feststellung gelangten MÜLLER und MACKENZIE (5) bei *Drosophila*]. 2. Die Stückverluste sind nach UV.-Strahlung in großer Zahl haploid lebensfähig, sind also ziemlich klein. 3. Die UV.-Stückverluste liegen terminal. 4. Im UV.-Versuch treten besonders viele Samen mit toten Embryonen auf. Mit anderem Objekt und anderer Methode hatten hernach SAX und MATHER (6) sowie GILES (7) die Identität von röntgeninduzierten und spontan entstandenen Chromosomenmutationen nachgewiesen. Hier ließen sich die Veränderungen im Bau der Chromosomen während der Pollenmitose von TRADESCANTIA (im Röntgenversuch unmittelbar nach Bestrahlung des Ruhekerne)s direkt beobachten. Die Identität der jeweils entstandenen Mutationen zeigte sich — neben anderem — in einer spezifischen Anfälligkeit der einzelnen Chromo-

somenabschnitte für Chromosomenbrüche. Sie waren nämlich in beiden Fällen in der proximalen Schenkelgegend wesentlich häufiger als in der distalen. Dieser Befund erschien besonders im Hinblick auf die Resultate von STADLER und SPRAGUE bemerkenswert. Nachdem wir [STRAUB (8)] gelegentlich einer Röntgenuntersuchung bei *Gasteria trigona*, einer südafrikanischen Liliacee, hinsichtlich der Bruchverteilung zu demselben Resultat wie SAX und MATHER — allerdings mit weit kleinerem Zahlenmaterial — kommen konnten, schien es uns lohnenswert, bei *Gasteria* auch einmal die chromosomalen Mutationen hinsichtlich der Bruchstellenlage nach UV.-Strahlung zu analysieren.

Die Feststellung der chromosomalen Mutationen geschah auf cytologischem Wege. Unbehandelte Fruchtknoten wurden zu diesem Zweck mit Pollen bestäubt, der zuvor verschiedenen UV.-Strahlungen („Asta“-Quecksilberdampflampe, 1 m Abstand, meist 30 Minuten) ausgesetzt war. Die entstehenden Embryonen entnahmen wir zu geeigneter Zeit [vgl. STRAUB (9)] den jungen Samen und analysierten in ihnen die vorhandenen Kernteilungen. Beim Auspräparieren der jungen Embryonen ergab sich, daß eine große Zahl sehr schwächlich ausgebildet war. Sie stellte die Hauptmasse der Embryonen dar, die chromosomale Stückverluste besaßen. Es zeigte sich im Laufe der Untersuchungen weiter, daß nur die Stückverluste geeignet waren, die Verteilung der Bruchstellen längs der Chromosomen zu erkennen. Da 200 normal ausgebildete Embryonen ausschließlich normale Chromosomengarnituren enthielten, vereinfachten wir deshalb die Untersuchungen so, daß nur die irgendwie schwach entwickelten Embryonen zur cytologischen Bearbeitung herangezogen wurden¹⁾. Diese Methode der cytologischen Analyse von Embryonen besitzt den Vorteil, daß man alle und dabei besonders auch jene chromosomalen Mutationen noch erfaßt, die grobe Veränderungen bedeuten. Wie unten gezeigt wird, konnte gerade dadurch das Wesen der chromosomalen Mutationen nach UV.-Wirkung klarer erkannt werden.

Zum Verständnis der Befunde seien die chromosomalen Verhältnisse bei *Gasteria* kurz dargestellt. Der diploide Satz (14) setzt sich aus 8 fast gleich langen, großen (G) Chromosomen (etwa 17 μ) und 6 gleich langen, kleinen (g) Chromosomen (etwa 4,5 μ) zu-

¹⁾ Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem, Abteilung F. v. WETTSTEIN. Eingegangen den 14. Dezember 1940.

¹⁾ Ich danke Fräulein HELGA STÄRTZENBACH für ihre Hilfe bestens.

sammen (Fig. 1). Alle sind heterobrachial (d. h. haben verschieden lange Arme). Die 8 großen, auf die sich unsere Beobachtungen fast ausnahmslos beziehen, sind

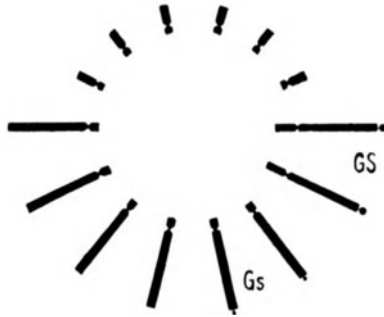


Fig. 1. Schema des diploiden Chromosomensatzes von *Gasteria*. *GS* und *Gs* Satellitenchromosomen.

leicht in 2 Gruppen von je 4 zu sondern. Die einen 4 sind Satelliten-Chromosomen. Das eine Satellitenpaar besitzt 2 auffallend große Satelliten und kann außerdem

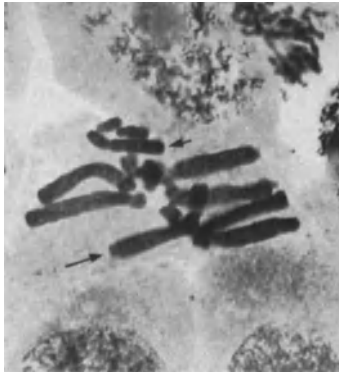


Fig. 2. Metaphase einer Mitose im Embryo, Stückverlust im langen Arm von *GS* zeigend. Langer Pfeil: Normales *GS*. Kurzer Pfeil: *GS* mit terminalem Stückverlust. $\times 850$.



Fig. 3. Anaphase, Stückverlust im langen Arm von *GS* zeigend. Bedeutung der Pfeile wie in Fig. 2. $\times 850$.

dadurch von allen anderen unterschieden werden, daß sein kurzer Arm am größten ist (*GS*-Chromosom). Das andere Satellitenpaar ist entsprechend identifizierbar (*Gs*-Chromosom).

Die Resultate waren folgende: Auf 1800 Embryonen kamen 210 schwach ausgebildete. Von diesen waren 116 mitotisch normal. 19 konnten nicht genau analysiert werden, 75 besaßen erkennbare chromosomale Mutationen (normalerweise kommt auf etwa 300 Embryonen eine chromosomale Mutation). Von diesen schieden 4 aus, da sie in bezug auf die chromosomalen Änderungen Chimären darstellten, also den „fractional-Deficiencies“ von *Zea mays* grundsätzlich entsprachen, mit dem Unterschied, daß in unseren Versuchen die Beziehung zur UV.-Strahlung als auslösende Ursache nicht gesichert werden konnte. Die 71 Embryonen, welche Mutationen in allen Zellen erkennen ließen, setzten sich zusammen aus:

- 50 mit einfachem Stückverlust (50×1 Bruch) (Fig. 2, 3),
- 8 „ doppeltem Stückverlust (8×2 Brüche) (Fig. 4),
- 1 „ einfachem Stückverlust + 1 Translokation (1×3 Brüche),
- 2 „ einfachem Stückverlust + Umbauvorgang, dem 2 Brüche zugrunde liegen müssen (2×3 Brüche),
- 1 „ einfachem Stückverlust, daneben trisom (1×1 Bruch),
- 2 „ Isochromosomen (= Translokationen) (2 mal 2 Brüche),
- 1 „ bizenrischem Chromosom (= Translokation) (1×2 Brüche),
- 1 „ Ringchromosom (1×2 Brüche) (Fig. 5),
- 3 Trisome, 1 Hypodiploider, 1 Haploider.

Bei den Satellitenchromosomen ließ sich nachweisen, daß die Stückverluste bis auf eine einzige Ausnahme terminale waren. Das gleiche kann für die



Fig. 4. Frühe Metaphase, doppelten Stückverlust zeigend. Langer Pfeil: *G* = Chromosom mit Stückverlust. Kurzer Pfeil: *Gs* mit extrem starkem, terminalem Stückverlust. $\times 1100$.

Nichtsatellitenchromosomen angenommen werden. Dadurch ließ sich die Lage von 71 Bruchstellen (aus 53 Fällen mit einmaligem Stückverlust, 8 mit zweifachem und 1 mit Translokation) bestimmen. Ihre Verteilung längs des langen Armes eines *G*-Chromosomes wird in Fig. 6 dargestellt. Die *Bruchhäufigkeit* ist, von Einzelheiten sehen wir ab, *proximal wesentlich höher als distal*. Es steht also fest, daß bei UV.-Strahlenwirkung die Manifestation der Brüche hinsichtlich der Lage im Chromosom den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei Röntgenstrahlenwirkung folgt.

Damit ist auch nachgewiesen, daß die UV.-Strahlenwirkung — wenigstens bei *Gasteria* — nicht charakterisiert ist durch die vermehrte Auslösung von besonders kleinen Stückverlusten. Nach MULLER und



Fig. 5. Metaphase mit Ringchromosom. $\times 850$.

MACKENZIE soll das bei *Drosophila* der Fall sein, und auch bei *Zea mays* waren nach STADLER und SPRAGUE die UV.-Stückverluste in hohem Prozentsatz haploid lebensfähig. Es ist aber recht wahrscheinlich, daß in diesen beiden Fällen gerade die groben Stückverluste

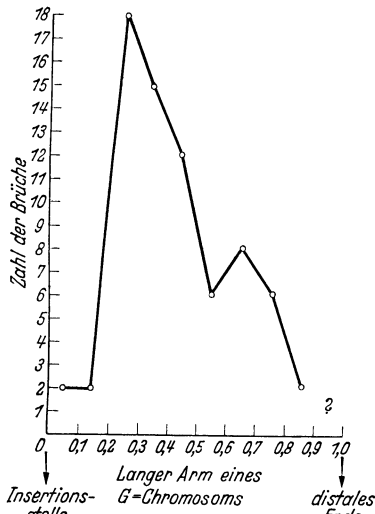


Fig. 6. Graphische Darstellung der Bruchstellenhäufigkeit im langen Arm der G-Chromosomen.

wegen der angewendeten Methode überhaupt nicht erfaßbar waren; denn starke Deficiencies fallen dort wegen der Entwicklungshemmung der entsprechenden Embryonen für die Analyse aus. Es bleibt als Charakteristikum der „UV.-Mutationen“ nur das seltene Auftreten von Translokationen und die terminale Lage der

Stückverluste. Über die relative Häufigkeit der Translokationen können wir bei unserer Methode nur dürftige Aussagen machen. Aber angesichts der Tatsache, daß wir 51 Embryonen mit einfachen Stückverlusten, 8 mit doppeltem Verlust und 2 mit dreifachem Bruch fanden, erscheint die erhaltene Translokationszahl von 4 gering. Aus diesem Befund und der Tatsache der terminalen Lage der Deficiencies läßt sich das seltene Auftreten der Translokationen nach UV.-Strahlung näher charakterisieren: Die Zahl der überhaupt auslösbaren Brüche des Chromonemas ist bei UV.-Strahlung nicht zu klein, um Translokationen zu ergeben. Oder anders dargestellt: Die Zahl der für eine Translokation nötigen Brüche wird nicht erst durch eine letale Dosis erreicht. Zur Ablehnung dieser Vorstellung konnte auch STADLER (4) durch den Vergleich der UV.-Wirkung mit dem Einfluß schwächster Röntgendosen kommen. Unsere Versuche machen nunmehr auf direktem Wege die Erklärung sehr wahrscheinlich, die schon BAUER (10) an Hand der Befunde von STADLER gibt: Nach UV.-Bestrahlung werden die freien Bruchenden bzw. die Stellen der Rekombinationsfähigkeit leichter oder früher stabil als im Röntgenversuch. Die Feststellung eines derartigen Verhaltens ist wesentlich für das Verständnis der Grundvorgänge bei der Auslösung von chromosomalen Mutationen [vgl. BAUER (10)].

Abschließend sei hervorgehoben, daß unsere Befunde über die Bruchstellenverteilung längs des Chromosoms die Gleichheit eines Teiles der primären Wirkungen von UV.- und Röntgenstrahlen sicherstellen. In diesem Zusammenhang sind Ergebnisse von v. MÖLLENDORF und LAQUEUR (11) bemerkenswert. Dort wird das Verhalten der Zellen in Fibrocytenkulturen nach UV.-Bestrahlung untersucht: Zunächst verlangsamt sich die Mitosegeschwindigkeit, dann folgt eine mitosenfreie Zwischenzeit, hierauf schließlich ein Mitosenanstieg; in der letzten Phase sterben die Zellen nach Anwendung einer kräftigen Dosis ab. Diese Vorgänge sind im Prinzip die gleichen wie diejenigen, welche wir von der Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Mitose kennen [vgl. MARQUARDT (12)]. Allerdings ist im Röntgenversuch nachgewiesen, daß der Zelltod nach extremen Chromosomenveränderungen eintritt. Es wäre nachzuprüfen, ob nicht auch die „giftigen Substanzen“, welche v. MÖLLENDORF und LAQUEUR für den Zelltod nach UV.-Bestrahlung verantwortlich machen, von chromosomalen Schädigungen begleitet sind.

Literatur.

- (1) Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **22**, 572—578 (1936).
- (2) Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **22**, 579—583 (1936).
- (3) Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A. **22**, 584—591 (1936).
- (4) Proceedings of the 6th. intern. congr. of Genetics, Edinburgh 1939, in press.
- (5) Nature (Lond.) **1939** I, 83—84.
- (6) J. Genetics **37**, 483—490 (1939).
- (7) Genetics **25**, 69—87 (1939).
- (8) Ber. dtsh. bot. Ges. **57**, 155—174 Generalvers.-Heft, 1939.
- (9) Z. Bot. **34**, 385—480 (1939).
- (10) Chromosoma **1**, 343—390 (1939).
- (11) Z. Zellforsch. **28**, 310—340 (1938).
- (12) Z. Bot. **32**, 401—482 (1938).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die östrogene Wirkung von Derivaten des Diäthylstilböstrols.

Im Rahmen unserer Spezifitätsuntersuchungen an synthetischen Östrogenen haben wir schon vor längerer Zeit die in der folgenden Tabelle enthaltenen Derivate des Di-

äthylstilböstrols I(R = R₁ = H) (trans-3,4-Di-(p-oxphenyl)-n-3-hexen)¹⁾ dargestellt und ihre physiologische Wirkung untersucht. Vor allem interessierte uns die Frage, ob nicht durch Glukosidifizierung Präparate mit günstigeren therapeutischen Eigenschaften zu erhalten wären. Es erschien möglich, daß solche Präparate bessere Verhältnisse bei der

Ausscheidung aus dem Organismus zeigen würden als das Diäthylstilböstrol. Dessen manchmal beobachteten Nebenwirkungen beim Menschen und die bei hohen Dosen an Tieren auftretenden toxischen Wirkungen sind vielleicht auf die Tatsache²⁾ zurückzuführen, daß dieser Stoff im Organismus viel schwieriger inaktiviert wird als das Östron und die anderen natürlichen Östrogene.

Von Interesse ist auch die relativ starke Wirksamkeit des Monomethyläthers des Diäthylstilböstrols, dessen Dimethyläther nur in viel höheren Dosen eine allerdings lang andauernde Wirkung zeigt³⁾.

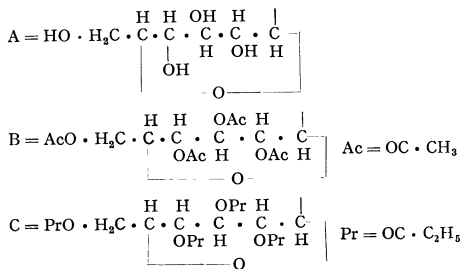
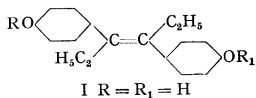
Einige Präparate befinden sich in klinischer Prüfung.

Wien, II. Chemisches Universitätslaboratorium, den 10. Dezember 1940.

F. v. WESELY. E. KERSCHAUM. A. BAUER.

F. SCHIMKE.

Substanz	R	R ₁	Schmelzpunkt	[α] _D
II	CH ₃	H	114°	—
III	A	H	enthält Kristall-H ₂ O	-25,55° in Pyridin
IV	B	H	172° n. d. Trocknen bei 130° i. V.	-20,56° in Pyridin
V	B	COCH ₃	148°	-33,46° in Pyridin -40,91° in Benzol
VI	C	COC ₂ H ₅	116°	—
VII	B	B	221°	—



Die biologische Prüfung der obigen Substanzen erfolgte im Allan-Doisy-Test an kastrierten erwachsenen weiblichen Ratten. Die zu prüfende Dosis erhielten die Tiere in einer einzigen Injektion bzw. Fütterung verabreicht. Als Lösungsmittel für die Substanzen wurde Ölsäureäthylester verwendet. Um die oft beträchtlichen Schwankungen in der Empfindlichkeit der Tiere je nach Jahreszeit und anderen Ursachen auszuschalten, wurde stets bei den endgültigen Auswertungen eine bekannte östrogene Substanz, z. B. Diäthylstilböstrol, Dipropionat des Diäthylstilböstrols oder Östron gleichzeitig mit der zu untersuchenden Substanz in verschiedenen Dosen verabreicht. — Die in der folgenden Tabelle angeführten Zahlen geben — unter Berücksichtigung der erwähnten Schwankungen — jene Gewichtsmenge in Gamma an, welche bei 100% der Tiere Vollöstrus erzeugen.

Substanz	bei subkutaner Injektion	bei Verfütterung
Diäthylstilböstrol I	1—1,5	4—6
Dipropionat d. Diäthylstilb.	1,25—2	6—8
Östron	2,5—4,5	60—80
II	6—9	—
III	3—4	4—6
IV	4—5	—
V	2,5—4	4—6
VI	12—16	—
VII	15—20	—

Aus der Tabelle geht einerseits die bereits bekannte Überlegenheit des Diäthylstilböstrols und seiner Derivate über das natürliche Hormon bei peroraler Anwendung deutlich hervor; andererseits zeigt sich, daß die glukosidischen Derivate des Diäthylstilböstrols zwar bei subkutaner Verabreichung dem Diäthylstilböstrol unterlegen sind, bei peroraler Verabreichung aber ihm in keiner Weise nachstehen. Bei den acylierten Glukosidderivaten läßt sich auch deutlich die protharierte Wirkung, der sog. Estereffekt, beobachten.

¹⁾ F. v. WESELY, H. WELLEBA, Naturwiss. 28 (1940) (im Erscheinen).

²⁾ B. ZONDEK, W. SULMAN, Nature (Lond.) 144, 596 (1939).

³⁾ E. C. DODDS, L. GOLBERG, N. LAWSON, SIR R. ROBINSON, Proc. roy. Soc. Lond. B 127, 140 (1939).

Zur Kenntnis der Ellagengerbstoffe.

Vor einiger Zeit wurde berichtet¹⁾, daß den Ellagengerbstoffen als Strukturprinzip die Tetra-galloyl-ellagsäure zugrunde liegt. Die weiteren Untersuchungen zeigten aber das Ergebnis, daß diese Auffassung nicht zutreffend ist.

Die zunächst gewonnenen Präparate waren noch nicht einheitlich. Erst jetzt ist es gelungen, die schwer trennbaren kolloidalen Gemische in einzelne Gerbstoffanteile zu zerlegen. Die Arbeiten mit diesen nicht kristallisierten Anteilen haben ergeben, daß die Ellagengerbstoffe zu den hydrolysierbaren Gerbstoffen zu rechnen sind und in verschiedenen Verbindungstypen in der Natur auftreten. Diese Gerbstoffe sollen zunächst nach ihrem optischen Drehvermögen in rechts- und linksdrehende Gerbstoffe eingeteilt werden.

Rechtsdrehende Ellagengerbstoffe. 1. Gerbstoff aus Algarobilla. Die saure Hydrolyse eines Anteiles liefert Ellagsäure, Gallussäure und Zucker. Aus dem Gerbstoffmolekül spaltet Emulsin Ellagsäure ab, diese haftet also am 1. C-Atom der Glucose. Entschieden ist noch nicht, ob sie über ein Phenolhydroxyl oder eines ihrer Carboxyle gebunden ist. Der Algarobillagerbstoff ist ein Ellago-gallo-tannin. 2. Gerbstoff aus Aleppogallen. Bei der sauren Hydrolyse dieses Gerbstoffes wurde ebenfalls Ellagsäure, Gallussäure und Zucker gefunden. Emulsin spaltet aus dem Molekülverband keine Ellagsäure heraus. Hier ist es wahrscheinlich, daß an der Ellagsäure, zum Unterschied von Algarobilla, noch depsidartig verknüpfte Gallussäure verankert ist. Während die Ellagsäure im Algarobillagerbstoff als Dilacton oder Mono-lacton (Luteosäuretypus) vorliegt, tritt sie uns hier in der offenen Form, Säureform, entgegen. Der Aleppogallengerbstoff ist ebenfalls den Ellago-gallo-tanninen zuzuordnen (evtl. einer Untergruppe). Aus dem Gerbstoffgemisch der Aleppogallen konnte außerdem ein kristallisiertes Produkt, wahrscheinlich ein Glucosegallat, erhalten werden.

Links-drehende Ellagengerbstoffe. Zu den linksdrehenden Gerbstoffen zählen Divi-Divi, Eichen, Knopperrn, Myrobalanen, Valonea, Granatbaum. Die saure Hydrolyse bestimmter Anteile dieser Gerbstoffe liefert wiederum Ellagsäure, Gallussäure und Zucker. Außerdem ist es nicht unwahrscheinlich, daß ein weiterer Baustein, z. B. eine aliphatische Säure (evtl. optisch aktiv) mit am Molekülaufbau beteiligt ist. Weiter ist es möglich, daß andere Anteile keinen Zucker enthalten. Diese Fragen können erst endgültig mit neuen Spaltungsmethoden, welche in Bearbeitung sind, gelöst werden. In den Gerbstoffen dürfte die Ellagsäure mit dem Zucker glucosidisch, mit der Gallussäure depsidartig verknüpfte werden. Die verschiedenen Drehwerte der einzelnen Gerbstoffe dürften darauf zurückzuführen sein, daß in den Molekülen die Zucker- bzw. Galloyl- oder weitere Gruppen in der Zahl variieren. In sämtlichen Gerbstoffen ist die Ellagsäure geöffnet. Es handelt sich um einen ganz neuen Gerbstofftypus.

Zur Ermittlung der Molekulargröße und der endgültigen Konstitutionsermittlung werden augenblicklich sämtliche Gerbstofftypen weiteren Reinigungsprozessen unterworfen. Aus dem Gerbstoffgemisch des Granatbaumes ist die Abtrennung eines Ellagsäureglucosids gelungen.

Die einzelnen Versuchsergebnisse werden in Liebigs Anzeiger veröffentlicht werden, und ich behalte mir die weitere Bearbeitung der Ellagengerbstoffe ausdrücklich vor.

Dresden, Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung, den 8. Dezember 1940.

L. REICHEL.

¹⁾ Naturwiss. 27, 628 (1939).

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

10. Januar 1941

Heft 2

Otto von Eberhard zum Gedächtnis.

Von H. SCHARDIN, Berlin-Gatow.

Am 17. Oktober des vergangenen Jahres verschied Professor Dr.-Ing. e. h. OTTO RITTER VON EBERHARD. Mit ihm verliert die deutsche Wissenschaft und Technik einen der bedeutendsten Vertreter der Ballistik und Waffenforschung. Nicht zuletzt ist es seinen zahlreichen Arbeiten zu verdanken, wenn in Deutschland dieses Gebiet zu einer anerkannten technisch-physikalischen Fachwissenschaft geworden ist.

In den letzten Jahrzehnten hat man in fast allen Zweigen der Technik versucht, durch umfassende und zahlreiche Arbeiten das wissenschaftliche Fundament so auszubauen, daß die gestaltende Technik aus dem Stadium der reinen Empirie herausgehoben werden konnte. So ist man heute in der Lage, die günstigsten Konstruktionsdaten einer Maschine für einen bestimmten Zweck im großen und ganzen vorauszuberechnen. Wenn das auf dem Gebiet der Waffentechnik heute noch nicht so ganz der Fall ist, dann ist das durch zahlreiche Gründe bedingt. Zwei der wesentlichsten sind folgende:

1. Die Waffentechnik hat mit Größenordnungen zu rechnen, die im Vergleich zu denen der übrigen Technik als außerordentlich extrem anzusehen sind: Geschwindigkeiten von 1000 m/s und darüber, Drücke von 4000 at, bei Detonationsvorgängen sogar etwa 10000 at, außerordentlich kurze Zeiten u. dergl. Zudem hat man es fast niemals mit stationären oder eingeschwungenen Vorgängen zu tun. Es handelt sich also in der Waffentechnik um die Bewältigung sehr schwieriger technischer Aufgaben. Sie nach modernen Gesichtspunkten zu lösen, wird voll und ganz erst möglich sein, nachdem die Waffenforschung noch viele grundsätzliche Fragen geklärt hat.

2. Trotz der zahlreichen Aufgaben ist jedoch die Zahl der auf diesem Gebiet tätigen Forscher nur klein. In der Zeit nach dem Weltkrieg war einmal das Interesse an ballistischen und waffentechnischen Fragen sehr gering, zudem war eine Betätigung auf dem Gebiete auf Grund der Bestimmungen des Versailler Diktates fast unterbunden. Für einen speziell ausgebildeten Nachwuchs war im wesentlichen nur die Schule des Geheimrats C. CRANZ vorhanden, der ja auch Professor v. EBERHARD angehörte. So wurden dann mit dem Beginn der Wiederaufrüstung alle verfügbaren Kräfte derart mit Tagesaufgaben belastet, daß für Forschungsarbeiten keine Zeit übrig blieb.

Gerade aus diesen Gesichtspunkten heraus bedeutet das Hinscheiden des Professor v. EBERHARD einen sehr großen Verlust. Etwa seit 1903, zuerst als Offizier, danach als wissenschaftlicher Mit-

arbeiter der Firma Krupp ununterbrochen auf dem Gebiete der Ballistik und Waffentechnik tätig, verfügte er über einen unermeßlichen Schatz von Erfahrungen. Er war mit dem nötigen Rüstzeug versehen, um als exakter Wissenschaftler fundamentale Fragen von hoher Warte aus zu behandeln. Mitten aus diesem Schaffen ist er herausgerissen worden.

O. v. EBERHARD ist am 3. Februar 1877 zu Frankfurt a. M. geboren. Von 1893—1896 besuchte er die k. u. k. technische Militärakademie in Wien, 1896 wurde er Leutnant, 1900 Oberleutnant beim Korps-Artillerie-Regiment Freiherr v. Ludwig Nr. 14. 1901 trat er als Leutnant in preußische Dienste über und wurde als solcher 1903 zur Militärtechnischen Akademie nach Berlin kommandiert. Hier war er Schüler des Geheimrats CRANZ und wurde auf Grund seiner Befähigung und sehr guten technisch-wissenschaftlichen Vorbildung der erste Assistent am CRANZschen Laboratorium. Beim experimentellen Arbeiten verlor er durch einen Unfall einen Finger und wurde infolgedessen 1906 als charakterisierter Oberleutnant verabschiedet. Daraufhin trat er in die Dienste der Firma Krupp. 1912 wurde er Assistent des Direktoriums und Handlungsbevollmächtigter, ein Jahr danach Prokurist.

Bei Krupp war er unter der Leitung von Professor RAUSENBERGER an der Entwicklung großkalibriger und weittragender Geschütze beteiligt. Diese wurden während des Weltkrieges zu einer überraschenden und schlagkräftigen Waffe und fanden in dem „Parisgeschütz“ ihre Krönung. Die Errechnung der Flugbahnen hierfür ist voll das Verdienst v. EBERHARDS. In Anerkennung dieser Leistung erhielt er 1918 das Eiserne Kreuz am weiß-schwarzen Bande. 1919 ernannte ihn das Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung zum Professor. Die Technische Hochschule Berlin verlieh ihm 1928 für hervorragende Leistungen als Ballistiker und technischer Physiker den Dr.-Ing. E. h.

Das Hauptarbeitsgebiet Professor v. EBERHARDS war die äußere Ballistik. Die bis zum Weltkrieg angewendeten Verfahren der Flugbahnberechnung erwiesen sich insbesondere zur Ermittlung der Fernbahnen als unzureichend. v. EBERHARD führte das zwar mehr Zeit erfordernde, aber wesentlich genauere Verfahren der Berechnung einer Flugbahn in Teilbögen ein. Das bedeutete gleichzeitig, daß sich die Ballistiker inniger mit der Meteorologie befassen mußten, da für jede Flughöhe die genauen physikalischen Daten des Zustandes der Atmosphäre bekannt sein mußten.

Durch die Arbeiten v. EBERHARDS hat sich aber auch die Verbindung zu einer anderen Wissenschaft — der Strömungsphysik — für die äußere Ballistik als dringend notwendig erwiesen. Für Artilleriegeschosse waren bereits vor dem Weltkriege durch v. EBERHARD umfangreiche Messungen über den Luftwiderstand ausgeführt worden. Dieser wurde allgemein als eine Funktion der Luftdichte und der Geschößgeschwindigkeit dargestellt. Als nach dem Weltkriege jedoch das Problem der Berechnung von Flakbahnen auftrat, d. h. von Bahnen, für die nicht nur die gesamte Schußweite, sondern für die auch jeder einzelne Flugbahnpunkt mit den wahren Werten möglichst genau übereinstimmen muß, da erwies sich der bisherige Ansatz für den Luftwiderstand als völlig unzureichend. Die Bahnen waren teilweise im Gipfel so viel stärker gekrümmt, daß der Luftwiderstand nach der bisherigen Formel mitunter den dreifachen Wert hätte haben müssen, um diese Krümmung zu erklären. Die Erklärung dafür liegt darin, daß der Luftwiderstand nicht eine Funktion der Geschwindigkeit, sondern — wie es von der Gasdynamik verlangt wird — eine Funktion der MACHschen Zahl, d. h. des Verhältnisses der Geschwindigkeit zur Schallgeschwindigkeit ist. Dies erkannt und in die Praxis umgesetzt zu haben, ist ein großes Verdienst O. v. EBERHARDS.

Für das Flakschießen ist nicht nur die genaue Kenntnis des gesamten Verlaufs der Flugbahn notwendig, die schnelle Bewegung des Zieles verlangt auch eine sofortige Ermittlung der Vorhalte- und deren Umrechnung in die Abgangsdaten

für das Geschöß. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt mit Hilfe der Kommandogeräte. Auch auf diesem Gebiet hat sich v. EBERHARD betätigt. Ein diesbezüglicher Vorschlag von ihm geht prinzipiell neue Wege. Ob er sich in der Praxis bewähren wird, muß die Zukunft entscheiden.

Alle Arbeiten v. EBERHARDS über äußere Ballistik finden Erwähnung in den drei Hauptbänden und dem Ergänzungsband des Lehrbuches der Ballistik von C. CRANZ, dessen Herausgabe unter seiner Mitarbeit erfolgt ist. Man kann durch Nachschlagen in diesem Werk ersehen, an wie vielen Punkten die Entwicklung durch v. EBERHARD befruchtend beeinflußt worden ist.

Auch auf dem Gebiet der Wahrscheinlichkeitslehre hat er sich erfolgreich betätigt. Schon 1906 wurde von ihm die deutsche Übersetzung des russischen Lehrbuches von SABUDSKI: „Die Wahrscheinlichkeitsrechnung, ihre Anwendung auf das Schießen und die Theorie des Einschießens“ herausgegeben. Später ist eine Reihe von Einzelaufsätzen in den Fachzeitschriften aus seiner Feder erschienen.

Daß sich aber v. EBERHARD auch den Fragen des Geschützbaues gewidmet hat, beweist die gerade vor einem Jahr von ihm neu herausgegebene „Theorie der Rohrrücklaufgeschütze“ von RAUSENBERGER. Vieles darin ist durch v. EBERHARD neu bearbeitet worden.

Er hat somit das Gesamtgebiet der Ballistik und Waffentechnik durch zahlreiche grundlegende wissenschaftliche Arbeiten stark gefördert und sich damit einen unvergänglichen Namen geschaffen.

Über die Zusammensetzung des Porzellans und seiner Abarten.

Ein entwicklungsgeschichtlicher Überblick.

Von W. FUNK, Meißen.

Die keramischen Werkstoffe, vom Praktiker als „Massen“ bezeichnet, werden aus einer verhältnismäßig geringen Anzahl natürlicher mineralischer Rohstoffe zusammengesetzt, die in der Natur in großen Mengen vorhanden sind. Es handelt sich hierbei vor allem um Kaolin, Ton, Quarz, Feldspat und Kalkspat, in gewissen Fällen auch um Magnetit, Speckstein u. a. Unter diesen Mehrstoffsystemen, die zum Aufbau der keramischen, insbesondere der feinkeramischen Arbeitsmassen dienen, steht im Vordergrund das System „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat.

Während „Quarz“ und „Feldspat“ eindeutig festgelegt, von altersher angewandte Bezeichnungen für bestimmte Mineralien bzw. Mineralgruppen sind, trifft dies für den Begriff „Tonsubstanz“ nicht zu, sondern er ist erst im vorigen Jahrhundert, vor allem durch HERMANN SEGER (1839—1893) und JULIUS ARON (1840—1897), in die Keramik eingeführt worden. Man versteht nach ihnen unter „Tonsubstanz“ das reine Aluminiumhydroxylsilikat $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, das in kristallisierter Form als „Kaolinit“ bezeichnet

wird. Dabei nahm man an, daß die „Tonsubstanz“ nur durch heiße Schwefelsäure bestimmter Konzentration zersetzt werde, und begründete auf diesem Verhalten ein Verfahren zu ihrer Trennung von den übrigen mineralischen Bestandteilen der Kaoline und Tone, im besonderen von Quarz und Feldspat. Dieses Verfahren wird als „rationelle Analyse“ bezeichnet. Heute wissen wir, daß „Tonsubstanz“ ein „Sammelbegriff“ ist, der weniger die Bezeichnung eines mineralogisch und chemisch ganz bestimmten Individuums sein soll als die Zusammenfassung dessen, was eben durch Schwefelsäure aufgeschlossen wird¹⁾. Auch in dieser Zeitschrift ist — und zwar vom petrographischen Standpunkt aus — zur Frage der „Tonsubstanz“ bereits Stellung genommen worden, worauf hier verwiesen sei²⁾. Wenn auch auf Grund in den letzten 20 Jahren vorgenommener wissenschaftlicher, besonders mikroskopischer und röntgenographischer Untersuchungen das Bestehen einer scharf abgegrenzten

¹⁾ G. KEPPELER, Ber. dtsch. keram. Ges. 10, 501 (1929).

²⁾ C. W. CORRENS, Naturwiss. 24, 118 (1936).

einheitlichen „Tonsubstanz“ sich nicht mehr aufrechterhalten läßt, so stellt doch dieser Begriff für den Keramiker ein gutes Hilfsmittel dar, den Aufbau einer Masse rasch zu übersehen, und wird daher in Verbindung mit der rationellen Analyse in der Praxis noch viel benutzt.

Das System „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat bietet durch die Abwandelbarkeit der Mengenverhältnisse seiner Glieder viele praktische Möglichkeiten für die Zusammensetzung keramischer Massen, besonders für Porzellan, Steinzeug und Steingut. Weiter ist es aber auch dadurch, daß man den oder die Tonsubstanzträger in Form verschiedener Kaoline und Tone, ebenso auch den Quarz und Feldspat in Form verschiedener Rohstoffe in die Massen einführen kann, ferner durch Anwendung verschieden hoher Brenntemperaturen weitgehend möglich, die Eigenschaften der gefertigten Erzeugnisse in bestimmter Weise zu beeinflussen. Man kann also aus den gleichen Rohstoffen verschiedene keramische Warengattungen herstellen, je nach der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der ersteren, der gewählten quantitativen Zusammensetzung der Massen und dem Brennverfahren, und auch innerhalb der gleichen Warengattung lassen sich auf diese Weise die Eigenschaften der Erzeugnisse weitgehend abwandeln, wobei häufig noch die Art der Behandlung bei der Formgebung eine Rolle spielt.

Man nimmt für das *Porzellan* eine mittlere rationelle Zusammensetzung von 55 Gwt. Tonsubstanz, 22,5 Gwt. Quarz und 22,5 Gwt. Feldspat an, während die Zusammensetzung des *Steinguts* in Form von Feldspat- oder Hartsteingut³⁾ im Mittel etwa 50 Gwt. Tonsubstanz, 45 Gwt. Quarz und 5 Gwt. Feldspat beträgt. Zwischen ihnen steht hinsichtlich seiner Zusammensetzung und der Höhe der Brenntemperatur das *Steinzeug*, das 48 (60) Gwt. Tonsubstanz, 40 (32) Gwt. Quarz und 12 (8) Gwt. Feldspat enthält⁴⁾. *Die angegebenen Werte sind angenäherte Durchschnittswerte, für die in der Praxis ein weiter Spielraum besteht.*

Ein gewisses besonderes Interesse bietet das sog. *Feinsteinzeug*, dessen Herstellung W. PUKALL⁵⁾ eingehend beschrieben hat. Es handelt sich bei diesem Erzeugnis nicht um gewöhnliches Steinzeug, das aus mehr oder weniger dunkelfarbig brennendem Ton hergestellt und mit einer Kochsalzglasur überzogen, sondern um eine feinere Masse von silbergrauer Brennfarbe, die mit einer feldspat-haltigen, den Porzellan glasuren ähnlichen Glasur versehen wird. Brennt man dieses Feinsteinzeug bis zu Temperaturen, die etwa Segerkegel II ent-

sprechen⁶⁾, das sind angenähert 1320°, so erhält man in bezug auf den Sinterungsgrad, die Transparenz und Festigkeit des Scherbens, d. h. der gebrannten Masse, ein Erzeugnis, das sich in seinen Eigenschaften dem Porzellan nähert, sich aber von diesem durch seine weniger weiße Farbe und geringere Feuerfestigkeit unterscheidet. Dies beruht auf der Beschaffenheit der zur Zusammensetzung der Feinsteinzeugmasse verwendeten Rohstoffe, als welche gewisse feuerfeste eisenoxydarme Tone, weniger reine Kaoline, Kaolinsande, Quarzsande und Pegmatite in Betracht kommen.

Man hat dieses Feinsteinzeug in seinen höher gebrannten Abarten geradezu auch als *Tonporzellan* bezeichnet. Bereits vor Jahren hat W. PUKALL⁵⁾ darauf hingewiesen, daß derartige Tonporzellan an sich nichts Neues darstelle, denn schon „die Chinesen, dann, als ihre Schüler, die Japaner, sind es gewesen, welche zumal dieses Gebiet fleißig beackert und mit beispielloser Sorgfalt, Liebe und Kunstfertigkeit ausgebaut und gepflegt haben“.

Diesem sog. Tonporzellan stellt man gegenüber das *Kaolinporzellan*, das aus reinem Kaolin, Feldspat und Quarz hergestellt wird und im Vergleich zu dem Tonporzellan rein weiße Brennfarbe und größere Transparenz besitzt, zu seinem Garbrand auch etwas höhere Brenntemperatur erfordert. Zwischen reinem Tonporzellan und Kaolinporzellan gibt es Übergänge, also Massen, die sowohl Kaolin als auch Ton in wesentlichen Mengen enthalten. Man führt den Quarz und den Feldspat entweder getrennt oder in Form natürlicher Gemische ein, d. h. als Pegmatit od. dgl. Das benutzte Gestein kann infolge teilweiser Zersetzung (Kaolinisierung) des Feldspats außer diesem und Quarz auch Kaolin enthalten, wozu noch ein Gehalt an Glimmer treten kann.

Es können in verschiedenen Fällen Rohstoffe für die Bereitung der Porzellanmassen verwendet werden, die in ihrer chemischen Zusammensetzung weit voneinander abweichen, doch muß die Bemessung der einzelnen natürlichen Bestandteile dieser Massen mengenmäßig stets so abgestimmt werden, daß *die endgültige Zusammensetzung der Massen innerhalb der Grenzwerte liegt, die im System „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat für Porzellan in Frage kommen.* In früheren Zeiten, wo rein em-

⁶⁾ Die von H. SEGER zur Beurteilung des Brennvorgangs in die Keramik eingeführten „Schmelzkegel“ stellen eine Reihe fortlaufend numerierter länglicher tetraedrischer Körper von etwa 5 cm Höhe dar. Ihre Zusammensetzung aus mineralischen Stoffen ist so gewählt, daß ihre Schwerschmelzbarkeit der Nummer nach zunimmt. Bei steigender Ofentemperatur schreitet die Erweichung der Kegelmasse immer mehr vorwärts, und der Kegel biegt sich um, bis er mit der oberen Spitze die Unterlage berührt, auf der er steht. Je nach der Zusammensetzung tritt bei einer bestimmten Erhitzungsgeschwindigkeit das Umsinken der Kegel bei ungefähr gleichbleibender Temperatur ein. Die Kegel werden vor dem Beginn des Brandes in den Ofen eingesetzt und dann ihr Verhalten bei zunehmender Hitze von außen durch Schauöffnungen beobachtet.

³⁾ Das *Weich- oder Kalksteingut* ist hierbei außer acht gelassen, da es keinen Feldspat enthält, doch verwendet man auch Steingutmassen, die Übergänge zwischen Kalk- und Feldspatsteingut darstellen.

⁴⁾ Die eingeklammerten Zahlenwerte beziehen sich auf unglasiertes, die nicht eingeklammerten auf glasiertes Steinzeug.

⁵⁾ Sprechsaal 43, 1 ff. (1910) — Ber. dtsch. keram. Ges. 3, 280 ff. (1922).

pirisch gearbeitet wurde, befolgte man diesen Gesichtspunkt handwerksmäßig auf Grund der gemachten Erfahrungen. In neuerer Zeit legt man dem Aufbau der Porzellanmassen aus Rohstoffen wechselnder Zusammensetzung die Ergebnisse der analytisch-chemischen Untersuchung der einzelnen Materialien zugrunde. Durch Anwendung von Rohstoffen gleicher chemischer Zusammensetzung, aber verschiedener physikalischer Beschaffenheit sind weitere Möglichkeiten für die Entstehung von Erzeugnissen gegeben, deren Eigenschaften in bestimmter Richtung voneinander abweichen.

Auch in *China*, dem Ursprungslande des Porzellans⁷⁾, ist man bei der Massezusammensetzung von verschiedenen Rohstoffen ausgegangen. Die Porzellanherstellung war und ist zum Teil noch in 13 chinesischen Provinzen heimisch, unter denen an erster Stelle die Provinzen Kiang-si, Tschili, Fukien und einige andere stehen⁸⁾, wahrscheinlich wegen ihres Reichtums an Lagerstätten von Rohstoffen, die sich zur Porzellanfabrikation eignen.

Die nachstehenden Mitteilungen über chinesisches Porzellan beziehen sich im wesentlichen auf altchinesisches *feineres* Porzellan und die später in den chinesischen Werkstätten hergestellten Nachbildungen dieser feineren alten Warengattung, die bis in die neueste Zeit in einer Anzahl von Betrieben angefertigt werden, aber nicht auf die einfache Massenware, die man, wie überall in der Porzellanindustrie so auch in China, nach weniger strengen Grundsätzen herstellt.

Unsere Kenntnis der *altchinesischen Porzellan-erzeugung* beruht zum Teil auf Berichten von Europäern, die sich im Land der Mitte aufgehalten haben, zum Teil auf Niederschriften über die chinesische Porzellanherstellung und ihre Geschichte, die von Chinesen selbst verfaßt sind. Die ältesten Berichte eines Europäers⁹⁾ sind die des katholischen Missionars

⁷⁾ Nach M. STANISLAS JULIEN, *Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise* (mit Erläuterungen von M. A. SALVÉTAT), 21 (Paris 1856), ist das Porzellan in China zwischen 185 vor und 87 nach Chr. erfunden worden. Wie J. S. LEIBSON [Bull. amer. ceram. Soc. 8, 135 (1929)] angibt, sind aus einer älteren als der Sung-Dynastie (960—1279) authentische Probestücke altchinesischen Porzellans nicht vorhanden. Nach E. ZIMMERMANN (Chinesisches Porzellan, seine Geschichte, Kunst und Technik. Leipzig 1913) soll Porzellan in China zuerst vermutlich im 6. Jahrhundert nach Chr. hergestellt worden sein, da erstmalig um die Wende des 6. Jahrhunderts porzellanartige Erzeugnisse erwähnt werden. ZIMMERMANN gibt in diesem Werk eine zusammenfassende Darstellung auch der Geschichte der Erforschung des chinesischen Porzellans. Er gebraucht dabei vielfach etwas andere Schreibweisen für chinesische Orts- und Materialnamen als die Verfasser der Werke, denen er viele seiner Angaben entnommen hat. Ich habe mich an die von den älteren Verfassern gewählten Schreibweisen gehalten. D. Verf.

⁸⁾ M. STANISLAS JULIEN, a. a. O., 51, und W. J. SUTTON, Bull. amer. ceram. Soc. 17, 450—455 (1938).

⁹⁾ Von der Erwähnung des chinesischen Porzellans in den Reiseberichten des Venetianers MARCO POLO (Mém. & voyages publiés par la Société de Géographie 1, 89) soll hier abgesehen werden.

PÈRE D'ENTRECOLLES aus den Jahren 1712 und 1722. Dieser Geistliche hat sich jahrelang in King-te-tchen¹⁰⁾ aufgehalten, das ist diejenige Stadt der Provinz Kiang-si, in der sich die kaiserliche Porzellanfabrik („Yu-Yao-tschang“) und auch viele Privatbetriebe befanden, in denen Porzellan hergestellt wurde. King-te-tchen kann als Hauptort der chinesischen Porzellanindustrie bezeichnet werden. Die Berichte des P. D'ENTRECOLLES bringen aufschlußreiche, zum Teil recht genaue Nachrichten über die einzelnen Arbeitsgänge bei der chinesischen Porzellanbereitung¹¹⁾. Weniger klar und deutlich sind seine Mitteilungen über die benutzten Rohstoffe, was bei dem damaligen Stand der chemischen und mineralischen Kenntnisse im allgemeinen¹²⁾, wie auch dadurch erklärlich ist, daß D'ENTRECOLLES selbst keine Fachkenntnisse besaß, weil er weder Chemiker noch Mineralog war. Er gibt lediglich an, daß die Masse des chinesischen Porzellans aus zweierlei Rohstoffen hergestellt wurde, nämlich 1. dem pe tun tse und 2. dem kao lin, und beschreibt zwar das Aussehen und die Beschaffenheit beider, ohne daß man aber aus seinen Mitteilungen sichere Schlüsse auf deren wirkliche Natur ziehen könnte¹³⁾.

Bei den Niederschriften chinesischer Verfasser über die Porzellanherstellung in China handelt es sich vor allem um 3 Werke, die M. ST. JULIEN in Zusammenarbeit mit dem damaligen Chemiker der Porzellanmanufaktur in Sèvres M. A. SALVÉTAT teils übersetzt und in seinem Buch „Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise“¹⁴⁾ wörtlich wiedergegeben, teils als Quellen für seine Ausführungen benutzt hat. Diese Werke sind 1. Feou-liang-hien-tchi oder Geschichte und statistische Beschreibung des Distrikts von Feou-liang, zuerst veröffentlicht im Jahre 1325; sie enthält im Buch VIII eine Denkschrift „Thao-tching“, mit ausführlichen Mitteilungen über das Porzellan der kaiser-

¹⁰⁾ Auch „Chin-te-tchen“, „Kien-te-Tcheng“ oder Kin-té-tschen geschrieben.

¹¹⁾ Sie sind enthalten in dem Werke „Lettres édifiantes et curieuses, écrites des missions étrangères, Sammlung XII, 253—365, Paris 1717, sowie Bd. 19, 173—203, Paris 1781, und beruhen teils auf eigenen Beobachtungen, teils auf älteren Niederschriften chinesischer Verfasser. — LE PÈRE DUHALDE [Description de Chine 2, 213—246 (Paris 1736)] schreibt hierzu folgendes: „LE P. D'ENTRECOLLES hatte in King-te-tchen eine Kirche, und unter seinen Christen befanden sich einige, die in Porzellanbetrieben arbeiteten oder mit Porzellan handelten. Von ihnen stammen seine Kenntnisse dieser schönen Kunst. Außerdem hat er sich durch eigenen Augenschein unterrichtet und auch Fachbücher zu Rate gezogen, besonders die Annalen des Bezirks von Feou-liang, zu dem King-te-tchen gehört.“

¹²⁾ Vgl. hierzu A. BRONGNIART, *Traité des arts céramiques ou des poteries*, 2, 425ff. (Paris 1844); ferner A. JACQUEMART, *Les merveilles de la céramique* 51 ff., Paris 1874.

¹³⁾ Von Interesse ist, daß bereits P. D'ENTRECOLLES erwähnt, der Kaolin sei mit zahlreichen kleinen glänzenden Teilchen durchsetzt, was auf einen Glimmergehalt hindeutet.

¹⁴⁾ Dieses Werk von JULIEN ist bis heute die eigentliche Grundlage für die Geschichte und Technologie des chinesischen Porzellans geblieben, hat aber vor einiger Zeit durch die Veröffentlichungen von F. HIRTH sowie von W. BUSHELL wichtige Ergänzungen erfahren (vgl. E. ZIMMERMANN, a. a. O., 4).

lichen Manufaktur in King-te-tchen. 2. Thao-choue oder Abhandlungen über die Keramik, verfaßt von Tschou-thong-tch'ouen unter der Regierung des Kaisers CH'EN-LUNG in der Zeit zwischen 1736 und 1795. 3. King-te-tchen-thao-lou oder Geschichte der Porzellane von King-te-tchen, veröffentlicht im Jahre 1815 von Tching-thing-kouei. Das an zweiter Stelle genannte Quellenwerk über die altchinesische Porzellanbereitung ist ohne Zweifel das gleiche, über das neuerdings von anderer Seite einiges mitgeteilt wurde¹⁵⁾. In ihm führt sein Verfasser einen Bericht an, den T'ANG YING, zuerst Direktionsgehilfe, später Generaldirektor der kaiserlichen Porzellanfabrik in Chin-te-chen, im Jahre 1741 dem Kaiser CH'EN-LUNG erstattet hat. Dieser Bericht enthält genaue Angaben über mehrere Fundstätten und die Art der Aufbereitung der damals benutzten Porzellanrohstoffe. Als solche werden genannt: 1. Pei-tun („ein Name, der sich auf verschiedene zur Porzellanherstellung benutzte Arten von Ton bezieht und der Mundart von Chin-te-chin entstammt“¹⁶⁾) und 2. Kao-ling, Yuhung oder Chien-t'uang, worunter man „einige andere Arten von Ton, die in dem gleichen Bezirk von Jao-chow-fu gewonnen werden“, versteht. Wissenschaftlich eindeutige Folgerungen lassen sich auch aus den Angaben von T'ANG YING in bezug auf die chemisch-mineralogische Beschaffenheit dieser Rohstoffe nicht ziehen.

Im vorigen Jahrhundert haben sich besonders die Chemiker der kaiserlichen Porzellanmanufaktur in Sèvres bemüht, durch keramische und chemisch-analytische Untersuchungen Aufklärung über die Rohstoffe zu schaffen, die zur Herstellung des altchinesischen Porzellans gedient haben. Im Jahre 1850 veröffentlichten der Direktor EBELMEN und der bereits erwähnte Chemiker SALVÉTAT in Sèvres die Ergebnisse einer Untersuchung von Rohstoffen und Erzeugnissen, die ihnen im Jahre 1844 zum Teil ein chinesischer katholischer Priester J. LY von der Congrégation de Saint-Lazare, zum Teil ein in Canton aufhältlicher Franzose namens ITER übersandt hatte¹⁷⁾. Obwohl die beiden Fachmänner in dieser Arbeit eingehende Mitteilungen über die in China benutzten Rohstoffe, Massen, Glasuren und Farbemails gemacht haben, standen ihnen doch nicht alle diejenigen Untersuchungsmaterialien zur Verfügung, die zur Erzielung völliger Klarheit notwendig gewesen wären, so daß auch ihre Angaben nicht in jeder Hinsicht als zuverlässig zu bezeichnen sind. Im Jahre 1900 gelang es dem Direktor der nunmehrigen Nationalmanufaktur Sèvres, G. VOGT¹⁸⁾, weitere Aufklärung zu schaffen,

¹⁵⁾ MENG-CHANG-LING, Chinese records written two centuries ago concerning the process of manufacturing pottery. Bull. amer. ceram. Soc. 19, 29–33 (1940). Der Name des Verfassers wird hier „Chu Yeu“ geschrieben und als Titel des Buches „Tao Shuo“ angegeben, als Jahr der Herausgabe 1774.

¹⁶⁾ Nach MENG-CHANG-LING, s. vor. Anm.

¹⁷⁾ Ann. de chimie et de physique, 3. Reihe, 31, 257.

¹⁸⁾ G. VOGT, Recherches sur les porcelaines chinoises. Bull. de la société d'encouragement pour l'industrie nationale, 5. Reihe, 5, 530–612 (30. IV. 1900). (Etudes faites sur les matières recueillies à King-te-tchen et envoyées à la manufacture nationale de Sèvres par M. F. SCHERZER.) — Die Feststellungen VOGTs beziehen sich im wesentlichen auf die zu Ende des 19. Jahrhunderts in den chinesischen Porzellanbetrieben und in älterer Zeit herrschenden Verhältnisse. Nach dieser Zeit ist in der chinesischen Porzellanindustrie ein Niedergang

wenigstens soweit es sich um die Verhältnisse in der Porzellanstadt King-te-tchen handelt. Die zur Fortsetzung und Vervollständigung der Arbeiten von EBELMEN und SALVÉTAT vorgenommenen Untersuchungen wurden VOGT dadurch ermöglicht, daß der damalige französische Konsul in Han-Keou, F. SCHERZER, im Jahre 1882 der Manufaktur Sèvres eine Sammlung sämtlicher Materialien übersandte, die damals in den Porzellanfabriken in King-te-tchen benutzt wurden. Gleichzeitig erstattete SCHERZER einen ausführlichen Reisebericht, in welchem er eingehende Angaben über seine Erlebnisse und Beobachtungen in King-te-tchen machte und unter Beifügung von Zeichnungen wichtige Einzelheiten über den Verlauf und Zustand der dortigen Porzellanherstellung mitteilte.

Aus den Feststellungen von G. VOGT ergibt sich in bezug auf die in King-te-tchen zur Porzellanbereitung benutzten Rohstoffe etwa folgendes:

1. Zur Zusammensetzung der chinesischen Porzellanmassen dienten: a) *Kaolin* von Ming-cha (Ki-men), Si-ho, Hing-tze und Tong-hang; b) *Hoa-che*; c) *Pe-tun* von Cheo-Ki, Yu-kan, Ki-men, San-pao-pong, d) *Yeou-ko* von Mei-tsoung-Yao, Kouki-ki und Tou-tchang.

2. Die Kaoline enthalten in dem plastischen und in Schwefelsäure löslichen Anteil außer Kaolinit bedeutende Mengen feiner, dem bloßen Auge nicht erkennbarer Trümmer, die wahrscheinlich aus weißem Glimmer (Muskovit) oder glimmerähnlichen Mineralien bestehen¹⁹⁾.

3. *Hoa-che* ist ebenfalls Kaolin; er enthält gleichfalls viel feinen Muskovit oder glimmerähnliche Mineralien, aber nur wenig Quarz und Feldspat.

4. Die Rohstoffe Pe-tun und Yeou-Ko sind keineswegs dem Feldspat und Pegmatit ähnlich, sondern bestehen aus Quarz, Muskovit und geringen Mengen Feldspat, vor allem Albit.

5. Auf Grund des Glimmergehalts der Rohstoffe ergeben sich für die Porzellanmassen Gehalte von etwa 25% Muskovit oder anderen glimmerähnlichen Mineralien.

eingetreten. Auch SCHERZER, der Gewährsmann VOGTs, hat den beginnenden Verfall in seinen Berichten bereits angedeutet. Allerdings folgte dann durch Herstellung geschmackloser Exportware wirtschaftlich ein gewisser Aufschwung, und vor dem Weltkriege hat sich in technischer Hinsicht sogar ein Wiederaufleben der alten, einst so berühmten chinesischen Porzellan-kunst bemerkbar gemacht. Nach einer Mitteilung aus dem Jahre 1929 wurde damals fast nur noch in King-te-tchen feines Porzellan hergestellt [Ind.- u. Handelsztg v. 23. IV. 1929 und Keramos 8, 509 (1929)]. Andere chinesische Fabriken sind stillgelegt oder liefern nur Waren des täglichen Bedarfs und Massenexportware. Durch die Kriege der letzten Jahre dürfte die chinesische Porzellanindustrie noch weiter gelitten haben. Nach W. J. SUTTON (Abt. f. Chemie der Christlichen Fukien-Universität; s. Anm. 8) wird heute besseres weißes Porzellan auch noch in dem Städtchen Tehwa in der Provinz Fukien gefertigt, das gleichfalls der Sitz einer altberühmten Porzellankunst ist.

¹⁹⁾ VOGT hat den Nachweis für das Vorhandensein von Glimmer auf chemisch-analytischem Wege zu erbringen versucht. Über etwa vorgenommene Untersuchungen mit Hilfe des Mikroskops teilt er wenigstens nichts mit. Der Nachweis des Glimmers auf röntgenographischem Wege kam vor 40 Jahren noch nicht in Frage. Zu dem von VOGT benutzten Verfahren eingehender in einer keramischen Fachzeitschrift Stellung zu nehmen, möchte ich mir für später vorbehalten.

D. Verf.

6. Pe-tun ist ein Mittelding zwischen plastischem Material und Flußmittel. Yeou-Ko ist der eigentliche schmelzbare Bestandteil der Porzellanmassen. Seine Schmelzbarkeit ist etwas größer als die des Pe-tun. Er bildet auch einen Bestandteil der Porzellanmassen.

7. Die Garbrenntemperatur des chinesischen Porzellans beträgt 1270–1300°. Sie liegt also rund 100° unter der des europäischen Porzellans.

Demgemäß sind die chinesischen Glasuren entsprechend leichter schmelzbar als die in der europäischen Porzellanindustrie benutzten. Ihre Zusammensetzung ist etwas verschieden je nach der Größe der zu glasierenden Gegenstände und der Güte der herzustellenden Waren, ferner auch für weiße und farbige Massen²⁰). Als Glasurbestandteile dienen im allgemeinen der bereits erwähnte Yeou-Ko, d. h. eine Gesteinsart, die Glimmer, Quarz und Feldspat enthält, und Hoei-Yeou, das ist ein Gemisch, das man durch Brennen reinsten Kalksteins von Lo-Ping²¹) mit Holzkohle erhielt, worauf man den gebrannten Kalk mit Farnkrautblättern nochmals brannte und das erhaltene Gemisch in Wasser aufschlammte. Je nach Bedarf wurde auch noch eine gewisse Menge Pe-tun zugesetzt²⁰). In den Porzellanbetrieben von Tehwa wird der Glasur nach J. W. SUTTON⁸) außer Kalk und dem eigentlichen Massegestein Asche von Reishülsen zugesetzt.

Die Kenntnis der Porzellanbereitung ist von China wahrscheinlich über Korea nach Japan gedrungen. Bezüglich der Herstellung des *japanischen Porzellans* sei hier kurz mitgeteilt, daß in Japan als Bestandteile eine lockere plastische Erde von weißer Farbe und ein bei höherer Temperatur schmelzbares feldspathaltiges Gestein von festerem Gefüge zur Bereitung der Porzellanmasse benutzt wurden²²).

Wie aus dem bisher über das ostasiatische Porzellan Gesagten zu entnehmen ist, stellen die Porzellanmassen der Chinesen und Japaner bezüglich ihrer Zusammensetzung Glieder von Mischungsreihen dar, die sich im System „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat aufstellen lassen, nur daß hier an die Stelle von reinem Feldspat zum Teil ein anderes Alkali-Tonerdesilikat, nämlich wahrscheinlich Muskovit oder andere glimmerähnliche Mineralien, trat. Diese Feststellung bezieht sich zunächst auf die Porzellanmassen, die in der Provinz Kiang-si hergestellt wurden, kann aber wohl auch auf zahlreiche in anderen Gegenden Chinas erzeugte Massen übertragen werden. In diesem Zusammenhange ist ferner von Interesse die Angabe von J. W. SUTTON⁸), in den Porzellanfabriken von Tehwa gewinne man die plastische Masse für die Porzellanbereitung durch Zerkleinern und Schlämmen eines graulich-weißen verwitterten Gesteins, das offenbar von

²⁰) Nach MENG-CHANG-LING, a. a. O., 30.

²¹) Auch Lo-p'ing-hsien genannt (nach MENG-CHANG-LING, a. a. O.).

²²) Nach J. HOFFMANN, Mémoire sur les principales fabriques de porcelaine au Japon (Histoire et fabrication de la porcelaine chinoise, par M. ST. JULIEN, s. Anm. 7). Die Arbeit HOFFMANNs stellt eine Übersetzung eines Abschnitts des japanischen Buches Ko-kyo von KIMOMOURA dar, erschienen im Jahre 1799 in Ohosaka. Der französische Titel dieses Werkes lautet „Représentation et description des plus célèbres productions terrestres et marines“.

Natur aus eine schon fertige Porzellanmischung darstellt, also die „Tonsubstanz“ und das erforderliche Schmelz- oder Flußmittel im richtigen Verhältnis enthält. Ob als Träger der „Tonsubstanz“ vorwiegend Kaolin oder Ton benutzt wurde, diese Frage soll hier nicht entschieden werden. Deshalb möge auch dahingestellt bleiben, inwieweit die Auffassung W. PUKALLS zu recht besteht, das Porzellan der Chinesen sei „mehr oder weniger Feinsteinzeug bis hinauf zum Tonporzellan, welches letzteres auch hier und da tatsächlich einen Anteil an wirklichem Kaolin enthalten mag“. Auf jeden Fall geht aus den genannten Feststellungen hervor, daß gerade in China vielfach Rohstoffe verwendet worden sind oder noch verwendet werden, die beide wesentlichen Bestandteile des Porzellans, nämlich die „Tonsubstanz“ als feuerfesten Bestandteil und Quarz und Feldspat oder ein ihm nahestehendes Alkali-Tonerdesilikat als Flußmittelbildner, gemeinsam enthielten. Stets war hierbei die Hauptsache ein solches Mischungsverhältnis beider Arten von Bestandteilen, daß die Masse sich im rohen Zustande gut formen ließ und beim Brennen ein Porzellan ergab, das in bezug auf seine weiße Farbe, Transparenz, Härte, Dichtigkeit und Festigkeit den gestellten Anforderungen entsprach. Diesen Grundsatz beim Aufbau der Porzellanmassen praktisch unter Anpassung an die zur Verfügung stehenden Rohstoffe zur Anwendung zu bringen, darin besteht das Wesentliche bei der Porzellanbereitung.

Wie aus den alten Schriften zu ersehen ist, haben die Chinesen die natürlichen zur Porzellanzusammensetzung dienenden Rohstoffe als Pulver feinsten Körnung zur Massebereitung verwendet, so daß eine innige Mischung der Bestandteile erzielt wurde. Hierfür war auch günstig, daß, wie bereits angedeutet wurde, die einzelnen Massekomponenten sich schon von Natur aus in den Rohstoffen in engerem Bindungszustande miteinander befanden, als wenn Kaolin, Feldspat und Quarz in Form getrennter Materialien eingeführt wurden. Dies mußte zur Folge haben, daß beim Brennen des Porzellans die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Komponenten verhältnismäßig frühzeitig begann und wesentlich befördert wurde, eine Tatsache, die in neuerer Zeit auch für andere Fälle durch Untersuchungen verschiedener Forscher bestätigt worden ist²³). Damit soll nicht gesagt sein, daß das altchinesische Porzellan, wenigstens mancher Erzeugnisse, nicht auch höhere Hitzegrade verträgt. Daß dies hin-

²³) Auf die Forschungsarbeiten von R. RIEKE über „Die Wirkung von Kaliglimmer auf Kaolin“ [Sprechsaal 42, 577 ff. (1908)] und R. RIEKE und PU-YI WEN über „Die Wirkung von Kaliglimmer in Porzellanmassen“ [Ber. dtsh. keram. Ges. 20, 43 ff. (1939)] kann hier nur kurz hingewiesen werden. Aus letzterer Arbeit ist ersichtlich, daß ein Muskovitgehalt, selbst wenn er nur 5–10% beträgt, das Brennverhalten von Porzellanmassen und die Eigenschaften des fertigen Porzellans merklich beeinflusst.

sichtlich der Masse tatsächlich der Fall ist, habe ich an einigen Bruchstücken feststellen können. Die Glasur jener Stücke hielt allerdings höhere Temperaturen, als der ursprünglichen von etwa Kegel 10 entspricht, nicht aus, sondern wurde bei höherer Hitze bereits so leichtflüssig, das sie vom Scherben abzulaufen begann.

Wenn wir uns nun dem *europäischen Porzellan* zuwenden, so müssen wir zunächst feststellen, daß das erste in Europa, nämlich in Dresden, im Jahre 1709 hergestellte Porzellan kein Feldspatporzellan, sondern *Kalkporzellan* gewesen ist, d. h. ein Porzellan, dessen Masse außer der „Tonsubstanz“, in Form von Kaolin oder Ton, und dem Quarz nicht Feldspat (oder Glimmer), sondern Kalk enthielt. Man führte zu diesem Zwecke in die Porzellanmasse Calciumsulfat in Form von Gips (Alabaster) ein, der zusammen mit dem Quarz und dem Tonerdesilikat der „Tonsubstanz“ ein Calcium-Aluminiumsilikat ergab, das beim Brennen des Porzellans die glasige Grundmasse des Porzellan-scherbens bildet, während beim Feldspatporzellan diese glasige Grundmasse aus Alkali-Tonerdesilikat besteht, wobei bekanntlich in beiden Fällen in dieser Grundmasse ein großer Teil der vorhandenen freien, d. h. nichtgebundenen Kieselsäure aufgelöst wird.

Bei dem *sächsischen Porzellan*, das vom Jahre 1710 ab in der Königlichen Porzellanmanufaktur zu Meißen hergestellt wurde, handelte es sich also in der allerersten Zeit nicht um ein Glied des Systems „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat, sondern des Systems „Tonsubstanz“-Quarz-Kalk. Eine der Vorschriften für die Zusammensetzung des von JOHANN FRIEDRICH BÖTTGER bzw. seinen ersten Nachfolgern hergestellten Porzellans war folgende²⁴⁾:

- 4 Teile Porzellanerde von Aue,
- 2 „ „ Ton von Colditz,
- 1¹/₂ „ „ zarter Kiesel,
- 1¹/₂ „ „ Alabaster.

Den Ton setzte man zu, um die Bildsamkeit der Masse zu vergrößern. Der Zusatz konnte auch unterbleiben, wenn sich die Masse bei der Verarbeitung als genügend plastisch erwies. Dies wird in der alten Vorschrift ausdrücklich betont.

Reines Kalkporzellan besitzt den Nachteil, daß die Erweichung beim Erhitzen rascher vor sich geht als beim Feldspatporzellan, weil die Temperaturspanne zwischen dem Beginn der Reaktion der einzelnen Bestandteile der Porzellanmasse aufeinander und der damit verbundenen Sinterung einerseits und dem Punkte, bei dem die Masse infolge genügend fortgeschrittener Bildung eines Eutektikums zu erweichen beginnt, kürzer ist als beim Feldspatporzellan. Infolgedessen ist auch die sog. Standfestigkeit des Kalkporzellans im Brennofen geringer als die des Feldspatporzellans.

²⁴⁾ Hauptstaatsarchiv Dresden, Loc. 1341, Varia Böttger ingl. d. Manfct. Directr. sowie verschiedene Areana betr., 1701 etc.

Die französische Porzellanindustrie hat die Einführung von Kalk — in Form von Kreide — vielfach beibehalten, allerdings nicht als einzigem Flußmittelbildner, sondern in Mischung mit feldspathhaltigen Rohstoffen, und verwendet kreide- und pegmatithaltige Massen, häufig auch glimmerhaltige Kaoline. Der Kalkgehalt ist aber für viele französische Porzellanmassen charakteristisch.

Man ist aus den vorhin angegebenen Gründen in Meißen, vermutlich vom Jahre 1727 oder etwas später ab, zum Feldspatporzellan übergegangen, nachdem es gelungen war, im Lande selbst ein geeignetes Feldspatvorkommen ausfindig zu machen²⁵⁾.

Die in Meißen benutzte Porzellanmasse ist eine reine Kalkglasur ohne Zusatz von Feldspat. Über die Zusammensetzung der Porzellanmassen im allgemeinen wird später noch einiges im Zusammenhang mitgeteilt werden.

Wie in China und von da nach Japan so hat sich auch in Europa im Laufe des 18. und 19. Jahrhunderts die Kenntnis der Porzellanbereitung vom Ursprungsort weiter verbreitet, zunächst von Meißen nach anderen Orten Deutschlands, zugleich auch nach anderen Staaten des Abendlandes und schließlich über den Ozean nach Amerika. Es mag auch vorgekommen sein, daß an dieser oder jener Stelle das Geheimnis der Porzellanherstellung von einem zweiten oder dritten Erfinder selbständig ergründet worden ist. In einem Falle dürfte dies jedenfalls als erwiesen gelten²⁶⁾, nämlich beim *Thüringer Porzellan*, dessen Erfindung um das Jahr 1760 durch GEORG HEINRICH MACHELEID in Sitzendorf den Anlaß zur Gründung einer Porzellanfabrik in Sitzendorf gab, die bald darauf nach Volkstedt²⁷⁾ verlegt wurde.

Bevor von weiteren Porzellanerfindungsversuchen die Rede sein soll, die im 18. Jahrhundert oder noch früher in Europa stattgefunden haben, erscheint es zweckmäßig, zwei keramische Fachausdrücke zu erläutern, deren Verständnis nicht ohne weiteres vorausgesetzt werden kann. Es sind dies die Begriffe *Hartporzellan* und *Weichporzellan*. Diese Bezeichnungen haben nichts mit der physikalischen oder mineralogischen Eigenschaft der Härte zu tun, d. h. der Widerstandsfähigkeit der gebrannten Porzellanmasse gegen das Eindringen

²⁵⁾ W. FUNK, Kritische Bemerkungen zur Literatur über die Geschichte der europäischen Porzellanherstellung. *Keram. Rundsch.* 41, 132 (1933) (Anm. 11).

²⁶⁾ A. BRONGNIART, a. a. O., Bd. 2, 493 — W. STIEDA, Die Anfänge der Porzellanfabrikation auf dem Thüringerwalde, 30ff., Jena 1902 — Macheleid und die Thüringische Porzellanindustrie, *Keramos* 4, 443ff. (1925) — Das Arkanum des Georg Heinrich Macheleid, *Keramos*, Sonderschrift September 1925, 1 ff.

²⁷⁾ Inwieweit die Gründung dieser Fabrik Anlaß zur Errichtung von Porzellanfabriken an anderen Orten Thüringens gegeben hat, soll hier nicht erörtert werden. Ebenso kann auf die Verdienste GOTTHELF GREINERS um die Einführung der Porzellanfabrikation in Thüringen nur kurz hingewiesen werden (vgl. hierzu W. STIEDA, Die Anfänge usw. 44ff.).

eines härteren Materials, sondern sie beziehen sich auf die relative Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung höherer Temperaturen. In ähnlichem Sinne sind auch die weiter oben angewandten Begriffe „Hartsteingut“ und „Weichsteingut“ zu verstehen. Hartporzellan ist also ein Material, das infolge seiner Zusammensetzung bei höherer Temperatur gebrannt werden muß, da es erst bei höheren Hitzegraden glasig dicht brennt („die Gare erreicht“) als Weichporzellan, das diese höhere Temperatur nicht aushält, ohne zu erweichen, sich zu verziehen und schließlich zusammenzusinken. Die Garbrenntemperatur des Hartporzellans liegt je nach seiner Zusammensetzung zwischen Kegel 14 und 16, was angenähert Temperaturen von 1410 bis 1460° entspricht. Für feldspat- und quarzreiche Massen kommt die zuerstgenannte Temperatur in Betracht, während tonerdereichere Porzellanmassen höhere Brenntemperaturen erfordern. Die ostasiatischen Porzellane und ihre in Europa hergestellten Nachahmungen, wie die „neue Masse“ von SÈVRES und das Segerporzellan der Staatlichen Porzellanmanufaktur Berlin, bilden ihrer Zusammensetzung nach Übergänge vom Hartporzellan zum eigentlichen Weichporzellan oder „Weichporzellan im engeren Sinne“. Die Glasur des letzteren ist vielfach bleihaltig und wird, ähnlich wie beim Steingut, bei weniger hoher Temperatur gebrannt als die Weichporzellanmasse selbst. Solche Bleioxyd, Alkalien und alkalische Erden enthaltenden Glasuren sind auch im eigentlichen Sinne des Wortes weicher als die echte Porzellan-glasur und lassen sich mit dem Stahl ritzen, so daß in diesem Falle die Bezeichnung „Weich“-Porzellan auch in bezug auf den mineralogischen oder physikalischen Härtegrad zutrifft.

Man kann die *Weichporzellane* in *natürliche*, die ausschließlich aus natürlichen Rohstoffen bereitet werden, und in *künstliche* einteilen, zu deren Zusammensetzung neben natürlichen Rohstoffen auch künstlich hergestellte Glasfritten²⁸⁾ benutzt werden. Die Entstehung der älteren Weichporzellane, die durchgängig unter Zuhilfenahme künstlicher Fritten hergestellt worden sind, ist auf Bestrebungen zurückzuführen, die in Europa, vor allem in Frankreich, unternommen wurden, das chinesische Porzellan nachzuerfinden. Sie führten aber nicht zur Erfindung einer der Masse des chinesischen Porzellans gleichkommenden, sondern eben lediglich zu einem Weichporzellan im engeren Sinne, d. h. zu leicht schmelzbaren Porzellanen verschiedener Art.

Als leicht schmelzbares Porzellan oder Weichporzellan im engeren Sinne ist zunächst das *Frittenporzellan* zu nennen. Seine Masse bestand aus

Kreide, Kalkmergel, Quarz und einem künstlich hergestellten Glas, das man durch Zusammenschmelzen von Sand, Alaun, Gips, Soda, Salpeter, Kochsalz u. dgl. in geeigneten Mengenverhältnissen erhielt. Auch in England hat man unter Zusatz künstlicher Gläser solches Frittenporzellan hergestellt, z. B. aus Sand, Ton und feingemahlenem Flintglas²⁹⁾. Plastische Bestandteile enthielt das Frittenporzellan nur wenig. Deshalb konnte es auch nur unter Zusatz geeigneter organischer Stoffe, wie Mehl, arabischer Gummi od. dgl., verarbeitet werden. Auch beim Brennen erwies sich das Frittenporzellan als sehr empfindlich. Wegen dieser Fabrikationsschwierigkeiten hat man seine Herstellung an den meisten Stätten seiner Erzeugung schließlich wieder aufgegeben. In der Porzellanmanufaktur zu Sèvres wird bis in die neueste Zeit ein verbessertes Frittenporzellan hergestellt („porcelaine tendre kaolinique“), das sich etwas leichter formen läßt als die älteren Massen und nach dem Überziehen mit einer borsäurehaltigen Glasur bei Kegel 4 gebrannt wird³⁰⁾.

Auch die *künstlichen Mineralzähne*³¹⁾ sind eine Art Frittenporzellan, das im wesentlichen aus Feldspat und Quarz unter Zusatz geringer Mengen färbender Metalloxyde hergestellt wird. Ebenso stellen auch viele Arten von *Knöpfen und Perlen* Frittenporzellan dar, stehen aber in ihrem Aussehen und ihren sonstigen Eigenschaften dem Glase sehr nahe.

Ein Frittenporzellan, das ausschließlich zur Herstellung von Kunstgegenständen (Plastiken) dient, ist das *Biskuitporzellan*. Es besteht aus Kaolin und etwas Ton mit Zusatz von Feldspat bis zu 60%, dem zur Abtönung der Farbe oder Änderung des Erweichungspunktes zweckentsprechend zusammengesetzte Fritten oder Gläser beigemischt werden. Die Masse wird ohne Glasurüberzug gebrannt und nimmt beim Brennen oberflächlich von selbst einen angenehmen, dem Marmor ähnlichen Mattglanz an. Demgemäß gab man solchem zuerst in England angefertigten, für plastische Kunstgegenstände bestimmten Frittenporzellan, das sich auch durch große Lichtdurchlässigkeit auszeichnet, den Namen *Parian*. Ihm verwandt ist das ähnlichen Zwecken dienende *Belleek*, das sowohl in England als auch in Irland hergestellt wurde, und das in neuerer Zeit als elfenbeinfarbig getönte Masse besonders schön auch in Amerika gefertigt wird, unter Zusammenmischen von Ton, Kaolin, Quarz und einer Fritte geeigneter Zusammensetzung, die aus Kreide, Feldspat, Knochenasche usw. besteht³¹⁾.

Nicht unerwähnt bleiben darf allerdings, daß man in der keramischen Praxis die Bezeichnung

²⁸⁾ Unter „Fritten“ versteht der Keramiker das Schmelzen einer Mischung gewisser wasserlöslicher Verbindungen mit kieselensäure- oder borsäurehaltigen Rohstoffen, um die ersteren in glasartige Zwischenerzeugnisse (Fritten) umzuwandeln, die in Wasser nicht oder schwer löslich sind und als Flußmittel in Massen, Glasuren, Farben u. dgl. dienen.

²⁹⁾ A. BRONGNIART, a. a. O., 2, 445.

³⁰⁾ A. GRANGER, Keram. Rundsch. 31, 414 (1923).

³¹⁾ Näheres hierüber s. R. RIEKE, Das Porzellan, 2. Aufl., 155. Leipzig 1928. — W. FUNK, Rohstoffe der Feinkeramik, ihre Aufbereitung und Verarbeitung zu feinkeramischen Massen und Glasuren, 309—311. Berlin 1933.

„Biskuitporzellan“ auch für nicht mit Glasur überzogenes, gebranntes normales Hartporzellan angewendet³²⁾.

Zur Herstellung von Kunstgegenständen benutzt man in neuerer Zeit vielfach nicht Biskuitporzellan mit eigens für diesen Zweck eingestellten Eigenschaften, sondern normales Hartporzellan, das man mit einer weißen oder schwach gelblich getönten Mattglasur überzieht, welche der Ware gleichfalls ein angenehmes, dem Marmor ähnliches Aussehen verleiht.

Eine andere Art von Weichporzellan stellt das *Knochenporzellan* dar. Es wird hauptsächlich in England und Schweden fabriziert und enthält außer Kaolin, Feldspat und Quarz beträchtliche Mengen reine Knochenasche, also Calciumphosphat, das infolge seiner starken Reaktionsfähigkeit gegenüber den anderen Bestandteilen bei den in Frage kommenden Hitzegraden eine stark glasige Verdichtung der Masse bewirkt und ihr dadurch gegenüber dem Hartporzellan größere Transparenz verleiht. Die Form, in welcher das Phosphat im gebrannten Knochenporzellan vorhanden ist, war bisher noch nicht bestimmt worden. Neuerdings sind durch röntgenspektrographische Untersuchung die Linien für Calciumpyrophosphat in schwedischem Knochenporzellan festgestellt worden³³⁾. Die Garbrenntemperatur des Knochenporzellans liegt zwischen Kegel 8 und 11. Auch diese Porzellanart wird mit einer verhältnismäßig leicht schmelzbaren Glasur überzogen, die in ihrer Zusammensetzung den Steingutglasuren ähnlich ist.

Von allen weicheeren Porzellanarten, die einen leichter schmelzbaren Glasurüberzug erhalten, also sowohl vom ostasiatischen Porzellan wie vom Fritten- und Knochenporzellan, kann man zusammenfassend sagen, daß ihre Glasuren zwar weniger widerstandsfähig gegen mechanische und chemische Angriffe sind als die Glasur des Hartporzellans, daß sie aber infolge ihres niedrigeren Glasurbrandes und der damit verbundenen Eigenschaften der Glasuren vielseitigere Dekorationsmöglichkeiten gestatten als das Hartporzellan.

Der Aufschwung, den die *Porzellanindustrie im 19. und anschließend im jetzigen Jahrhundert* genommen hat, ist an das eigentliche Hartporzellan aus Kaolin, Feldspat und Quarz gebunden. Zu der Erzeugung von Geschirrporzellan (Wirtschafts-porzellan) sowie der von Zier- und Kunstporzellan trat das Porzellan für chemische und technische Zwecke. Ihm folgte bereits im vorigen Jahrhundert in mehr und mehr wachsendem Umfange das Porzellan für die Elektrotechnik.

Die gesteigerten Anforderungen, die auf allen

³²⁾ Viele Geräte aus neuzeitlichem hochwertigem Hartporzellan für chemische und andere Zwecke werden aus technischen Gründen ohne Glasurüberzug belassen, sind also im Sinne des Praktikers ebenfalls als „Biskuitporzellan“ zu bezeichnen.

³³⁾ E. N. BUNTING, Techn. News Bull. of the Bureau of Stand. 1939, Nr 261, 8. Ref. Sprechsaal 73, 127 (1940).

Verbrauchsgebieten an den Werkstoff gestellt wurden, führten zu einer ständig zunehmenden *Verbesserung der Eigenschaften des Porzellans* in verschiedenster Hinsicht. Dies geschah zunächst von der Massezusammensetzung aus, dann aber auch durch entsprechende Leitung des Brennverfahrens. In qualitativer Hinsicht wurde an der Massezusammensetzung nichts oder nur wenig geändert, d. h. man behielt die Rohstoffe Kaolin und Ton, Quarz und Feldspat auch weiterhin bei, legte aber nunmehr größeren Wert auf die Verwendung von Materialien, die von bestimmten Lagerstätten stammen und sich infolge gewisser Eigenschaften für die Herstellung irgendwelcher Warengattungen besonders eignen, ferner auch auf die Art der Behandlung der Rohstoffe bei der der Massezusammensetzung vorausgehenden Aufbereitung. Einzelne Mischungsverhältnisse, die sich als wenig zweckmäßig erwiesen hatten, wurden geändert, andere, die sich von jeher bewährt hatten, bis in die neueste Zeit beibehalten. Wertvolle Erkenntnisse wurden gesammelt in bezug auf den Einfluß der Korngröße einzelner Rohstoffe auf die Eigenschaften und Struktur des Hartporzellans. So wurde z. B. gefunden, daß durch Einführung des Quarzes in ganz bestimmten Korngrößeklassen die maximale Festigkeit des Hartporzellans um etwa 30 % gesteigert werden kann. Die Untersuchung des Einflusses des Brennverfahrens auf das Fabrikationsergebnis zeigte, daß dieses nicht nur von der Brenntemperatur, sondern auch von der Brenndauer und der während des Brandes im Ofen herrschenden Atmosphäre abhängt und diese drei Faktoren den Sinterungs- und Strukturzustand des Porzellans wesentlich beeinflussen. Es steht fest, daß die physikalischen Eigenschaften des fertigen Porzellans durch das Verhältnis der glasigen zu den kristallisierten Bestandteile einerseits und den Porenraum andererseits maßgebend bestimmt werden.

Die Anwendung dieser Fabrikationsrichtlinien auf den verschiedenen Gebieten der Porzellanherstellung hat zu mancher Umstellung gegenüber der alten Fabrikationspraxis geführt. Voraussetzung hierbei ist eine sachgemäße Rohstoffkontrolle, die Prüfung der allgemeinen und besonderen Eigenschaften der keramischen Werkstoffe und der aus ihnen hergestellten Fertigerzeugnisse.

Die Massen mancher billigen Industrieporzellane, besonders solcher für Geschirr und sonstige Haushalt-, auch für billige Ziergegenstände aller Art, erfordern zu ihrem Garbrand vielfach nur eine mittlere Brenntemperatur, d. h. eine solche, die etwa bei Kegel 13 liegt oder höchstens bis Kegel 14 heranreicht. Dies ist wirtschaftlich durch Brennstoffersparnis, geringere Ofenabnutzung und größere Lebensdauer der Brennkapseln von Vorteil. Man legt bei dieser Massenware einfacherer Art vor allem Wert auf rein weiße Brennfarbe, fleckenloses Aussehen, eine mittlere Festigkeit und glatte, gut spiegelnde Glasur. Bei hochwertigen Por-

zellanen wendet man eine höhere Brenntemperatur an, um alle gewünschten Eigenschaften in ihnen zu entwickeln. Dies gilt sowohl für besseres Geschirrporzellan als auch für chemisch-technische Erzeugnisse und Elektroporzellan. Man verlangt von diesen Porzellanarten in erster Linie große mechanische Widerstandsfähigkeit gegen Beanspruchung auf Zug, Druck, Biegung und Schlag, auch gegen Abnutzung durch Schleifwirkung sowie möglichst große Unempfindlichkeit gegen raschen Temperaturwechsel, sowohl im unglasierten wie im glasierten Zustand. Hierzu kommt bei chemischen Porzellangeräten möglichst weitgehende Widerstandsfähigkeit gegen den Angriff stark saurer oder alkalischer Flüssigkeiten, hingegen beim Elektroporzellan gutes Isoliervermögen, Durchschlagfestigkeit usw.

Der Höhe des Garbrandes entsprechend müssen nun auch die *Porzellanglasuren* zusammengesetzt werden. Man unterscheidet hier zwischen Kalkglasuren und Feldspatglasuren. Erstere sind klarer und durchsichtiger, daher mehr geeignet für diejenigen Gegenstände, die vor dem Glasieren bemalt, d. h. mit sog. Unterglasurmalerei verziert werden, weil dann nach dem Schmelzen und Erstarren der Glasur die Malerei unter dieser besser sichtbar ist als unter einer Feldspatglasur, die stärker getrübt ist. Man benutzt in der Industrie vielfach Glasuren, die aus Kaolin, Feldspat, Magnesit und Kreide oder Dolomit bestehen, also gemischte Alkali-Kalk-Magnesia-Tonerdesilikatglasuren darstellen. Ihre Schmelzbarkeit und sonstigen Eigenschaften regelt man durch das Verhältnis ihres Kieselsäure- und Tonerdegehalts zu dem an Alkalien und alkalischen Erden und durch das Mischungsverhältnis der letzteren Oxyde zueinander.

Porzellan für chemische und technische Zwecke, von dem eine besonders große Feuerfestigkeit verlangt wird, d. h. große Widerstandsfähigkeit gegen längere Einwirkung hoher Hitzegrade, also von mehr als etwa 1400° , muß man mit einem höheren Tonerdegehalt ausstatten, als er dem normalen Porzellan eigen ist; derartige Massen erfordern zu ihrem Garbrand naturgemäß auch eine höhere Brenntemperatur bis etwa Kegel 16.

Ein neueres Erzeugnis der feinkeramischen Industrie, das seiner wachsenden Bedeutung wegen hier nicht übergangen werden darf, ist das *Sanitärporzellan*. Es dient zur Herstellung sanitärer Spülwaren, Heizkörper, Abflußrohre u. a. und stellt ein Weichporzellan dar, das bei Temperaturen unter Kegel 11 gebrannt wird. Die Masse des Sanitärporzellans wird aus Kaolin und Ton unter Zusatz größerer Mengen von Quarz und Feldspat bereitet, als beim Hartporzellan in Frage kommen. Als Glasur findet entweder eine Steingutglasur oder, was für die Widerstandsfähigkeit der Waren vorteilhafter ist, eine Porzellanglasur Verwendung. Durch seine porzellanähnlich dichte Struktur bietet das Sanitärporzellan dem Hartsteingut oder dem sog. Feuerton gegenüber, die ebenfalls zur Her-

stellung sanitärer Gegenstände dienen, gewisse Vorzüge. Dem Hartporzellan gegenüber hat seine Herstellung den Vorteil größerer Wirtschaftlichkeit, da seine Massebereitung nach einem einfacheren Verfahren erfolgen kann und seine Brenntemperatur etwa 150° niedriger liegt.

Am Schlusse dieser Ausführungen wenden wir uns noch einigen Gruppen feinkeramischer Erzeugnisse zu, die hinsichtlich ihrer Zusammensetzung eigentlich nicht zum Porzellan gehören. Trotzdem rechnet man sie im täglichen Geschäftsverkehr häufig zur Gruppe der Porzellane, weil sie, wenigstens zum Teil, in den gleichen Fabriken wie das Porzellan und auch nach den gleichen Verfahren hergestellt werden wie dieses, d. h. in bezug auf die Formgebung und das Brennen. Der Keramiker unterscheidet bei diesen *porzellanähnlichen Erzeugnissen* mehrere Arten von Waren: 1. Steatit, 2. Isolierstoffe für die Hochfrequenztechnik, 3. hochfeuerfeste Sondermassen, 4. feinkeramische poröse Massen.

Die Massen, aus denen die *Steatiterzeugnisse* hergestellt werden, sind nicht Glieder des Systems „Tonsubstanz“-Quarz-Feldspat, sondern des Systems „Tonsubstanz“-Speckstein-Feldspat. Sie bestehen aus Speckstein oder Talk, also Magnesiumsilikat, Kaolin und Ton sowie Feldspat in wechselnden Verhältnissen. Die Steatitmassen werden bei ebenso hohen Temperaturen wie Hartporzellan gebrannt. Sie zeichnen sich aus durch hohe Widerstandsfähigkeit gegen raschen Temperaturwechsel sowie gegen mechanische und elektrische Beanspruchung verschiedener Art und dienen deshalb vor allem zur Herstellung von Zündkerzen, Pyrometerrohren, elektrotechnischen und anderen technischen Artikeln. Die Farbe der Steatiterzeugnisse ist nicht weiß, sondern gelb oder grau. Sie werden entweder mit einem Glasurüberzug versehen oder, und zwar vielfach, unglasiert gelassen.

Von besonderer Bedeutung ist die Verwendung des Specksteins zusammen mit Magnesit, wasserhaltigem Magnesiumoxyd und Ton zur Zusammensetzung von Massen für *Hochfrequenzisolerstoffe*, ein Gebiet, das im letzten Jahrzehnt zu hoher Vollendung ausgebaut worden ist. Die keramischen Werkstoffe der Steatitgruppe haben sich in der Hochfrequenztechnik als unübertreffliche Isoliermittel bewährt und sind ganz unentbehrlich geworden für die Durchbildung der Sende- und Empfangsgeräte. Hierzu kommen seit einigen Jahren für den Kondensatorbau titandioxyd- und zirkoniumdioxydhaltige Massen. Ihre Farbe ist entweder rein weiß oder gelblich- bis grauweiß. Die meisten dieser Hochfrequenz-Isoliermassen, die in der Regel unglasiert bleiben, zeichnen sich noch durch besondere Eigenschaften aus, entweder durch ihre hohe Dielektrizitätskonstante, ihre Frequenzunabhängigkeit oder ihre geringe Wärmedehnung usw.

Wie die Quarzglas- und Quarzglasgerätee für chemische und technische Zwecke sich durch gewisse Höchstleistungen hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen verschiedene Einflüsse auszeichnen, so trifft dies auch für die feinkeramischen *Sondermassen aus oxydischen Einstoffsystemen* zu, wie Aluminiumoxyd (gesintert oder elektrisch geschmolzen), Magnesiumoxyd, Zirkoniumdioxyd, Thoriumoxyd, Berylliumoxyd usw. Ihre Brenntemperatur liegt bei Kegel 27–29, das sind 1610 – 1650° , oder noch höher. Hatte man schon durch Einführung von Tonerde in die Porzellanmasse bis zu Gehalten von 60–70% und mehr die obere Temperaturgrenze für ihre Anwendung bis auf

etwa 1750° gesteigert, so sind Geräte aus reiner, elektrisch geschmolzener Tonerde bis zu wesentlich höheren Hitzegraden verwendbar, nämlich bis zu beinahe 2000°, Erzeugnisse aus Thorium- und Zirkonoxyd bis etwa 2500°. Auch diese hochfeuerfesten Massen zeigen im gebrannten Zustand fast oder völlig weiße Farbe, sind gasdicht, temperaturwechselbeständig und von großer Festigkeit, besitzen aber keine Transparenz, was auch bei den sonstigen bisher genannten porzellanähnlichen Massen nicht der Fall ist. Diese hochfeuerfesten Sondermassen dienen zur Herstellung von Geräten für chemische Zwecke, Zündkerzen, Pyrometerrohren, Schneidwerkzeugen und für andere Zwecke.

Als letzte Gruppe porzellanähnlicher Werkstoffe sind die feinkeramischen *porösen Massen* zu nennen. Auch in der Hochfrequenztechnik werden seit einiger Zeit gewisse feinpore Werkstoffe aus feinkeramischem

Material benutzt, die vor allem bei Verwendung in Vakuumröhren Vorteile bieten. Ein anderes wichtiges und weit älteres Verwendungsgebiet für poröse Massen ist das für Filtrierzwecke, also zur Herstellung von Geräten zum Filtrieren von Flüssigkeiten und Gasen (Filtriertiegel, Filterkerzen, Filterplatten, Diaphragmen für die elektrotechnische Industrie, Rauchgasfilter u. dgl.). Die Durchlässigkeit dieser Filtermassen läßt sich durch Auswahl von Rohstoffen geeigneter Korngröße und das Brennverfahren weitgehend regeln und den gewünschten Ansprüchen anpassen.

Zusammenfassung: Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich für die Zusammensetzung des Porzellans und seiner verschiedenen Abarten sowie der porzellanähnlichen feinkeramischen Massen folgender schematische Überblick:

Bezeichnung	Rohstoffe	Brenntemperatur angenähert	Bemerkung
Ostasiatisches Porzellan	Kaolin (Ton) — Feldspat — Glimmer — Quarz	Kegel 9—11	Weichporzellan im weiteren Sinne
Sächsisches Porzellan der frühesten Zeit	Ton — Kaolin — Albaster — Quarz	Kegel 14—15	Hartporzellan
Europäisches Industrieorzellan	Kaolin (in gewiss. Fällen a. etw. Ton) — Quarz — Feldspat	Kegel 13—16	Hartporzellan (zum Teil Weichporzellan im weiteren Sinne)
Frittenporzellan (Biskuitporzellan zum Teil)	Kaolin (Ton) — Quarz — künstliche Glasfritte	Kegel 1—10	Weichporzellan im engeren Sinne (leicht schmelzbares Porzellan)
Mineralzähne	Feldspat — Quarz — Marmor	Kegel 8—9	
Knöpfe, Perlen	Feldspat — Quarz — Kaolin — Soda — Marmor usw.	Kegel 1—6 oder höher	
Knochenporzellan	Kaolin (Ton) — Knochenasche — Feldspat — Quarz	Kegel 8—11	Weichporzellan im weiteren Sinne
Sanitärporzellan	Kaolin — Ton — Feldspat — Quarz	< Kegel 11	
Steatit	Kaolin (Ton) — Speckstein — Feldspat	Kegel 14—15	porzellanähnliche Werkstoffe
Isolierstoffe für die Hochfrequenztechnik	Magnesit, wasserhaltiges Magnesiumoxyd, Magnesiumoxyd, Magnesiumsilikat, Ton, Titandioxyd, Zirkoniumdioxyd	Kegel 12—18	
Hochfeuerfeste Sondermassen	Aluminiumoxyd, Zirkoniumdioxyd, Magnesiumoxyd, Thoriumoxyd, Berylliumoxyd	Kegel 27 oder höher	
Poröse Werkstoffe	Kaolin (Ton) — Quarzsand — Tonerde und andere Stoffe	verschieden	

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über den Wirkungsgrad des negativen Glimmlichts.

Wir haben den Ionenstrom i_G^+ bestimmt, der aus dem negativen Glimmlicht (n. G.) der Glimmentladung in H_2 bei Gasdrücken um 1 Torr in den Fallraum fließt. Da aus früheren Messungen auch der Ionenstrom i_K^+ an der Kathode ungefähr bekannt ist [s. a. HEINZ FISCHER, Naturwiss. 37, 838 (1939)], läßt sich nun der Wirkungsgrad $\eta_G = i_G^+/i_K^+$ des n. G. ermitteln. Die Kenntnis von η_G ist wichtig. Stammt nämlich die Mehrzahl der an der Kathode Elektronen auslösenden Ionen aus dem n. G., dann kann beispielsweise in diesem Falle nicht, wie bisher angenommen, die Feldverzerrung vor der Kathode selbst für die Trägerbilanz und die Stationarität der Entladung maßgebend sein [W. ROGOWSKI, Z. Physik 100, 1 (1936) u. a. a. O.], es müssen viel-

mehr die im n. G. stattfindenden Prozesse der Trägererzeugung und Vernichtung die Entladung bestimmen.

Da die Sondentheorie um Größenordnung unsichere Werte liefert, erfolgt die Bestimmung von i_G^+ nach folgender Überlegung:

Wir stellen in das n. G. in genügendem¹⁾ Abstand von der Kathode K eine Hilfelektrode H von gleicher Form und Größe der Kathode (s. Fig. 1). Wir benutzen H als Sonde und bestimmen so den Diffusionsstrom i_H^+ auf H ²⁾. Wie Vorversuche ergaben, ist bei konstantem Gasdruck der Diffusionsstrom i_H^+ dem Konzentrationsgefälle und dieses der Trägerdichte N_H vor H direkt proportional. Da aber die Verhältnisse vor H und der Glimmkante vollkommen gleichartig sind (s. Fig. 2), so ist i_G^+ durch die Glimmkante ebenfalls durch die Trägerdichte N_G vor der Glimmkante gegeben.

Kennt man daher außer i_H^+ das Verhältnis N_G/N_H , dann ist $i_G^+ = i_H^+ \cdot N_G/N_H$.

Der relative Verlauf der Trägerdichte zwischen H und Glimmkante läßt sich genau mit einer beweglichen Drahtsonde bestimmen. Das Maß für die Trägerdichte ist die bei

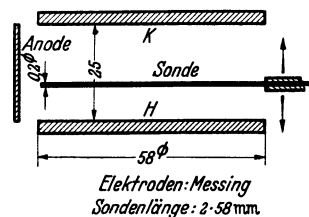


Fig. 1.

vorgegebener negativer Sondenspannung V_S auf die Drahtsonde fließende Ionenstromdichte i_s^+ . i_s^+ errechnet sich wie üblich als Quotient aus dem gemessenen Sondenstrom i_s^+ und der wirksamen Sondenoberfläche (Raumladungsschicht).

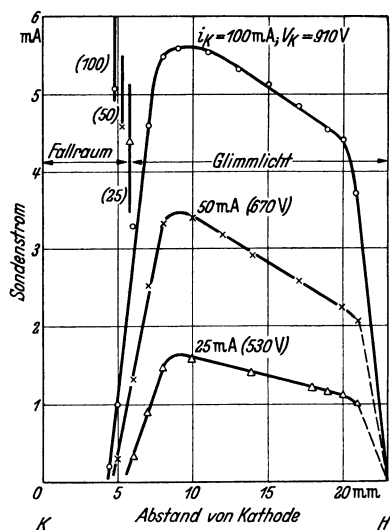
Fig. 2. Verlauf des Sondenstromes (bei $V_S = -30$ Volt) zwischen Kathode und Hilfsselektrode.

Fig. 2 zeigt den Verlauf der Sondenströme i_s^+ im n. G. einer Glimmentladung in H_2 beim Gasdruck 1 Torr für die Entladungsströme $i_K = 100, 50$ und 25 mA. Die Kathodenfälle V_K betragen $910, 670, 530$ Volt, die Fallraumdicken $4,8, 5,2, 5,8$ mm. H hatte Anodenpotential. Die Ströme i_H^+ waren $32, 12$ und 4 mA. Entsprechend der nicht ganz eindeutigen Extrapolation der relativen Trägerdichten errechnet sich i_G^+ zu $48-55, 20-25, 7-10$ mA.

Unter der Annahme, daß alle positiven Ionen an der Kathode dem Glimmlicht entstammen, hatten wir kürzlich aus der Erwärmung der Kathode bei gleichen äußeren Bedingungen den Ionenstrom i_K^+ bestimmt. i_K^+ ergab sich für die vorgegebenen V_K zu $60, 35, 18$ mA.

Aus den angegebenen Werten errechnet sich in 1. Näherung ein Wirkungsgrad η_G von ungefähr $80-90, 60-70, 40-55\%$. Dieses Ergebnis hat aber nun seinerseits eine wichtige Rückwirkung auf die aus der Kathodenerwärmung bestimmten i_K^+ . Bei großem V_K ist, wie wir sehen, i_G^+ vergleichbar mit i_K^+ . Hier ist die Voraussetzung der Methode (s. o.) weitgehend erfüllt, i_K^+ und η_G richtig bestimmt. Nach kleinen V_K gewinnt aber offensichtlich die Ionisation im Fallraum an Gewicht. Hier sind also die wirklichen i_K^+ größer, d. h. η_G kleiner als oben angegeben. Allerdings dürfen

wir nicht übersehen, daß in i_G^+ nicht die positiven Ionen mit enthalten sind, die in unmittelbarer Umgebung der Glimmkante selbst gebildet werden. Auch diese Ionen durchfallen noch annähernd V_K . Gerade bei kleinem V_K dürfte ihre Zahl beträchtlich sein, so daß der bei der Bestimmung von i_K^+ auftretende Fehler gemildert wird.

Darmstadt, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, den 9. Dezember 1940. HEINZ FISCHER.

¹⁾ H stört dann die Entladung nicht. [HEINZ FISCHER, Naturwiss. 25, 331 (1937).]

²⁾ Der Fehler durch Nichtberücksichtigung der Sekundäremission ist voraussichtlich unwesentlich.

Zum Nachweis von Peroxyden mit Luminol.

Bei der Oxydation von o-Amino-Phthalsäure-Hydrazid (Luminol) in alkalischer Lösung tritt, besonders bei Anwesenheit von Hämin als Katalysator¹⁾, eine kräftige violette Lumineszenz auf²⁾. Diese „Luminolreaktion“ dient zum Nachweis von aktivem Sauerstoff bzw. von Peroxyden und gilt als besonders empfindlich und recht spezifisch³⁾.

Wir zogen diese Reaktion zur Entscheidung darüber heran, ob die pharmakologische Wirkung einer bestimmten Substanz auf eine intermediäre Entstehung von Peroxyd zu beziehen ist. Die Probe fiel positiv aus.

Da die untersuchte Substanz leicht hydrolysiertbar war, machten wir Kontrollversuche mit den verschiedensten Estern (z. B. Essigäther, Acetessigester, Tributyrin, Erdnußöl u. a.), die wir bei Anwesenheit von Luminol und Hämin bei Zimmertemperatur mit Kalilauge verseifen. — In allen Fällen trat eine lang anhaltende Lumineszenz in grünlicher Farbe auf. Der Häminzusatz erwies sich dabei als überflüssig.

Weitere Kontrollversuche ergaben, daß auch die in den Estern enthaltenen Säuren bei Zugabe zu einer alkalischen Luminollösung eine grünliche Lumineszenz hervorriefen, die allerdings auf den Augenblick der Zugabe beschränkt war. Hämin vermochte diese Lumineszenz ebenfalls nicht zu verstärken. Schließlich zeigte sich, daß bei der Reaktion jeder beliebigen organischen oder anorganischen Säure mit Alkali ein kurzes, aber deutliches Aufleuchten des Luminols in grünlicher Farbe auftrat.

Da in diesem System neben dem „Indikator“ Luminol nur noch eine Säure und eine Base vorhanden war und die Lumineszenz auch zeitlich mit der Reaktion der beiden zusammenfiel, war eine ursächliche Verknüpfung zwischen der Neutralisationsreaktion und der auftretenden Lumineszenz anzunehmen. Die Neutralisationswärme von $13,7$ kcal ist für die Anregung der Lumineszenz zu klein. Hierzu wären etwa 52 kcal erforderlich. Demnach mußten also andere Reaktionen mit größerer positiver Wärmetönung aufgetreten sein. Zunächst war an Oxydationsprozesse zu denken. Diese Annahme ließ sich experimentell auch bestätigen. Bei Abwesenheit von Sauerstoff trat die Lumineszenz nicht auf (Salpetersäure ist hier ein Sonderfall). Zusatz eines Reduktionsmittels, wie z. B. Cystein, Hydrochinon, Ascorbinsäure u. a. verhinderten sie ebenso, wie dies von der „Luminolreaktion“ mit Wasserstoffperoxyd bereits bekannt ist⁴⁾.

Da die Anwesenheit von Alkali für das Auftreten der Lumineszenz wesentlich ist¹⁻⁴⁾, machten wir weitere Versuche mit dem vereinfachten System: Alkali, Luminol und Wasser. Es ergab sich, daß beim Lösen von Alkalihydroxyd in luminolhaltigem Wasser eine anhaltende Lumineszenz auftritt. Dasselbe war der Fall, wenn eine alkalische Luminollösung erhitzt wurde, besonders bei Anwesenheit von Hämin. Hierzu war ebenfalls stets die Anwesenheit von Sauerstoff erforderlich. Es tritt also in der Wärme oder bei stark alkalischer Reaktion⁵⁾ eine Oxydation des Luminols ein. Auch bei der bekannten Reaktion mit aktivem Sauerstoff bzw. Peroxyd ist nachgewiesen, daß das Luminol zunächst dehydriert wird^{2, 6)}.

Hiernach wäre folgender Vorgang anzunehmen: Beim Erwärmen in alkalischer Lösung — und hier scheint die Neutralisationswärme auszureichen — wird Luminol durch Luftsauerstoff dehydriert. Das dabei entstehende Peroxyd löst dann seinerseits die Lumineszenz aus.

Für die Möglichkeit, die Peroxydentstehung bei der Dehydrierung mit Luminol nachzuweisen, haben wir Modelle

gesucht. Es seien folgende Beobachtungen als Beispiele angeführt: *Glukose* wird schon bei carbonat-alkalischer Reaktion (über 20°) mit Luftsauerstoff dehydriert. Manometrisch läßt sich ein kräftiger und anhaltender Sauerstoffverbrauch nachweisen. In Übereinstimmung damit trat bei Anwesenheit von Luminol nach kurzer Latenz eine kräftige Lumineszenz in grünlicher Farbe auf; bei stärker alkalischer Reaktion und nach Zusatz von Hämin wurde sie hellviolett. *Lactat* wurde unter diesen Bedingungen nur schwach dehydriert. Hämin verstärkte hier die Lumineszenz. *Bernsteinsäure* gab mit alkalischer Luminol-Hämin-Lösung eine schwache Lumineszenz, *Fumarsäure* dagegen nicht. *Glycerin* erregte mit Alkali und Luminol kein Leuchten. Nach Zusatz von wenig Hämin trat dagegen bald eine so starke und anhaltende Lumineszenz auf, daß sie auch im Hörsaal gezeigt werden kann. Von den Aminosäuren gab *Asparaginsäure* eine kräftige Reaktion, *Gelatine* war schwach, *Glykokoll* gar nicht wirksam.

Hier liegt also ein interessantes Beispiel für die Verursachung einer Lumineszenz durch einfache Stoffwechsellvorgänge vor. Die Abhängigkeit der Lumineszenzintensität von der Intensität der Dehydrierungen scheint auch methodisch verwertbar zu sein. — Das Auftreten einer Lumineszenz von Luminol wurde von SCHALES⁷⁾ nach Dehydrierung von Cystein, Ascorbinsäure, Salicylaldehyd, Adrenalin u. ä. beobachtet. Nach all diesen Erfahrungen ist die sonst paradox erscheinende Tatsache verständlich, daß gerade *reduzierend* Substanzen (soweit sie durch Luftsauerstoff dehydriert wurden) diese sonst für die stärksten Oxydationsmittel charakteristische Reaktion geben können, während dies für *oxydierende* Stoffe nur in wenigen bestimmten Fällen zutrifft.

Nach diesen Ergebnissen ist es weitgehend wahrscheinlich, daß das Luminol selbst bei den beschriebenen Reaktionen in doppelter Weise mitwirken kann, nämlich einmal als Substrat für eine Dehydrierung mit Luftsauerstoff, und zum andern als chemilumineszierende Substanz unter der Einwirkung des bei seiner Dehydrierung entstandenen⁸⁾ Peroxyds. — Diese Möglichkeit wird bei der Anwendung des Luminols zum Nachweis von aktivem Sauerstoff ebenso streng berücksichtigt werden müssen wie die Peroxydentstehung bei Dehydrierungsprozessen überhaupt.

Die Geschwindigkeit dieser Oxydationen ist temperaturabhängig. Die Dehydrierung des Luminols geht bei Zimmertemperatur offenkundig so langsam vor sich, daß eine sichtbare Lumineszenz nicht auftreten kann. Bei Erhitzen erfolgt sie dagegen schneller, es tritt demgemäß auch eine Lumineszenz auf. Es können also Energiezufuhren, die an sich für die Erregung einer Lumineszenz zu klein sind [Neutralisationswärme, Lösungswärme, Schallbestrahlung⁹⁾], doch über eine Beschleunigung von Oxydationsprozessen in den beschriebenen Systemen Lumineszenzerscheinungen auslösen. Das gleiche wäre möglich, wenn Substanzen vorhanden sind, die die Labilität des Luminols [in alkalischer Lösung, „Azoform“¹⁰⁾] gegenüber dem Luftsauerstoff vergrößern. Hier scheinen Neutralsalze wirksam sein zu können. Die ausführliche Mitteilung wird in Hoppe-Seylers Zeitschrift erfolgen.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danken wir für die Förderung der Arbeiten.

Berlin NW 7, Pharmakologisches Institut der Universität, am 29. November 1940.

HERMANN DRUCKREY. RUDOLF RICHTER.

1) K. GLEU u. K. PFANNSTIEL, J. prakt. Chem. 146, 137 (1936).

2) H. O. ALBRECHT, Z. physik. Chem. 136, 321 (1928).

3) N. HARVEY, J. physic. Chem. 33, 1456 (1929).

4) E. BAUR, Helvet. chim. Acta 23, 449 (1940).

5) B. TAMAMUSHI: Naturwiss. 25, 318 (1937).

6) z. B. H. D. K. DREWS u. R. F. GARWOOD, J. chem. Soc. (Lond.) 1938, 791.

7) O. SCHALES, Ber. dtsch. chem. Ges. 71, 447 (1938).

8) A. H. COOK, J. chem. Soc. (Lond.) 1938, 1845.

9) W. EARL FLORS DORF, L. A. CHAMBERS u. W. M. MALISOFF, J. amer. chem. Soc. 58, 1069 (1936).

Zytoplasmatische Nukleotide in Tumorzellen.

Das Vorkommen von Ribosenukleotiden im Zytoplasma normaler Zellen mit starker Wachstumstendenz ist früher festgestellt worden¹⁾. Diese Substanzen sind auch in anderen

Fällen nachgewiesen worden, wo eine rasche Bildung von Zytoplasmaweiß stattfindet. Sie dürften ein Glied im System der normalen Eiweißproduktion in der Zelle darstellen, welche von dem Nukleolarmechanismus vermittelt wird. Wenn die Zytoplasmannukleotide gebildet werden, treten große Mengen von Eiweißstoffen mit dem Ultravioletabsorptionstyp der Histone auf, in besonders hoher Konzentration in den stark vergrößerten Nukleolen²⁾.

Bei Zellen von malignen Tumoren, die von einer starken Wachstumstendenz gekennzeichnet werden, deuten gewisse Beobachtungen auf eine abnorm starke Entwicklung desselben Systems hin. Besonders große Nukleolen sind als ein typisches Merkmal der malignen Zelle angegeben worden³⁾. Chemische Untersuchungen von Tumoreiweiß ergeben im Vergleich zu Eiweiß von normalen Geweben eine Zunahme der nichtkoagulierten Eiweißstoffe⁴⁾ und auch eine durchgängige Steigerung des Gehalts an Diamino-

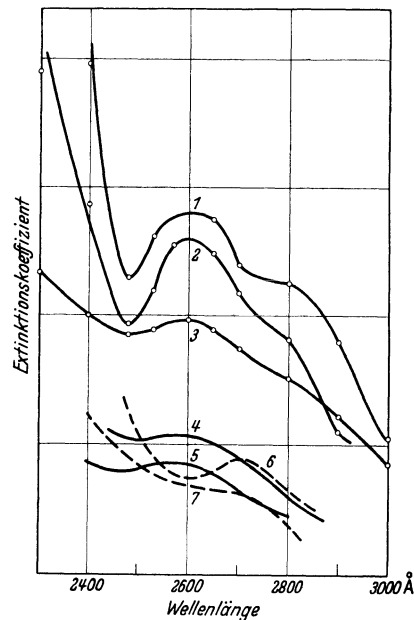


Fig. 1. Absorptionsspektren von Punkten im Zytoplasma in Zellen von wachsenden Teilen von 1. Kolonkarzinom, 2. Magenkarzinom, 3. Brustdrüsenkarzinom. Das Band der Nukleinsäuregruppe bei 2600 Å tritt deutlich hervor, das Band bei etwa 2800 Å wird von Eiweiß gegeben. Die Kurven 4—7 zeigen verschiedene Proportionen zwischen Nukleinsäuren und Eiweißstoffen in Zellen von verschiedenen Teilen desselben Kolonkarzinoms.

säuren⁵⁾, was eine Verschiebung gegen basische Eiweißstoffe zeigt. Ein erhöhter Gehalt an Nukleinsäuren in malign wucherndem Gewebe im Vergleich zu normalen Geweben ist von mehreren Autoren nachgewiesen worden, was aber auf den größeren Kernreichtum der malignen Gewebe zurückgeführt wird.

Orientierende Untersuchungen von verschiedenen humanen Karzinomformen mittels der Methode der Messung des Ultravioletabsorptionsspektrums einzelner Zellteile⁶⁾ wurden vorgenommen. Dabei ergab sich, daß im Zytoplasma im Vergleich zu entsprechenden Zellen normaler Gewebe beträchtlich größere Mengen von Substanzen mit dem für die Nukleotidgruppe charakteristischen Absorptionsband bei 2600 Å auftreten (s. Fig. 1). Es ist bezeichnend, daß die Menge in denjenigen Zellen von Geschwülsten bzw. in denjenigen Teilen dieser Geschwülste, welche erfahrungsgemäß und den histologischen Bildern nach zu urteilen am stärksten proliferieren, am größten ist. Zellen von Geschwülsten dagegen, welche erfahrungsgemäß langsam proliferieren, z. B. von Basalzellenkarzinomen, wiesen einen unerheblichen Gehalt an derartigen Substanzen auf. Die Nuklealreaktion ist negativ, auch in denjenigen Fällen, wo das Absorptions-

spektrum einem Nukleotidgehalt von einigen Prozent entspricht, was bedeutet, daß wenigstens der Hauptteil nicht vom Desoxyribosetyp, sondern vom Ribosetyp ist.

Diese Beobachtungen sowie die erwähnten Befunde anderer Autoren stehen in Übereinstimmung zu der Annahme, daß sich die starke Wachstumstendenz der malignen Zelle in einer Hyperfunktion des nach dem Modus: Nukleolenapparat—Zytoplasmanukleotide—basisches Eiweiß arbeitenden Eiweißproduktionsystems widerspiegelt, welches für die normale Zelle beschrieben ist²⁾.

Stockholm (Schweden), Chemisches Institut des Karolinschen Instituts und Radiopathologisches Institut der König Gustaf V:s Jubiläumsklinik, den 30. November 1940.

T. CASPERSSON. CL. NYSTRÖM. L. SANTESSON.

- 1) CASPERSSON u. SCHULTZ, Nature 143, 602 (1939).
 2) CASPERSSON, Chromosoma 1 (1940) — Naturwiss. 28 (1940).
 3) HAUMEDER, Z. Krebsforsch. 40, 105 (1933).
 4) CRAMER u. PRINGLE, Proc. roy. Soc. Lond. 82, 307 (1910).
 5) DRUMMOND, Biochemic. J. 10, 473 (1916).
 6) CASPERSSON, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 73 — Supp. 8 (1936) — Chromosoma 1, 147 (1939).

Zur Erklärung der physiologischen Wirkungen des Föhns.

Die Ursache, welche primär die physiologischen Wirkungen des Föhns hervorruft, konnte bisher trotz vieler Bemühungen nicht ermittelt werden. Herr JORDAN hat zwar kürzlich in dieser Z.¹⁾ Gründe dafür geltend gemacht, daß — entgegen früheren Anschauungen — die den Föhn begleitenden kurzperiodischen Luftdruckschwankungen für die Föhnkrankheit verantwortlich gemacht werden können. Solange eindeutige Versuche in dieser Richtung noch nicht vorliegen, muß das Föhnproblem aber noch als offen bezeichnet werden. Im folgenden möchte ich auf einen Punkt aufmerksam machen, der, soweit mir bekannt, bei den bisherigen Föhnuntersuchungen nicht berücksichtigt worden ist, der aber, da er einen physiologisch stark wirksamen Faktor betrifft, vielleicht doch zur Erklärung der Föhnwirkungen herangezogen werden kann.

Nachgewiesen ist bisher nur ein Zusammenhang zwischen den physiologischen Föhnwirkungen und der starken Verminderung des Wasserdampfgehaltes der Luft, die beim Föhn einsetzt und durch die Entstehungsweise des Föhns bedingt ist. Es ist auch bekannt, daß die krankhaften Erscheinungen bei fast allen föhneempfindlichen Personen sehr rasch verschwinden, wenn die Föhnperiode mit Regen endet, und daß eine Besserung bzw. ein Verschwinden der Föhnbeschwerden beobachtet wird, wenn man die Versuchspersonen mit einem Auto aus dem Föhngebiet herausbringt²⁾. Auch haben die Innsbrucker Untersuchungen gezeigt, daß föhnkranke Menschen nach kurzer Zeit beschwerdefrei werden, wenn man sie in einer Versuchskammer ausgewaschene, mit Wasserdampf gesättigte Luft einatmen läßt.

Nun ist, was in der Meteorologie bekannt³⁾, bei den Untersuchungen über den Föhn aber bisher nicht beachtet worden ist, mit der Änderung des Wasserdampfgehaltes der Luft auch eine Änderung des prozentischen Sauerstoffgehaltes und seines absoluten Partialdruckes verbunden. An Stelle des gewissermaßen harmlosen Wasserdampfes ist also der lebenswichtige und direkt am vegetativen System des menschlichen Organismus angreifende Sauerstoff bei der

Tabelle 1. Volumprozent Sauerstoff der feuchten Luft bei verschiedenen Temperaturen und Sättigungsgraden.

		Sauerstoffgehalt bei der Temperatur				
		0°	10°	20°	30°	40°
		in Volumprozent				
Bei der relativen Feuchtigkeit von	0 %	20,94	20,94	20,94	20,94	20,94
	20 %	20,92	20,89	20,84	20,77	20,64
	40 %	20,89	20,84	20,75	20,59	20,33
	60 %	20,86	20,79	20,65	20,41	20,03
	80 %	20,84	20,74	20,55	20,24	19,72
	100 %	20,81	20,69	20,46	20,06	19,42

physiologischen Föhnwirkung in Betracht zu ziehen. Im folgenden mögen daher zunächst für die Abschätzung der eventuellen Einflüsse die zahlenmäßigen Unterlagen gegeben werden und eine kurze Diskussion über das Für und Wider für die gemachte Arbeitshypothese erfolgen.

Der Normalgehalt der trockenen Luft beträgt 20,94 Volumprozent. Enthält die Luft Wasserdampf, so ist die Luft gewissermaßen mit Wasserdampf verdünnt und man erhält einen geringeren Sauerstoffgehalt. Tabelle 1 zeigt dies für verschiedene Temperaturen und Feuchtigkeitsgrade.

Bezieht man das Sauerstoffdefizit auf den normalen Gehalt = 100, bildet man also Prozente von 20,94, so erhält man die Zahlen der Tabelle 2.

Tabelle 2. Sauerstoffdefizit in Prozenten des Normalgehaltes.

		Sauerstoffdefizit bei der Temperatur				
		0°	10°	20°	20°	40°
		in Prozent				
Bei der relativen Feuchtigkeit von	0 %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	20 %	0,12	0,24	0,46	0,84	1,46
	40 %	0,24	0,47	0,92	1,68	2,91
	60 %	0,36	0,73	1,39	2,51	4,37
	80 %	0,48	0,97	1,85	3,35	5,82
	100 %	0,60	1,21	2,31	4,19	7,28

Betrachten wir jetzt die möglichen Einwände:

1. Die Tabellen zeigen, daß die auftretenden Änderungen im Sauerstoffgehalt nicht gerade groß sind. Dabei ist zu beachten, daß beim Einsetzen des Föhns die Luft sehr trocken wird, daß also nach den Tabellen der Sauerstoffgehalt herauf geht. Zwischen 20 und 30° beträgt die Vermehrung des Sauerstoffgehaltes etwa 1—3 % des Normalgehaltes, je nach der Temperatur und den vorher herrschenden Feuchtigkeitsverhältnissen. Das sind natürlich Änderungen, die für den normalen Menschen belanglos sind. Die föhneempfindlichen, meist kreislaufgestörten, häufig kreislaufunfähigen und psycholabilen Menschen haben aber sicher eine viel tiefere Reizschwelle und sind daher für viel kleinere Störungen empfindlich als der normale Mensch.

2. Beim Föhnereinbruch geht der Prozentgehalt und der Partialdruck des Sauerstoffs herauf. Die subjektiven Föhnbeschwerden müßten also nicht, wie bei der ähnlichen Höhenkrankheit durch Sauerstoffmangel, sondern durch Sauerstoffüberangebot hervorgerufen sein. Nun lehrt aber die Erfahrung, daß Menschen, die durch langen Aufenthalt für die Höhe akklimatisiert sind, durch Heruntergehen von dieser Höhe ebenso beeinflußt werden wie der in der Ebene akklimatisierte Mensch beim Aufstieg⁴⁾. Es kommt also immer auf die Gewöhnung des Menschen an einen bestimmten Sauerstoffgehalt an. Dabei ist noch die Frage offen, ob, wie in der Physiologie allgemein angenommen wird, nur der absolute Partialdruck des Sauerstoffs maßgebend ist, oder ob nicht doch das Mischungsverhältnis des Sauerstoffs zu den Restgasen (einschließlich Wasserdampf) eine Rolle spielt. Beim Durchgang der barometrischen Maxima und Minima ändert sich nämlich — bei gleichbleibender Feuchtigkeit — der absolute Sauerstoff-Partialdruck proportional dem Luftdruck. Diese Änderungen betragen meist viele Prozente und werden von normalen wie von föhneempfindlichen Menschen anstandslos ertragen. Nun mag der Fall so liegen, daß der Mensch an diese, bereits seit Urzeiten bestehenden Luftdruck- und Sauerstoff-Partialdruckänderungen vollständig akklimatisiert ist, daß er aber trotzdem gegen Änderung der Luftzusammensetzung empfindlicher geblieben ist, da diese, wie beim Föhn, mehr lokal auftreten und der einzelne Mensch mehr oder minder zufällig solchen lokalen Änderungen ausgesetzt ist. Es ist auch zu beachten, daß der Wasserdampfgehalt für das Klima einer bestimmten Gegend von ausschlaggebender Bedeutung ist, und daß der Mensch sich an veränderte Klimata nur langsam anpaßt. Auch hier mag der mit dem Wasserdampf veränderliche Sauerstoffgehalt eine Rolle spielen⁵⁾.

3. Schwerwiegender ist der Einwand, daß die eingeatmete Luft auf dem Wege zu den Alveolen der Lunge, wo die Sauerstoffabgabe erfolgt, viel Wasserdampf aufnimmt (bei 37° ist der Partialdruck des Wasserdampfes = 48 mm Hg)

und daß infolgedessen die mehr oder weniger große Trockenheit der eingeatmeten Luft ohne Einfluß sei. Nun ist in der Tat die *ausgeatmete* Luft mit Wasserdampf stark angereichert oder sogar für 37° annähernd gesättigt. Außerdem ist in der Lunge immer Reserveluft mit hoher Wasserdampfsättigung vorhanden, die sich mit der frisch eingeatmeten Luft vermischt. Sicher wird aber ein Teil der Sättigung erst in den Alveolen selbst zustande kommen, so daß die Änderung im Sauerstoffgehalt auch in den Alveolen noch teilweise zur Wirkung kommen kann⁶⁾.

Als positives Moment für die gemachte Arbeitshypothese kann ferner der Umstand angesehen werden, daß sie auch für andere meteoropathologische Erscheinungen zur Erklärung herangezogen werden kann. E. FLACH⁷⁾ hat nämlich in jahrelangen kritischen Untersuchungen an klinischem Material gezeigt, daß eine enge Korrelation zwischen dem Auftreten von Anginen und Wetterschmerzen und *Änderungen* des Wasserdampfdruckes in der Luft besteht. Da Feuchtigkeitsänderungen insbesondere auch bei absteigenden Luftströmen („freien“ Föhnen) auftreten, so soll auch ein Zusammenhang mit entsprechenden Wetterlagen bestehen. Eine Erklärung für diesen auffälligen Einfluß der Änderungen des Wasserdampfgehaltes der Luft konnte bisher nicht gegeben werden. Unsere oben mitgeteilten Tabellen zeigen, wie die Änderungen des Wasserdampfdruckes mit den Änderungen des Sauerstoffgehaltes zusammenhängen und es erscheint nicht ausgeschlossen, daß viele der beobachteten Wirkungen eben durch diese Veränderungen im Sauerstoffgehalt verursacht sind. Vielleicht könnte man noch besser sagen, ausgelöst sind, da für die pathologischen Erscheinungen fast immer nicht eine einzelne Ursache, son-

dern eine ganze Ursachenkette oder ein Ursachennetz maßgebend ist⁸⁾. Da eine Veränderung des Sauerstoffgehaltes einen Angriff am Respirationszentrum, d. h. an einer der empfindlichsten Stellen des vegetativen Nervensystems bedeutet, so erscheint es immerhin möglich, daß auch kleine Änderungen im Sauerstoffgehalte auslösende Wirkungen hervorrufen, wenn bei entsprechender Allgemeindisposition die Kompensationsreaktionen der betreffenden Personen herabgesetzt sind. Die vorliegende Arbeitshypothese darf also wohl der Prüfung durch Mediziner und Physiologen empfohlen werden.

Friedrichshafen a. B., Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre in der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, den 8. Dezember 1940.
E. REGENER.

¹⁾ P. JORDAN, Naturwiss. 28, 630 (1940).

²⁾ W. STORM VAN LEEUWEN, J. BOOIJ u. J. VAN NIEKERK, Gerl. Btg. Geophys. 38, 424 (1933). Auch Gerl. Btg. Geophys. 38, 407 (1933) u. 44, 400 (1935).

³⁾ Vgl. die Tabelle auf S. 9 in der neuen Auflage von HANN-SÜRING, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1939.

⁴⁾ Beispiel: Hauswart W., der jahrelang die Forschungsstation auf dem Jungfrauojoch betreut.

⁵⁾ Tropisch-feuchte Klimata haben wegen ihrer hohen Temperatur nach Tabelle 2 bereits ein stärkeres Sauerstoffdefizit.

⁶⁾ Vgl. dazu H. PFLEIDERER und L. LESS, Die klimatischen Ansprüche an die Atemwege des menschlichen Körpers. Biokl. Beibl. 2, 1 (1935).

⁷⁾ E. FLACH, Atmosphärisches Geschehen und witterungsbedingter Rheumatismus. Dresden 1938.

⁸⁾ B. DE RUDDER, Naturwiss. 26, 672 (1938).

Besprechungen.

HÜCKEL, W., **Theoretische Grundlagen der Organischen Chemie**. 1. Band. 3. Auflage. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1940. XII, 616 S. Mit 26 Abb. 16 cm × 24 cm. Preis RM 20.—; Lw. RM 21.80.

Der 1. Band der neuen Auflage hat den gleichen äußeren Aufbau wie die beiden vorhergehenden Auflagen, der Umfang hat sich vergrößert. Einige Kapitel sind unter Berücksichtigung neuer Forschungsergebnisse und theoretischer Erkenntnisse weitgehend umgearbeitet worden. Im Kapitel über Tautomerie wird durch die Einführung des Mesomeriebegriffs, dessen ausführliche Begründung auf physikalischer Basis dem 2. Band vorbehalten bleibt, die Deutung von Problemen ermöglicht, die mit den Hilfsmitteln der klassischen organischen Chemie nicht zu lösen waren. Durch die Einführung des Mesomeriebegriffs erfahren auch die Kapitel über die Reaktionsweise ungesättigter und aromatischer Verbindungen eine Vertiefung. Neue Erkenntnisse sind ferner bei der Bearbeitung der Kapitel über den Verlauf chemischer Reaktionen und die WALDENsche Umkehr herangezogen worden. Das Kapitel über die Radikale zeigt gemäß den neuen Forschungen eine Erweiterung der Unterabschnitte über Metallkyle und Diradikale. Neu eingeführt wird im Kapitel über organische Molekülverbindungen ein Abschnitt über Chelate und Scheerenverbindungen. Die Literatur ist nochmals einer gründlichen Durchsicht unterzogen worden.

Die Grundlage der besprochenen Probleme bildet das Experiment, alle unzureichend begründeten Hypothesen sind unberücksichtigt geblieben. Die modernen Erkenntnisse werden aufgebaut auf den klassischen Vorstellungen und aus diesen abgeleitet. Dadurch kommt einmal zum Ausdruck, welche Leistung rein intuitiv auf experimenteller Basis vollbracht worden ist, zum anderen aber auch, welche Grenzen der Anwendung den älteren theoretischen Vorstellungen gesetzt waren. Das große Verdienst des Verf. ist, daß er nicht nur mit seiner kritischen Einstellung zu den

behandelten Problemen den Lernenden in das tiefere Wesen der organischen Chemie einführt, sondern auch den Forscher zu neuen Arbeiten anregt und ihm den Weg zur experimentellen Bearbeitung weist.

HEINZ DANNENBERG, Berlin-Dahlem.

Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff „Meteor“ 1925—1927. Hrsg. im Auftrage der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft von A. DEFANT. Bd. VII, 2. Teil. Ozeanographische Sonderuntersuchungen. 1. Lieferung. ARNOLD SCHUMACHER, Stereophotogrammetrische Wellenaufnahmen. Berlin: Walter de Gruyter u. Co. 1939. 86 Seiten, 24 Abb., 16 Tafeln. 23 × 29 cm. Preis RM 13.—, und Atlas mit 51 Beilagen, davon 30 mehrfarbig. Preis RM 36.—, geb. RM 40.—.

Der Bericht über die stereophotogrammetrischen Wellenaufnahmen, die ARNOLD SCHUMACHER während der Expedition auf dem Vermessungsschiff „Meteor“ und später auf der „Deutschland“ vorgenommen hat, liegt jetzt vor; man würde sagen mit einer erheblichen Verspätung, wenn nicht die wesentlichsten Ergebnisse schon aus früheren Berichten des Verfassers bekannt geworden wären.

Der Textband bringt zunächst eine Beschreibung der Aufnahmevorrichtung und der Verfahren, wie sie ausgebracht werden kann, sodann einen kurzen Bericht über das Ausmessen der Platten und eine Betrachtung über die Meßgenauigkeit der Methode. Der Hauptteil ist der Beschreibung des gesammelten Materials gewidmet. Der Verfasser stellt sich bewußt die beschränkte Aufgabe, „statistisch-morphologische“ Angaben über die Wellenformation zu gewinnen und verzichtet auf den Versuch, tiefere physikalische Einsichten, wie einen Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Wellenform oder einen Aufschluß über die hydrodynamische Struktur einer Welle, zu erreichen. Das ausgezeichnete reichhaltige Bildmaterial in einem besonderen Atlas umfaßt Wellenpläne (die auf Grund der photogrammetrischen Auswertung ge-

wonnenen Schichtenpläne), Einzelwellen, die sich durch Schnitte in den Wellenplänen ergeben und schließlich „Mittelwellen“ — Durchschnittswerte aus Seegangprofilen —, die mit Angaben über die bei der Mittelung zugelassenen Streuungsgrenzen versehen sind; die „Mittelwellen“ bilden eine wichtige Grundlage für die Auswertung. Wer mit Wellenmessungen zu tun gehabt hat, kennt das etwas unbefriedigende Gefühl, das sich aus der Notwendigkeit ergibt, allgemeine Schlüsse auf Grund des anscheinend reichhaltigen und in Wirklichkeit gegenüber der erdrückenden Fülle der Probleme armseligen Materials, zu ziehen. Je höher das Ziel gesteckt ist, um so größer ist zur Zeit noch die Gefahr unzulässiger Verallgemeinerungen. Wie schon bei der Besprechung der Aufgabenstellung hervorgehoben, hat der Verfasser eine weise Beschränkung geübt; auf Grund der „Mittelwelle“ gibt er aufschlußreiche Tabellen über mittlere Verhältnisse von Wellenhöhe „H“, Wellenlänge „L“, über Verhältnisse der Längen des vorderen und rückwärtigen Wellenteils, der größten Neigungen des Wellenprofils und des Stillwasserniveaus, wobei bezüglich der zweckmäßig gewählten Definitionen auf die Originalarbeit verwiesen werden muß.

Beachtlich ist der geringe Wert des Quotienten H/L — eine Häufungsstelle ist bei dem Verhältnis $H/L = 1/40 - 1/45$ vorhanden. Der Verfasser erachtet das vorliegende Material noch nicht für ausreichend, um die Grenze zwischen Windsee und Dünung zu diskutieren. — Eingehendere Angaben über die Größe der Scheitelwinkel (Kammwinkel) werden gemacht. Ein interessantes Diagramm, das eine plausible Definition der üblichen nautischen Seegangsschätzungen nach mittleren Wellenhöhen und -längen bringt, beschließt die Auswertung; dieses Schaubild wird hoffentlich dazu beitragen, der babylonischen Sprachverwirrung hinsichtlich der Seegangsdefinition Abbruch zu tun. Ich bin aber mit dem Verfasser nicht ganz einig, daß die übliche Darstellung nach Seegängen zweckmäßiger wäre, als eine unter anderem von mir vorgeschlagene, die auf 2 Parametern (mittlere Wellenhöhe und -länge nebst Angabe des Charakters) beruht. Ebenso möchte ich gegenüber der Ansicht des Verfassers meinen in den „Naturwissenschaften“ gemachten Vorschlag aufrechterhalten, die Bezeichnung „Windsee und Dünung“ zu gebrauchen und den Begriff „Seegang“ als Oberbegriff für beide zu reservieren. Bei der entscheidenden Bedeutung, die klaren Definitionen zukommt, würde ich es begrüßen, wenn diese Punkte Veranlassung zu einer Diskussion abgeben würden.

Sehr bemerkenswert ist der Rückblick, mit dem die Arbeit schließt. Wie der Verfasser hervorhebt, sind die Meßergebnisse nicht weitgehend zu verallgemeinern, schon aus dem Grunde, weil Angaben über schweren Seegang nicht vorliegen; so haben beispielsweise die Sturmseen, die während der Meßfahrt der „San Francisco“ aufgenommen worden sind, größere Verhältnisse H/L (bis etwa $1/13$) ergeben — eine Zahl, die für Schifffahrt und Schiffbau von Bedeutung ist. (Jahrb. Schiffbautechn. Gesellschaft 1936.)

Zum Schluß sei es gestattet, dem Verfasser, Herrn Prof. Wüst und der Deutschen Forschungsgemeinschaft einen persönlichen Dank für die Entwicklung des Aufnahmeinstrumentes abzustatten, das während der erwähnten Versuche auf der „San Francisco“ und bei weiteren Meßfahrten nützliche Dienste geleistet hat.

GEORG WEINBLUM.

SCHOENICHEN, WALTHER, **Biologie der geschützten Pflanzen Deutschlands**. Eine Einführung in die lebenskundliche Betrachtung heimischer Gewächse.

Jena: Gustav Fischer 1940. VIII, 248 S., 363 Textabbild., 16 Tafeln. 17 cm × 25 cm. Preis geh. RM 12.—, geb. RM 13.50.

Der Verfasser hat als Naturforscher, der sich lange und eingehend mit den Naturschutzbestimmungen und den durch sie geschützten Pflanzen befaßt hat, diese Pflanzen sehr gut kennengelernt. Er hat nun ein eingehendes Buch über die Biologie der geschützten Pflanzen Deutschlands geschrieben. Es gibt mit Worten und Bildern das wieder, was der Naturfreund wegen der Geschüttheit dieser Pflanzen in ihren Einzelheiten größtenteils nicht zu Gesicht bekommen kann. Dabei hat der Verfasser vor allem getrachtet, das Leben der betreffenden geschützten Pflanzen aus der Gestalt und Leistung ihrer Organe verständlich zu machen. Der Verfasser weist in diesem Zusammenhang darauf hin, daß die Zahl der geschützten Pflanzen Deutschlands verhältnismäßig groß ist, und er sagt — entsprechend dem Untertitel seines Buches —, daß die geschützten Pflanzen „für fast alle wichtigeren Lebenserscheinungen der heimischen Pflanzenwelt ausgezeichnete Belege“ liefern. Er hält es deshalb „für didaktisch durchaus möglich, die geschützten Arten in den Mittelpunkt der Betrachtung zu stellen und an sie anknüpfend ein Gesamtbild des heimischen Pflanzenlebens zu entwerfen“. Dieser Auffassung kann ich aber nicht beipflichten, denn wenn wir den angehenden Biologen eine Einführung in das heimische Pflanzenleben geben wollen, dann müßten wir zu diesem Zwecke doch solche Pflanzen aussuchen, die nicht geschützt, sondern vielmehr allgemein zugänglich sind, so wie z. B. jene überaus lebenskräftigen Pflanzen der Bauplätze, Wegränder usw., von denen man so viel abschneiden, ausgraben, zerlegen und mikroskopisch untersuchen kann, als man nur Lust hat. Ein biologisches Buch soll doch vor allem dazu anregen, das Mitgeteilte nachzuprüfen und mit eigenen Augen zu sehen und zu erleben! Das kann man aber nicht oder wenigstens nicht in vollem Ausmaße bei geschützten Pflanzen. Soviel von der Problematik des Stoffes, der diesem Buch zugrunde liegt.

Das Buch hält auf jeden Fall das, was im Geleitwort versprochen wird. Nach einer kurzen Einführung in die Bestimmungen des Pflanzenschutzes werden die geschützten Pflanzen Deutschlands nach vier morphologisch-ökologischen Gesichtspunkten erläutert: nach der Achse und ihrer Entwicklung, nach der Beschaffenheit des Blattes, nach den Erscheinungen der Befruchtung und Bestäubung und schließlich nach dem Verhalten von Same und Frucht. In allen diesen Abschnitten werden die Pflanzenteile und Erscheinungen eingehend und an der Hand zahlreicher Zeichnungen besprochen, wobei der Verfasser vielfach eigene Beobachtungen und Untersuchungen verwertet hat. Dabei ist das Buch leicht faßlich geschrieben, so daß jeder einigermaßen botanisch geschulte Leser davon reichlichen Nutzen haben wird. Wenn dieses Buch auch bequem zu lesen ist, so ist es aber unbequem zum Nachschlagen, da jede Pflanzenart in mehreren Abschnitten des Buches immer wieder zur Sprache kommt. Nach meiner Meinung wäre es daher besser gewesen, die Morphologie und Ökologie der geschützten Pflanzen Art für Art in systematischer Reihenfolge nacheinander zu behandeln. Ich glaube deshalb, daß nach dem oben Ausgeführten der Nutzen des Buches größer wäre, wenn es mehr als Nachschlagebuch statt als Lesebuch dienen könnte. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß das Buch für jene Kreise, für die es vor allem bestimmt ist, einen brauchbaren Behelf abgeben wird.

FR. KNOLL, Wien.

Studien über den Eiweißumsatz der Zelle¹⁾.

VON TORBJÖRN CASPERSSON.

Mehrere von denjenigen Substanzen, aus welchen sich die Zelle aufbaut, haben charakteristische Absorptionsbänder innerhalb des optischen Spektrums. Aus einem Absorptionsspektrum einzelner Zellteile sollte sich daher nicht nur das Vorkommen, sondern auch die Menge solcher Substanzen bestimmen lassen. Da aber die Zellstrukturen in der Regel sehr klein sind, müssen derartige Messungen an Elementen mit einem Durchmesser von bis zu $1\ \mu$ herab und darunter vorgenommen werden. Infolgedessen müssen diese Messungen unter gewissen besonderen Bedingungen ausgeführt werden, damit die Meßdata ein adäquates Bild von der wirklichen Lichtabsorption des Zellelements geben können. Diese Bedingungen sind früher bestimmt und behandelt worden²⁾.

Die im gewöhnlichen Zellmaterial am meisten hervortretenden Absorptionsbänder, welche zur Identifizierung und quantitativen Bestimmung verwendet werden können, liegen im ultravioletten Spektralgebiet. Vorherrschend ist ein Absorptionsband bei $2600\ \text{Å}$, welches nach CASPERSSON²⁾ bei Beachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln als recht spezifisch für die *Nukleinsäuregruppe* betrachtet werden kann. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse wurde eine Serie von Untersuchungen über den Nukleinsäurestoffwechsel in der einzelnen Zelle ausgeführt. Nächste dem Nukleinsäureband tritt das Eiweißband am meisten hervor. Letzteres liegt bei einer etwas größeren Wellenlänge. In der Eiweißabsorptionskurve sind die Absorptionen der verschiedenen Aminosäuren als rein additive Komponenten enthalten (siehe jedoch unten). Die eigentliche Bindung in Polypeptidketten beeinflusst den Absorptionsverlauf in so unerheblichem Grade, daß Methoden ausgearbeitet werden konnten, direkt aus der Absorptionskurve einer Eiweißsubstanz zwischen 2600 und $3000\ \text{Å}$ die Menge des darin enthaltenen Tyrosins und Tryptophans zu bestimmen³⁾. Diese beiden Aminosäuren haben deutliche Absorptionsmaxima, die letztere in der Gegend von $2800\ \text{Å}$ und die erstere in saurer Lösung bei $2750\ \text{Å}$, in alkalischer bei $2950\ \text{Å}$; sie beherrschen dermaßen die Absorption oberhalb $2600\ \text{Å}$, daß der Einfluß der anderen Aminosäuren hier völlig vernachlässigt werden kann,

ohne daß ein nennenswerter Fehler begangen wird. Aus der Absorptionskurve einer Substanz, welche sowohl Eiweiß wie Nukleotide enthält, läßt sich folglich die Menge der darin enthaltenen Nukleotide berechnen, und ferner unter der einzigen Voraussetzung, daß die Lage des Tyrosinmaximums bekannt ist (welche aus dem Dissoziationsgrad der Phenolgruppe bestimmt wird), auch die Menge des enthaltenen Tyrosins und Tryptophans.

Zur Bestimmung des Verlaufs der Absorptionskurve in den Zellbestandteilen wurde eine photoelektrische Methode verwendet, deren Arbeitsweise und theoretische Grundlagen früher beschrieben worden sind¹⁾. Das Prinzip ist in Kürze folgendes: Das Objekt wird in den Strahlengang eines Ultraviolettmikroskops gebracht und mit monochromatischem Licht aus einer Superhochdruckquecksilberdampfampe beleuchtet, deren Licht in einem Monochromator zerlegt worden ist. Ein in geeigneter Weise vergrößertes Bild desjenigen Punktes im Objekt, welcher gemessen werden soll, wird auf eine photoelektrische Zelle geworfen und die Lichtabsorption durch Vergleich mit einem Punkt neben dem Objekt bestimmt [Einzelheiten siehe ¹⁾]. Solche Messungen werden in einer Serie von verschiedenen Wellenlängen ausgeführt. Mit dem zur Zeit verwendeten Instrument kann das Absorptionsspektrum innerhalb des Bereichs von 2100 bis $7500\ \text{Å}$ für ein Gebiet mit dem Durchmesser von $0,1\ \mu$ gemessen werden, mit über $2560\ \text{Å}$ beliebig nahe aneinander liegenden und unter $2560\ \text{Å}$ jedesmal bei etwa $50\ \text{Å}$ wiederkehrenden Meßpunkten. Die Breite des verwendeten Spektralbandes liegt bei $2800\ \text{Å}$ um $7\ \text{Å}$. Die Genauigkeit der Messung hält sich noch bei dem Extinktionskoeffizienten $0,1$ bei 1% .

Analyse der Eiweißverteilung in einem Interphasenkern.

Als Repräsentant des Interphasenkerns wurde der Kern der Speicheldrüsenzellen von *Drosophila-larven* untersucht, da er spezielle Vorteile bietet. Durch die Vermehrung des Kernmaterials auf endomitotischem Wege sowie gleichzeitig dadurch, daß die Tendenz zu somatischer Paarung eine so große ist, daß die Endomitose nicht wie gewöhnlich in einem eigentlich polyploiden Kern resultiert, kommen enorm vergrößerte Kernstrukturen in haploider Anzahl zustande. Die verschiedenen Teile des Kerns, Euchromatin, Heterochromatin,

¹⁾ Aus der Chemischen Institution, Karolinska Institutet, Stockholm. — Die hier erörterten Arbeiten wurden durch Unterstützung der Rockefeller Foundation und Stiftelsen Thérèse och Johan Anderssons Minne ermöglicht.

²⁾ CASPERSSON, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) Suppl. 8 zu Bd. 73 (1936).

³⁾ HOLIDAY, Biochemic. J. 30, 1795 (1936).

¹⁾ CASPERSSON, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 77 (1937) — Kongreßber. XVI. Internat. Physiol.-Kongr. 1938 — Chromosoma 1, 147 (1939).

Nukleolus und achromatische Bestandteile sind so groß, daß die einzelnen Elemente derselben weit über die Auflösungsgrenze des Mikroskops hinausgehen und folglich für sich gemessen werden können. Nach FROLOWA sind die Kerne praktisch sämtlicher Gewebe der Larve nach demselben Schema gebaut, so daß kein Grund zu der Annahme besteht, die eigenartige, von der des gewöhnlichen Ruhekerns abweichende Struktur entspreche einer speziellen Funktion.

Der Verlauf einer Anzahl von Kurven geht aus Fig. 1 hervor. Alle Messungen sind an Quetschpräparaten in 50proz. Essigsäure mit einem geringen Zusatz von Lanthanazetat zur Fällung

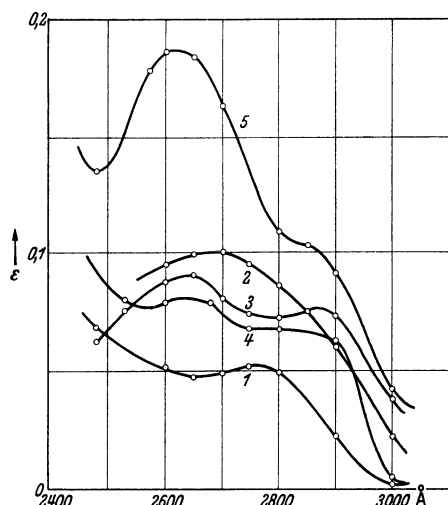


Fig. 1. Verschiedene Typen von Absorptionsspektra. Kurve 1: Zwischenscheibe des Speicheldrüsenchromosoms, reines 2800 Å-Band. Kurve 2: Zytoplasma einer Epithelzelle (Kaninchen), Nukleinsäureband und 2800 Å-Band. Kurve 3: Nukleolus von *Arenicola*, 2900 Å-Band und schwaches Nukleinsäureband. Kurve 4: Nukleolus aus der *Drosophila*speicheldrüse, wie vorher. Kurve 5: Chromozentrum aus der Speicheldrüse, hohes Nukleinsäureband und 2900 Å-Band.

der Nukleinsäure ausgeführt. Die Komponenten, aus welchen sich diese Kurven zusammensetzen, sind entsprechend dem oben Gesagten: Nukleotide mit einem Band bei 2600 Å, Tryptophan mit einem solchen bei 2800 Å, Tyrosin mit einem Band bei 2750–2950 Å, die aliphatischen Aminosäuren mit einer nichtselektiven, mit fallender Wellenlänge steigenden Absorption, sowie schließlich eine ebenfalls mit fallender Wellenlänge steigende nichtselektive Absorption, welche durch die Lichtstreuung im Präparat bedingt wird. Die Analyse, welche recht kompliziert ist, wurde an anderer Stelle ausführlich wiedergegeben¹⁾. Sie ergibt, daß die Absorption der Zwischenscheiben völlig einer gewöhnlichen Eiweißabsorption entspricht, beispielsweise der des Albumin-Globulin-Eiweiß-Typs, mit einem Tyrosingehalt von etwa 5% und einem Tryptophangehalt von etwa 2%

¹⁾ CASPERSSON, *Chromosoma* 1940.

(infolge des niedrigen Werts der Absorption lassen sich keine exakteren Data erhalten). Zum Vergleich ist eine andere Absorption vom Zytoplasma einer erwachsenen Metazoenzelle eingezeichnet, welche denselben Absorptionstyp zeigt.

In sämtlichen anderen Kurven tritt das Nukleinsäureband mehr oder weniger deutlich hervor. Wenn dasselbe über ein Eiweißabsorptionsband bei 2800 Å gelagert wird, wäre zu erwarten, daß dieses scheinbar etwas nach der kurzwelligen Seite hin verschoben würde. Dies geht indessen aus diesen Kurven nicht hervor. Das Maximum des Eiweißes liegt statt dessen nach der langwelligen Seite hin verschoben — eine genaue Analyse ergibt, daß es in den Chromozentrum- und Nukleolenkurven in der Gegend von 2900 Å liegt [Einzelheiten siehe ¹⁾]. Auf dieses Phänomen, das auch in zahlreichen anderen Fällen beobachtet wurde, komme ich im folgenden zurück. Seine Ursache kann nicht im Vorkommen von Lipoiden zu suchen sein, da es auch nach intensiver Fettextraktion bestehen bleibt. Daß das Band auf noch unbekannte Substanzen von Eiweißcharakter zurückzuführen wäre, ist äußerst unwahrscheinlich, da die Höhe des Bandes mehrere Prozent der sehr stark absorbierenden Phenolgruppierung entspricht, weshalb es sich um Substanzen handeln muß, die in hoher Konzentration vorkommen; außerdem muß man von den Eiweißstoffen, welche, wie wir wissen, im Nukleolus enthalten sind (vgl. unten), annehmen, daß sie wenig Spuren in der Absorptionskurve hinterlassen. Die Lage des Bandes im sauren Medium ist ungefähr dieselbe wie bei Eiweißsubstanzen vom Globulintyp in alkalischer Lösung, weshalb es sich um eine Sperrung der Verschiebung des Eiweißbandes mit der Wasserstoffionenkonzentration zu handeln scheint. Dies kann nicht auf den Einfluß von anwesenden Nukleinsäuren zurückgeführt werden, da diese einerseits nachweislich keinen derartigen Einfluß auf Eiweißstoffe vom Globulintyp ausüben, und da andererseits die Lage des Maximums auch in Fällen (gewisse Nukleolen) dieselbe ist, wo die Nukleinsäurekonzentration eine sehr niedrige ist. Folglich muß es sich hier um ein an den Eiweißbau als solchen gebundenes Phänomen handeln. Bei der Analyse der Kurven findet man das Band bei 2900 Å in verschiedener Entwicklung innerhalb großer Teile des Kerns (was auch an anderem Material bestätigt wurde, vgl. unten). Praktisch das einzige, was wir aus makrochemischen Untersuchungen über das Eiweiß der Zellkerne wissen, ist, daß dieselben wahrscheinlich große Mengen von basischen Eiweißstoffen, speziell Histonen, enthalten. Daß diese basischen Eiweißsubstanzen für den Effekt verantwortlich sind, wird dadurch noch wahrscheinlicher, daß sich die Nukleolen, welche am reichsten an der betreffenden Substanz sind, definitionsmäßig durch den Besitz eines den Eiweißstoffen des Zytoplasmas gegenüber bei Färbung klar hervortretenden basischen Charakters auszeichnen, sowie daß die Größen-

ordnung der Menge von Substanz mit dem 2900-Band, welche in Metaphasenchromosomen vorhanden ist, der Menge von Histonen gut entspricht, welche die Analysen von isolierten Spermienköpfen ergeben. Schließlich weisen auch aus Thymus dargestellte Präparate basischer Eiweißkörper dasselbe Phänomen auf, nämlich ein Absorptionsmaximum in saurer Lösung in der Gegend von 2850 Å, welches bei Änderungen der Wasserstoffionenkonzentration wenig verschoben wird. In speziellen Versuchen wurde nachgewiesen, daß die Erklärung dieses Phänomens in einem Einfluß der enthaltenen basischen Aminosäuren auf die Dissoziation der Phenolgruppe des Tyrosins liegen dürfte¹⁾. Für die Eiweißsubstanz mit dem Band in der Gegend von 2900 Å wird daher im folgenden die Bezeichnung „Eiweiß vom Histontyp“ angewendet, im Gegensatz zum Eiweiß, dessen Absorptionsmaximum in saurer Lösung unter 2800 Å liegt, welches aus bereits angegebenen Gründen „Eiweiß vom Globulintyp“ genannt wird, ohne daß damit wesentlichere Voraussetzungen hinsichtlich des eventuellen Albumin- oder Globulincharakters desselben statuiert werden sollen.

Diesen Definitionen nach bestehen also die „Zwischenscheiben“ der Speicheldrüsenchromosomen aus Eiweißstoffen mit Absorptionen vom Globulintyp. Die „Bänder“ selbst enthalten Nukleotide in so außerordentlich hohen Konzentrationen, daß es nicht möglich ist, eine ins einzelne gehende Analyse von Eiweißkomponenten auszuführen. Es ist indessen offenbar, daß die Gesamtmenge der Eiweißsubstanzen im Chromosom hier im Gegensatz zum Ruhekern im Verhältnis zur Nukleinsäuremenge sehr klein ist, ungefähr 5 : 1 bis 2 : 1. In dieses Eiweiß geht auch solches vom Histontyp ein und macht wahrscheinlich die Hauptmenge aus; eine feinere Analyse läßt sich wie gesagt in diesem Fall nicht durchführen. Das heterochromatische Chromozentrum setzt sich aus hochgradig nukleinsäurehaltigen, voneinander durch schwächer absorbierendes Material mehr oder weniger vollständig getrennten Chromomeren zusammen. Der Meßstrahl muß beide Komponenten desselben passieren. Die Kurve zeigt Nukleotide sowie Eiweiß vom Histontyp in Mengen, welche weit größer sind als in den euchromatischen Bändern. Ein gewisser Gehalt an Eiweißsubstanzen vom Globulintyp läßt sich nicht ausschließen. Der Nukleolus zeigt, wie oben erwähnt wurde, das Vorhandensein hoher Konzentrationen von Eiweiß vom Histontyp und außerdem variierende Mengen anderen Eiweißes.

Von besonderem Interesse ist der Umstand, daß sowohl das Heterochromatin wie die Nukleolarsubstanz durch hohe Konzentrationen von Eiweiß vom Histontyp gekennzeichnet wird. Dies stellt eine schlagende chemische Parallele zu der zytologischen Zugehörigkeit von Nukleolus und Heterochromatin dar, auf welche während der letzten Jahre mehr und mehr hingewiesen worden ist.

¹⁾ CASPERSSON, Chromosoma 1940.

Der Bau des Speicheldrüsenkerns ist nach diesen Messungen also folgender (vgl. Fig. 2): Die euchromatischen Bänder enthalten Nukleinsäure und Eiweiß, letzteres in kleinen Mengen, sowie wahrscheinlich vorwiegend vom Histontyp. Die Zwischenscheiben enthalten Eiweißstoffe mit Absorptionsspektren vom Globulintyp. Das heterochromatische Chromozentrum enthält Nukleinsäuren und erhebliche Mengen Eiweiß vom Histon-

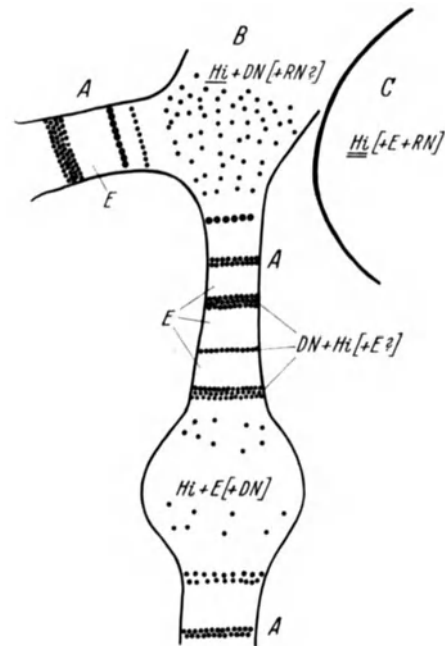


Fig. 2. Schema für den chemischen Bau des Speicheldrüsenkerns. A Euchromatin, B Heterochromatin, C Nukleolus, DN Desoxyribosenukleotide, RN Ribosenukleotide, E Eiweiß vom Globulinabsorptionstyp, H_L Eiweiß vom Histonabsorptionstyp. Unterstrichung bezeichnet große Menge, Parenthese unerhebliche Menge.

typ, der Nukleolus ebenso wie das Chromozentrum große Mengen Eiweiß vom Histontyp sowie kleine Mengen Nukleinsäuren.

Analyse von Metaphasenchromosomen.

Die Metaphasenchromosomen von *Drosophila* sind so klein, daß es erhebliche Schwierigkeiten bietet, ein genaues Absorptionsspektrum derselben zu erhalten. Durchweg sind jedoch zytologische Entwicklung, ausgeprägte Färbbarkeit und allgemeine physikalische und chemische Eigenschaften aller Metaphasenchromosomen so gleich, daß Grund zu der Annahme besteht, die Zusammensetzung derselben sei eine recht einheitliche. Als Objekt wurden daher Chromosomen von der Spermio-genese bei gewissen Heuschreckenarten gewählt, deren große Chromosomen eine Messung relativ leicht machen. Das Absorptionsspektrum zeigt eine sehr hohe Nukleinsäureabsorption, über welche eine schwache Eiweißabsorption gelagert

ist. Das Nukleinsäureband ist 10- bis 20mal höher als das Eiweißband, weshalb es nicht möglich ist, eine ins einzelne gehende Analyse des letzteren durchzuführen. Es wird jedoch ersichtlich, daß das Verhältnis von Nukleinsäure zu Eiweiß bei ungefähr 1 : 1 bis 1 : 4 liegt, sowie daß das Eiweiß wenigstens zum Teil, möglicherweise gänzlich vom Histontyp ist.

Vergleich zwischen Metaphasen- und Interphasenkern.

Der Unterschied in der Zusammensetzung zwischen Interphasenkern und „Metaphasenkern“ ist augenfällig. Im ersteren sind große Mengen von Eiweißsubstanzen und kleine Mengen Nukleinsäuren vorhanden, während der letztere Nukleinsäuren und Eiweiß in annähernd gleichen Mengen enthält. Außerdem enthält der Interphasenkern große Mengen von Eiweißstoffen mit Absorption vom Globulintyp, welche sich in den Metaphasenchromosomen nicht mit Sicherheit nachweisen lassen. Im Speicheldrüsenkern findet man jedoch Teile, welche ihrer Zusammensetzung nach große Ähnlichkeiten mit den Metaphasenchromosomen

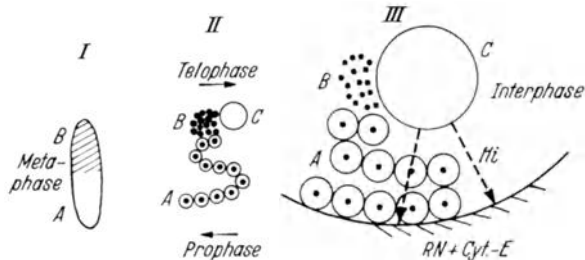


Fig. 3. Schematisierte Darstellung der Eiweißveränderungen bei der Mitose. I ein Metaphasenchromosom, II dasselbe Chromosom in beginnender Telophase bzw. späterer Prophase, III in Telo- oder Interphase. Bezeichnungen wie bei Fig. 2.

aufweisen, nämlich die nukleinsäurehaltigen Bänder, welche im großen ganzen dieselbe Zusammensetzung haben. Zytologisch ist die Ähnlichkeit auch natürlich, da dieselben ja direkte Derivate derjenigen Chromosomen sind, aus welchen sich die eigentlichen Metaphasenchromosomen, oder wenigstens der Hauptteil derselben, aufbauen. Das Neue, was während einer gedachten Entwicklung vom Metaphasenchromosom zum Ruhekern hinzukommt, sind also die aus Eiweiß vom Globulintyp aufgebauten Zwischenscheiben und die histonhaltigen Nukleole, welche demnach während der Telophase entstanden sein müssen.

Wenn die Annahme, welche oben als wahrscheinlich hingestellt wurde, berechtigt ist, daß der Speicheldrüsenkern einen Ruhekern im allgemeinen und das Heuschreckenchromosom ein Chromosom im allgemeinen repräsentiert, dann muß folglich die Entwicklung, welche die Kernsubstanzen während der Telophase durchmachen, folgende sein: Rings um die einzelnen Chromomeren im euchromatischen Teil des Metaphasenchromosoms werden Eiweißstoffe ausgebildet,

welche eine Absorption vom Globulintyp besitzen und also mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit unter die höheren Eiweißkörper eingereiht werden können. Rings um die Chromomeren des Heterochromatins dagegen entwickelt sich ein Eiweiß, welches wenigstens zum großen Teil vom Histontyp ist. Durch diese Ausbildung von Eiweißstoffen rings um die gesonderten Elemente im Chromosom muß offenbar die Struktur desselben gesprengt werden. Wenn diese Eiweißproduktion mit begleitender Anschwellung des Chromosoms eine Zeitlang vor sich gegangen ist, müssen natürlich die schwellenden Chromosomteile einander treffen und schließlich zu einem einheitlichen Gebilde, dem Telophasenkern, verschmelzen. Das telophasische Produkt des Heterochromatins war, wie gesagt, hauptsächlich Eiweiß vom Histontyp. Da der Nukleolus gerade dadurch gekennzeichnet wird, daß er besonders große Mengen dieser Substanzen enthält, und da das Heterochromatin zum Unterschied vom Euchromatin die strenge Linearstruktur vermissen läßt, welche jedes Element auf seinem bestimmten Platz halten muß, scheint der Nukleolus in seinem Hauptteil ein telophasisches Produkt des Heterochromatins zu sein, welches sich zu einem einheitlichen Gebilde neben dem Chromatinteil ansammelt. Diese Anschauung wird auch von den unten angeführten Untersuchungen an der Eizelle und Nervenzelle gestützt.

Die Veränderungen während der Prophase müssen die entgegengesetzten sein. Der Hauptteil der großen Eiweißmengen des Interphasenkerns muß abgebaut werden und verschwinden, damit endlich nur diejenige Menge zurückbleibe, welche in die Metaphasenchromosomen eingeht und die wahrscheinlich hauptsächlich aus Histonen besteht. Bei der Entwicklung der untersuchten Metaphasenchromosomen von der Heuschrecke wurde ein derartiger Abbau und eine solche Umwandlung mittels Ultraviolettabsorptionsmessung direkt beobachtet. Im frühen Leptotän enthalten die Spermatozytenkerne beträchtliche Mengen Eiweiß mit Absorption vom Globulintyp, während solches in den späteren Stadien der Prophase nur andeutungsweise wahrzunehmen ist. Eiweiß vom Histontyp kommt jedoch in erheblichen Mengen vor.

Was diejenige Komponente betrifft, welche die Färbbarkeit der basophilen Kernelemente bedingt, also die Nukleinsäuren, so ist das Vorkommen derselben in den Chromosomen mit der Genteilung in Zusammenhang gebracht worden¹). Charakteristisch ist, daß dieselben in größten Mengen in den Metaphasenchromosomen während der Teilung auftreten und dann während der Telophase in verschiedenen Zellen in sehr verschiedenem Grade zurückgehen. In gewissen Fällen können die-

¹) CASPERSSON, *Chromosoma* **1**, 147 (1939). — CASPERSSON u. SCHULTZ, *Nature* (Lond.) **142**, 294 (1938) — *Hereditas* **1940**.

selben anscheinend völlig weiterbestehen, während sie in anderen praktisch gänzlich zu verschwinden scheinen. Unter allen Umständen tauchen sie jedoch immer während der Prophase auf, so daß die Metaphasenchromosomen stets durch ihren hohen Nukleinsäuregehalt charakterisiert werden. Der Aktivitätszustand der Zelle übt auch einen starken Einfluß auf die Nukleinsäuremengen im Kern während der Interphase aus.

Ist dieses Schema allgemein anwendbar?

Das Schema für den Eiweißstoffwechsel während der Mitose, welches oben aufgestellt wurde, gründet sich lediglich auf Messungen an 2 Objekten, weshalb erst ein Vergleich mit einer größeren Anzahl von anderen die Entscheidung darüber bringen kann, ob dasselbe allgemeinere Geltung hat. Dafür, daß dies der Fall sei, sprechen u. a. folgende Umstände:

1. Die morphologischen Veränderungen während der Mitose, das Auftauchen der Chromosomen in der Prophase, während der Nukleolus verschwindet und die Kernmembran aufgelöst zu werden scheint, steht offenbar in gutem Einklang zu den obenerwähnten Veränderungen der Eiweißstoffe. Dasselbe gilt von der Telophase, dem Schwellen der Chromosomen, d. h. der Produktion von Eiweißsubstanzen rings um jedes Chromomer, möglicherweise der Träger von typischen Eigenschaften der verschiedenen Gene, dem Auftauchen des Nukleolus, sowie der Ausbildung eines „Kerns“, d. h. eines aus schwach färbbarer, basophile Körnchen enthaltender Substanz zusammengesetzten Körpers, in welchem, wie man weiß, jedem Chromosom ein bestimmter Teil des Kernvolumens entspricht.

Die speziellen Faktoren, welche den Speicheldrüsenkern von anderen Interphasenkernen unterscheiden, sind die Endomitotendenz und die somatische Paarung. Diese Faktoren müssen, chemisch betrachtet, dazu führen, daß der Nukleinsäuregehalt in den getragenden Elementen lange ein hoher sein muß (die Genteilung hält auch während der Interphase an), und daß die Tochterchromomeren zusammengehalten werden, so daß das Resultat für das Auge trotz des starken Wachstums eine auffallend regelmäßige Struktur wird.

2. Die Färbbarkeit mit basischen und sauren Farbstoffen in verschiedenen Teilungsstadien. Von den hochmolekularen Substanzen, welche aus Zellmaterial dargestellt worden sind und die einen ausgeprägten Elektrolytcharakter haben, sind die quantitativ unvergleichlich wichtigsten Eiweißkörper vom Albumin-Globulincharakter, solche vom Histoncharakter, Nukleinsäuren verschiedenen Polymerisationsgrades, sowie Mukoitschwefelsäuren und mit diesen verwandte Verbindungen. Im Vergleich zu den erstgenannten Eiweißsubstanzen haben die Histone eine ausgeprägte Tendenz, mit sauren Farbstoffen zu reagieren, während Nukleinsäuren und Polyschwefelsäuren mit großer

Heftigkeit basische Farbstoffe fällen. Der Färbungscharakter allein kann niemals zur Identifizierung dieser Substanzen verwendet werden. Dagegen müssen Zellteile, von welchen man aus anderen Gründen vermutet, daß sie etwas von diesen Substanzen enthalten, die betreffenden Färbungsverhältnisse aufweisen, wenn diese Vermutung Wahrscheinlichkeitswert haben soll. Ein deutliches Beispiel bietet das Metaphasenchromosom, von dem man bereits nach den ersten einschlägigen Arbeiten vermutete, daß es Nukleinsäuren in großen Mengen enthalte. Dasselbe zeigt stets eine besonders starke Basophilie, was diese Annahme stützt. In einer heutzutage sehr großen Anzahl von Objekten sind mit anderen spezifischen Methoden, verschiedenen Digestionsversuchen, Nuklealreaktion, Ultravioletabsorptionsmessung Nukleinsäuren nachgewiesen worden; mit der letzten Methode wurde auch festgestellt, daß es sich um große Quantitäten handelt.

Im Ruhekern färben sich kleinere Partikel stark basophil und gewisse andere Partikel azidophil, während die Hauptmasse keine ausgeprägte Färbungstendenz aufweist. Definitionsgemäß hat der Nukleolus eine ausgesprochene Azidophilie, zum Unterschied von den Eiweißstoffen des Zytoplasmas. Dies gilt mit einigen Ausnahmen (speziell der Eizelle, mehr hierüber s. u.) für das gesamte Tierreich. Die Färbbarkeit steht also nicht im Widerspruch zu dem Eiweißstoffwechselschema.

Während der Prophase ist das charakteristische Färbungsbild, zuerst von HEIDENHAIN formuliert, folgendes: Die azidophile Materie des Kerns wird in Reihen angeordnet, welche die werdenden Chromosomen andeuten, beginnt mehr und mehr zu verschwinden und wird durch basophile Materie ersetzt. Schließlich sieht man lediglich stark basophile Substanz, welche das prophasische Chromosom aufbaut. Schon HEIDENHAIN deutete dies in einer Weise, welche dem obigen Schema entspricht: ein Abbau und evt. Umbau der Eiweißstoffe des Ruhekerns sowie Neubildung von Nukleinsäuren.

3. Mikrochemische Untersuchungen sind in sehr großer Anzahl von verschiedenen Forschern an den Kernstrukturen angestellt worden, aber es ist schwer, aus ihnen allgemeine Schlußfolgerungen zu ziehen. Das Vorhandensein großer Mengen von Nukleinsäuren in den Metaphasenchromosomen ist immer bestätigt worden. Daß der Ruhekern Eiweißsubstanzen enthält, ist auch mittels Digestionsversuchen nachgewiesen worden sowie mit mikrochemischen Farbreaktionen. Daß koagulierbare, d. h. höhere Eiweißstoffe im Ruhekern vorkommen, aber nicht in den Metaphasenchromosomen, wurde ebenfalls festgestellt. Viele Untersuchungen sind am Nukleolus vorgenommen worden. Es steht fest, daß derselbe von eiweißspaltenden Enzymen digeriert wird, leicht von Trypsin und schwerer — in einer Reihe von Fällen unvollständig — von Pepsin. Daß der Nukleolus

Eiweiß enthält, ist also klar, und die Digestionsverhältnisse sprechen nicht gegen den Histoncharakter desselben — unvollständige Digestion durch Pepsin weisen auch die Histone auf.

4. Mit eigentlich chemischen Methoden erzielte Resultate bezüglich der Eiweißsubstanzen des Zellkerns liegen infolge von technischen Schwierigkeiten in äußerst geringer Anzahl vor. Die ausführlichsten stammen von KOSSEL und seinen Mitarbeitern und behandeln die Veränderungen, welche während der Entwicklung der Spermien vor allem bei Fischmaterial vor sich gehen. Diese Untersuchungen ergaben, daß der isolierte Kopf des reifen Spermiums aus Nukleinsäure und Histon zu ungefähr gleichen Teilen bestand. Die Mutterzellen enthielten dagegen höhere Eiweißstoffe in großen Mengen, und KOSSEL hob hervor, daß bei der Spermienreifung in charakteristischer Weise ein Abbau von höheren Eiweißkörpern und ein Umbau derselben zu basischen Eiweißsubstanzen — Histonen — vor sich ging. In gewissen vereinzelt Fällen ging der Umbau noch weiter, so daß Protamine, noch ausgeprägter basische Eiweißstoffe, gebildet wurden¹⁾.

Zytologisch weist bekanntlich die Spermienentwicklung eine sehr große Ähnlichkeit mit der Entwicklung der Metaphasenchromosomen auf; an gewissen besonders günstigen Objekten kann man sogar sehen, wie der Spermienkopf aus nacheinander reihenweise angeordneten Chromosomen vom Metaphasentyp besteht.

Da das Kosselsche Schema der Spermienentwicklung offenbar ganz dieselben Veränderungen der Eiweißsubstanzen im Kern voraussetzt, wie sie oben supponiert worden waren, stützt dasselbe die oben gezogenen allgemeineren Schlüsse.

5. Die obigen Messungen deuten auf eine verschiedene Funktion der euchromatischen und der heterochromatischen Chromosomenteile hin, indem die ersteren während der Telophase Eiweißkörper vom Absorptionstyp der Globuline produzieren, welche den Charakter der höheren Eiweißstoffe zu haben scheinen, während die letzteren Eiweißsubstanzen vom Histontyp entstehen lassen. Diese sind aller Wahrscheinlichkeit nach einfacher gebaut und sammeln sich in einem gänzlich strukturlosen Gebilde, dem Nukleolus, an. Dieses Verhalten weist eine Analogie zu den zytologischen Verhältnissen auf, indem das Euchromatin durch eine besonders strenge Linearstruktur gekennzeichnet wird, während das Heterochromatin im Chromozentrum eine solche fast völlig vermissen läßt. Die komplizierte Euchromatinstruktur, welcher wohl, theoretisch betrachtet, eine Erzeugung verschiedener Eiweißkörper für die verschiedenen getragenden Bänder entsprechen kann, scheint also Eiweißstoffe höheren Charakters zu enthalten, während der einfacheren Heterochromatinstruktur, welche einheitlich erscheint, einfachere Eiweiß-

substanzen entsprechen, welche außerdem nicht gesondert gehalten, sondern zu einem gänzlich strukturlosen Körper angesammelt werden. Die genetischen Untersuchungen haben auch ergeben, daß das Heterochromatin als Genträger im eigentlichen Sinne kaum in Betracht kommt, sondern daß diese Funktion dem Euchromatin vorbehalten ist. Die Annahme, daß das Heterochromatin inert sei, ist früher von SCHULTZ und CASPERSSON¹⁾ zurückgewiesen worden, welche demselben eine Funktion bei der Regelung des Nukleinsäurestoffwechsels der Zelle zugeschrieben haben, also eine einheitlichere spezielle Funktion, nicht unmittelbar mit der des Euchromatins vergleichbar.

Beziehung zwischen Eiweißstoffwechsel und Nukleinsäurestoffwechsel.

Untersuchungen über den Nukleinsäurestoffwechsel in der Zelle^{2, 3)} haben ergeben, daß die Nukleinsäuren in irgendeiner Weise in das Zellwachstum eingekoppelt sind. Der Umstand, daß alle diejenigen selbstreproduzierenden Elemente, welche chemisch untersucht worden waren, sich als Nukleotide enthaltend erwiesen haben, führte SCHULTZ und CASPERSSON (1938) zur Aufstellung des Satzes, daß es für alle selbstreproduzierenden Elemente charakteristisch ist, Nukleotide zu enthalten bzw. aufzubauen, was später mit mehreren Beispielen belegt wurde. Die Beziehung Nukleinsäuren—Wachstum ging aus einer Serie von Untersuchungen mit der oben angegebenen Methodik an einer Anzahl verschiedener Zellarten hervor. Dabei wurden in der wachsenden Hefezelle, im Zytoplasma der Eizelle, in den Imaginalplatten der Drosophilalarve, in Pflanzenembryonen und in Wachstumszonen von Pflanzenwurzeln hohe Konzentrationen von Pentosenukleotiden nachgewiesen. Diese Nukleotide sind im Zytoplasma der Zellen lokalisiert. Da diese Gewebe sämtlich durch eine spezielle Wachstumspotenz gekennzeichnet sind, geht hieraus hervor, daß die Nukleinsäuren, wie man annehmen muß, eine gewisse Rolle bei den Wachstumsprozessen spielen. Spezielle Versuche, die Nukleinsäure- und Eiweißmenge in Zellen der DrosophilaSpeicheldrüse während der Entwicklung zu messen, ergaben kein eindeutiges Resultat.

Das Vorkommen von Pentosenukleotiden in Geweben im Zusammenhang mit raschem Wachstum ist, wie nachgewiesen wurde, eine ganz allgemeine Erscheinung. Embryonale Zellen sind allgemein reich an solchen und verlieren ihren Gehalt mit fortschreitender Differenzierung [am eingehendsten an Hühnerembryonen untersucht⁴⁾]. Am auffälligsten ist dies vielleicht bei der Blutzellenentwicklung, wo die frühesten Zellen ein

¹⁾ CASPERSSON u. SCHULTZ, *Hereditas* 1940.

²⁾ CASPERSSON, *Skand. Arch. Physiol.* (Berl. u. Lpz.) Suppl. 8 zu Bd. 73 (1936).

³⁾ CASPERSSON u. SCHULTZ, *Nature* (Lond.) 142, 294 (1938); 143, 602 (1939).

⁴⁾ CASPERSSON u. JÜNGNER, unveröffentlicht.

¹⁾ KOSSEL, *The protamines and histones*. London 1928.

stark ultraviolett absorbierendes und basophiles Zytoplasma haben, während die späteren Generationen diesen Effekt immer weniger ausgeprägt aufweisen. Ganz analog ist das Verhalten bei bösartig wuchernden Zellen; solche aus Verbänden mit starker Wachstumstendenz haben große Mengen Pentosenukleotide im Zytoplasma¹).

Daß indessen keine einfache Korrelation zwischen Nukleinsäuremenge und Wachstumspotenz bestehen kann, geht aus dem Verhalten der Nervenzelle hervor. Diese enthält in ihrem Zytoplasma Pentosenukleotidmengen, welche sich mit den in der Eizelle vorhandenen vergleichen lassen. Diese Zelle wird gerade durch ihre relative Unfähigkeit gekennzeichnet, eine Zellteilung durchzumachen oder weiterzuwachsen.

Eine eingehendere Analyse der Beziehung zwischen Nukleinsäuren und Wachstum war bei Hefe möglich. BRANDT und CASPERSSON haben die Nukleinsäuremengen in einzelnen Hefezellen näher untersucht. Dabei zeigte sich, daß auch während besonders starker Gärung in stickstofffreiem Medium keine Nukleotidzunahme beobachtet werden konnte. Wurde eine Stickstoffquelle zugesetzt, so begann unmittelbar eine rasche Eiweißsynthese, und gleichzeitig trat die obenerwähnte starke Zunahme des Pentosenukleotidgehalts ein. Dieses Experiment zeigt, daß auch sehr intensive metabolische Prozesse, Kohlehydrat- und Fettstoffwechsel, ohne Anwesenheit der großen Nukleotidmengen vor sich gehen können; diese treten hingegen gleichzeitig mit der Eiweißproduktion während des Wachstums auf.

Neben dem reinen Wachstum existieren 2 Fälle, in welchen Zellen große Mengen von Eiweißstoffen produzieren; bei dem einen handelt es sich um eiweißzeugende Drüsen und bei dem anderen um die Produktion gewisser paraplastischer Substanzen von Eiweißnatur. Die eiweißproduzierenden Zellen im ganzen Tierreich zeichnen sich durch eine spezielle Struktur, das Ergastoplasma, aus, welches während der verschiedenen Phasen des Sekretionszyklus deutliche Veränderungen zeigt. Kennzeichnend für das Ergastoplasma ist seine starke Basophilie. Eine Serie von Absorptionmessungen²) die an Drüsen aus Säugetiermaterial ausgeführt wurden, hat eindeutig ergeben, daß an das Ergastoplasma eine Nukleinsäurekomponente gebunden ist, deren Menge mehrere Prozent erreichen kann. Die Nukleinsäure ist von Ribosenatur und entspricht derjenigen, welche mit makrochemischen Methoden aus Säugetierpankreas dargestellt worden war³). Ein Beispiel für die Produktion paraplastischer Eiweißsubstanzen bietet der Verhornungsprozeß in der Haut. In den Zellen des Stratum granulosum, wo die Kerato-

hyalinproduktion vor sich geht, ist das Zytoplasma ausgeprägt basophil, und die Absorptionmessung ergibt das Vorkommen erheblicher Mengen von Nukleotiden.

Das einzige Gemeinsame aller dieser Fälle, in welchen hohe Konzentrationen von Ribosenukleotiden im Zytoplasma beobachtet wurden, ist, daß eine besonders rasche Eiweißproduktion stattfindet. Das Phänomen läßt sich nicht allein durch die Annahme eines intensiven Allgemeinstoffwechsels oder eines speziellen Kohlehydrat- oder Fettstoffwechsels als Ursache erklären. Es ist folglich ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von Ribosenukleotiden in hoher Konzentration im Zytoplasma und der Produktion von Eiweißstoffen in hohem Grade wahrscheinlich.

Die Beziehung Heterochromatin—Nukleolus—Zytoplasmaeiweißbildung.

Es gibt 2 Systeme in der höheren Zelle, welche mit der Eiweißproduktion assoziiert sind, die Chromosomenelemente im Zellkern und das Ribosenukleotidsystem im Zytoplasma. Eine Andeutung eines Zusammenhangs zwischen diesen beiden scheint die oben zitierte Beobachtung von SCHULTZ und CASPERSSON zu geben, daß das Heterochromatin den Nukleinsäurestoffwechsel in der Zelle regelt. Die Beziehung Heterochromatin—Zytoplasmanukleinsäuren ging aus dem Verhalten hervor, daß sich bei der Drosophila die Menge von Nukleinsäuren im Zytoplasma des Eies als von der Heterochromatinmenge im Kern beeinflußt erwies — wurde ein überzähliges Y-Chromosom in den Kern eingeführt, so nahm die Menge zu. Zytologische Untersuchungen des Funktionsstadiums des Heterochromatins bieten große technische Schwierigkeiten, obwohl dabei als Richtschnur der Hinweis von HEITZ¹) dienen kann, daß starke Auflösung für den funktionierenden Kernteil charakteristisch sei. Dadurch, daß der Nukleolus auf Grund der oben angeführten Experimente (sowie auch der Eizellenuntersuchungen, s. u.) in Beziehung zur Funktion des Heterochromatins gebracht werden kann, wird jedoch dieser Zusammenhang einleuchtend.

Es herrscht nämlich eine sehr ausgeprägte Beziehung zwischen dem Vorkommen von großen histonhaltigen Nukleolen im Kern und Ribosenukleotiden im Zytoplasma. In den oben angeführten Beispielen ist eine enorme Nukleolenmasse charakteristisch für die Eizelle und Nervenzelle. Während der Entwicklung der Nervenzelle tritt dieselbe charakteristischerweise gleichzeitig mit dem Beginn der Bildung von NISSLScher Substanz auf. Große azidophile Nukleolen sind ferner typisch für die embryonalen Zellen. Für Karzinomgewebe wird als einziger charakteristischer Unterschied von normalen Interphasenzellen angegeben, daß die Nukleolenmasse beträchtlich vermehrt sei, was durch Messung beispielsweise von MACCARTY

¹) CASPERSSON u. NYSTRÖM, unveröffentlicht.

²) CASPERSSON u. LANDSTRÖM, unveröffentlicht.

³) E. HAMMARSTEN, Hoppe-Seylers Z. 109, 141 (1920). — E. HAMMARSTEN u. E. JORPES, Hoppe-Seylers Z. 118, 224 (1922). — JORPES, Acta med. scand. (Stockh.) 68, 253 (1928).

¹) HEITZ, Planta (Berl.) 18 (1932) — Z. indukt. Abstammungslehre 70 (1935).

nachgewiesen wurde¹⁾. Auch in Drüsenzellen sind große Nukleolen vorhanden, und schließlich hat z. B. LUDFORD²⁾ darauf hingewiesen, daß im Stratum granulosum der Haut gleichzeitig mit der Keratohyalinproduktion große azidophile Nukleolen auftreten.

In lediglich mit den gewöhnlichen histologischen Färbungsmethoden untersuchtem Material tritt diese Korrelation ebenfalls klar hervor. Wenn eine Zelle ihre Eiweißsubstanz rasch vermehrt, tritt die Basophilie im Zytoplasma hervor bzw. nimmt zu, und es treten große Nukleolen auf. Auch während des endomitotischen Wachstums vermehrt sich die Nukleolsubstanz, beispielsweise im Speicheldrüsenkern von *Drosophila*. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, daß während eines endomitotischen Zellwachstums, bei welchem sich die heterochromatischen Zentra selbst vermehren, der Zuwachs der einzelnen Nukleolen weniger hervortreten muß, als wenn das Zellwachstum wie im Ei durch spezielle Hyperfunktion der heterochromatischen Regionen unter Beibehaltung des diploiden Charakters erfolgt.

Auch für das entgegengesetzte Verhalten, daß Nukleolen fehlen, wenn kein Zytoplasmaweiweiß ausgebildet wird, gibt es Beispiele. Nukleolen sind mit wenigen Ausnahmen in allen Zellen im Pflanzen- und Tierreich vorhanden. Am meisten hervortretend unter den Ausnahmen sind die männlichen Geschlechtszellen. Diese werden indessen anderen Zellen gegenüber dadurch gekennzeichnet, daß das Zytoplasma nicht auf-, sondern im Gegenteil in großem Ausmaß abgebaut wird. Während der Furchungsteilungen gewisser Eier findet man keine oder auffallend kleine Nukleolen vor dem Blastulastadium³⁾, welches das Stadium ist, in dem das Ei zuerst Eigenwachstum zu zeigen beginnt. Schließlich sollen Nukleolen in Leukozyten von Säugetieren fehlen. Diese Zellen sind völlig ausdifferenziert und wachsen nicht weiter; die Vorstadien derselben enthalten dagegen Nukleolen, besonders große in den frühesten Stadien.

Diese Umstände zeigen also, daß eine starke Funktion des Heterochromatin—Nukleolusmechanismus von einer intensiven Tätigkeit des Zytoplasmannukleotid—Eiweißproduktionssystems begleitet wird. Da ja Kernstrukturveränderungen mit Nukleolenbildung dem wahrnehmbaren Wachstum bzw. der Entstehung von basophilem Material im Zytoplasma vorausgehen, wird ersichtlich, daß die Aufgabe des Heterochromatins letzten Endes darin besteht, auf dem Wege über den Nukleolus und die Zytoplasmannukleotidproduktion die Eiweißherzeugung im Zytoplasma zu regeln oder zu induzieren.

SCHULTZ und CASPERSSON wiesen hinsichtlich der Nukleinsäureverteilung im *Drosophila*-Ei und den Nährzellen desselben nach, daß die Konzentration in unmittelbarer Nähe der Kernmembran am größten ist, was andeutet, daß die Nukleotidsynthese dort von statten geht. Dies

wird durch zahlreiche frühere Färbungsbeobachtungen bestätigt, indem es von praktisch jedem hier zitierten Material wohlbekannt ist, daß die basophile Materie im Zytoplasma zuerst als ein Ring um die Kernmembran auftritt und sich dann im Plasma ausbreitet. Daß auch die Eiweißbildung dort stattfindet, läßt sich schwer direkt beweisen — interessant ist jedoch F. O. SCHMITTS Nachweis für Nervenzellen und W. J. SCHMIDTS für gewisse andere Zellen, daß die Polarisationsverhältnisse in der unmittelbaren Umgebung des Zellkerns eine parallel zur Kernmembran verlaufende lamelläre Orientierung des Eiweißes zeigen. Grobanschauliche derartige Bilder liefert gewisses zytologisches Material, beispielsweise das Anobiumei, wo der Kern während der zweiten Wachstumsperiode von einer dicken Schicht mit lamellärer Struktur umgeben wird, welche im Laufe der Entwicklung eine Zytoplasmenschicht mit anderer Struktur mehr und mehr vom Kern abhebt.

Die Eizelle.

Die Eizelle ist eine hochgradig spezialisierte Zelle, welche von den meisten somatischen Zellen stark abweicht. Ihrer Entwicklung nach unterscheidet sie sich von den letzteren prinzipiell dadurch, daß, nachdem sie die übliche Wachstumsperiode nach der letzten Oogonienmitose durchgemacht hat, eine zweite Zuwachsperiode eintritt, während welcher sowohl Kern wie Zytoplasma enorm an Volumen zunehmen. Anfänglich ist der Hauptteil der Zunahme auf eine Vermehrung des Eiweißes im Zytoplasma zurückzuführen, während des späteren Abschnittes der Wachstumsperiode werden in vielen Fällen erhebliche Fett- und Kohlehydratmengen eingelagert. Fett kann jedoch fehlen, beispielsweise im *Ascaris*-Ei, und auch die großen Kohlehydratmengen können abwesend sein, wie z. B. bei vielen Echinodermeneiern. Trotz des enormen Wachstums wird der diploide Charakter beibehalten.

Nimmt man an, daß das oben entwickelte Schema des Eiweißstoffwechsels auch in diesem Fall Geltung habe, so ist infolge der raschen Eiweißbildung notwendig, daß: 1. das Heterochromatin exzessiv fungieren, d. h. nach dem oben zitierten Prinzip von HEITZ aufgelöst sein muß, 2. der Nukleolus groß und histonreich sein muß, und 3. das Zytoplasma viel Ribosenukleotide enthalten muß.

Die Untersuchung der Eizelle hat ergeben, daß diese Forderungen in allen Einzelheiten erfüllt sind. Die Auflösung des Heterochromatins ist angegeben worden, wahrscheinlich zuerst von BAUER 1933¹⁾. Der Nukleolus wurde mittels Ultraviolettabsorptionsmessung bei *Arenicola*, *Psammechinus* und *Lepus* untersucht, wobei sich ergab, daß er sehr große Substanzmengen mit einem Absorptionsmaximum vom Histontyp enthält²⁾ (s. Fig. 1). Es ist im allgemeinen für die Eizelle charakteristisch, daß dieselbe besonders große Massen von Nukleolsubstanz enthält,

¹⁾ MACCARTY, Amer. J. Canc. 31, 104 (1939).

²⁾ LUDFORD, Quart. J. microsc. Sci. 69, 27 (1924).

³⁾ LUDFORD, J. roy. micr. Soc. 1922, 113.

¹⁾ BAUER, Z. Zellforsch. 18 (1933).

²⁾ CASPERSSON, Chromosoma 1940.

welche oft in den abwechslungsreichsten Konfigurationen angeordnet sind. Die Färbbarkeit ist meistens ausgeprägt azidophil, im Einklang zu der Annahme von basischem Eiweiß an dieser Stelle. In vielen Fällen ist jedoch die ganze oder ein Teil der Nukleolarkernsubstanz basophil. Die Erklärung hierfür gibt Fig. 1, Kurve 3. Neben Eiweiß vom Histontyp enthält der Nukleolus in diesen Fällen Nukleinsäuren. Diese sind vom *Ribosetyp* und kommen in variierenden Mengen vor. Ein geringer Gehalt an derartigen Substanzen ist ausreichend, um eine starke Azidophilie zu verdecken. Die in den Nukleolen vorkommenden Mengen sind im Vergleich zu den Ribosenukleinsäuremengen im Zytoplasma verschwindend klein. Das Vorkommen von Ribosenukleotiden in großen Mengen im Eizytoplasma ist bereits früher erwähnt worden. Auf Grund der Färbbarkeit, der Digestionsverhältnisse und auch chemischer Analysen von Eiern wurde früher in einer großen Anzahl von Untersuchungen an verschiedenem Material das Vorkommen dieser Substanzen wahrscheinlich gemacht (JÖRGENSEN, V. HERWERDEN, BRACHET).

Durch die exzessive Funktion des Heterochromatins in der Eizelle müssen diese Produkte den Hauptteil der Zellkernmasse ausmachen. Daher sind die Voraussetzungen dafür gegeben, daß die euchromatischen Regionen nicht aus mechanischen Gründen dazu gezwungen werden, zu einer Einheit zu verschmelzen, in welcher man die einzelnen Komponenten nicht unterscheiden kann, wie es in denjenigen somatischen Zellen der Fall ist, wo das Heterochromatin nur partiell fungiert. Von einer Serie Eizellen, besonders von Amphibien, ist beschrieben, wie man die Entwicklung der Chromosomen im Eizellkern bis in späte Stadien verfolgen kann. Das Charakteristische für diese ist, daß die Chromosomen enorm anzuschwellen scheinen, wobei gleichzeitig der basophile Charakter abnimmt bzw. verschwindet und die Hauptmasse des Chromosoms nur schwach mit sauren Farbstoffen färbbar ist. Die Entwicklung dieser Chromosomen entspricht in den Hauptzügen völlig dem, was oben für die telophasische Entwicklung postuliert worden ist, welche sich aus den oben erwähnten Gründen nicht direkt in der Somazelle zytologisch verfolgen läßt.

Die Nervenzelle.

Die Nervenzelle zeichnet sich ebenso wie die Eizelle durch eine sehr große Zytoplasmamasse aus, welche in diesem Falle die metabolische Unterlage für das große Axon bildet. Die Eiweißstoffwechselverhältnisse in derselben sind besonders von LANDSTRÖM untersucht worden¹⁾. Dieser wies nach, daß ebenso wie in der Eizelle der große Nukleolus große Mengen Eiweiß vom Histontyp enthält sowie etwas Nukleinsäuren vom Ribosetyp. Das war der erste Nachweis von Nukleinsäuren von anderem Typ als dem Desoxyribosetyp

¹⁾ LANDSTRÖM, CASPERSSON u. WOHLFART, im Druck. — LANDSTRÖM, unveröffentlicht.

innerhalb des Kerns. Das Zytoplasma enthält große Mengen von Ribosenukleotiden, welche die Basophilie der NISSLSchen Substanz bedingen. Von besonderem Interesse ist, daß LANDSTRÖM das Zusammenwirken zwischen Eiweiß vom Histontyp und Nukleotidbildung an der Kernmembran verfolgen konnte. Der Nervenzellkern bietet eine günstige Gelegenheit hierzu, indem derselbe den DE RÉNYISchen Dissektionsversuchen¹⁾ und INGVARschen Zentrifugierungsversuchen²⁾ nach eine recht feste gelatinöse Struktur hat, zum Unterschied von den gewöhnlichen interkinetischen Zellkernen (CHAMBERS). LANDSTRÖM fand Substanzen vom Histontyp im Kern außerhalb des Nukleolus und stellte ferner fest, daß die Konzentration derselben dicht am Nukleolus am größten war und in Richtung auf die Kernmembran abnahm, was einen Diffusionsstrom zur Kernmembran andeutet, wo die Ribosenukleotide und wahrscheinlich auch die Zytoplasmaweißstoffe gebildet werden. Eine gewaltige Steigerung dieses Stroms trat unter den Umständen ein, welche von früheren Autoren als „Chromatinaustritt“ beschrieben worden waren. Hierbei wird die Kernmembran innerhalb eines begrenzten Gebiets aufgelöst. Diesem Gebiet entsprechend sammeln sich einwärts von demselben im Kern besonders hohe Konzentrationen von Eiweißsubstanzen vom Histontyp an, während außerhalb desselben große Mengen von Ribosenukleotiden beobachtet werden. Dies muß also einer lokalen Hyperfunktion von Ribosenukleotid und Eiweißsynthesemechanismus entsprechen, welche nach dem oben beschriebenen Schema verläuft. Es ist für das Eiweißstoffwechselschema von Bedeutung, daß hier das Zusammenwirken von Nukleoleneiweiß vom Histontyp und Zytoplasmenukleotiden direkt wahrnehmbar war. Derartige Bilder sind auch in anderen Organen wohlbekannt, in Eizellen und intensiv tätigen Drüsenzellen, d. h. gerade in Geweben, wo die Eiweißsynthese am aktivsten ist.

Die heterochromatischen Regionen sind höchst unvollständig untersucht. Die Entscheidung darüber, ob sie in einem Säugetierzellkern aufgelöst sind, ist zur Zeit kaum möglich. Die einzige mir bekannte Angabe über das Heterochromatin in der Nervenzelle stammt aus GETTLERS Hemipterenuntersuchungen³⁾, wo dieser Autor besonders betont, daß die Nervenzelle zum Unterschied von den übrigen endomitotisch wachsenden Somazellen trotz ihres riesenhaften Wachstums diploid bleibt und daß das Heterochromatin in derselben aufgelockert ist.

Diskussion der vorstehend mitgeteilten Tatsachen.

Der Bau der Eizelle und Nervenzelle läßt sich also recht wohl mit dem aus der Analyse des Interphasen- und Metaphasenkerns deduzierten

¹⁾ DE RÉNYI, in COWDRYS Spec. Cytology, S. 1371. 1932.

²⁾ INGVAR, Arch. f. Neur. 10, 267 (1923).

³⁾ GETTLER, Chromosoma 1 (1940).

Schema für den Eiweißstoffwechsel in der Zelle in Einklang bringen. Das Grundprinzip in diesem Schema ist folgendes: *Der Zellkern, welcher aus zwei Elementen, dem Euchromatin und dem Heterochromatin, besteht, ist das wichtigste Zentrum für die Eiweißsynthese in der Zelle.* Während der Zellteilungsperiode, sowohl Mitose wie Endomitose, enthalten die Chromosomen große Mengen von Desoxyribosenukleinsäure, d. h. Thymonukleinsäure, und kleine Mengen von Eiweiß. (Während der Endomitose kann der Eiweißabbau bei weitem unvollständiger sein, als er es in der Regel während der Mitose ist. Im Speicheldrüsenchromosom von *Drosophila* befinden sich große Mengen von Eiweißstoffen, und auch bezüglich der kontrahierten Endometaphasenchromosomen bei *Gerris* weist GEITLER darauf hin, daß die Kontraktion geringer ist als während der mitotischen Metaphase.) *Das Euchromatin bildet während der Metaphase Eiweißsubstanzen, welche wahrscheinlich von höherem Typ sind.* Ob sich die Eiweißstoffe der verschiedenen Chromosomen voneinander unterscheiden, ließ sich mittels Absorptionmessung nicht feststellen. *Das Heterochromatin produziert — wenigstens hauptsächlich — Eiweiß vom einfacheren Histontyp. Dieses bildet den Hauptteil des Nukleolus.* (Es ist offenbar, daß auch andere Substanzen in denselben eingehen können. So bilden beispielsweise Histone Additionsverbindungen mit höheren Eiweißstoffen bei einem p_H zwischen 5 und 7, weshalb, wenn auch die Histone die Grundsubstanz im Nukleolus ausmachen, auch die Eiweißsubstanzen des Euchromatins an der Bildung teilzunehmen imstande sein müssen. Es ist nachgewiesen worden, daß sich bei *Drosophila* das Absorptionsspektrum des Nukleolus im Speicheldrüsenkern mit der genetischen Zusammensetzung ändert¹⁾). Die Analyse dieser Kurven nach den hier angegebenen Prinzipien ergab, daß das Verhältnis zwischen Eiweiß vom Histontyp und solchem vom Globulinabsorptionstyp in einer charakteristischen Weise variabel war.) Das telophasische Eiweiß des Heterochromatins wird zur Kernmembran transportiert — ob immer auf dem Wege über den Nukleolus oder manchmal direkt, ist nicht entschieden —, und im Zytoplasma geht die Bildung von Ribosenukleotiden und Zytoplasmaweiweiß vor sich. Es existieren alle Gradunterschiede bei dieser Funktion des Heterochromatins in verschiedenen Zellstadien, von dem gänzlich aufgelösten Heterochromatin, dem Riesennukleolus und dem Riesenzytoplasma der Eizelle, bis zum pyknotischen Heterochromatin der Spermatide, welche Nukleolus und auch Zytoplasmabildung vermissen läßt.

Allen diesen verschiedenen Arten von Eiweißproduktion im Chromosom, an der Kernmembran (und von gewissen sekundären Zentra aus, beispielsweise vom Ergastoplasma und gewissen speziellen Nukleolenformen) ist gemeinsam, daß

¹⁾ SCHULTZ u. CASPERSSON, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. 1940.

jegliche Eiweißbildung im Zytoplasma im Zusammenhang mit *Ribosenukleotiden* stattfindet, während der Chromosomeneiweißstoffwechsel im Zusammenhang mit *Desoxyribosenukleotiden* vor sich geht.

Die Desoxyribosepolynukleotide zeichnen sich vor den Ribosenukleotiden durch ihre sehr starke Tendenz zur Polymerisation in besonders lange, streng einheitlich gebaute Molekülketten aus, was ihnen theoretisch ganz außergewöhnliche Voraussetzungen dazu verleiht, die Unterlage für Zellstrukturen darzustellen — Eigenschaften, welche E. HAMMARSTEN bereits 1924 aus seinen Untersuchungen über physikalisch-chemische Eigenschaften der Nukleinsäuren postuliert hatte. Was die Vermehrung des Zytoplasmaweiweißes von derjenigen des Geneiweißes prinzipiell unterscheidet, ist der Umstand, daß es sich im ersteren Falle um relativ einheitliche Substanzen handeln muß, während es sich im letzteren um Tausende von Elementen mit verschiedenen Funktionen handelt, deren Unterlage eine tausendfache Strukturverschiedenheit sein muß. Dies bietet eine wahrscheinliche Erklärungsmöglichkeit für das Verhalten, daß die Desoxyribosepolynukleotide, d. h. die Thymonukleinsäure, innerhalb des gesamten Pflanzen- und Tierreichs elektiv an diejenige Organteile gebunden zu sein scheinen, welche Träger der Gene sind und die sich bei den Zellteilungen gleichförmig auf beide Tochterzellen verteilen, während die Ribosenukleotide auftreten, wenn es sich um Vermehrung oder Produktion einheitlicherer Eiweißsubstanzen handelt, was einer gewissermaßen vereinfachten Genfunktion entspricht.

Über die phylogenetische Entwicklung des Kerns.

Wenn sich der Eiweißstoffwechsel im Kern auf zwei so einfache Funktionen der verschiedenen Chromatinarten — Euchromatin mit Produktion von Eiweiß aus den getragenden Elementen und Heterochromatin mit Produktion von Eiweiß, welches die Unterlage für die Bildung des Zytoplasmaweiweißes darstellt — zurückführen läßt, so wäre zu erwarten, daß diese Prinzipien sich auch auf „kernlose“ Organismen übertragen lassen, wenn das Schema allgemeinen Wahrscheinlichkeitswert besitzen soll. In der Absicht, dies in einem Fall zu verifizieren, wurde Preßhefe, *Saccharomyces cerevisiae*, unter diesen Gesichtspunkten eingehend untersucht¹⁾. Die nuklealpositive, d. h. desoxyribosehaltige, Organelle, welche von mehreren früheren Autoren beschrieben worden war und deren regelmäßige Teilung im Zusammenhang mit der Zellteilung zu der Annahme berechtigt, daß dieselbe ein Äquivalent der Chromosomen in den höheren Zellen darstelle, wurde beobachtet. Außerdem enthält die Hefezelle etwa zehn lichtbrechende Körnchen, oft Volutinkörnchen genannt. Diese Körnchen erwiesen sich bei der Ultraviolettuntersuchung als Nukleotide sowie wahrscheinlich Ei-

¹⁾ CASPERSSON u. BRANEF, im Druck.

weiß vom Histontyp enthaltend. Die Nukleotide sind vom Ribosotyp. Die minimale Größe der Körnchen erschwert die Eiweißuntersuchung aufs äußerste. Wenn die Hefe ohne eine Stickstoffquelle intensiv gärt (vgl. oben) und also kein Eiweiß- oder Nukleotidaufbau stattfindet, werden diese Körnchen nicht verändert. Setzt man eine Stickstoffquelle zu, wobei nach dem oben Gesagten Eiweiß und Ribosenukleotide aufgebaut werden, dann werden die Körnchen rasch im Zellplasma aufgelöst. Diese konstante Auflösung einer bestimmten nukleinsäurehaltigen Zellorganelle gleichzeitig mit dem Einsetzen einer Nukleotid- und Eiweißproduktion liefert eine augenfällige Parallele zum Auftreten der heterochromatischen Regionen in den höheren Zellen. Es erscheint folglich beachtlich, diese ribosenukleotidhaltigen Körnchen als ein Heterochromatinäquivalent zu betrachten, ebenso wie man der Ansicht ist, die nuklealpositive Organelle enthalte gen tragende, d. h. euchromatische Chromosomenäquivalente. Der Kern würde also in der Hefezelle in seine beiden Elemente, das gen tragende, desoxyribosenukleinsäurehaltige Euchromatin und das primitivere Heterochromatin, geteilt sein. Eine große Menge von Bakterien weisen gleichartige Bilder auf. Ein nuklealpositiver Körper ist von vielen Autoren in zahlreichen Bakterien nachgewiesen worden. Das Vorkommen anderer, größerer, stark basophiler Elemente ist wohlbekannt. Daß gewisse von diesen ultraviolettes Licht stark absorbieren, geht aus den Untersuchungen PIEKARSKIS hervor. Verfasser hat dies auch beobachtet und außerdem gefunden, daß rasch wachsende Bakterien ebenso wie Hefe prinzipiell von großen Mengen von Zytoplasmanukleotiden gekennzeichnet werden. Das „Hefeschema“ hat also mit größter Wahrscheinlichkeit ein recht ausgedehntes Anwendungsgebiet.

Vergleicht man die 3 Stufen: einfaches Pflanzenvirus, Hefe- oder Bakterienzelle und höher organisierte Zelle, so kann man also auf alle diese das oben gegebene Schema anwenden, daß die Vermehrung von einheitlichem Eiweiß mit Hilfe von Ribosenukleotiden stattfinden kann, während die gleichzeitige Reproduktion einer Menge von verschiedenartigen Elementen, Genen in Chromosomen, eine Strukturunterlage erfordert: den Chromosomenmechanismus mit Desoxyribosenukleinsäure. Das einfachste Virus besteht aus einem einheitlichen Eiweißkörper und enthält Ribosenukleotide. Der Bakterien-Hefetyp enthält eine größere Anzahl von selbstreproduzierenden Elementen, Viren oder Genen, zu deren Reproduktion der Desoxyribosemechanismus entwickelt wird. Zum Unterschied von dem parasitisch lebenden Virus haben diese Zellen einen eigenen Stoffwechsel mit einem Zellplasma, als Unterlage desselben, welches mit Hilfe von Heterochromatinäquivalenten, die sich vermehren und mit Unterstützung von Ribosenukleotiden arbeiten, entwickelt wird. In den höheren Zellen ist der Mechanismus derselbe, mit der Ausnahme,

daß der Heterochromatinteil in die Chromosomenstruktur selbst einbezogen ist und folglich bei seiner Vermehrung Desoxyribosenukleotide hat, in anderen Momenten seiner Funktion dagegen Ribosenukleotide. Diese Einführung des Heterochromatins in das Chromosom ist eine Notwendigkeit, da das Heterochromatin der höheren Zellen so reichlich ist, daß in der gewöhnlichen Somazelle nur Teile desselben fungieren und diffus aufgelöst sind, was zur Folge haben muß, daß es ohne besondere Anordnungen nicht annähernd gleichmäßig bei der Zellteilung auf die Tochterzellen verteilt werden würde. Die verschiedenen Stufen in diesem Schema können auch mit Wahrscheinlichkeitsbeweisen in Form von verschiedenen zytologischen Beobachtungen gestützt werden; da aber Ultraviolettmessungen noch ausstehen, wird alles dies hier nur angeführt, um zu zeigen, daß es prinzipiell möglich ist, dieselben Anschauungen wie auf die höhere Zelle auf einfachere Systeme anzuwenden. Erst fortgesetzte Untersuchungen werden indessen die Reichweite der allgemeinen Gültigkeit derselben feststellen können.

Zusammenfassung: Als Repräsentant der Interphasenkerne wurden mit Ultraviolettabsoptionsmessungen die verschiedenen Strukturen im Speicheldrüsenkern der Bananenfliegenlarve untersucht sowie als Prototyp des Metaphasenkerns die Metaphasenchromosomen gewisser Heuschreckenarten. Da wahrscheinlich ist, daß die dabei gemachten Beobachtungen eine weitere Anwendbarkeit haben, wird ein Schema des Eiweißstoffwechsels bei der Mitose entwickelt, welches von anderen angeführten Meßdata sowie früheren zytologischen, mikro- und makrochemischen Data gestützt zu werden scheint. Schließlich wird gezeigt, daß prinzipiell noch kein Hindernis für die Annahme nachgewiesen worden ist, derselbe Verlauf des Eiweißstoffwechsels liege auch bei Organismen vor, welchen der hochorganisierte Kern der Metazoen fehlt.

Die wichtigsten Punkte in dem Eiweißstoffwechselschema, welches hier diskutiert wird, sind die folgenden: *Es ist eine Aufgabe des Zellkerns, das wichtigste Zentrum für den Eiweißstoffwechsel in der Zelle zu bilden. Für jegliche biologische Eiweißsynthese ist die Gegenwart von Nukleinsäuren notwendig.* Diese sind vom Ribosotyp, außer im Spezialfall des Gens, welcher durch Bindung an eine strenge Linearstruktur gekennzeichnet wird, wo die Nukleinsäuren vom Desoxyribosotyp sind. Das gen tragende Euchromatin produziert während der Telophase Eiweißstoffe, deren Ultraviolettabsoptionstyp derjenige der Albumine oder Globuline ist und welche mit größter Wahrscheinlichkeit zu den höheren Eiweißkörpern gehören. Das Heterochromatin bringt große Mengen Eiweiß vom einfacheren Histontyp hervor, welches zur Bildung des Hauptteils des Nukleolus angesammelt wird und dann im Zytoplasma die Bildung von Ribosenukleotiden und Eiweißstoffen des Zytoplasma induziert.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Eine neue Methode der Messung von Ultraschallabsorptionen.

Die Lichtbeugung an Ultraschallwellen hat es bekanntlich ermöglicht, Schallamplitudenfelder hoher Frequenz insbesondere in Flüssigkeiten durch ein modifiziertes Schlierenverfahren direkt sichtbar zu machen¹⁾. Da die Einwirkung des Ultraschallfeldes auf den passierenden Lichtstrahl von Intensität und Richtung der Schallwellen abhängt, müssen objektive optische Untersuchungen auf Schallfelder beschränkt werden, welche in Lichtrichtung konstante Werte besitzen. Experimentell wird dieser Bedingung durch die Verwendung von Schallquellen genügt, deren Länge L in Lichtrichtung groß ist gegenüber der Schallwellenlänge und die in Lichtrichtung konstante Amplituden besitzen. So gelang die Sichtbarmachung von Schallamplitudenfeldern vor in Lichtrichtung langen, kolbenförmig schwingenden Quarzstäben verschiedener Dicke D ²⁾.

Da die abgebeugte Lichtintensität außer von der Tiefe und Intensität des Schallfeldes noch von der Lichtwellen-

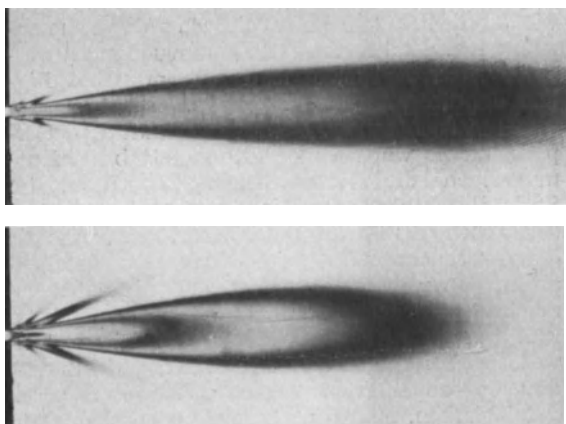


Fig. 1. Schallabstrahlung eines schmalen Quarzstabes in Xylol (oben: Quarzstrom 430 mA) und Benzol (unten: Quarzstrom 765 mA). Frequenz: 5,578 MHz; Quarzbreite: $\sim 4 \lambda$.

länge abhängt, wird bei Verwendung von weißem Licht ein farbiges Schlierenbild erzeugt, bei dem Gebieten gleicher Schallintensität gleiche Farben zugeordnet sind. Diese Zuordnung ist ein ausgezeichnetes und bequemes Mittel zur Untersuchung eines Schallfeldes, da der Verlauf und die Ausdehnung gleichfarbiger Flächen und Kurven, der Isochromaten, ein Bild der Energieverteilung im Schallfeld liefert³⁾.

So ist z. B. neben dem Einfluß der Abmessungen (L , D) der Schallquelle insbesondere der Einfluß der Schallabsorption auf den Feldverlauf merklich und augenfällig. Fig. 1 gibt die Abstrahlung eines langen Quarzstabes der Breite $D = 4 \lambda$ (λ = Schallwellenlänge) in zwei Flüssigkeiten (Xylol, Benzol) stark verschiedener Absorption wieder. Die stärkere Absorption in Benzol äußert sich in der dichteren Folge der durch die hellen und dunklen Zonen (Farbzonen) markierten Intensitätsstufen.

Nimmt man nun — damit kommen wir zum Thema dieser Mitteilung — an, daß in einem schmalen Winkelbereich um die Achse des Strahlenkegels die geometrische Abnahme der Schallintensität nach Art einer Zylinderwelle erfolgt, so kann man die Intensitätsabnahme in der Strahlenachse unter Berücksichtigung der Zähigkeitsdämpfung darstellen durch: $I_r = I_0/r \cdot e^{\alpha r}$.

Der Absorptionskoeffizient ergibt sich dann aus der Ermittlung einiger Wertepaare I_{0n} , r_n , die der Bedingungsgleichung $I_{0n}/r_n e^{\alpha r_n} = \text{const.}$ genügen. Die Bestimmung von α erfordert also nicht mehr als die Ausmessung des Abstandes

einer bestimmten Farbzone bzw. eines Farbumschlagpunktes von der Schallquelle bei zwei verschiedenen, durch Messung von Quarzstrom bzw. -spannung leicht zu ermittelnden Anfangsintensitäten. Die Annahme der geometrischen Intensitätsabnahme nach Art einer Zylinderwelle schließt einen Fehler in sich, der mit abnehmendem Verhältnis D/λ und mit zunehmender Entfernung vom Quarz klein wird. Er ist in unserem Fall ($D = 4 \lambda$; L , r_1 , $r_2 \gg \lambda$) bei weitem kleiner, als der durch die Unsicherheit der Entfernungsmessung verursachte Fehler und daher bedeutungslos.

Die an Xylol und Benzol durchgeführten Messungen seien hier mitgeteilt. Die Werte des bei Absorptionsangaben üblichen „frequenzunabhängigen“ Ausdruckes ($10^{17} \alpha/N^2$ (N = Schallfrequenz) betragen für Xylol $117 \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^2 \pm 11\%$ und für Benzol $1880 \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^2 \pm 7\%$ bei etwa $22,5^\circ$ und 5,578 MHz. Die Werte stimmen innerhalb der Meßgenauigkeit mit den zuverlässigsten bisher bekannten Absorptionswerten⁴⁾ überein, die mit verschiedenen Methoden, jedoch an ebenen Wellen ermittelt wurden.

Herrn Prof. Dr. HIEDEMANN, der schon früher³⁾ auf die Möglichkeit hingewiesen hat, durch Sichtbarmachung der Richtcharakteristiken die Absorption von Ultraschallwellen zu bestimmen, möchten wir auch an dieser Stelle für seine Anregung danken.

Köln, Physikalisches Institut der Universität, den 21. Dezember 1940.

E. SCHREUER. K. OSTERHAMMEL.

¹⁾ E. HIEDEMANN, Grundlagen und Ergebnisse der Ultraschallforschung. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1939.

²⁾ E. HIEDEMANN u. K. OSTERHAMMEL, Z. Physik **107**, 273 (1937).

³⁾ E. HIEDEMANN u. K. OSTERHAMMEL, Proc. Ind. Acad. Sci. **8**, 275 (1938).

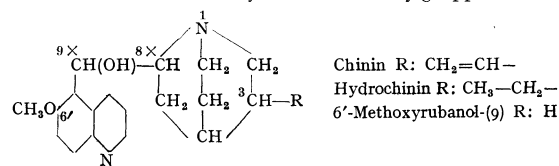
⁴⁾ P. BIQUARD, Ann. Physique **6**, 195 (1936); auch These de Doctorat. Paris, Octobre 1935. — J. CLAEYS, J. ERRERA and H. SACK, Trans. Faraday Soc. **33**, 136 (1937). — P. RIEKMANN, Physik. Z. **40**, 582 (1939).

Über die chemotherapeutische Bedeutung der Vinyl- bzw. der Äthylgruppe der Chinaalkaloide.

Vor kurzem¹⁾ haben in den „Naturwissenschaften“ V. PRELOG, P. STERN, R. SEIWERTH, S. HEIMBACH-IUHÁSZ gezeigt, daß das von ihnen auf dem von RABE vorgezeichneten Wege dargestellte 6'-Methoxy-rubanol-(9) dieselbe Wirksamkeit gegen das *Plasmodium relictum* wie das Chinin besitzt; das Vinyl oder Äthyl in Chinaalkaloiden sei für das Zustandekommen der antimalarischen Wirkung nicht unbedingt notwendig.

Hiermit stimmen die Ergebnisse unserer Untersuchungen nicht überein. Ihre Bekanntgabe halten wir bei der Wichtigkeit der Bekämpfung der Malaria für gerechtfertigt.

Die Fortführung von Synthesen im Gebiet der dem Chinin nahe verwandten Stoffe²⁾ hat zu den vier von der Theorie geforderten stereo-isomeren 6'-Methoxy-rubanolen geführt. Sie unterscheiden sich von den Chinaalkaloiden durch das Fehlen der Vinyl- bzw. der Äthylgruppe



Die Konfiguration an den beiden asymmetrischen Zentren 8 und 9, der Schmelzpunkt und das spezifische Drehungsvermögen $[\alpha]_D$ in Äthanol (wo z. B. bei dem dem Chinin entsprechenden (—)Methoxy-rubanol das erste — den Drehungssinn an 8, das zweite — den am 9 angibt³⁾) sind:

(+ +)	Schmp.	183°	$[\alpha]_D$	+ 173,8°
(— —)	„	183°	„	— 173,9°
(+ —)	ölig	„	„	+ 23,5°
(— +)	„	„	„	— 23,25°

Die Prüfung der *neutralen Hydrochloride* auf ihre *antimalarische Wirksamkeit* am Kanarienvogel und am Reizfinken ergab bei Dosen von 0,5 und 1,0 mg pro 20 g Körpergewicht des Vogels ein negatives Resultat. Und selbst als 5,0 mg/20 am Kanarienvogel geprüft wurden, blieb das Resultat ein negatives. Somit hat sich das Vielfache der minimalen wirksamen Chinindosis als unwirksam gegenüber der Infektion des Kanarienvogels erwiesen.

Zur Aufklärung des Widerspruchs in den beiderseitigen Beobachtungen schlagen wir die Wiederholung der Tierversuche vor.

Die ausführliche Mitteilung unserer Versuche wird an anderer Stelle erfolgen.

Hamburg, Chemisches Staatsinstitut, Hansische Universität, und Mannheim-Waldhof, C. F. Boehringer und Söhne, den 22. Dezember 1940.

P. RABE. G. HAGEN. H. E. VOSS.

- ¹⁾ Naturwiss. 28, 750 (1940).
²⁾ RABE, KINDLER u. WAGNER, Ber. dtsch. chem. Ges. 55, 532 (1922). — RABE u. RIZA, Liebig's Ann. 496, 151 (1932). — GUSTAV HAGEN, Diss. Hamburg 1934: Die Synthese der vier stereo-isomeren 6'-Methoxy-rubane und die Umwandlung von Rubanoden in Rubane. — RABE, J. prakt. Chem. 151, 67 (1938).
³⁾ RABE, Liebig's Ann. 492, 252 (1932).

Über den Chlorophyllgehalt autopolyploider Pflanzen.

Die Frage der Polyploidie spielt seit geraumer Zeit und in immer zunehmendem Maße eine Rolle bei *pflanzengeographisch-ökologischen* Betrachtungen, bei Fragen der

Rasse, so daß also, auf *Frischgewicht* bezogen, die Verdoppelung des Chromosomensatzes eine Steigerung des Chlorophyllgehaltes um etwa $\frac{1}{3}$ zur Folge hatte, höchstwahrscheinlich infolge intensiverer Ausfärbung der einzelnen Chloroplasten. Umgekehrt fand HEILBRONN⁷⁾ an Farnwedeln von *Polypodium aureum*, daß je *Flächeneinheit* der Diplont 1,62 mal mehr grüne und 1,82 mal mehr gelbe Pigmente enthielt als der Tetraplont, der aber reicher an Stärke ist, woraus HEILBRONN eine Assimilationszahl $2n/4n = 0,494$ berechnet. „Bezogen auf gleiche Chlorophyllmengen, leistet der Tetraplont pro Flächeneinheit fast die doppelte Assimilationsarbeit gegenüber dem Diplonten.“ Chlorophyllanalysen an höheren 2n- und 4n-Pflanzen liegen meines Wissens nicht vor. Wenn RANDOLPH und HAND⁸⁾ den Karotingehalt von *Maismehl* aus tetraploiden Pflanzen um 43 % höher finden als aus diploiden ($2n\ 0,0267 \pm 0,0004$, $4n\ 0,0380 \pm 0,0007$ mg je Gramm Trockengewicht), so bezieht sich das nicht auf Blattpigmente, sondern auf das Endosperm und steht im Zusammenhang mit der Frage eines höheren Vitamingehalts polyploider Formen.

Nach den eigenen Untersuchungen spielt die *Bezugsgröße* eine wichtige Rolle (Tabelle). Auf *Frischgewicht* bezogen, enthalten die Blätter aller untersuchten Tetraploiden weniger Chlorophyll als die Diploiden. Die Unterschiede sind nicht groß (4n etwa 80—90 % der 2n), doch geht die Tendenz bei allen Pflanzen in gleicher Richtung. Je *Flächeneinheit* sind dagegen die Tetraploiden chlorophyllreicher. Auch hier sind die Unterschiede bei den *Epilobien* und *Antirrhinum* nicht groß (4n etwa 110—120 % der 2n) und bei den *Impatiens* sind 4n und 2n praktisch gleich, nur die 4n-*Torenen* enthalten je Blattfläche etwa die Hälfte mehr.

Gesamtchlorophyll (Chlorophyll a, Chlorophyll b, Karotin, Xanthophyll) der Blätter in Milligramm	je g Frischgewicht	je dm ² Blattfläche	je Blatt	
<i>Epilobium collinum</i> ⁹⁾	2n	2,528 100	3,537 100	0,266 100
	3n	2,230 88	4,013 113	0,276 104
	4n	1,974 78	3,738 106	0,362 136
<i>Epilobium alpinum</i> ⁹⁾ (Stamm „S“, vom Stillferjoch)	2n	2,473 100	3,995 100	0,0337 100
	3n	2,309 94	4,243 106	0,0672 200
	4n	2,173 88	4,322 108	0,0564 164
<i>Epilobium alpinum</i> ⁹⁾ (Stamm „Z“, von der Zufallshütte)	2n	2,344 100	3,776 100	0,0371 100
	3n	2,181 93	4,197 111	0,0574 155
	4n	2,049 86	4,256 113	0,0747 201
<i>Torenia Fournieri</i> ⁹⁾	2n	2,414 100	3,638 100	0,500 100
	4n	2,300 95	5,656 156	0,960 193
	8n	2,199 91	5,473 151	0,589 118
<i>Antirrhinum majus</i> ⁹⁾	2n	2,656 100	4,446 100	0,474 100
	4n	2,399 91	5,305 119	0,698 147
<i>Impatiens balsamina</i> „eosin“ ⁹⁾	2n	1,363 100	4,033 100	0,819 100
	4n	1,027 75	3,638 90	0,849 104
<i>Impatiens balsamina</i> „weinrot“ ⁹⁾	2n	1,305 100	4,117 100	0,896 100
	4n	1,131 87	4,037 98	0,830 93

Artbildung und schließlich in der *Pflanzenzüchtung*, ganz abgesehen von *gen-physiologischen* Vorstellungen [vgl. Sammelreferate von MÜNTZING¹⁾ und FISCHER u. SCHWANITZ²⁾]. Dabei sind analytische Erhebungen oder gar Experimentaluntersuchungen über den Stoffwechsel der Polyploiden immer noch sehr spärlich, zum Teil widerspruchsvoll und jedenfalls wenig befriedigend [vgl. SCHWANITZ³⁾, PIRSCHLE⁴⁾]. Im Zuge solcher auf breiterer Basis angelegter Untersuchungen an Blütenpflanzen wurde u. a. auch der *Chlorophyllgehalt* geprüft, nachdem Herr Dr. GYÖRFFY mit solchen Analysen im Sommer 1939 begonnen hatte. Die Blätter polyploider Pflanzen sehen *dunkler grün* aus. Man hat daher Zahl und Größe der Chloroplasten gemessen und gefunden [vgl. SCHWANITZ³⁾, HESSE⁵⁾], daß die *Zahl* der Chloroplasten bei Polyploiden in der Regel erhöht (und — besonders bei Allopolyploiden — sehr stark erhöht) ist, hinsichtlich der Chloroplastengröße wurde teils Zunahme, teils Gleichbleiben festgestellt. Über den *Chlorophyllgehalt* sagen diese Untersuchungen noch nichts aus. Hierzu hat v. WETTSTEIN⁶⁾ alkoholische Chlorophyllextrakte aus gleich scheren Sproßstücken des Laubmooses *Bryum caespiticium* miteinander verglichen: die (männliche) *univalens*-Rasse enthielt nur etwa $\frac{3}{4}$ des Gehaltes der (diözischen) *bivalens*-

Eindeutig und erheblich höher sind die Chlorophyllgehalte der Tetraploiden *je Blatt*; hier betragen (ausgenommen

¹⁾ A. MÜNTZING, Hereditas (Lund) 21, 263—378 (1935/36).

²⁾ A. FISCHER u. F. SCHWANITZ, Züchter 8, 225—231 (1936).

³⁾ F. SCHWANITZ, Naturwiss. 28, 353—361 (1940).

⁴⁾ K. PIRSCHLE, Planta 31, 349—405 (1941).

⁵⁾ R. HESSE, Z. Vererb.lehre 75, 13 ff. (1938).

⁶⁾ F. VON WETTSTEIN, Z. Vererb.lehre 33, 158/59 (1924).

⁷⁾ A. HEILBRONN, Biol. Zbl. 53, 431—441 (1933).

⁸⁾ L. F. RANDOLPH and D. B. HAND, Science 87, 442 bis 443 (1938).

⁹⁾ Die untersuchten *Epilobien* und *Impatiens* stammen aus den Kulturen von Herrn Prof. von WETTSTEIN, die *Torenen* aus den Kulturen von Herrn Dr. STRAUB, die *Antirrhinum* aus den Kulturen von Herrn Dr. STUBBE. Die Pflanzen wurden, 2n und 4n immer nebeneinander unter gleichen Bedingungen, im Gewächshaus kultiviert; nur die *Impatiens* stammen aus einem Klimakammernversuch, über den noch näher zu berichten sein wird; die hier angegebenen Zahlen beziehen sich auf die im 14-Stunden-Tag bei 8000—10000 Lux gewachsenen Pflanzen.

Impatiens) die Unterschiede 40—100 % und liegen zweifellos außerhalb der Fehlergrenzen. Der Grund hierfür liegt jedenfalls darin, daß die 4n-Blätter größer (und dicker) sind als 2n-Blätter. Auf die größere Dicke der 4n-Blätter sind wohl auch die höheren Werte je Flächeneinheit zurückzuführen.

Die triploiden *Epilobien* nehmen fast durchweg eine Mittelstellung zwischen den Tetraploiden und Diploiden ein. Die oktoploiden *Torelien* bleiben in ihrem Chlorophyllgehalt je Frischgewicht noch mehr als die 4n zurück, auch je Flächeneinheit ist ihr Chlorophyllgehalt etwas geringer, besonders aber je Blatt (die 8n-Blätter sind wesentlich kleiner als 4n-Blätter, auch kleiner aber dunkler als 2n-Blätter).

Die hier angegebenen Zahlen stellen die Summe der einzeln bestimmten Komponenten (Chlorophyll a, Chlorophyll b, Karotin, Xanthophyll) dar. Eine nennenswerte Verschiebung der Mengenverhältnisse zwischen den einzelnen Blattpigmenten (Quotienten $a:b$, $x:c$, $[a+b]$ zu $[x+c]$) innerhalb verschiedener Polyploidstufen konnte nicht festgestellt werden. Auch darüber wird in anderem Zusammenhang noch ausführlicher zu berichten sein.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, den 14. Dezember 1940. KARL PIRSCHLE.

Über die Entfärbung verfarbter Alkalihalogenidkristallite.

Beim Zermörsern von Kaliumbromid- und Natriumchlorid-Einkristallen, die durch Einwanderung von Elektronen verfarbt waren, machten wir die Beobachtung, daß mit Abnahme der Teilchengröße eine merkliche Entfärbung eintritt. Bei hinreichend feiner Pulverisierung werden die ursprünglich blauen oder gelbbraunen Kristallite in wenigen Minuten farblos (weiß). Eine nähere Untersuchung dieser

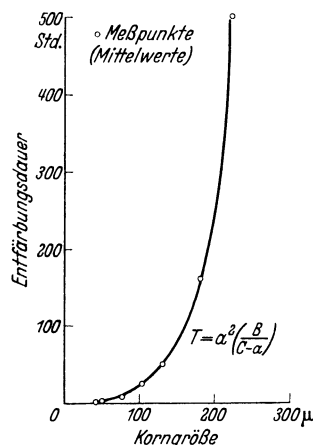


Fig. 1. Abhängigkeit der Entfärbungsdauer von der Korngröße bei Zimmerfeuchtigkeit.

Erscheinung ergab, daß ein Zusammenhang zwischen der Teilchengröße und der Zeit bis zur vollständigen Entfärbung besteht.

Die in Fig. 1 dargestellte Abhängigkeit läßt vermuten, daß für diese Art der Entfärbung eine „Grenzdicke“ der noch entfärbbaren Kristallite vorhanden ist, welche bei etwa 250—300 μ liegen dürfte. Es läßt sich aber zumindest sagen, daß der Entfärbungsmechanismus mit wachsender Teilchengröße so stark gehemmt wird, daß für Kristalldicken von der Größenordnung mm Entfärbungsdauern von Monaten bis zu Jahren angenommen werden müssen.

Die bekannte Tatsache der Entfärbung von blauen Kaliumbromid-Kristallen bei Zimmertemperatur unter dem Einfluß von Licht kann auf Grund unserer Untersuchungen nicht allein für diese Erscheinung verantwortlich gemacht werden.

In einer besonderen Versuchsanordnung wurde die Intensität des von dem verfarbten Kristallpulver bestimmter Korngröße reflektierten Lichtes mit Hilfe einer Sperrschicht-

fotozelle als Funktion der Zeit gemessen. Dabei befand sich das zu untersuchende Pulver in einem abgeschlossenen Raum, in dem eine bestimmte Feuchtigkeit durch jeweils verschiedenen Konzentration von Schwefelsäure-Wasser-Gemischen aufrecht erhalten wurde.

Fig. 2 zeigt klar, daß die Feuchtigkeit der umgebenden Atmosphäre von ausschlaggebender Bedeutung für den Entfärbungsvorgang ist. Unter dem Einfluß großer Luft-

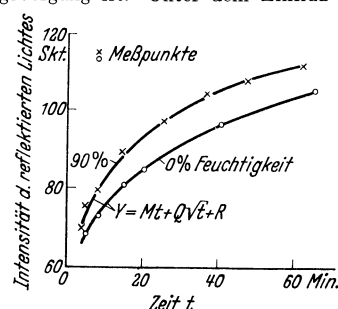


Fig. 2. Abhängigkeit der am Kristallpulver reflektierten Lichtintensität von der Zeit.

feuchtigkeit entfärbten sich die Kristallite bei sonst gleichen Bedingungen wesentlich schneller.

Die Kurven der Fig. 1 und 2 lassen sich durch eine mathematische Darstellung von der Form

$$T = a^2 \left(\frac{B}{C - a} \right) \quad (\text{Fig. 1})$$

$$y = Mt + Q\sqrt{t} + R \quad (\text{Fig. 2})$$

befriedigend wiedergeben. Darin bedeuten: T die Entfärbungsdauer, y den Fotostrom, t die Zeit, a die Korngröße und B, C, M, Q, R Konstanten. Es läßt sich zeigen, daß die gleiche Darstellung in erster Näherung aus der Annahme, daß der Entfärbungsvorgang wie ein Diffusionsprozeß verläuft, erhalten werden kann. Hierbei errechnen sich Diffusionskonstanten von der Größenordnung 10^{-5} $cm^2/std.$

Beobachtung unter dem Mikroskop zeigt, daß die Entfärbung von den Korngrenzen ihren Ausgang nimmt.

Eine ausführliche Darstellung erfolgt an anderer Stelle. Berlin, Forschungsinstitut für Physik, den 16. Dezember 1940. H. KURZKE. J. ROTTGARDT.

Methylglyoxal als Zwischenprodukt der Melanoidin- und Karamelbildung.

Man kannte bisher nur das Auftreten von Methylglyoxal bei alkalischer Zuckerspaltung^{1, 2}.

Es wurde gefunden, daß Methylglyoxal auch in neutralen und sauren Medien aus Zuckern (Glukose, Xylose) gebildet wird. Bei der Destillation von wäßrigen Zuckertlösungen gehen auch bei Anwendung von kohlenstofffreiem Wasser und im Stickstoffstrom unter ständiger Abnahme des Zuckers laufend geringe Mengen Methylglyoxal über. (Identifikation: Jodoformreaktion, Reaktion nach DENIGES, Phenylsazon F. P. 149°, 2,4-Dinitrophenylsazon F. P. 296°.)

Es scheint demnach ein Gleichgewicht zwischen Zucker und Methylglyoxal vorzuliegen. Die große Reaktionsgeschwindigkeit der Melanoidinbildung, die mit geeigneten Komponenten (z. B. Xylose + Glykokoll) schon bei gewöhnlicher Temperatur stattfindet, wäre durch Reaktion der Aminosäuren mit den jeweils nach dem Gleichgewicht vorhandenen geringen Mengen des reaktionsfähigen Methylglyoxals zu erklären. Auch die Tatsache, daß Methylglyoxal in maximaler Geschwindigkeit zur Melanoidinbildung führt, spricht dafür, daß die früher geäußerte Vermutung, daß Methylglyoxal ein Zwischenprodukt der Melanoidinbildung ist, zu Recht besteht³.

Bei Gegenwart von Dimedon, das mit Zuckern nicht reagiert⁴), unterbleibt die Melanoidinreaktion.

1) NEUBERG u. Mitarb., Biochem. Z. 55, 495 (1913).

2) FISCHLER, Hoppe-Seylers Z. 157, 1 (1926).

3) ENDERS, Kolloid-Z. 85, 74 (1938).

4) VORLÄNDER, Z. angew. Chem. 42, 46 (1929).

Da Methylglyoxal auch beim Rösten von Stärke entsteht⁵⁾, scheint der Karamelisierungsprozeß ebenfalls auf einer Verharzung von intermediär gebildetem Methylglyoxal zu beruhen. Hierauf deutet auch das Ausbleiben der Karamelisierung bei Gegenwart von Aldehydreagentien wie Bisulfit und Dimedon hin.

Als Begleitsubstanz von Melanoidin wurde ein Stoff gefunden, der positiv auf PAULYS Reagens anspricht. Wahr-

scheinlich handelt es sich um Methylimidazol, das aus Methylglyoxal im Sinne der KNOOP-WINDAUSSCHEN Glyoxalinsynthese entstanden ist.

München, Wissenschaftliche Station f. Brauerei, den 16. Dezember 1940. C. ENDERS. R. MARQUARDT.

⁵⁾ FISCHLER, unveröffentlicht, s. BLEYER, DIEMAIR, FISCHLER, TÄUFEL, Biochem. Z. 286, 408 (1936).

Besprechungen.

MITTASCH, ALWIN, **Julius Robert Mayers Kausalbegriff**. Seine geschichtliche Stellung, Auswirkung und Bedeutung. Berlin: Julius Springer 1940. VII, 297 S. 24 cm × 16,5 cm. Preis geh. RM 14.70, geb. RM 16.80.

MITTASCH hat schon in mehreren Veröffentlichungen das Kausalprinzip zum Gegenstand seiner Betrachtungen gemacht. In diesem neuen Buch nimmt der Verf. das Problem wieder auf, indem er die Stellung des genialen schwäbischen Arztes JULIUS ROBERT MAYER, dessen erste wichtige Arbeiten vor nunmehr etwa 100 Jahren erschienen sind, in der Entwicklungsgeschichte des Kausalgedankens beleuchtet, seine Auswirkungen auf die weitere Gestaltung des Kausalprinzips und seine Bedeutung für die gegenwärtige Wissenschaftstheorie untersucht.

Im ersten Teil des Buches belegt M. in umfassender Zitierung der verschiedensten Autoren aus Naturwissenschaft und Philosophie den Sinn und Inhalt des allgemeinen Kausalprinzips. Er gibt einen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung des Kausalgedankens der klassischen Physik, der seinen Ursprung hat in dem schnellen Ausbau der Mechanik, um von dort auf andere Gebiete der Naturwissenschaft überzugreifen. Eine kurze Betrachtung über den Stand des Kausalgedankens um 1840 leitet zu dem zweiten Teil des Buches über. Dieser Abschnitt ist der Weiterführung des Kausalbegriffes durch JULIUS ROBERT MAYER selbst gewidmet. Das generelle physikalische Erhaltungsprinzip wird der physikalischen Kausalität gleichgesetzt (Erhaltungskausalität). Nun lassen sich rechnerische Beziehungen bei vielen Auslösungen im Naturgeschehen wenigstens bisher nicht immer aufstellen (z. B. bei der Katalyse). Der „Anstoß“ läßt eine besondere Form der Kausalität entstehen, die Anstoß- oder Auslösungskausalität. Im dritten Teil werden MAYERS Erhaltungs- und Anstoßkausalitäten in ihren Auswirkungen und Weiterbildungen bis an die Grenzen der neuesten Zeit hin verfolgt. Im vierten Abschnitt schließlich prüft M. die Frage, ob der Kausal dualismus JULIUS ROBERT MAYERS in der gegenwärtigen Forschung seinen Platz behaupten kann und wieweit eine Weiterentwicklung des Kausalgedankens in der modernen Naturwissenschaft sich angebahnt hat.

Wie schon andere Werke des Verf. zeugt auch dieses von einer ungemeinen Kenntnis des naturwissenschaftlichen sowie philosophischen Schrifttums. Zum Inhalt des Buches mag eine gewisse Kritik gestattet sein. Bei den vielen Zitaten, die insofern nicht immer sehr glücklich gewählt sind, als für manche Probleme Autoren aus durchaus gegensätzlichen Lagern angeführt werden, wurden einige zum Teil ungenau zitiert oder aber auch Werken entnommen, die in Methodik und Inhalt naturwissenschaftliche Exaktheit vermissen lassen. So sind beispielsweise Auxin und Heteroauxin nicht Zellteilungsstoffe. Karotinoidsubstanzen lösen nicht in sämtlichen Organismen die Vorgänge der Befruchtung aus und wirken regulierend darauf ein; das Zitat stammt außerdem nicht von M. HARTMANN. Vererbung erworbener Eigen-

schaften ist bisher in keinem Fall exakt bewiesen. Es kann bezweifelt werden, ob eine Unterscheidung von Erhaltungs- und Auslösungskausalitäten grundsätzlich notwendig ist. Verf. gibt selbst zu, daß bei der Katalyse oder bei Aktivatorwirkung der Urakt der einzelnen Molekeln durchaus eine energetische Betätigung darstellt; nur summarisch ergibt sich dort scheinbar eine Wirkung durch bloße Gegenwart. Beim Übergang von einer Reizkausalität über Motiv- zur Wirkens- und gar Willenskausalität nach M. verlassen wir nach Ansicht des Ref. den naturwissenschaftlichen Boden. Es erscheint ihm auch unmöglich, daß etwas materiell nicht Existierendes direkt mechanische Wirkungen ausüben könne. Eine Inangriffnahme der logischen Überbrückung des Physischen und Psychischen in der Linie Katalyse—Willensvorgang erscheint ihm prinzipiell unmöglich. Diese wenigen Angaben mögen zeigen, daß das neue Buch von M. sicher den einen oder anderen Naturwissenschaftler oder Philosophen zur Kritik herausfordern wird, daß es aber andererseits durch eine ungeheure Stoffansammlung auf relativ kleinem Raum zu neuer Arbeit auf dem Gebiete des Kausalgedankens anregen wird. OTTO SCHARTAU.

Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung zu Düsseldorf, herausgegeben von FRIEDRICH KÖRBER. Düsseldorf: Verlag Stahl und Eisen. Band XX. 1938. 21 cm × 30 cm. 306 S. u. 659 Abbild. Preis: RM 30.—, geb. RM 33.—.

Band XXI, Lieferung 1—23. 351 S. u. 615 Abbild. Preis: RM 33.—, geb. RM 36.—.

Die Bände 20 und 21 der Mitteilungen aus dem Eisenforschungsinstitut, welche die im Jahre 1938 und 1939 erschienenen Arbeiten zusammenfassen, enthalten wieder eine reiche Zusammenstellung von Forschungsberichten, vor allem über die das Institut seit langem beschäftigenden Fragestellungen.

Aus dem Band 20 seien von den Arbeiten der metallurgischen Abteilung eine Untersuchung über Gefügeausbildung und Festigkeitseigenschaften hochwertiger Gußeisensorten sowie 2 Arbeiten über Schweißrissigkeit erwähnt. Die Untersuchungen über Anwendung physikalischer Methoden zur chemischen Analyse wurden mit 2 Arbeiten über die Anwendung der potentiometrischen Maßanalyse und über Spektralanalyse fortgeführt.

Die mechanische Abteilung befaßte sich weiter mit den Untersuchungen von Verformungsvorgängen. Die Vorgänge beim Flachwalzen von Runddraht und beim Schmieden im Gesenk wurden erforscht. Auch die Untersuchungen über Dauerstandfestigkeit und Dauerwechselbeanspruchung wurden fortgesetzt. Zum letztgenannten Thema sei besonders auf gemeinschaftlich mit der physikalischen Abteilung durchgeführte Arbeiten über die aus dem Röntgendiagramm erkennbaren Änderungen des Kristallzustandes bei der Wechselbeanspruchung hingewiesen.

Weitere Untersuchungen der physikalischen Abteilung befassen sich wieder mit der Stahlumwandlung. Dabei wurde insbesondere auch die Entwicklung von

Apparaten gepflegt, die für die Untersuchung dieser besonders verwickelten Vorgänge geeignet sind. Ferner wurden die Zustandsschaubilder Eisen-Rhenium, Eisen-Niob und Eisen-Niob-Kohlenstoff aufgestellt.

Die Erz-Abteilung berichtet über ihre Untersuchungen zur Aufbereitung deutscher Eisenerze.

Der Band 21 bringt aus der metallurgischen Abteilung zunächst 3 Arbeiten über die Umsetzungen des schmelzflüssigen Eisens und seiner Legierungselemente mit den Bestandteilen der Schlacke. Zwei weitere metallurgische Untersuchungen behandeln die Vermeidung von Manganverlusten beim Siemens-Martin-Verfahren und Fragen der Keimbildung in der Stahlschmelze. Auf dem Gebiet der analytischen Chemie stehen wieder die physikalischen Verfahren, Spektralanalyse und Polarograph, im Vordergrund des Interesses.

Die Arbeiten der physikalischen Abteilung behandeln einerseits die Austenit-Martensit-Umwandlung von Vanadin- und Chromstahl, andererseits wurden die Verfahren der Spannungsmessung mit Hilfe von Röntgenstrahlen weiter vervollkommen.

In der mechanischen Abteilung wurden in mehreren Untersuchungen Fragen der Dauerwechselbeanspruchung, namentlich bei Zug-Druck-Belastung geklärt. Ferner sind hier weitere Untersuchungen über den Walzvorgang und über die Eigenschaften von Stählen bei tiefen Temperaturen zu erwähnen.

Schließlich wird auch in diesem Band über die Arbeiten der Erz-Abteilung über Aufbereitung deutscher Eisenerze berichtet.

Wie die Bände der Vorjahre legen auch die beiden vorliegenden Bände mit ihren 51 Abhandlungen Zeugnis ab von der vielseitigen und fruchtbaren Tätigkeit des Instituts auf den verschiedensten Gebieten des Eisenhüttenwesens. G. WASSERMANN, Frankfurt a. M.

BERG, GEORG, und FERDINAND FRIEDENSBURG, **Das Gold.** (Die metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Begr. v. PAUL KRUSCH †, herausgeg. v. FERDINAND FRIEDENSBURG. 3. H.) Stuttgart: Ferdinand Enke 1940. VIII, 248 S. u. 43 Abb. 16 × 25 cm. Preis brosch. RM 20.—.

Die von P. KRUSCH † begonnene Serie: „Die metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung“ wird hier in einem dritten Heft in glücklichem Zusammenwirken zweier durch ihre Arbeitsrichtung besonders geeigneter Bearbeiter fortgesetzt. Das ungeheure Schrifttum über die Goldlagerstätten kann natürlich nicht erschöpfend behandelt werden. In kurzer und gedrängter Form gibt aber BERG einen ausgezeichneten Überblick über die lagerstättenkundlichen Verhältnisse dieses Metalls. Er legt dabei das Hauptgewicht nicht so sehr auf die Darstellung der Geologie der Goldvorkommen im einzelnen, als auf ein Gesamtbild (Geochemie und allgemeine lagerstättenkundliche Verhältnisse). Besonders schön ist die Zusammenstellung über die „vulkanischen“ Erzgänge.

Viel umfangreicher sind die Abschnitte über die wirtschaftliche Bedeutung, die Statistik, die Zukunftsvorräte der Goldlagerstätten, die im wesentlichen der Feder von FRIEDENSBURG entstammen. Sie geben einen ausgezeichneten Überblick über alles, was in dieser Hinsicht von Gold wissenswert ist. — Sehr interessant ist auch der Abschnitt über die Geschichte des Goldes aus der Feder von QUIRING. — FRIEDENSBURG wird hier im ganzen auch den augenblicklichen Verhältnissen, die bekanntlich auf eine weitgehende Entthronung des

Goldes zustreben — vielleicht im Gegensatz zu manchen seiner früheren Arbeiten —, durchaus gerecht.

Wegen der Unzahl der außerordentlich wichtigen Einzelangaben und der vielen Anregungen wolle man gegebenenfalls im Werk selber nachlesen.

Die Einzelangaben sind im allgemeinen zuverlässig. Falsch ist aber z. B., daß die Alaska Treadwell Mine eine kontaktmetasomatische Magnetkiesmasse sei. Dem Mineralbestand nach ist kein Zweifel, daß die Veränderungen durchaus — wie zu erwarten — hydrothermalen Natur sind. — Unter Senfgold versteht man im allgemeinen *nicht* Gold in Brauneisen. — Schade ist, daß ausgerechnet beim Rheingold leider nicht ohne weiteres richtigzustellende offenbare Rechenfehler die Angaben der Gehalte verfälschen. RAMDOHR.

LOCK, FRITZ, **Aus dem Leben der Spinnen.** Öhringen: Hohenlohesche Buchhandlung Ferdinand Rau 1939. 160 S. und 245 Abbild. 24 cm × 16 cm. Preis geb. RM 4.50.

Wer selbst eine lange Reihe von Jahren der Erforschung der Lebensgeschichte der Spinnen gewidmet hat, kann am ersten die Arbeit, die in dem Lockschen Buche steckt, aber auch die durch sie erzielten Erfolge richtig einschätzen. Vieles, was sonst nur in mühevoller und langwieriger Laboratoriumsarbeit erforscht worden war, ist hier zum ersten Male unter natürlichen Bedingungen im Freien im Lichtbilde festgehalten worden, und zwar in technisch vorzüglichen Aufnahmen.

Es ist ein großer Vorzug des Buches, daß es die größte Zahl der einheimischen Spinnenfamilien umfaßt, und ferner, daß es von den wichtigsten Arten jedesmal eine ganze Reihe von Bildern bringt, die die verschiedensten Vorgänge aus dem Spinnenleben darstellen. So werden Netzbau, Beutefang, die oft sehr verwickelten Handlungen, die sich um die Werbung und Paarung gruppieren, die Eiablage und Brutpflege, die Häutung, ferner auch die Beutetiere und die Feinde der Spinnen im Bilde gezeigt.

Die Illustration durch photographische Aufnahmen bringt es mit sich, daß für den Laien nicht alle Bilder gleichmäßig verständlich sind, wie besonders die Aufnahmen von der Kopulation einiger Arten. Gerade diese Bilder werden aber dazu dienen können, die Leser des Buches zu eigenen Beobachtungen anzuregen und sich durch den Augenschein ein klareres Bild der Vorgänge zu machen, die ohne schematische Zeichnungen oft wie ein wirrer Knäuel von Gliedmaßen erscheinen.

Das Buch ist für Laien geschrieben, und der Text wendet sich an sie. Es soll daher an ihn hier kein wissenschaftlicher Maßstab angelegt werden; aber es soll doch ausgesprochen werden, daß eine etwas sachlichere Fassung der Unterschriften zu den Bildern (z. B. S. 62/63) erwünscht gewesen wäre.

Hinweise auf die sehr reiche Literatur des Gebietes werden nicht gegeben; vielleicht wären sie manchem Leser willkommen gewesen.

Sachlich sei noch bemerkt, daß Pisaura (die „große Wolfsspinne“) nicht zu den Wolfsspinnen, sondern zur Familie der bei uns nur in zwei Gattungen vertretenen Familie der Pisauriden gehört, die sich gerade durch ihre Biologie sehr wesentlich von der der Wolfsspinnen unterscheidet.

So liegt der Wert des Buches in den Abbildungen, die es bringt, und es ist sehr zu begrüßen, daß der Verfasser keine Mühe gescheut hat, zu allen Jahreszeiten auf seinen Exkursionen ein Material an wertvollen Dokumenten zu sammeln, das bisher einzig in seiner Art sein dürfte. U. GERHARDT, Halle (Saale).

Das Phasenkontrastverfahren und seine Anwendungen in der Mikroskopie¹⁾.

Von A. KÖHLER und W. LOOS.

I. Das einfachste Hilfsmittel, den Kontrast des mikroskopischen Bildes ungefärbter Präparate zu steigern, besteht darin, die Kondensorblende des Mikroskops so weit zu schließen, als es mit der gleichzeitig abnehmenden Helligkeit vereinbar ist. Der Gewinn an Kontrast ist allerdings nicht sehr groß, in vielen Fällen sogar völlig unzureichend. Die Abnahme der Beleuchtungsapertur bewirkt zudem einen unerwünschten Verlust an Auflösungsvermögen. Eine weitere Möglichkeit, den Kontrast zu steigern, besteht in der Anwendung der schiefen Beleuchtung, durch die man unter Umständen Bilder mit einem merkwürdigen Relief-effekt erhält; sie scheinen plastisch zu sein und sind oft recht aufschlußreich. Diese Methode hat sich allerdings aus verschiedenen Gründen wenig eingebürgert und soll deshalb hier nur erwähnt werden. Wesentlich größere Bedeutung als die beiden vorstehend genannten Verfahren hat seit den wesentlichen Verbesserungen durch SIEDENTOPF und ZSIGMONDY (1) die Dunkelfeldmikroskopie erlangt.

Sie ist als Hilfsmittel der Forschung in der Kolloidchemie und der Bakteriologie nicht zu entbehren. Ohne auf das hier herrschende physikalische Prinzip näher einzugehen, sei nur gesagt, daß das Dunkelfeldmikroskop die bisher beste Kontraststeigerung der Bilder ungefärbter Präparate ergibt. Allerdings mit Einschränkungen. Die Kontraste werden oft umgekehrt wiedergegeben: was den Gewohnheiten der Hellfeldmikroskopie entsprechend dunkel erscheinen müßte, erscheint hier hell, und was man hell zu sehen erwartet, erscheint dunkel. Zweitens werden die Kontraste stark übertrieben: die Intensitätsunterschiede im Bild entsprechen nicht der Größe der Brechungs- und Dickenunterschiede im Präparat. In den Fällen, in denen die Dunkelfeldmethode erfolgreich angewandt wird, ist diese Erscheinung zweifellos von Vorteil. Auf anderen Gebieten jedoch würden die übertriebenen Kontraste zu einer gänzlich falschen Beurteilung des Gesehenen führen, so daß aus diesem Grunde das Verfahren versagt und auch keine Anwendung findet. Übrigens kann auch das Dunkelfeldbild nicht immer alles zeigen, was im Präparat z. B. an Dickenunterschieden vorhanden ist.

In Fig. 1 ist ein künstliches Präparat dargestellt. Ein Objektträger wurde durch vorsichtiges Ätzen in ein Phasengitter²⁾ umgewandelt, das in der Zeichnung im Querschnitt dargestellt ist.

¹⁾ Aus dem Mikro-Laboratorium der Optischen Werke Carl Zeiss, Jena.

²⁾ Die Erklärung für dieses Wort folgt später.

Das Gitter wurde unter einem Deckglas in Kanadabalsam eingeschlossen. Das Dunkelfeld kann nun nur die scharfen Kanten zeigen, weil dort das Licht abgelenkt wird [SIEDENTOPF (2)]. Es zeigt nicht, welches die Stege und Spalte sind, es zeigt auch nicht, ob die Brechzahl der Stege größer oder kleiner ist als die der Spalte.

Die Figur zeigt, daß durch die Dunkelfeldmethode im wesentlichen nur die Kanten der Strukturen dargestellt werden, die eine höhere oder geringere Brechzahl oder auch Absorption als das Einschlußmedium haben. Das Phasenkontrastverfahren von ZERNIKE (4, 5, 6, 7) vermeidet diese Nachteile. Es ist besonders für die kontrastreiche Darstellung ungefärbter mikroskopischer Präparate geeignet und soll im folgenden näher beschrieben werden.

Gefärbte und ungefärbte mikroskopische Präparate unterscheiden sich dadurch, daß sich bei den ersten die Elemente durch ihre Lichtabsorption, bei den anderen durch ihre Lichtbrechung unterscheiden. Als Vertreter mikroskopischer Präparate betrachten wir zunächst einmal einfache Beugungsgitter in Gestalt von feinen Spalten, die in gleichen Abständen im ersten Falle in eine dünne absorbierende Schicht (Fig. 3, *Ia*), im zweiten in eine farblose, vollkommen durchlässige Schicht (*Ib*) eingerissen sind. Die Spalte der Gitter seien von einem durchsichtigen Einschlußmittel, das z. B. auch Luft sein könnte, vollkommen ausgefüllt. Durch diese Spalte tritt das Licht bei beiden unverändert hindurch. Die stehengebliebenen schmalen Streifen, die Stege, passiert es im ersten Fall — bei dem Absorptionsgitter — mit verminderter Intensität, im zweiten — bei dem Phasengitter — mit unveränderter Intensität, aber veränderter Phase. Nehmen wir an, daß die Schicht eine höhere Brechzahl besitzt als das Einschlußmittel, so ist das durch die Stege gegangene Licht in seiner Phase verzögert.

Die Wirkungsweise des Phasenkontrastverfahrens läßt sich nun nicht verständlich machen, ohne näher auf die Eigenschaften einer Wellenbewegung und auf deren Darstellung durch ein Vektordiagramm einzugehen. Da die Darstellung durch

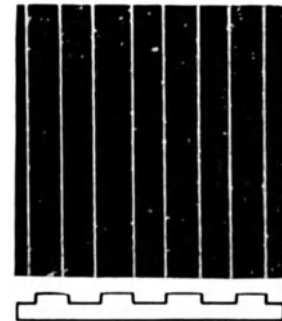


Fig. 1. Phasengitter im Dunkelfeld. Darunter Querschnitt. Etwa 30:1.

ein solches Diagramm den Benutzern des Mikroskops in der Regel nicht geläufig sein wird, ist zunächst eine Erklärung nötig. Als Ausgangspunkt wählen wir die bekannte Darstellung der Wellenbewegung durch eine Wellenlinie oder Sinuskurve (Fig. 2, I). Die dickgezeichnete Wellenlinie stellt ein Stück einer fortschreitenden Welle zu einem bestimmten Zeitpunkt dar. Es umfaßt, wenn wir das anschauliche Bild einer Wasserwelle betrach-

gungszustand. Man sagt, sie befinden sich in gleicher *Schwingungsphase*, und das gilt allgemein für beliebige Teilchen, deren Abstand gleich einer Wellenlänge oder einer ganzen Anzahl von Wellenlängen ist. Der größte Ausschlag a stellt die Schwingungsweite oder die *Amplitude* dar.

Die dünn gezeichnete Wellenlinie stellt eine andere Welle von gleicher Wellenlänge dar. Ihre Amplitude \bar{a} ist kleiner, nur halb so groß wie a . Außerdem aber ist sie gegen die erste Welle verschoben. Wenn das Teilchen der Welle a , das bei o liegt, eine ganze Schwingung vollendet und von unten kommend gerade die Ruhelage erreicht hat, dann muß das senkrecht darunter befindliche Teilchen der Welle \bar{a} noch ein Stück steigen, es braucht also noch eine gewisse Zeit, um ebenfalls die Ruhelage zu erreichen. Diese Wellenbewegung \bar{a} ist also gegen die erste von a verzögert, und zwar in dem dargestellten Beispiel um $1/8$ der Dauer einer ganzen Schwingung. Denn die Zeit, die die mit gleichmäßiger Geschwindigkeit fortschreitende Wellenbewegung braucht, um eine Wellenlänge von 0 bis 1 zu durchlaufen, ist ja eine ganze Schwingungsdauer. Man sagt, beide Wellenbewegungen haben einen *Phasenunterschied*, der in Bruchteilen der Schwingungsdauer ausgedrückt werden kann.

Treffen zwei solche Wellenbewegungen zusammen, so entsteht eine neue Wellenbewegung. Ihre Wellenlänge ist die gleiche, aber ihre Amplitude und Phase ist im allgemeinen verschieden von den Amplituden und Phasen der beiden Wellenbewegungen, der Komponenten, aus denen sie sich zusammensetzt. Man kann diese neue Welle, die Resultante, mit Hilfe der Fig. 2, I, konstruieren. Einfacher und bequemer ist aber für diesen Zweck die Darstellung durch das obengenannte Vektordiagramm. Es stellt vor allem nur die Schwingung eines einzelnen Teilchens dar, und zwar wählt man nicht eine gewöhnliche Pendelschwingung, bei der die Bahn des Teilchens als gerade Linie angesehen werden kann, sondern die Schwingung eines sog. konischen Pendels. Eine solche läßt sich leicht mit einem Pendel erzeugen, das aus einem an einem Faden hängenden Gewicht besteht. Das Gewicht durchläuft bei dieser Art Schwingung mit gleichförmiger Geschwindigkeit einen Kreis, der Faden beschreibt den Mantel eines Kegels. Der Halbmesser des Kreises mißt die Amplitude. Zwischen den Bahnen eines ebenen und eines konischen Pendels von gleicher Amplitude und Schwingungsdauer besteht eine sehr einfache Beziehung: die Bahn des ebenen Pendels ist ein Durchmesser der Kreisbahn des konischen, und das Gewicht des ebenen Pendels fällt in jedem Moment mit der Projektion des Gewichts des konischen Pendels zusammen (IIa und b).

Für unsere Betrachtungen hat das konische Pendel den großen Vorteil, daß die Geschwindigkeit des Pendelgewichts während einer vollen Schwingung unverändert bleibt, während es bei dem ebenen Pendel zwischen Null — an den beiden Enden der Bahn — und einem Maximum — bei

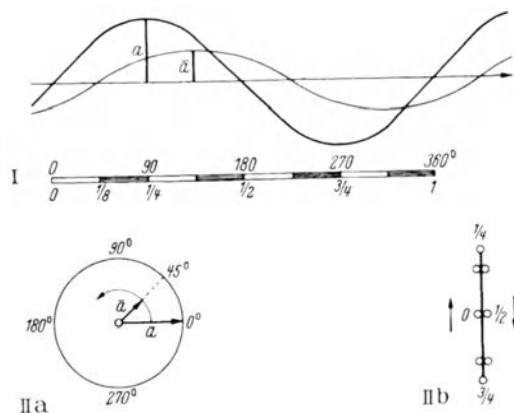


Fig. 2. I. Darstellung zweier Wellen von gleicher Wellenlänge, aber verschiedenen Amplituden a und \bar{a} und verschiedenen Phasen. \bar{a} ist um $1/8$ einer Schwingung verzögert. Der Maßstab ist unten nach Bruchteilen einer Wellenlänge beziffert. Oben sind die Verzögerungen, die den Gangunterschieden von $1/4$, $1/2$ und 1 λ entsprechen, in Bogengraden angegeben.

IIa. Darstellung derselben beiden Wellen durch das Vektordiagramm. Die Länge des Vektors bedeutet die Amplitude der Schwingung, der Winkel zwischen zwei Vektoren den Phasenunterschied.

IIb. Eine ganze Schwingung eines Teilchens der Welle a . Die Kreise bedeuten die Orte des Teilchens zu Beginn (o) der Bewegung und nach Ablauf von $1/8$, $1/4$, $3/8$, $1/2$ usw. Schwingungen.

ten, einen „Wellenberg“ und ein „Wellental“, die zusammen eine „Wellenlänge“ darstellen. Eine solche Welle entsteht z. B. dadurch, daß die Teilchen sich regelmäßig auf und ab bewegen, ähnlich wie das Pendel der Uhr sich von rechts nach links bewegt. Schreitet die Welle in der Richtung des Pfeils fort, so beginnt jedes folgende Teilchen seine Bewegung, seine Schwingung, etwas später als das vorhergehende. Ist das Teilchen bei o (IIb) aus der gezeichneten Ruhelage um die Strecke a nach oben gegangen ($1/4$), dann in die Ruhelage zurückgekehrt ($1/2$), von dieser um dieselbe Strecke a nach unten gegangen ($3/4$) und zum zweitenmal in die Ruhelage (o) gelangt, so hat es eine ganze Schwingung vollendet und beginnt die folgende. Während dieser Dauer einer ganzen Schwingung eines Teilchens ist die Welle um eine ganze Wellenlänge fortgeschritten, auch das Teilchen bei 1 beginnt nun von der Ruhelage ausgehend eine Schwingung; 0 und 1 befinden sich von nun an in jedem Moment in gleichem Schwin-

Fig. 3. *Ia*. Querschnitt durch ein Amplitudengitter, darüber der Lichtvektor über einem Spalt (links) und über einem Steg (rechts).

Ib. Querschnitt durch ein Phasengitter, darüber der Lichtvektor über einem Spalt (links) und über einem Steg (rechts).

Ic. Beugungsspektrum eines Amplituden- oder Phasengitters; das Maximum θ in zwei Komponenten zerlegt, von denen die eine etwas nach oben verschoben ist, um beide getrennt darzustellen. $P 90^\circ$ Phasenplatte, welche die Phase über dem Maximum θ um 90° verändert.

IIa. Die Vektoren von *Ia* in zwei Komponenten zerlegt, deren größere gleich dem Vektor über dem Spalt ist.

IIb. Die Vektoren von *Ib* ebenso zerlegt.

IIIa und *IIIb*. Die größeren Komponenten für sich allein, darunter ein Schnitt durch die Platte, welche die durch diese Vektoren gekennzeichnete Lichtverteilung erzeugt.

IIIc. Das nur aus dem unveränderten Bild der Lichtquelle, dem Maximum θ , bestehende Beugungsspektrum einer solchen Platte.

IVa. Die kleinere, nur über den Stegen des wirklichen Amplitudengitters vorhandene, um 180° in der Phase verzögerte Komponente; darunter ein Schnitt durch ein Amplitudengitter und eine Phasenplatte $P 180^\circ$, welche zusammen die durch den kleineren Vektor gekennzeichnete Lichtverteilung erzeugen.

IVb. Die gleiche Darstellung der kleineren Komponente des Phasengitters, und darunter der Schnitt durch das entsprechende Amplitudengitter nebst Phasenplatte $P 90^\circ$. Zu beachten ist, daß sich Fig. *IVa* und *b* nur durch die Phasenplatte unterscheiden.

IVc. Das von diesem Amplitudengitter und den Phasenplatten erzeugte Beugungsspektrum. Durch den dunklen Ton ist die geringe Intensität der Maxima angedeutet.

Vb. Die Vektoren von *IIIb* durch die Phasenplatte $P 90^\circ$ (*Ic*) um 90° verzögert.

VIIb. Die über den Stegen und Spalten des Phasengitters (*Ib*) unter dem Einfluß der Phasenplatte $P 90^\circ$ auftretenden Lichtvektoren, die die Resultanten der in *IVb* und *Vb* einzeln dargestellten Vektoren sind. Darunter das diesen Vektoren entsprechende Amplitudengitter; negativer Phasenkontrast.

VIIIb. Die entsprechende Darstellung des positiven Phasenkontrasts.

beiden Durchgängen durch die Ruhelage — schwankt.

Fig. 2, *IIa*, zeigt nun das Vektordiagramm der beiden in *I* als Wellenlinien dargestellten Wellenbewegungen. Der lange Pfeil stellt die Amplitude a der einen Welle dar, der kurze die Amplitude \bar{a} der anderen. Der Winkel zwischen beiden aber zeigt den Phasenunterschied. Da der ganze Kreisumfang, 360° , während einer Schwingungsdauer mit gleicher Geschwindigkeit durchlaufen wird, erscheint hier ein Phasenunterschied von $\frac{1}{8}$ Schwingungsdauer als ein Winkel von $360^\circ/8 = 45^\circ$, und wir haben nur noch festzusetzen, daß eine Drehung gegen den Uhrzeiger eine Verzögerung bedeuten soll: das Vektordiagramm enthält dann alles, was wir über die beiden Wellenbewegungen wissen müssen.

In der Fig. 3, *Ia* und *Ib*, ist nun oberhalb der

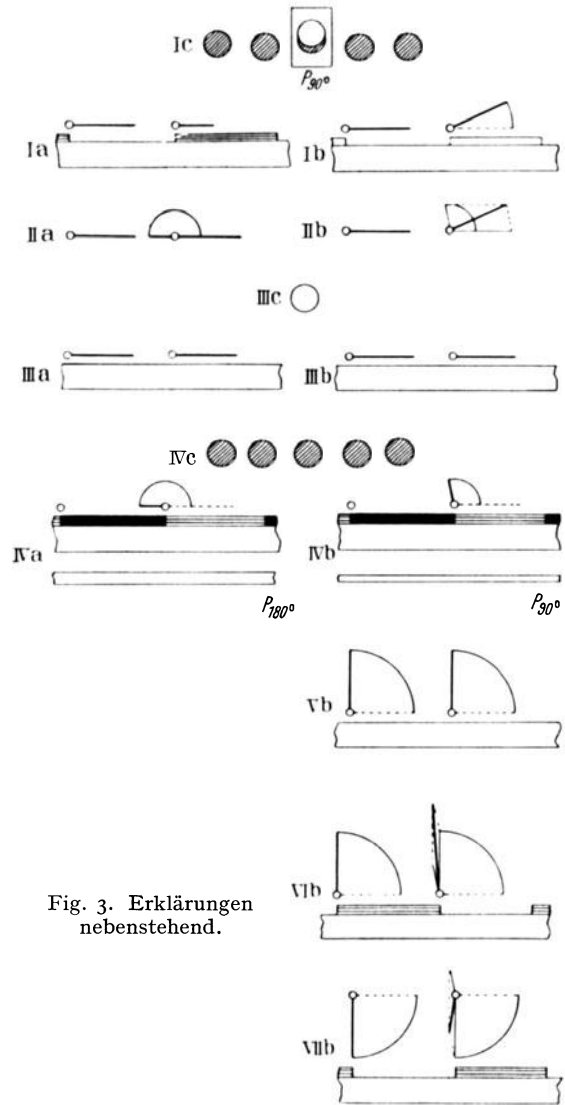


Fig. 3. Erklärungen
nebenstehend.

Spalte und Stege die durchgetretene Lichtbewegung durch ein solches Vektordiagramm dargestellt. Es ist aber nicht der volle Kreis gezeichnet, sondern nur ein Bogen, der die Phasendifferenz angibt.

Beim Amplitudengitter sind die Phasen gleich, die Vektoren also gleichgerichtet, aber ihre Längen verschieden: durch die Spalte tritt das Licht mit unveränderter, durch die Stege mit verminderter Amplitude (*Ia*).

Beim Phasengitter verhält es sich anders. Die Vektoren haben gleiche Länge, da sich die Amplitude nicht ändert, aber die Phase ist verschieden. Wie die höhere Brechzahl der Stege das bewirkt, wird später besprochen werden, vorläufig nehmen wir nur die Tatsache zur Kenntnis. Die Verzögerung soll nur klein sein, der Winkel, den die Richtungen der beiden Vektoren miteinander bil-

den, also ebenfalls; in der Figur ist er der Deutlichkeit halber zu groß gezeichnet.

Ein solches Vektordiagramm kann nun nicht nur dazu dienen, die Amplitude und Phase einer aus zwei verschiedenen Wellenbewegungen zusammengesetzten Wellenbewegung zu ermitteln; eine gegebene Wellenbewegung kann auch in zwei — oder auch mehr — Wellenbewegungen zerlegt werden. Beide Operationen ermöglicht eine einfache Konstruktion, die vollkommen mit der des bekannten Parallelogramms der Kräfte übereinstimmt. Nach ZERNIKE zerlegen wir nun die Vektoren der Lichtbewegung über den Stegen in 2 Komponenten, von denen die eine in Amplitude und Phase genau mit dem Vektor über den Spalten der beiden Gitter übereinstimmt. Der Vektor über den Spalten wird also überhaupt nicht zerlegt, oder der Vektor selbst ist, wenn wir wollen, die eine Komponente, die andere ist Null und hat natürlich weder eine bestimmte Amplitude noch Phase. Das gilt selbstverständlich für beide Gitter (*IIa* und *b*). Der Vektor über den Stegen verhält sich bei beiden Arten von Gittern verschieden. Bei dem Phasengitter (*IIb*) ergibt sich außer der großen Komponente, die gleich dem Vektor über den Spalten ist, eine kleine Komponente. Der Vektor, der sie darstellt, ist um so kleiner, und der Phasenwinkel, den er mit dem Vektor der großen Komponente bildet, nähert sich 90° um so mehr, je kleiner die Verzögerung war, die die Gitterstege verursachen.

Beim Amplitudengitter (*IIa*) ist die Sache sehr einfach, die kleine Komponente wird durch einen Vektor dargestellt, der gleich der Differenz des Vektors über den Stegen und des Vektors über den Spalten ist, und seine Richtung ist gerade entgegengesetzt: der Phasenwinkel ist 180° .

In Fig. 3, *IIIa* und *b*, sind nun noch einmal die großen, gleichen Vektoren für sich allein, und in *IVa* und *b* die kleinen Vektoren für sich allein dargestellt.

Zunächst betrachten wir *IIIa* und *b*. Die nach Phase und Amplitude gleichen Vektoren über den Stegen und über den Spalten zeigen an, daß in der Objektebene am Ort der Stege weder Absorption noch Verzögerung eintreten, daß also in dieser Ebene überhaupt keine Beugung des Lichts auftreten kann: beide Arten von Gittern verhalten sich bezüglich dieser Komponenten vollkommen gleich. An die Stelle, wo in *Ia*, *b* und *IIa*, *b* das Gitter mit einer Planplatte als Träger eingezeichnet war, ist nur die einheitliche Planplatte, der Träger ohne Gitter, gezeichnet, die ja überall das Licht mit gleicher Phase und Amplitude durchläßt. In *IVa* und *b* finden wir über den Stegen die kleinen Vektoren, über den Spalten aber sind die Vektoren Null, wie wir schon oben festgestellt haben; denn alles hindurchtretende Licht wird ja durch die entsprechenden Vektoren in *IIIa* und *b* dargestellt. Diese Lichtverteilung würde ein Gitter hervorrufen, dessen „Stege“ und „Spalte“ in ihrer Breite und ihrem Abstand genau mit denen des

tatsächlich vorhandenen Gitters übereinstimmen. An der Stelle der Spalte dürfte aber absolut kein Licht durchgehen, und an der Stelle der Stege müßte eine starke Absorption des Lichts auftreten. Außerdem müßte hier, in *IVa*, die Phase um 180° , in *IVb* um 90° verzögert werden. Man könnte ein solches Gitter zusammensetzen aus einem reinen Amplitudengitter, dessen Stege vollkommen undurchlässig sind und dessen Spalte noch stark absorbieren. Die Stege dieses Gitters müßten am Ort der Spalte des wirklich vorhandenen Gitters liegen, die Spalte aber die Stelle der wirklich vorhandenen Stege einnehmen. Ein solches Gitter ist in *IVa* und *b* unterhalb des Vektordiagramms eingezeichnet. Man müßte aber außerdem eine „Phasenplatte“ zufügen, eine vollkommen durchsichtige Platte, die — beim Amplitudengitter — die Phase um 180° (*IVa*, $P 180^\circ$) und — beim Phasengitter — die Phase um 90° (*IVb*, $P 90^\circ$) verzögert. Denken wir uns das Bild der Platten in *IIIa* und *b* und das Bild des dunklen Amplitudengitters in *IVa* und *b* unter gewissen Voraussetzungen, auf die wir hier nicht näher eingehen können, aufeinanderprojiziert, so müßte sich das Gesamtbild als Amplitudengitter oder als Phasengitter ausweisen, je nachdem vor das dunkle Amplitudengitter eine Phasenplatte $P 180^\circ$ oder $P 90^\circ$ eingeschaltet würde: diese Phasenplatte ist der einzige Unterschied zwischen beiden Anordnungen.

Wäre es möglich, bei dem Amplitudengitter die Phasen der beiden großen Vektoren über den Stegen und Spalten oder die Phase des kleinen Vektors über den Stegen um 90° zu verändern, so müßte sich das Bild des Amplitudengitters in das eines Phasengitters verwandeln und umgekehrt. Der letzte Fall ist der wichtigere: die unsichtbaren Stege und Spalte des Phasengitters würden dann durch verschiedene Helligkeit sichtbar werden.

Wie ZERNIKE gezeigt hat, ist das auch tatsächlich möglich. Um das einzusehen, müssen wir die Lichtverteilung in der Austrittspupille des Objektivs, welches das Gitter abbildet, betrachten. Es entsteht dort — bei dem Phasengitter wie bei dem Amplitudengitter — ein FRAUNHOFERSCHES Beugungsspektrum, das, wenn wir direkt mit der Lichtquelle beleuchten, sich zusammensetzt aus einem farblosen direkten Bilde der Lichtquelle, dem Maximum 0 , und den farbig gesäumten Nebenbildern, den Maximis $\pm 1 \pm 2 \dots \pm m$ (wie Fig. 3, *IV C*). Dieses Beugungsspektrum muß natürlich als Komponenten die Beugungsspektren enthalten, welche die Planplatte (*IIIa* und *b*) und das dunkle Amplitudengitter mit der Phasenplatte (*IVa* und *b*), jedes für sich, erzeugen würden. Eine Planplatte erzeugt aber kein Beugungsspektrum, oder es ist, besser gesagt, reduziert auf das Maximum 0 , das farblose, nicht abgelenkte Bild der Lichtquelle (*IIIc*). Ein Amplitudengitter mit der Phasenplatte aber erzeugt ein FRAUNHOFERSCHES Beugungsspektrum, das aus den Maximis $0 \pm 1 \pm 2 \dots \pm m$ besteht (*IVc*). Um anzu-

deuten, daß dieses Beugungsspektrum im ganzen lichtschwach ist — selbst die durchsichtigen Stellen sollen ja nur wenig Licht hindurchlassen —, sind alle Maxima schraffiert. Die beiden Beugungsspektren sind in dem obengenannten, vom ursprünglichen Gitter erzeugten Spektrum übereinandergelagert, so daß sich die Maxima 0 beider decken. In Ic sind sie der Deutlichkeit halber etwas voneinander getrennt gezeichnet.

Man bringt nun am Ort des Beugungsspektrums ein Phasenplättchen $P 90^\circ$ (Ic) an, das nur das Maximum 0 bedeckt; es erteilt dem Licht, das durch dieses hindurchgeht, eine Verzögerung von 90° , läßt dagegen das Licht, welches durch die Maxima $\pm 1 \pm 2 \dots \pm m$ hindurchgeht, vollkommen unverändert.

Da nun alles Licht, welches durch die Vektoren (Fig. 3, $IIIb$) dargestellt wird, durch das Maximum 0 hindurchgeht, werden diese Vektoren in ihrer Phase um 90° verzögert, sie werden gegen den Uhrzeiger um 90° gedreht und fallen fast in die Richtung der kleinen Komponente (Vb). Über den Spalten bleibt der um 90° gedrehte Vektor unverändert (VIb , links), über den Stegen tritt noch der kleine Vektor hinzu (VIb , rechts). VIb zeigt auch die Konstruktion der Resultanten aus den Vektoren über den Stegen und Spalten: sie haben fast gleiche Phase, aber verschiedene Länge, wie bei dem Amplitudengitter, und das Bild muß also ein solches darstellen. Die Stege erscheinen heller als die Spalte, wie durch die Schraffierung links angedeutet ist.

$VIIb$ zeigt, daß der umgekehrte Erfolg eintritt, wenn die Phasenplatte $P 90^\circ$ das Maximum 0 um 90° beschleunigt oder die Maxima $\pm 1 \pm 2 \dots \pm m$ um 90° verzögert, denn es kommt ja nur auf Phasenunterschiede an: die Stege erscheinen dann dunkler, und diesen Kontrast wird man im allgemeinen vorziehen. Er ist durch die Schraffierung rechts angedeutet.

Bei weiteren Versuchen machte der eine von uns (L.) folgende interessante Beobachtung. Er versah den Kondensor nicht mit der normalen Ringblende — bei der also die Öffnung der Blende genau auf das Phasenplättchen in der Austrittspupille des Objektivs abgebildet wird —, sondern mit einer Blende, die an den Stellen undurchsichtig ist, wo die normale Blende durchsichtig ist und umgekehrt. Sie stellt also das Negativ der normalen Blende dar. Der Kürze halber mag die normale als „positive Blende“ und diese neue als „negative Blende“ bezeichnet werden.

Liefert dann das Phasenkontrastverfahren mit der normalen „positiven Blende“ ein Bild mit positivem Phasenkontrast, so liefert die „negative Blende“ ein Bild mit deutlich negativem Phasenkontrast und umgekehrt (Fig. IIe und f). Das wird auf Grund von 3 Tatsachen verständlich:

1. Bei weitem Beleuchtungskegel zeigt das Bild eines Phasengitters — unter den oben näher gekennzeichneten Voraussetzungen — eine gleichmäßig erhellte Fläche.

2. Die „positive“ Blende erzeugt dagegen eine bestimmte der Struktur des Objekts entsprechende Abstufung der Helligkeit.

3. Nach ABBE kann man sich die unter 1. vorausgesetzte weite Blende beliebig in kleinere Teile zerlegt denken, von denen ein jeder ein „Teilbild“ erzeugt. Das Gesamtbild entsteht dann dadurch, daß diese Teilbilder — bei scharfer Einstellung — sich vollkommen decken, und daß sich dabei Punkt für Punkt einfach die Helligkeiten der Einzelbilder summieren. Eine Interferenz tritt nicht auf.

Man kann sich daher auch die weite Blende in 2 Teile zerlegt denken, von denen der eine der lichten Öffnung der „positiven“, der andere derjenigen der „negativen“ Blende entspricht. Die von jedem einzelnen dieser Blendenteile erzeugten Teilbilder des Objekts müssen sich nach 3. zu dem von der weiten Blende erzeugten Gesamtbild — also nach 1. zu einer gleichmäßig erhellen Fläche — summieren.

Das ist aber nur möglich, wenn die Helligkeiten überall an korrespondierenden Stellen der beiden Teilbilder die gleiche Summe ergeben: d. h. wenn sich die durch eine „positive“ und eine „negative“ Blende erzeugten Bilder kurz gesagt verhalten wie das Positiv zu dem zugehörigen Negativ.

Die oben gegebene allgemeine Ableitung des Verfahrens ist aber nicht ganz streng, denn es wurde z. B. der Umstand vernachlässigt, daß das Phasenplättchen auch das allerdings schwache Licht des Maximums 0 des Beugungsspektrums, das dem dunklen Amplitudengitter angehört, um 90° verzögert oder beschleunigt (Ic). Davon können wir aber hier, wo es nur auf eine möglichst einfache und übersichtliche Darstellung ankommt, absehen. Wir haben ja auch bei dem Phasengitter die Abweichung des Phasenwinkels von 90° vernachlässigt. Dem Sinne nach ergibt die vereinfachte Darstellung den Kontrast jedenfalls richtig, wenn auch quantitativ nicht ganz zutreffend.

Ein Fehler besteht darin, daß sich die Summe der Vektoren über den Stegen und den Spalten je nachdem größer (VIb) oder kleiner ($VIIb$) ergibt, als sie tatsächlich (nach Ib) sein kann. Unerklärlicherweise erscheint also die Intensität des vom Gitter durchgelassenen Lichtes im ersten Falle, den ZERNIKE als „negativen Phasenkontrast“ bezeichnet, im ganzen erhöht, im zweiten, bei dem „positiven Phasenkontrast“, im ganzen vermindert. ZERNIKE (7) hat aber gezeigt, daß dieser Unterschied nicht besteht; der Phasenkontrast beruht nur darauf, daß die im ganzen gleichbleibende Intensität ungleich über die Fläche des Bildes verteilt wird, entsprechend der ungleichen Verteilung der Phasenverzögerung über die Fläche des Objekts (s. auch Fig. 7). Der geringe Phasenunterschied zwischen den Vektoren über den Stegen und den Vektoren über den Spalten hat nichts Wesentliches zu bedeuten. Die Mehr-

zahl der mikroskopischen Präparate, die absorbierende Elemente enthalten, sind überhaupt keine reinen Amplitudengitter, denn die absorbierenden Stoffe haben in der Regel auch Brechzahlen, die von denen der Umgebung abweichen: der ihnen entsprechende Vektor weist daher außer der Verkürzung fast stets auch noch eine Phasenänderung auf.

Zum Schlusse sei noch darauf hingewiesen, daß es vorteilhaft sein kann, wenn das Phasenplättchen außer der Phasenänderung eine gewisse Absorption hervorruft, dadurch kann der Kontrast noch weiter erhöht werden. Diese Steigerung des Kontrastes durch partielle Absorption des im Maximum 0 enthaltenen Lichts hat schon vor Jahren BRATUSCHEK (3) untersucht. Wie diese Erhöhung des Kontrastes zustande kommt, ist ebenfalls mit Hilfe eines Vektordiagramms leicht zu übersehen. Wir denken uns das von jedem Maximum des Beugungsspektrums ausgehende Licht durch einen Vektor dargestellt. Wir können

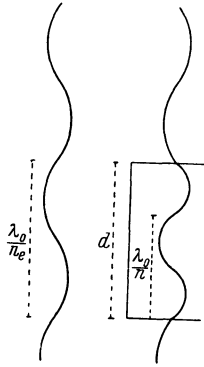


Fig. 4. Konstruktion des Phasenunterschieds zwischen einem Strahl, der durch eine planparallele Platte von der Dicke d und der Brechzahl n gegangen ist, und einem Strahl, der nur das Einschlußmittel von der Brechzahl n_e durchläuft. λ_0 die Wellenlänge im leeren Raum oder in einem Mittel von der Brechzahl 1. Der Gangunterschied ist $1/2$ Wellenlänge, der Phasenunterschied $360^\circ/2$ oder 180°

dann aus den Vektoren der Maxima $\pm 1 \pm 2 \dots \pm m$ eine Resultante bilden und mit Hilfe dieser Resultante und des Vektors, der das vom Maximum 0 kommende Licht darstellt, an jedem Punkte des Bildes die Helligkeit feststellen. Sicherlich wird der größte mögliche Kontrast dann auftreten, wenn die Intensität an einzelnen Punkten auf Null sinkt, d. h. wenn beide Vektoren an diesen Stellen gleiche Amplitude und einen Phasenunterschied von 180° aufweisen. Ist jedoch die Amplitude des Vektors 0 größer als die Amplitude der Resultante, dann muß ein Überschuß von Helligkeit übrigbleiben, der sich — weil er ja allein von dem Maximum 0 her stammt — gleichmäßig über das ganze Bild verteilt: wie ein Schleier wird er den Kontrast vermindern. Besitzt das Phasenplättchen ($P 90^\circ$, Ic) jedoch ein passendes Absorptionsvermögen, dann kann natürlich dieser „Schleier“ vermindert oder beseitigt werden.

Zur Erklärung der Phasendifferenz zwischen dem Licht, das eine Schicht von der Brechzahl n und der Dicke d durchsetzt hat, und dem Licht, das außerhalb dieser Schicht durch ein Einschlußmittel von der Brechzahl n_e hindurchgegangen ist, sei folgendes gesagt:

Die Anzahl der Wellenlängen, welche bei senkrechtem Lichtdurchtritt innerhalb einer Platte von der Dicke d liegen, ist (Fig. 4)

$$x = \frac{d}{\lambda},$$

wo λ die Wellenlänge in einem Mittel von der Brechzahl n ist. Ist die Wellenlänge im Vakuum λ_0 , so ist

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$

und

$$x = \frac{d \cdot n}{\lambda_0},$$

x ist zugleich auch die Zahl der Schwingungen, die innerhalb der Platte erfolgen. In der gleich dicken Schicht des Einschlußmittels ist die Zahl der Wellenlängen und Schwingungen x_e

$$x_e = \frac{d \cdot n_e}{\lambda_0}.$$

Zwischen dem Licht, das durch die Platte hindurch, und dem, das neben ihr vorbeigegangen ist, ist daher der Unterschied in der Zahl der Schwingungen auf der gleichen Strecke d

$$x - x_e = \frac{d \cdot n}{\lambda_0} - \frac{d \cdot n_e}{\lambda_0}.$$

Ist also bei einem Gitter, wie in Fig. 2, Ib , die Brechzahl der Stege n , die Dicke der Schicht d und die Brechzahl des Einschlußmittels, das die Spalte erfüllt, n_e , so ist der Unterschied der Schwingungen ebenfalls

$$x - x_e = \Delta x = \frac{d}{\lambda_0} (n - n_e),$$

der Phasenwinkel $\Delta\varphi$ aber ist, in Bogengraden,

$$\Delta\varphi = \Delta x \cdot 360^\circ = 360^\circ \frac{d}{\lambda_0} (n - n_e).$$

Ist diese Phasendifferenz 90° oder $1/4$ Schwingung, dann ist

$$\frac{1}{4} = \frac{d}{\lambda_0} (n - n_e)$$

und die erforderliche Dicke der Platte

$$d = \frac{\lambda_0}{4(n - n_e)}.$$

So einfach wie bei einem Gitter liegen aber die Verhältnisse bei mikroskopischen Präparaten im allgemeinen nicht, insbesondere fehlt die scharfe Grenze zwischen einem Maximum 0 und dem abgebeugten Licht: sie wäre — theoretisch — nur vorhanden bei Beleuchtung mit streng parallelem Licht, d. i. mit einer sehr kleinen Lichtquelle in sehr großer Entfernung von dem Objekt.

II. Im vorhergehenden wurde die Lichtquelle als rund und mithin ihr Bild in der Austrittspupille des Objektivs als runde Scheibe angenommen. Um von den verschiedenen möglichen Lichtquellen unabhängig zu sein, ersetzen wir sie durch die Blende des Mikroskopkondensors. Sie wird gleichmäßig vom Licht erfüllt und ins Unendliche

abgebildet, falls sie sich in der vorderen Brennebene des Kondensors befindet. Durch das Objektiv wird die Blende dann wieder reell in dessen stellvertretende Austrittspupille abgebildet.

Es wird nun gefordert, daß allein das Licht des Maximums 0 durch Einschalten des Phasenplättchens in seiner Phase geändert werde. Das stößt auf Schwierigkeiten, solange die Maxima

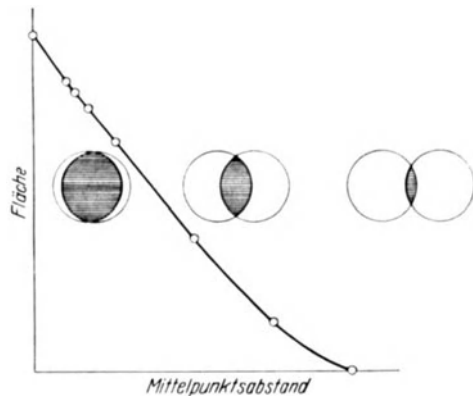


Fig. 5. Abhängigkeit der überdeckten Fläche zweier gleicher Kreise vom Abstand ihrer Mittelpunkte.

volle runde Scheiben sind. Die seitlichen Maxima des Beugungsspektrums sind nämlich nur dann vom Maximum 0 wirklich getrennt, wenn es selbst sowohl als auch die Gitterkonstante des mikroskopischen Präparats genügend klein ist. Andernfalls oder bei unregelmäßigen Strukturen, wie sie die Mehrzahl der gewöhnlichen Präparate aufweisen, überdecken die seitlichen Maxima das Maximum 0 zum Teil, so daß es nicht möglich ist,

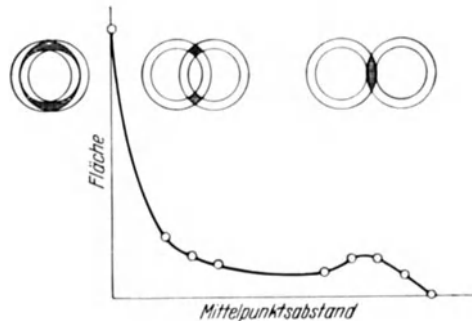
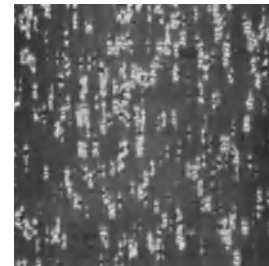


Fig. 6. Abhängigkeit der überdeckten Fläche zweier gleicher Ringe vom Abstand ihrer Mittelpunkte.

allein das Licht dieses Maximums in seiner Phase zu beeinflussen, was für das Zustandekommen des Effekts aber unbedingt nötig ist. In Fig. 5 ist die Abhängigkeit der vom Maximum 0 und 1 gemeinsam bedeckten Fläche vom Mittelpunktsabstand der beiden Kreise als Kurve dargestellt. Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse, wenn man den Maximis statt der Form einer Scheibe diejenige eines Kreisringes gibt (Fig. 6). Man braucht dazu nur die Irisblende des Kondensors durch eine kreisringförmige Blende zu ersetzen.

Die Kurve der Abhängigkeit zwischen Abstand und gemeinsam bedeckter Fläche verläuft dann wesentlich steiler, d. h. schon bei verhältnismäßig geringem Abstand sind die Maxima 0 und 1 fast völlig getrennt¹⁾. Abgesehen von der leichteren technischen Ausführbarkeit ist der Kreisring auch noch aus einem anderen Grunde für den vorliegenden Zweck günstiger, als z. B. eine durch gerade Linien begrenzte Figur. Natürlich spielt auch die Breite des Ringes und sein Durchmesser eine Rolle. Für beides gibt es ein Optimum.

Bei der Besprechung der Grundlagen des Verfahrens wurde nämlich bereits gesagt, daß sich die Intensität ungleichmäßig über das Bild verteilt. Das kann leicht bewiesen werden, wenn man die Kondensorbende beispielsweise schlitzförmig ausbildet. An dem mikroskopischen Bilde eines Präparates, das hauptsächlich aus gleich großen Teilchen mit einer Brechzahl ähnlich der des umgebenden Mediums besteht, kann diese Erscheinung besonders gut beobachtet werden (Fig. 7). Jedes Teilchen



hat nach entgegengesetzten Seiten bei negativem Kontrast helle, bei positivem dunkle Schwänze, deren Richtung senkrecht zur Richtung der ebenfalls schlitzförmigen Beugungsmaxima liegt. Die Helligkeit bzw. Dunkelheit der Schwänze ist in der Nähe der Teilchen am größten und nimmt in geringer Entfernung bald ab. Diese Erscheinung, die als Beweis für die Richtigkeit

Fig. 7. Einfluß eines schlitzförmigen Phasenplättchens auf die Helligkeitsverteilung im Bild. Negativer Phasenkontrast. 40:1.

der Theorie des Phasenkontrastverfahrens von Bedeutung ist, könnte zur Not als Schönheitsfehler ertragen werden. Die Schlitzform der Kondensorbende bewirkt jedoch bei anderen Präparaten einen Azimutfehler, der in der Praxis zu verhängnisvollen Fehlschlüssen in der Beurteilung des Bildes führen kann. Es kann

¹⁾ Selbstverständlich kann man statt eines Ringes auch mehrere schmale konzentrische Ringe als Blende benutzen. Das Phasenplättchen muß dann auch entsprechend aus mehreren Ringen bestehen. Auf diese Weise kann man unter günstigen Umständen größere Helligkeit des Bildes erzielen, ohne die Trennung zwischen dem Maximum 0 und den abgelenkten Maximis wesentlich zu verschlechtern. Außerdem besteht die Möglichkeit, solche Mehrfachblenden als äquivalente „positive“ und „negative Blenden“ auszuführen (s. nebenstehende Figur), um auf diese Weise mit demselben Phasenplättchen positiven oder negativen Phasenkontrast zu erreichen (vgl. S. 53 und Fig. 11 e, f).



vorkommen, daß vorwiegend untereinander parallel geordnete Elemente eines Präparates zum Schlitz der Kondensorblende senkrecht liegen. Dann ist von diesen Elementen nichts zu sehen (Fig. 8). Erst nach Drehen des Präparates um 90° erscheinen die vorher unsichtbaren gerichteten Elemente wieder dunkel auf hellem Grunde. Weniger auffällig, aber doch deutlich, tritt der Azimut-effekt auch bei ungeordneten Strukturen auf. Je nachdem, in welcher Richtung die schlitzförmige Blende liegt, werden die horizontal oder die vertikal liegenden Bestandteile betont. Aus der Dunkelfeldmikroskopie ist diese Erscheinung ja bekannt, worauf schon SIEDENTOPF (2) hingewiesen hat, und es wäre denkbar, daß man sie

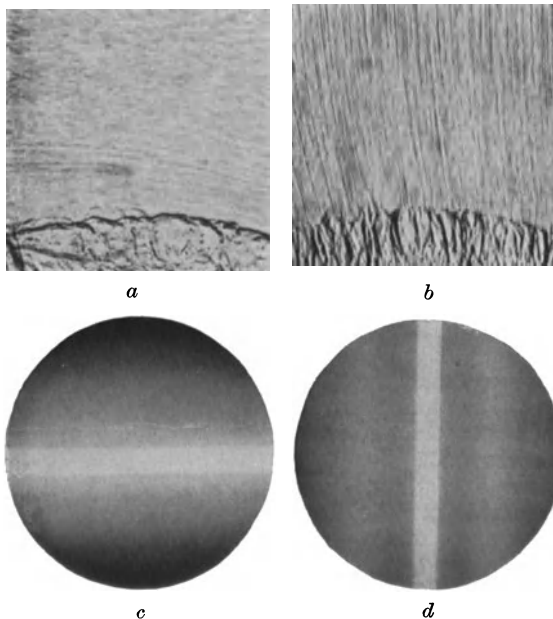


Fig. 8. Einfluß eines schlitzförmigen Phasenplättchens auf das Bild. (Dünnschnitt durch einen Zahn.) a) Dentinfibrillen senkrecht zum Spalt, b) Fibrillen parallel zum Spalt, c) und d) die zu a) und b) gehörenden Beugungsbilder in der Austrittspupille des Objektivs. 40 : 1.

sich auch beim Phasenkontrastverfahren in gewissen Fällen zunutze machen kann.

Die Kondensorblende als stellvertretende Lichtquelle wird durch Kondensor und Objektiv in die Austrittspupille des Objektivs abgebildet. An dieser Stelle und in seiner Form deckungsgleich mit dem Bilde der Blende befindet sich das Phasenplättchen, über dessen Dicke einiges im theoretischen Teile gesagt wurde¹⁾. Die Austrittspupille befindet sich häufig im Innern des Objektivs. Man wird die phasenverzögernde Schicht auf einer vorhandenen Linsenfläche anordnen, um nicht eine besondere Platte anbringen zu müssen.

¹⁾ Wir möchten nicht versäumen, Herrn Dr. SMAKULA für die wertvolle Hilfe bei der Herstellung der Phasenplättchen auch hier noch einmal zu danken.

Das Phasenplättchen kann sich nun entweder im Kitt zwischen 2 Linsen oder an einer Luftfläche befinden und ein Positiv oder Negativ der Kondensorblende darstellen. Je nachdem erhält man

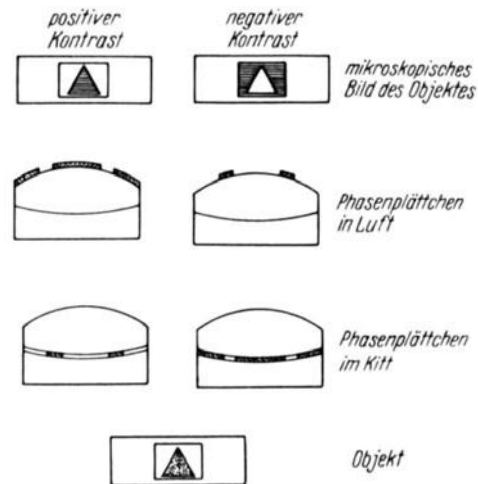


Fig. 9. Verschiedene Möglichkeiten für das Anbringen des Phasenplättchens im Objektiv und ihre Beziehungen zur Art des mikroskopischen Bildes.

als Endergebnis ein positives oder ein negatives mikroskopisches Bild (Fig. 9). Dabei nennen wir mit ZERNIKE, wie schon gesagt wurde, das Bild positiv, wenn höher brechende oder dickere Elemente dunkler als ihre Umgebung erscheinen. Im allgemeinen wird man den positiven Phasenkontrast wegen seiner Ähnlichkeit mit den gewohnten Hellfeldbildern vorziehen. Zur Erläuterung diene Fig. 10. Hier wurde das gleiche Präparat wie bei Fig. 1 verwendet. Bei positivem Phasenkontrast erscheinen die dickeren Stege des Gitters dunkler, obwohl sie die gleiche Durchlässigkeit haben wie die vertieften Spalte.

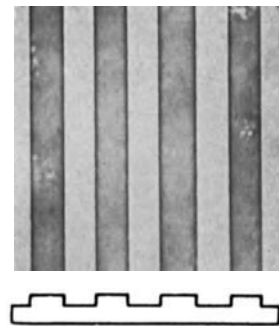


Fig. 10. Phasengitter bei positivem Phasenkontrast. Darunter Querschnitt. Das gleiche Objekt wie in Fig. 1.

Die kontrastreiche Wiedergabe kontrastarmer Objekte ist schließlich bei Anwendung von Hellfeldbeleuchtung noch zu erreichen durch unscharfe Einstellung des Bildes. Gewöhnlich wird bei solchen Objekten, für die das Präparat der Fig. 11 ein Modell darstellt, das Mikroskop auf möglichst großen Kontrast eingestellt (c). Das wird aber, wie gesagt, mit einem Verlust an Schärfe erkaufte. Der Wunsch, überhaupt etwas im Bilde zu sehen, ist, wenn auch unbewußt, größer als der nach absoluter Schärfe. Die Einstellung auf größte Schärfe (b) erzeugt ein Bild, das einen durchaus

undeutlichen Eindruck macht. Trotzdem ist es vollständig scharf, wie die Aufnahme bei Phasenkontrast (a) beweist. Diese nämlich wurde zuerst gemacht, da es bei ihr über die beste Schärfe keinen Zweifel gibt, und dann folgte ohne Änderung der Einstellung sofort anschließend mit Hilfe der Doppelblende (Fig. 16) die Hellfeldaufnahme (b). Bei c wurde der Tubus um 0,01 mm gesenkt, bei d um den gleichen Betrag gehoben. Man sieht, daß die scharfe Hellfeldaufnahme (b) insofern ein falsches Bild des Objekts gibt, als es wegen der Diffraktionssäume um die Partikel nicht möglich ist, eine genaue Angabe über ihren Durchmesser zu machen. Entsprechendes gilt in noch stärkerem Maße wegen des Auftretens der BECKESchen Linien für die beiden unscharfen Aufnahmen, die je nach Einstellung positiven (c) oder negativen (d) Phasenkontrast vortäuschen.

Das Phasenkontrastverfahren ist also besser als die gewöhnliche Hellfeldmethode geeignet, objektähnliche Abbildungen kontrastarmer Präparate zu

Unmögliches verlangt werden. Nicht alle Objekte sind für die Untersuchung gleich gut geeignet. Die Hauptdomäne ist das ungefärbte, hinreichend dünne biologische Präparat, aber auch einige Spezialfälle aus der Technik können mit Erfolg geeignete Objekte abgeben. Über die Möglichkeit,

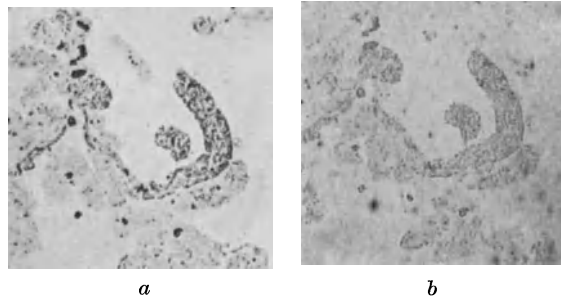


Fig. 12. Pathologisches Urinsediment. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast. 80:1.

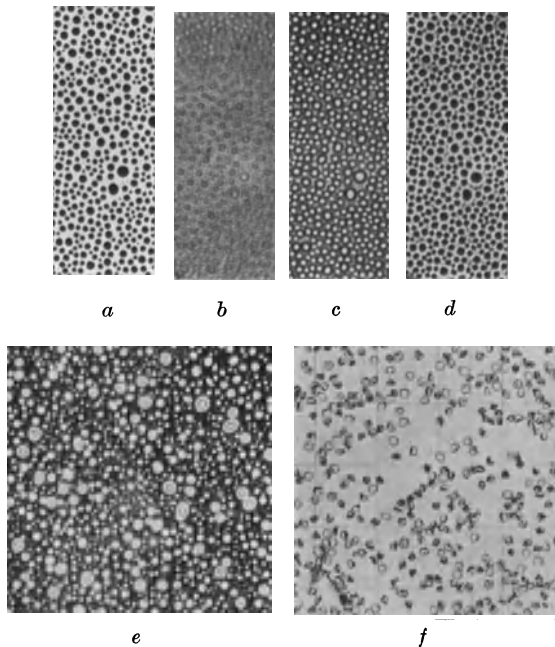


Fig. 11. Kanadabalsam-Tröpfchen auf Glas. a—d: Einfluß der Einstellung auf den Kontrast. a) Positiver Phasenkontrast, b) Hellfeld, größte Schärfe, c) Hellfeld, Tubus um 0,01 mm tiefer als bei a und b, d) Hellfeld, Tubus um 0,01 mm höher als bei a und b. e, f: Einfluß der Blende auf den Kontrast, e) Positiver, f) negativer Phasenkontrast, erzielt durch „positive“ und „negative Blende“. Etwa 50:1.

liefern; es ermöglicht zudem die Einstellung auf absolute Schärfe und damit die Ausführung exakter Messungen.

Das Anwendungsgebiet des Phasenkontrastverfahrens scheint recht groß zu sein, jedenfalls größer, als man es im Anfang der Entwicklung voraussehen konnte. Selbstverständlich darf nichts

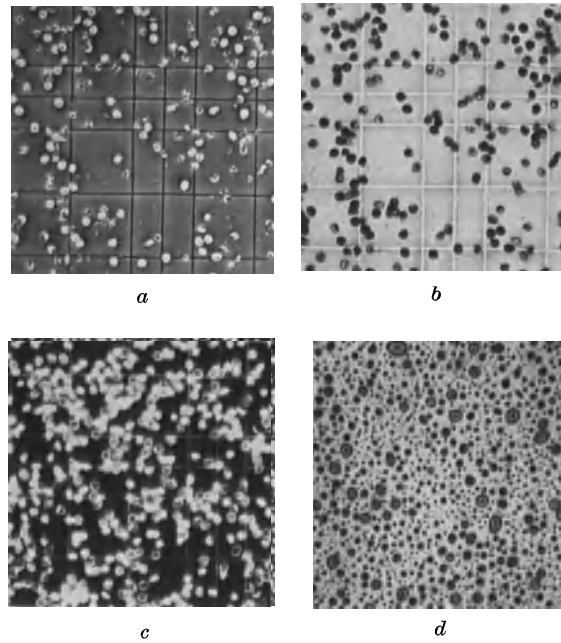


Fig. 13. Frisches Blut in der Thoma-Zeiss'schen Zählkammer. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast, c) Negativer Phasenkontrast, d) Dunkelfeld. 160:1.

ungeätzte Metalloberflächen mit dem Phasenkontrastverfahren zu betrachten, soll später berichtet werden. Die Untersuchungen darüber sind noch im Gange. An Hand einiger Figuren wollen wir einen Überblick über die verschiedenen Anwendungsgebiete geben, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

Fig. 12 zeigt ein pathologisches Urinsediment. Die Aufnahme im Hellfeld erweist sich trotz eng geschlossener Kondensorblende als unbefriedigend. Lediglich in der Mitte des Gesichtsfeldes sind einige große Zylinder dargestellt. Erst bei Anwendung

positiven Kontrastes wurden die blässeren Zylinder in der Mitte und am Rand deutlich, von denen vorher nichts zu sehen war.

Fig. 13. Am Beispiel frischen, verdünnten Blutes in der Thoma-Zählkammer können die Unterschiede der verschiedenen Abbildungsverfahren erklärt werden. Bei der Hellfeldaufnahme (a) erscheinen die roten Blutkörperchen als dunkel konturierte Kreise, die Striche der Netzteilung der Kammer sind ebenfalls dunkel, zum Teil ganz unsichtbar. Im ganzen macht das Bild einen blässen, kontrastlosen Eindruck, wenn man das Bild bei positivem Phasenkontrast (b) daneben betrachtet. Hier werden die Blutkörperchen wesentlich dunkler wiedergegeben, sie heben sich ungleich deutlicher vom Untergrund ab. Die Striche der Netzteilung, die ja Vertiefungen im Glas sind, erscheinen heller als die Umgebung, wie nach der Theorie nicht anders erwartet werden kann. Der negative Phasenkontrast (c) ist ein genaues Negativ des vorigen Bildes. Anders liegen die

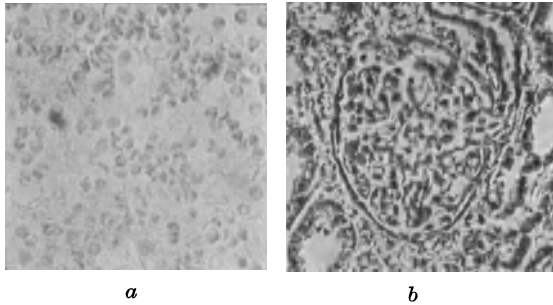


Fig. 14. Frischer Dünnschnitt einer Niere in Wasser. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast. 40:1.

Dinge beim Dunkelfeld. Zunächst wird man an das Bild mit negativem Phasenkontrast erinnert. Es bestehen aber doch wesentliche Unterschiede. Der Untergrund ist hier rein schwarz, was er beim negativen Phasenkontrast nicht sein kann. Die Erythrocyten werden beim Dunkelfeld hauptsächlich durch ihre hellen Konturen dargestellt, beim Phasenkontrast sind sie helle Scheibchen. Die Netzteilung ist beim Dunkelfeldbild hell, beim negativen Phasenkontrast dunkel. Das Phasenkontrastbild, negativ oder positiv, gibt die natürlichen Verhältnisse wesentlich richtiger wieder als Hellfeld oder Dunkelfeld. Die roten Blutkörperchen sind ja nicht Ringe, sondern körperliche Scheiben, und als solche werden sie durch das Phasenkontrastverfahren auch dargestellt.

Fig. 14. Das histologische ungefärbte Schnittpräparat einer Niere zeigt das bekannte flauere Aussehen solcher Bilder bei Hellfeldbeleuchtung. Dagegen sieht das Bild des gleichen Präparats im positiven Phasenkontrast sehr kontrastreich aus und ist auf den ersten Blick von dem eines gefärbten Präparates nicht zu unterscheiden. Eine etwas genauere Analyse solcher Bilder zeigt, daß vorwiegend elastische Fasern, Zellgrenzen und vor allem Zellkerne dargestellt werden. Der Schnitt

wurde mit dem Gefriermikrotom aus dem frischen Organ gewonnen und sofort in Wasser zwischen Deckglas und Objektträger gebracht. Die Zeit zwischen der Entnahme des Materials und der

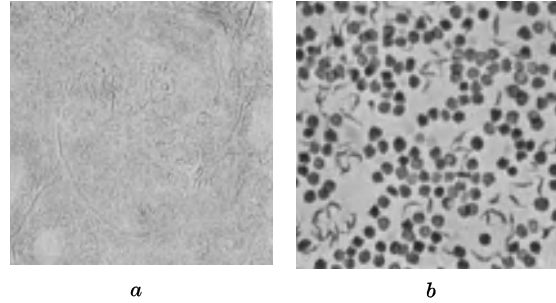


Fig. 15. Lebende Trypanosomen in Mäuseblut. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast. 200:1.

mikroskopischen Beobachtung betrug also nur wenige Minuten. Das eröffnet die Möglichkeit, histologische Schnelldiagnosen in viel kürzerer Zeit zu stellen, als es bisher der Fall war.

Der Versuch, lebende Trypanosomen im Blut darzustellen, gelang über Erwarten gut. Wir konnten einen kurzen Filmstreifen herstellen. Einen Ausschnitt zeigt Fig. 15.

Der Film wurde auf besondere Weise aufgenommen. Um den Gegensatz zwischen gewöhnlicher Hellfeldbeleuchtung und Phasenkontrast deutlich zu zeigen, versuchten wir, einen völlig kontinuierlichen Übergang von der einen zur anderen Beobachtungsart zu erzielen. Das gelang

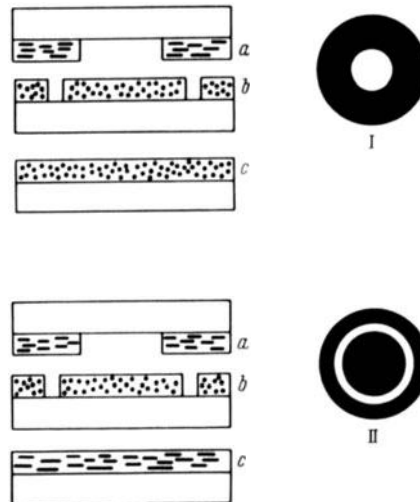


Fig. 16. Doppelblende für den Übergang vom Hellfeld zum Phasenkontrast. I) Stellung für Hellfeld, II) Stellung für Phasenkontrast. Die Schraffierung — und · gibt die Schwingungsrichtung der Herapathit-Einkristallschichten an.

auf folgendem Wege: Aus einer Herapathit-Einkristall-Schicht (a, Fig. 16) ist ein Kreis in der Mitte, aus einer zweiten Schicht (b) ein Ring

konzentrisch um den Kreis ausgraviert. Die Flächeninhalte beider Figuren sind gleich. Die Polarisationsfilter sind so miteinander verkittet, daß ihre Schwingungsrichtungen senkrecht aufeinanderstehen. Das dadurch entstandene neue Filter weist in der Mitte den durchsichtigen Kreis auf, der durch eine dunkle Zone von dem ebenfalls durchsichtigen Ring getrennt ist. Der äußere Rand ist wieder dunkel. Benutzt man dieses Filter als Kondensorblende und bringt man außerdem noch einen über die ganze Fläche homogenen Herapathit-Polarisator *c* drehbar darunter an, so gerät, je nach der Stellung des Polarisators, einmal der Ring, das andere Mal der Kreis in die Dunkelstellung, wie aus Fig. 16 ohne weiteres ersichtlich ist. Der Kreis wirkt wie eine gewöhnliche Irisblende und ermöglicht die Hellfeldaufnahme (Stellung *I*). Langsames Drehen des Polarisators bewirkt stetigen Übergang zum Phasenkontrast, der vollständig ist, wenn der Kreis ganz verdunkelt und der Ring hell ist (Stellung *II*). Die Belichtungszeit für beide Aufnahmen ist wegen des

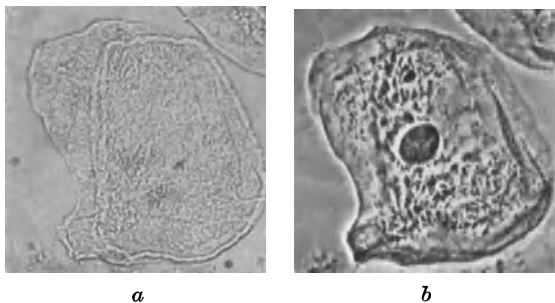


Fig. 17. Epithelzelle der Wangenschleimhaut. *a*) Hellfeld, *b*) Positiver Phasenkontrast. 500 : 1.

gleichen Flächeninhalts von Kreis und Ring — unter Einrechnung der Absorption des Phasenplättchens — die gleiche. Es wäre denkbar, daß man sich das hier beschriebene Prinzip auch für andere Zwecke dienstbar machen kann. Zum Beispiel ist eine Doppelblende für die wahlweise Einstellung von Dunkelfeld und Hellfeld sehr praktisch.

Auch für stärkere und stärkste Vergrößerungen unter Verwendung von Immersionssystemen ist das Phasenkontrastverfahren geeignet, falls geeignete Objekte zur Verfügung stehen. Die Schranke wird in erster Linie durch die Dicke des Präparates gesetzt. Von Mikrotomschnitten eignen sich nur solche, die besonders dünn ausgefallen sind. Auch das Einbettungsmittel spielt naturgemäß eine große Rolle. So fällt das Bild verschieden gut aus, je nachdem ob sich das Objekt in Wasser oder in Kanadabalsam befand. In Fig. 17 ist eine Epithelzelle der Wangenschleimhaut in Speichelflüssigkeit dargestellt. Das Hellfeldbild zeigt wenig mehr als die Konturen der Zelle. Vom Zellkern ist fast nichts zu sehen. Selbstverständlich hätte er deutlicher abgebildet werden können, wenn man bei der Aufnahme auf

die volle Schärfe verzichtet hätte. Darüber wurde an Hand der Fig. 11 schon gesprochen. Das Phasenkontrastbild dagegen ist vom Bild eines gut gefärbten Präparates kaum zu unterscheiden. Der Kern tritt mit größter Deutlichkeit hervor, ebenso die im Plasma ziemlich regellos verteilten

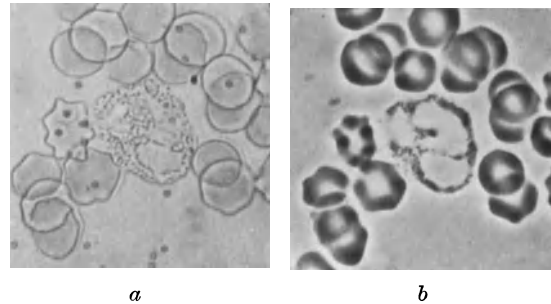


Fig. 18. Frisches menschliches Blut. In der Mitte ein Leukozyt. *a*) Hellfeld, *b*) Positiver Phasenkontrast. 1000 : 1.

Schollen und Körperchen. Am Rand der Zelle ist andeutungsweise die feine Verzahnung des Kittapparates zu erkennen, die bei Einstellen auf die Oberfläche der Zelle als feines Gitterwerk den ganzen Zelleib überzieht.

Merkwürdigerweise wird der Zellkern weißer Blutkörperchen hell, nicht dunkel wiedergegeben, wie Fig. 18 zeigt. Auch hier, bei einem Abbildungsmaßstab von 1000 : 1, ist der Kontrasteffekt noch recht gut. Die roten Blutkörperchen erscheinen als dunkle Scheiben mit zentraler Aufhellung, die der natürlichen Eindellung entsprechen dürfte. Recht gut ist auch die beginnende Stechapfelformbildung zu erkennen. Auffälligerweise ist der Durchmesser der Erythrocyten im Hellfeldbild um etwa 10—15% größer als im Kontrastbild. Das legt die Vermutung nahe, daß die bisherigen Messungen an nativem Blut falsch sind und einer Revision bedürfen.

Fig. 19. Die Einbettungsmethode zur Bestimmung der Brechzahl fester Substanzen beruht be-

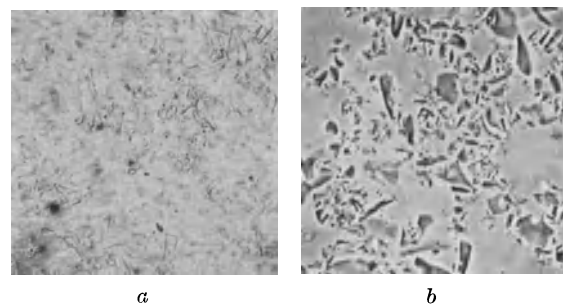


Fig. 19. Glaspulver in Flüssigkeit. *a*) Hellfeld, *b*) Negativer Phasenkontrast. 80 : 1.

kanntlich darauf, daß die Substanz in feiner Verteilung in ein flüssiges Medium gebracht wird, dessen Brechungsverhältnis stetig durch Konzentrations- oder Temperaturänderung so lange

geändert wird, bis bei mikroskopischer Beobachtung die Substanzteilchen und ihre Konturen nicht mehr gesehen werden können, bis also die Lichtbrechung beider Phasen die gleiche ist. Mit dem Refraktometer wird dann, unter Berücksichtigung der Temperatur, die Brechung der Flüssigkeit gemessen. Der gefundene Wert ist der gesuchte Wert für die feste Substanz. Die BECKESCHE Methode erlaubt praktisch eine Genauigkeit der Messung bis zu einer Einheit der dritten Dezimale, falls die mikroskopische Beobachtung bei monochromatischem Licht und möglichst starker Vergrößerung vorgenommen wurde. KÖFLER (8) gibt neuerdings eine Genauigkeit bis zur zweiten Stelle der 4. Dezimale an. Auch für die von ihm beschriebene Schmelzpunktbestimmung dürfte das Phasenkontrastverfahren eine Steigerung der Genauigkeit mit sich bringen. Nach den bisherigen Beobachtungen scheint nun die Hoffnung auf eine Steigerung der Genauigkeit durch Anwendung des Phasenkontrastverfahrens berechtigt zu sein. In der Figur ist ein beliebiger Fall herausgegriffen. Im Hellfeld scheint die Forderung der BECKESCHEN Methode, nämlich die möglichst vollkommene Unsichtbarkeit der Partikel, erfüllt zu sein. Das

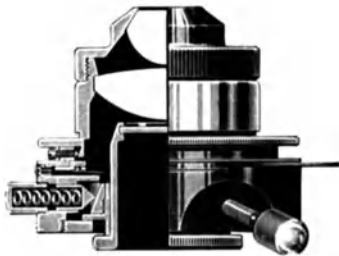


Fig. 20. Mikroskopkondensator für das Phasenkontrastverfahren mit Irisblende und zentrierbarer Schieb- hülse für die Ringblende.

Phasenkontrastverfahren jedoch verrät, daß noch keine absolute Übereinstimmung der Brechungsindizes besteht. Daß trotz Anwendung negativen Phasenkontrastes ein „positives“ Bild entsteht, bedeutet, daß hier das Einschlußmedium eine höhere Brechzahl hat als die Teilchen.

Die beschriebene Methode der Phasenverschiebung ist übrigens auch von großer Bedeutung für das Verfahren von BOERSCH (9, 10) zur Sichtbarmachung submikroskopischer Kristallgitter.

Bei diesem Verfahren wird in der hinteren Brennebene des Objektivs die Beugungsfigur eines Kristallgitters künstlich durch Ausblenden erzeugt. Hierdurch wird in der Bildebene des Mikroskops das zu dieser Beugungsfigur gehörige Bild des Kristallgitters vorgetäuscht, obwohl sich im Mikroskop kein gitterähnlicher Gegenstand befindet. Die künstlich durch Ausblenden erzeugte Beugungsfigur des Kristallgitters stellt das Röntgenbeugungsdiagramm des Kristalls dar.

Damit auch eine Darstellung von Kristallgittern möglich wird, deren Beugungsreflexe (Beugungsmaxima) gegeneinander in der Phase verschoben

sind, müssen auch die durch Ausblendung im Mikroskop erzeugten Reflexe gegeneinander in der Phase verschoben werden. Diese Phasenverschiebung kann nach der beschriebenen Methode vorgenommen werden.

Für die praktische Durchführung des Phasenkontrastverfahrens benötigt man in erster Linie Mikroskopobjektive, die mit dem Phasenplättchen ausgerüstet sind. Solche Objektive können ohne Nachteil auch für die gewöhnliche Mikroskopie bei Hellfeld und Dunkelfeld verwendet werden. Weiter ist ein Kondensator (Fig. 20) erforderlich, in dessen unterer Brennebene Ringblenden verschiedenen Durchmessers, für die verschiedenen Objekte passend, angebracht werden können. Die Blenden müssen zentrierbar und in der Höhe eingestellt sein, damit ihr Bild scharf und deckungsgleich innerhalb des Phasenplättchens im Objektiv abgebildet werden kann. Für die richtige Justierung des Blendenbildes braucht man außerdem ein Hilfsmikroskop, das an Stelle des Okulars in den Mikroskoptubus eingeschoben wird, um Blendenbild und Phasenplättchen vergrößert beobachten zu können. Nach erfolgter Justierung wird das Hilfsmikroskop gegen das Okular ausgetauscht¹⁾.

Zusammenfassung: Durch konsequente Weiterentwicklung der ABBESCHEN Theorie der mikroskopischen Abbildung konnte ZERNIKE zeigen, daß durch willkürliche Beeinflussung der Phase eines Teiles des Lichts eine Steigerung des Kontrastes im mikroskopischen Bild erreicht werden kann. Die theoretischen Grundlagen dieses Phasenkontrastverfahrens werden ausführlich besprochen und auf die Gründe für die Verwendung kreisringförmiger Phasenplättchen hingewiesen. An einigen Beispielen werden die prinzipiellen Unterschiede zwischen Hellfeld und Dunkelfeld und positivem und negativem Phasenkontrast besprochen. Es zeigt sich, daß in vielen Fällen das neue Verfahren dem Dunkelfeld und dem Hellfeld grundsätzlich überlegen ist; es liefert objektähnlichere Bilder als die bisherigen Methoden. Besonders erfolgreich können ungefärbte, auch lebende mikroskopische Präparate mit bisher nicht für möglich gehaltener Deutlichkeit beobachtet und photographiert werden.

Literatur:

- (1) H. SIEDENTOPF u. R. ZSIGMONDY, Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. *Ann Physik* 4. Folge, 10 (1903). —
- (2) H. SIEDENTOPF, Die Sichtbarmachung von Kanten im mikroskopischen Bilde. *Z. Mikrosk.* 25, 424—431 (1908). —
- (3) K. BRATUSCHEK, Die Lichtstärke — Änderungen nach verschiedenen Schwingungsrichtungen in Linsensystemen von großem Öffnungswinkel mit Beziehung zur mikroskopischen Abbildung. *Z. Mikrosk.* 9, 145—160 (1892). —
- (4) DRP. Nr. 636 168, Nov. 1932. —
- (5) F. ZERNIKE, *Diffraction Theory of*

¹⁾ Das für die Ausführung des Verfahrens notwendige Zubehör wird in absehbarer Zeit von der Firma Carl Zeiss in den Handel gebracht werden.

the Knife-edge Test and its improved Form, the Phase-contrast Method. Monthly Not. of R.A.S. 94, Nr 5, 377-384 (1934). — (6) F. ZERNIKE, Beugungstheorie des Schneideverfahrens und seiner verbesserten Form der Phasenkontrastmethode. Physika 1, Nr 8, 689-704 (1934). — (7) F. ZERNIKE, Das Phasenkontrastverfahren bei der mikroskopischen Beob-

achtung. Z. techn. Physik 16, 454-457 (1935). — (8) L. KOFLER, Mikroskopische Methoden zur Identifizierung organischer Substanzen. Beih. 36 zu Angew. Chem. 1940. — (9) H. BOERSCH, Zur Bilderzeugung im Mikroskop. Z. techn. Physik 19, 337-338 (1938). — (10) H. BOERSCH, Diskussionsbemerkung. Z. Elektrochem. 46, 444 u. 446 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Die Darstellung von Chromosomen mittels des Phasenkontrastverfahrens.

Die zum Teil überraschenden Ergebnisse, die Loos¹⁾ bei der Durchbildung des von ZERNIKE angegebenen sowie theoretisch und experimentell begründeten Phasenkontrastverfahrens erzielen konnte, ließen es angezeigt erscheinen, seine Brauchbarkeit für die Darstellung der Chromosomen in lebenden Zellen zu untersuchen. Es wurden daher nach diesem Verfahren zunächst die Reifeteilungsstadien aus den Hoden von Heuschrecken (als besonders geeignet erwiesen sich die von *Psophus stridulus* L. und *Oedipoda germanica* Charp.) betrachtet. Das Ergebnis ist in Fig. 1 dargestellt. Bei a ist eine Spermatocyte bei gewöhnlicher Hellfeldbeleuchtung aufgenommen. Die Chromosomen und auch die Mitochondrien sind zwar andeutungsweise zu sehen, aber eine genau

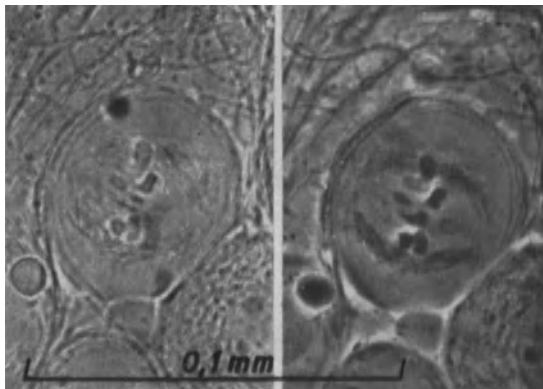


Fig. 1. Reifeteilung aus dem Hoden von *Oedipoda germanica* Charp. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast.

definierte Abbildung ist nicht zu erreichen. Ganz anders ist das bei b, wo die gleiche Zelle, aufgenommen nach dem Phasenkontrastverfahren, dargestellt ist. Mit ungewöhnlicher Klarheit treten die Chromosomen hervor. Ebenso sind die Mitochondrien ausgezeichnet zu sehen. Ein Vergleich mit einer Aufnahme im ultravioletten Licht von der Wellenlänge $\lambda = 2750 \text{ \AA}$, bei der die Chromosomen infolge ihres Gehaltes an Thymonukleinsäure bekanntlich ein Maximum der Absorption aufweisen, lehrt, daß nach dem Phasenkontrastverfahren die Chromosomen ebensogut, die Mitochondrien aber noch wesentlich besser dargestellt werden können, denn letztere zeigen im ultravioletten kaum eine stärkere Absorption als im sichtbaren Licht. Als weiteres Objekt wurden Speicheldrüsenchromosomen von *Chironomus*-Larven untersucht. Auch hier übertrifft das Ergebnis noch die Erwartungen, wie ohne weiteres aus den Fig. 2 und 3 hervorgeht. Botanische Objekte konnten aus Mangel an geeignetem Material bisher noch nicht untersucht werden, doch ist anzunehmen, daß sie in ihrem Verhalten nicht wesentlich abweichen. Voraussetzung für einen Erfolg ist bei allen Untersuchungen mit dem Phasenkontrastverfahren eine geeignete Art der Präparation. Liegen die Objekte nämlich in zu dicker Schicht, dann gelten die Voraussetzungen für die Methode nicht mehr, und es sind keine befriedigenden Bilder zu erhalten. Man muß daher unbedingt darauf achten, die zu untersuchenden Zellen einschichtig

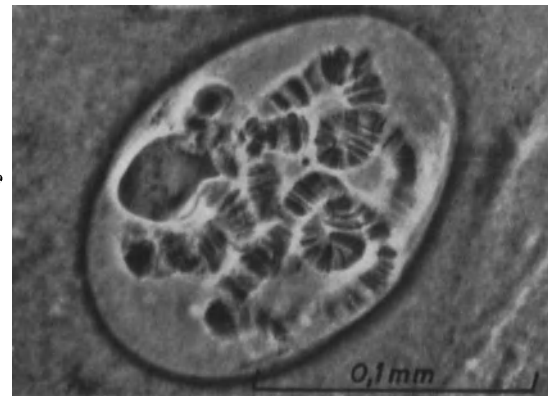
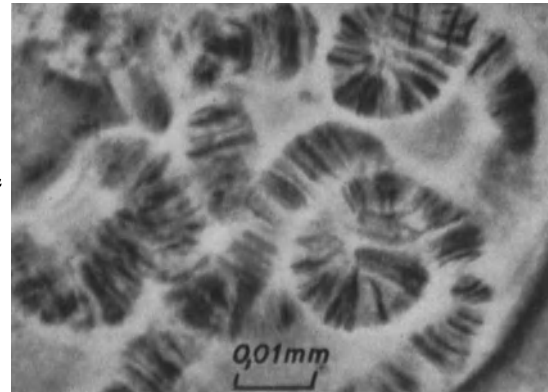


Fig. 2. Kern einer Speicheldrüsenzelle der Larve einer *Chironomide*. a) Hellfeld, b) Positiver Phasenkontrast.



Fig. 3. Speicheldrüsenchromosomen einer *Chironomiden*-Larve, stärker vergrößert. Positiver Phasenkontrast.

unter dem Deckglas auszubreiten. Es liegt auf der Hand, daß die Untersuchung mit Hilfe der Phasenkontrastmethode der Zytologie ganz neue Möglichkeiten eröffnet, denn es ist mit ihr tatsächlich *erstmals* die Möglichkeit geschaffen, in der lebenden, durch keinerlei Eingriff (Vitalfärbung, Bestrahlung mit Ultraviolett) geschädigten Zelle die Kernbestandteile so zu sehen wie im gefärbten Präparat. Es wird nun u. a. möglich sein, endgültige Untersuchungen über die Veränderungen anzustellen, welche die Zellen beim Fixierungs- und Färbungsprozeß erleiden. Eine unschätzbare Hilfe wird das Verfahren bei Arbeiten mit dem Mikromanipulator an lebenden Zellen bieten, und schließlich verfügt man nunmehr über das Darstellungsmittel, welches bisher fehlte, um eine befriedigende Wiedergabe der Kernteilungsvorgänge im Zeitrasterfilm zu erreichen. Ein solcher Film ist zur Zeit in Arbeit.

Jena, Mikro-Laboratorium der Optischen Werke Carl Zeiss im Dezember 1940. KURT MICHEL.

1) Vgl. A. KÖHLER u. W. LOOS, Das Phasenkontrastverfahren und seine Anwendungen in der Mikroskopie. Naturwiss. 29, 49 (1941).

Weitere Untersuchungen über den Anti-graue-Haare-Faktor B_x .

Wir haben früher zeigen können, daß der Anti-graue-Haare-Faktor mit Äther aus einem wäßrigen Leberextrakt

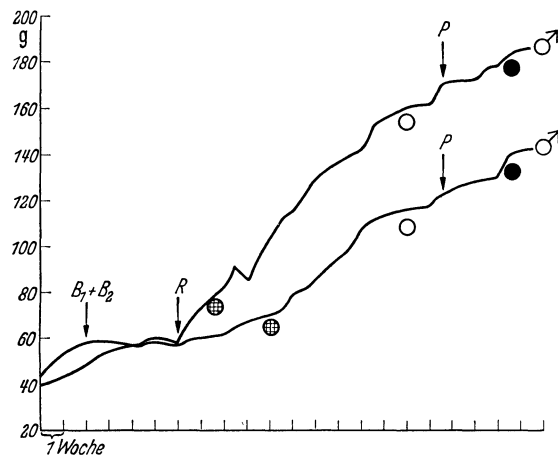


Fig. 1. Gewichtskurven von Ratten bei B-vitaminfreier Grundkost. Nach Gewichtskonstanz erhielten die Tiere den Rückstand (nach Ätherextraktion) des Leberextrakts, R. ● bezeichnet deutliche Ergrauung des Pelzes, ○ stark grauen Pelz und ● normalen Pelz. Die Tiere erhielten das aus Leberextrakt hergestellte Pantothensäurepräparat P.

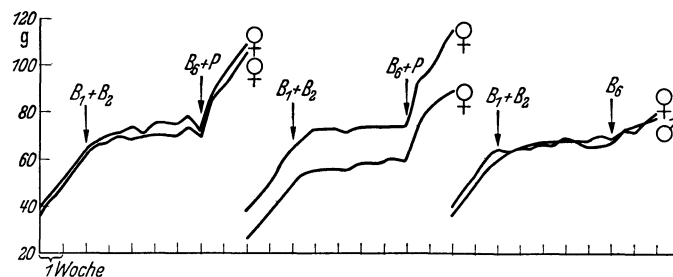


Fig. 2. Wachstumswirkung des synthetischen Pantothensäurepräparats bei B-vitaminfreier Grundkost + $B_1 + B_2 + B_6$.

bei $p_H = 1$ extrahierbar ist¹). Dieser Befund stimmt mit dem von MOHAMMED, EMERSON, EMERSON und EVANS²) überein. Ratten, die durch unsere B-vitaminfreie Kostmischung grau geworden waren, konnten durch diesen Ex-

trakt geheilt werden. Gleichzeitig trat eine Gewichtszunahme ein, die etwa 9–13 g pro Woche betrug.

In späteren Versuchen wurde gezeigt, daß Ratten, die bei einer B-vitaminfreien Kostmischung gewichtskonstant geworden waren und als Zusatz, außer B_1 , B_2 und B_6 , einen Leberextrakt erhielten, der bei $p_H = 1$ mit Äther extrahiert war, zwar ein gutes Wachstum aufwiesen, aber nach einigen Wochen das charakteristische graue und glanzlose Fell entwickelten.

Da die von WILLIAMS und Mitarbeitern³) entdeckte Pantothensäure die Eigenschaft besitzt, aus stark sauren wäßrigen Lösungen mit Äther extrahierbar zu sein, und auch andere Eigenschaften mit dem Faktor B_x gemeinsam hat, liegt die Möglichkeit vor, daß diese beiden Substanzen identisch sein könnten. Wir haben daher neue Versuche mit dem ätherextrahierbaren Teil der B-Faktoren eines wäßrigen Säugetierleberextrakts ausgeführt.

Als Ausgangsmaterial diente ein Leberextrakt, der nach einem Verfahren von LALAND und KLEM⁴) im Laboratorium der Firma Nyegaard & Co. A/S in Oslo dargestellt wird. In früheren Versuchen haben wir gezeigt, daß dieser Extrakt eine sehr reiche Quelle aller B-Faktoren (ausgenommen B_1) darstellt. Eine tägliche Dosis von 0,1 ml genügt, um ein maximales Wachstum bei B-vitaminfrei ernährten Ratten hervorzurufen⁵).

Der Extrakt wurde zuerst bei $p_H = 6,2$ vier Tage mit peroxidfremem Äther im Flüssigkeits-Extraktions-Apparat extrahiert. Dieser Extrakt wurde verworfen. Dann wurde der Leberextrakt mit Schwefelsäure auf $p_H = 1,2$ gebracht und 14 Tage extrahiert. Der Äther wurde dann abdestilliert und der Extrakt schließlich im Vacuumkolben eingengt. Der Rückstand — eine sirupöse Masse — wurde in Wasser gelöst und filtriert. Diese Lösung wurde mit einer 20proz. Phosphorwolframsäurelösung versetzt und der Niederschlag abzentrifugiert. Der Niederschlag wurde mit Wasser gewaschen und wieder zentrifugiert. Die mit Phosphorwolframsäure niedergeschlagenen Substanzen wurden mit Baryt eluiert, nachträglich mit Schwefelsäure neutralisiert und an Ratten gefüttert. Sie erwiesen sich als unwirksam.

Das Filtrat nach der Phosphorwolframsäurefällung wurde mit Barytlösung behandelt, um die überschüssige Phosphorwolframsäure zu entfernen, schließlich mit Schwefelsäure versetzt und das ausgefällte Bariumsulfat abzentrifugiert.

Diese Lösung wurde nun einer chromatographischen Reinigung unterworfen, wie von KUHN und WIELAND⁶) kürzlich beschrieben.

Im UV.-Licht waren 5 Zonen sichtbar. Die unterste und breiteste Zone, die weiß-bläulich fluoreszierte, wurde mit Barytlösung eluiert und das Eluat mit Schwefelsäure neutralisiert.

Ratten, die während längerer Zeit mit dem ätherextrahierten Leberextrakt gefüttert waren und die die genannten Fellveränderungen im ausgeprägten Maße zeigten, erhielten als Zusatz das Pantothensäurepräparat (Fig. 1). Schon nach 14 Tagen war eine deutliche Besserung zu bemerken, und nach 3 Wochen war die Farbe des Felles wieder normal. Es scheint somit nach diesem Versuch die Pantothensäure mit dem Anti-graue-Haare-Faktor B_x identisch zu sein.

Um dies weiter zu bestätigen, wurde ein synthetisches Präparat der Pantothensäure hergestellt.

Nachdem die Konstitution der Pantothensäure durch amerikanische Forscher⁷) aufgeklärt ist, sind eine Reihe

Methoden zur Synthese dieser Substanz beschrieben worden^{8, 9, 10, 11, 12}).

Bei der Herstellung gingen wir im wesentlichen nach den Angaben von KUHN und WIELAND¹²) vor, wobei wir jedoch darauf verzichteten, ein vollkommen reines Präparat zu erhalten.

Die Wirksamkeit dieses Präparats wurde an Ratten geprüft. Gewichtskonstante Tiere auf B-freier Grundkost mit einer ausreichenden Menge von B₁, B₂ und B₆ erhielten 4 mg des Pantothen säurepräparats täglich (Fig. 2). Es trat eine starke Gewichtszunahme ein, die (während der ersten zwei Wochen) 15—18 g pro Woche betrug, während Kontrolltiere, die B₁, B₂ und B₆ erhielten, nur wenig zunahmten. Die verabreichte Gabe des Präparats sollte somit genügend Pantothen säure enthalten.

Dieselbe Dosis des synthetischen Pantothen säurepräparats wurde nun an 4 Ratten verabreicht, die alle einen stark depigmentierten Pelz hatten. Schon nach 14 Tagen konnte eine deutliche Besserung beobachtet werden, und nach 3 Wochen war die Pelzfarbe bei zwei von den Tieren normal, während bei den zwei anderen eine fortschreitende Besserung zu verzeichnen war (Fig. 3).

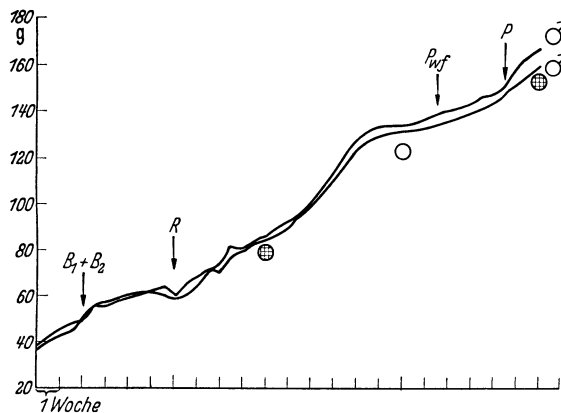


Fig. 3. Gewichtskurven von Ratten bei B-vitaminfreier Grundkost (und B₁ + B₂). Die Tiere erhielten nach Gewichtskonstanz eine Dosis des ätherextrahierten Leberextrakts, R. ● bezeichnet deutlich grauen Pelz bzw. deutliche Heilung, O stark grauen Pelz. Die Tiere erhielten, nachdem sie stark grau geworden waren, die mit Phosphorwolframsäure fällbaren Substanzen (Pwf.), die sich als unwirksam erwiesen, später das synthetische Pantothen säurepräparat P.

Diese Versuche deuten somit auch darauf hin, daß der Anti-graue-Haare-Faktor mit der Pantothen säure identisch ist. Um dies eindeutig festzustellen, haben wir nun neue Versuche mit einer größeren Anzahl Tiere in Gang gesetzt.

Stavanger (Norwegen), Forschungslaboratorium der Norwegischen Konservenindustrie, den 5. November 1940.
GULBRAND LUNDE. HANS KRINGSTAD.
ERLING JANSEN.

¹) LUNDE u. KRINGSTAD, Naturwiss. 28, 157 u. 550 (1940).

²) MOHAMMED, EMERSON, EMERSON u. EVANS, J. of biol. Chem. 133, 17 (1940).

³) WILLIAMS, LYMAN, GOODYEAR, TRUESDAIL u. HOLA-DAY, J. amer. chem. Soc. 55, 2912 (1933).

⁴) LALAND u. KLEM, Acta med. scand. (Stockh.) 88, 620 (1936).

⁵) LUNDE u. KRINGSTAD, J. Nutrit. 19, 321 (1940).

⁶) KUHN u. WIELAND, Ber. dtsch. chem. Ges. 73, 962 (1940).

⁷) WILLIAMS u. MAJOR, Science (N. Y.) 91, 246 (1940).

⁸) WILLIAMS, MITCHELL, WEINSTOCK u. SNELL, J. amer. chem. Soc. 62, 1784 (1940).

⁹) STILLER, HARRIS, FINKELSTEIN, KERESZTESY u. FOLKERS, J. amer. chem. Soc. 62, 1785 (1940).

¹⁰) WOOLLEY, J. of biol. Chem. 134, 461 (1940).

¹¹) WOOLLEY, J. amer. chem. Soc. 62, 2251 (1940).

¹²) KUHN u. WIELAND, Ber. dtsch. chem. Ges. 73, 971 (1940).

Brenztraubensäure-Stoffwechsel als Funktion des Sexualzyklus bei Ratten.

Anlässlich einer Untersuchung über den Stoffwechsel bei Vitamin E- (Tocopherol-) frei ernährten Ratten wurde gefunden, daß bei *gepaarten* E-freien Tieren der Brenztraubensäure (BTS.)-Gehalt des Blutes höher war als bei ungepaarten; als Mittel zahlreicher Versuche ergab sich mit großer Variationsbreite:

	gepaart	ungepaart
γ BTS./ccm Blut	30	23

Als dann normal ernährte Ratten gleichen Alters zum Vergleich herangezogen wurden, fanden wir annähernd das gleiche Verhältnis, nämlich γ BTS./ccm Blut gepaart 24, ungepaart 19,7. (Durchgehend ist der BTS.-Gehalt bei E-Avitaminose höher als bei normaler Diät.)

Es ergab sich nun die Frage nach der Ursache dieses Einflusses der Paarung. Nervöse oder sonstige momentane Reize schienen ausgeschlossen, weil der gefundene Unterschied während 15 Stunden erhalten blieb¹).

Dagegen war in Betracht zu ziehen, daß die Voraussetzung für die Paarung der Östrus ist, und so wurde untersucht, ob (ungepaarte) weibliche Ratten im Stadium des Östrus sich hinsichtlich des Kohlehydratstoffwechsels von Tieren im Diöstrus-Stadium unterscheiden. Diese Vermutung hat sich bestätigt: Der Unterschied im BTS.-Gehalt des Blutes von Ratten im Östrus und Diöstrus ist noch erheblich größer als der früher an gepaarten und ungepaarten Weibchen gefundene, nämlich (Mittelwerte):

	Östrus	Diöstrus
γ BTS./ccm	30	17

Daß dieser Unterschied größer ist als zwischen gepaarten und ungepaarten Weibchen, rührt daher, daß letztere bei der Blutentnahme das Östrus-Stadium teilweise verlassen haben.

Eine ausführlichere Untersuchung, welche sich auf katrierte Ratten und auf den Einfluß von Östron und andere Sexualhormone erstreckt, wird an anderer Stelle mitgeteilt.

Stockholm, Vitamininstitut der Universität, den 27. Dezember 1940.

BETH VON EULER. HANS VON EULER.
INGA PETERSSON.

¹) Über Stoffwechseländerungen im Sexualzyklus und nach Östroneingaben ist bis jetzt wenig bekannt. Vgl. KÖHLER, Klin. Wschr. 1929, 502; 1930, 110. — ZONDEK u. BERNHARDT, Klin. Wschr. 1925, 2001.

Zur Entstehung krebserzeugender Substanzen beim Menschen¹).

Die chemischen Beziehungen, die zwischen dem stark krebserregend wirksamen Methylcholanthren und Sterinen, insbesondere Gallensäuren bestehen, veranlaßten COOK²) zu der Hypothese, daß der menschliche Krebs möglicherweise durch Stoffe erzeugt werden könnte, die unter pathologischen Bedingungen aus Gallensäuren im Organismus selbst entständen. Für eine solche Annahme spricht die Tatsache, daß Methylcholanthren in vitro aus 12 Ketocholeensäure und ähnlichen Gallensäuren hergestellt werden kann³). Ein Zwischenprodukt ist dabei das Dehydronorcholen, das selbst noch keine krebserregenden Eigenschaften besitzt.

Seitdem sicher bekannt ist, daß es Substanzen gibt, die Krebs erzeugen können, haben wir unser besonderes Bemühen darauf gerichtet, solche Substanzen und ihre Wirkungsweise kennenzulernen, um den Menschen davor schützen zu können. Das wäre sicher die beste „Krebstherapie“. Aus diesem Grund hat uns auch die Möglichkeit einer endogenen Entstehung krebsauslösender Substanzen beschäftigt.

Wenn dies aus Gallensäuren geschieht, so könnte das, wie COOK meint, auf einer „Entgleisung des Sterinstoff-

wechsels“ beruhen, also auf einer Fehlleistung *körpereigener* Zellen oder Fermente. Eine zweite Möglichkeit wäre aber die, daß hierbei *fremde*, im menschlichen Körper lebende Zellen eine Rolle spielen. Da die Gallensäuren in den Darm ausgeschieden werden und Darmkrebs beim Menschen häufig ist, haben wir an die Mitwirkung der — vielleicht pathologisch veränderten — Darmflora gedacht.

Aus dem Stuhl von Patienten mit rektoskopisch sicher-gestelltem Rectumkrebs haben wir (Ende 1938) Coli-Bakterien auf Pepton-Sauton-Nährboden gezüchtet. Wir wählten diesen Nährboden, weil er außer anorganischen Salzen und Pepton nur noch Lactat und Tartrat enthält. Die Kulturen wurden in Flaschen mit 100 ccm angesetzt, jede Versuchsserie umfaßte 40 Kulturen. Eine Serie erhielt einen Zusatz von 5 mg % *Dehydronorcholen*⁴⁾ zum Nährboden (Gruppe I), eine andere die gleiche Konzentration *Desoxycholsäure* (Gruppe II). Die dritte Serie der gleichen Colistämme blieb ohne Zusatz (Gruppe III). Sämtliche Kulturen wurden nun 24 Stunden im Brutofen gehalten und anschließend mit analysenreinem Benzol extrahiert. Nach Eindampfen des Extraktes im Vakuum wurde der Rückstand in 20 ccm Erdnußöl aufgenommen.

Diese Lösung erhielten je 6 Ratten in jeder der 3 Versuchsgruppen subcutan in die linke Flanke gespritzt, und zwar wöchentlich einmal, insgesamt 6 Injektionen. Kontrollgruppen wurden mit einer öligen Lösung der nicht mit Bakterien behandelten Substanzen injiziert, und zwar von reinem (Gruppe IV) oder ultraviolet (trocken) bestrahltem *Dehydronorcholen* (Gruppe V) bzw. reiner oder bestrahlter *Desoxycholsäure* (Gruppen VI und VII). Die Konzentration betrug hier 100 mg %, die Anwendung erfolgte ebenfalls in Form von 6 Einzeldosen in 6 Wochen. Die Ratten wurden Anfang Januar und März 1939 in Versuch genommen, die letzte Injektion erfolgte also im Februar bzw. im April 1939.

Am 1. Juli 1940, also fast 1½ Jahr nach der letzten Injektion, trat in der I. Gruppe, die mit einem Benzol-extrakt aus Krebs-Coli mit einem Zusatz von *Dehydronorcholen* behandelt worden war, die erste Geschwulst, ein kartoffelgroßes Sarkom an der Injektionsstelle auf. Bis zum November 1940 entstanden bei zwei weiteren Tieren dieser Gruppe Sarkome, und zwar eine intraabdominelle Geschwulst und (im 2. Falle) mehrere sarkomatöse Geschwülste an der Injektionsstelle und in inneren Organen. Die restlichen 3 Ratten dieser Gruppe waren vorher inter-kurrent gestorben.

Bei den Kontrollen (Gruppe IV), die mit unbehandeltem *Dehydronorcholen* gespritzt waren, entstand kein Krebs, obwohl davon heute noch 5 Tiere leben. Dagegen trat ein intraabdominelles Sarkom nach Behandlung mit ultraviolet bestrahltem *Dehydronorcholen* auf (Gruppe V). Die restlichen 5 Ratten sind hier ebenfalls noch am Leben.

In den ganz entsprechend angesetzten Versuchen mit *Desoxycholsäure* entstand in keiner Gruppe Krebs. Allerdings haben hier nur insgesamt 4 Tiere länger als 18 Monate gelebt. Diese Substanz muß also erneut untersucht werden. Inzwischen haben COOK und KENNAWAY⁵⁾ Ende 1940 mitgeteilt, es sei ihnen in Bestätigung früherer Angaben von GHIRON⁶⁾ gelungen, bei 3 von 5 länger als 10 Monate überlebenden Mäusen durch Injektion von insgesamt 70 mg reiner

Desoxycholsäure in öliger Lösung nach 350 Tagen maligne Tumoren zu erzeugen. Die Untersuchung dieser Substanz ist um so wichtiger, als es sich um eine physiologische Gallensäure handelt.

Bemerkenswerterweise entstand in unserer Versuchsgruppe III, die mit dem Extrakt aus reinen Krebs-Coli-Kulturen ohne jeden Zusatz behandelt worden war, ein 70 g schweres Sarkom an der Injektionsstelle. Hier haben drei Tiere länger als 18 Monate gelebt.

Es hat also den Anschein, daß Colibakterien von krebskranken Menschen die Fähigkeit haben können, eine den Gallensäuren nahestehende Substanz in einen krebs erzeugenden Stoff umzuwandeln, wenn sie nicht selbst schon cancerogene Stoffe zu bilden vermögen, worauf der letztgenannte Befund hindeuten würde.

Bei einem Tier der Gruppe I fanden wir übrigens neben anderen Geschwülsten ein fast taubenigroßes Sarkom am Rectum, was mit Hinblick auf die Tatsache Beachtung verdient, daß wir unsere Kulturen von Patienten mit Rectumkrebs gewonnen hatten.

Wir halten es nicht für richtig, aus unseren Befunden einen anderen Schluß zu ziehen als den, daß die Frage der endogenen Entstehung krebs erzeugender Stoffe auch beim Menschen von großer Bedeutung ist, und daß die Darmflora dabei eine Rolle zu spielen scheint. Die Tiergruppen waren aus Ersparnisgründen klein, die Versuche sind demgemäß als orientierende Vorversuche gedacht.

Es sei bemerkt, daß bei unseren Versuchsratten den allgemeinen Erfahrungen entsprechend Spontangeschwülste außerordentlich selten sind. Spontan entstandene intra-abdominelle oder subcutane Sarkome haben wir bisher überhaupt nicht beobachtet. Ferner haben wir zwecks Vermeidung von Verwechslungsgefahren seit Dezember 1938 keine Versuche mit cancerogenen Kohlenwasserstoffen oder mit Transplantationsgeschwülsten im Hause mehr vorgenommen. Die Versuche werden an einem größeren Tiermaterial wiederholt.

Den Herren Prof. RÖSSLE, Berlin, und Prof. HAMPERL, Prag, möchten wir auch an dieser Stelle für die histologische Untersuchung der Geschwülste danken.

Berlin, Pharmakologisches und Hygienisches Institut der Universität, den 14. Januar 1941.

HERMANN DRUCKREY. RUDOLF RICHTER.
RUDOLF VIERTHALER.

1) Durchgeführt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

2) J. W. COOK, Ber. dtsh. chem. Ges. 69, 38 (1936).

3) H. WIELAND u. E. DANE, Hoppe-Seylers Z. 219, 240 (1933).

4) Für die freundliche Überlassung des *Dehydronorcholens* danken wir Herrn Prof. A. BUTENANDT, Dahlem, und Herrn Dr. INHOFFEN von der Schering-AG., Berlin.

5) J. W. COOK, E. L. KENNAWAY u. N. M. KENNAWAY, Nature (Lond.) 145, 627 (1940).

6) V. GHIRON, 3. internat. Krebskongreß Atlantic City 1939.

Zapfensubstanz und Sehpurpur.

Von G. VON STUDNITZ, Halle/Saale.

1. Einleitung.

Als ich mich vor nunmehr einem Jahrzehnt mit der vergleichenden Ophthalmologie zu beschäftigen begann, bot der Stand der Erforschung dieses Wissenszweiges in dem hier zur Rede stehenden Gebiet etwa folgendes Bild: HECHT hatte in seinen bekanntesten Untersuchungen an *Ciona* und *Mya* die bereits von G. E. MÜLLER (1896), LASAREFF (1913, 1925) und PÜTTER (1918, 1920) entwickelten Vorstellungen über die retinalen Primärprozesse im wesentlichen experimentell bestätigen und damit in seinem Schema des Sehaktes den unzweifelhaften Nachweis erbringen können, daß an der Schwelle der optisch bedingten Empfindung oder Reaktion die Zersetzung einer lichtempfindlichen Substanz, eines Sehstoffes, steht.

Fast als zwangsläufig erscheint es heute, daß diesen Ermittlungen HECHTS eine verstärkte Anteilnahme an den Sehstoffen selbst folgte (vgl. z. B. WALD 1933—1938, LYTHGOE und Mitarbeiter 1937 bis 1938, HOSOYA und Mitarbeiter 1933—1938, v. EULER und ADLER 1934, KRAUSE und SIDWELL 1938 u. a.), deren Erforschung infolge einer scheinbaren methodischen und erkenntnistheoretischen Erschöpfung dieses Gebietes nahezu drei Jahrzehnte hindurch fast völlig geruht hatte. Und es ist verständlich, daß sich diese Untersuchungen ausnahmslos mit dem damals nicht nur bei weitem am besten, sondern eigentlich auch einzig bekannten Sehstoff befaßten: dem Sehpurpur der Wirbeltiere. Wobei bemerkenswert bleibt, daß die — allgemein gehaltenen und allgemeingültig gedachten — Deduktionen insbesondere PÜTTERS und dann auch HECHTS über die Transformation der strahlenden Energie in Erregung weder für den Stäbchen-, geschweige denn den Zapfenapparat des Wirbeltierauges experimentell belegt worden waren.

Dies gelang mir selbst auf Grund und infolge von Untersuchungen über die vergleichende Physiologie der Iris (1932a, b, 1933a, b, 1934a, 1935), deren Ergebnisse 1934 (c) als solche, wie auch späterhin im Rahmen einer Gesamtdarstellung der retinalen Primärprozesse (1940a, vgl. auch 1939, 1940e) zusammengefaßt wurden.

Bereits die ersten Befunde dieser Versuchsreihen mußten zu der bis in die jüngste Zeit, insbesondere durch die Untersuchungen CROZIERS und WOLFS (1937—1940), immer wieder gestützten Auffassung führen, daß Stäbchen- und Zapfenapparat des Wirbeltierauges die Lichttransformation in grundsätzlich der gleichen Weise bewirken. Und das wieder machte das Fehlen eines Nachweises einer lichtempfindlichen Substanz auch in den hohen Intensitäten und Farben perzipierenden

Zapfen (bzgl. der Berechtigung dieser „Duplizitätstheorie“ vgl. v. STUDNITZ 1940a, b) besonders empfindlich.

Durch einen bestimmten methodischen Griff gelang es nicht nur, diese Lücke auszufüllen, sondern darüber hinaus auch gewisse Eigentümlichkeiten dieses neuen Sehstoffes des Wirbeltierauges zu ermitteln (v. STUDNITZ 1932b, c, 1934b, 1937a, b, v. STUDNITZ und WIGGER 1937, NOVER 1939), so daß die *Zapfensubstanz* in jener oben erwähnten umfassenderen Darstellung der retinalen Primärprozesse dem altbekannten Sehpurpur keineswegs mehr als vollkommenes Brachland gegenübergestellt zu werden brauchte.

Gerade diese Bearbeitung der Sehstoffe und ihrer Wirksamkeit hatte jedoch verschiedene Vermutungen über weitere Eigenschaften der Zapfensubstanz und ihren Zusammenhang mit gewissen anderen retinalen Stoffen aufkommen lassen, die zu einer erneuten Inangriffnahme unseres Problems direkt herausforderten. Die Ergebnisse dieser nun vorliegenden Untersuchungen (1940c, d, f, g) lassen die Zapfensubstanz und bis zu einem gewissen Grade den Sehpurpur in einer so neuen und endgültigeren Beleuchtung erscheinen, daß sich eine abermalige Übersicht über diese beiden Sehstoffe des Wirbeltierauges nicht nur rechtfertigt, sondern geradezu aufdrängt.

Darüber hinaus ist durch jene neuen Versuche die Möglichkeit geschaffen worden, einen Einblick in die retinalen Grundlagen des Farbensehens zu gewinnen und damit auch die sich aus ihm ergebenden Folgerungen in Vergleich zu den bisher über diesen Punkt aufgestellten Hypothesen wie auch zu den Anschauungen über die retinale Grundlage der Helligkeitsunterscheidung zu setzen. Dieser Teil der Auswertung der Versuchsergebnisse bleibt einem folgenden Aufsatz vorbehalten; der heutige behandelt ausschließlich die Sehstoffe selbst.

2. Der Nachweis der Zapfensubstanz.

Die ersten zum Nachweis der Zapfensubstanz an der isolierten Retina angestellten Versuche fanden hier nicht noch einmal Erwähnung (vgl. 1932c, 1934b, 1940a und e), wenn sich ihre Ergebnisse nicht immer wieder als wertvolle Stütze und Ergänzung der späterhin an Lösungen erzielten Befunde erwiesen hätten und wenn sie nicht die bisher einzigen wären, die auch von anderer Seite wiederholt wurden.

Unterwirft man ein Tier einer ausreichenden Dunkeladaptation, so akkumulieren sich in seinen Lichtsinneszellen die Sehstoffe. Das hat die direkte Beobachtung des Sehpurpurs und die Analyse der

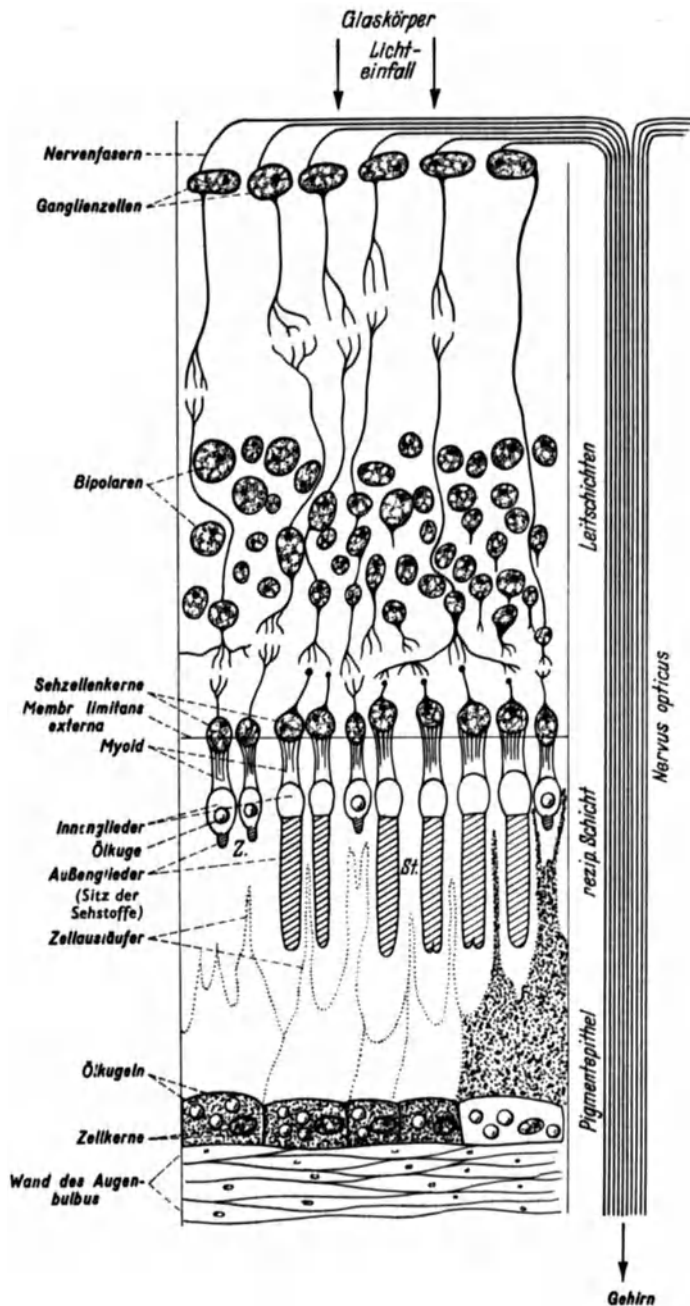


Fig. 1. Die Zeichnung stellt einen kleinen Ausschnitt aus dem Querschnitt einer Frosch-netzhaut in etwa 450facher Vergrößerung dar. Sie ist nur wenig schematisiert; die Größenverhältnisse der einzelnen Schichten sind den natürlichen Proportionen getreu wiedergegeben, lediglich die Zapfen sind relativ zu groß, die Stäbchen dagegen relativ zu kurz gezeichnet. Der Übersichtlichkeit wegen wurden ferner die in der Netzhaut vorhandenen Querverbindungen zwischen den bipolaren Ganglienzellen fortgelassen; das gleiche gilt für die in vertikaler Richtung die Leitschichten durchziehenden sog. „Müllerschen Stützfasern“. Ganz schematisch gehalten wurde der Durchtritt des Sehnerven (Nervus opticus) durch die Retina; seine Fasern breiten sich auf der inneren (im Bilde oberen) Fläche der Netzhaut aus und treten so vom Augennernen her durch Vermittlung der Ganglienzellen und Bipolaren und deren Leitfasern mit den einzelnen Sehzellen (Zapfen = *Z*) oder Sehzellgruppen (Stäbchen = *St*) in Verbindung, um die von diesen Sehzellen aufgenommenen und in Nervenenergie umgewandelten Lichtreize zum Gehirn zu leiten. Das Auge erweist sich somit als ein „invertiertes“ Auge; die durch die Pupille, Linse und den Glaskörper (über dem Bilde zu denken) auf die Netzhaut treffenden Lichtstrahlen müssen also zunächst die gesamten „Leitschichten“ der Netzhaut, die Kerne der Sehzellen, deren „Myoide“ (bewegliche Glieder, die eine Streckung bzw. Verkürzung des Stäbchens bzw. Zapfens bewirken können), die Innenglieder und evtl. (bei den Zapfen) die in diesen gelegenen Ökugeln durchsetzen, um zu dem Sitz des Sehestoffes und damit dem Ort der Transformation in Nervenenergie zu gelangen. Die Erregung nimmt dann diesen Weg wieder zurück, indem sie durch den Kern der Sehzelle und deren Verbindungsfaser zur Bipolare übergeleitet wird, von der sie auf deren leitenden Fasern zu den Ganglienzellen und von diesen erst in die eigentliche Sehnervenfasern gelangt, die die Leitung der Erregung zur Sehrinde des Gehirns ermöglicht. — An der Durchbruchsstelle des Sehnerven durch die Netzhaut in das Augennere ist die Netzhaut blind („blinder Fleck“), da sich hier keine Sehzellen befinden, die die Lichttransformation vornehmen könnten. — Die Sehzellen selbst sind in einer Ebene gezeichnet, ein Verhalten, wie es im allgemeinen nur die Netzhaut der höheren Wirbeltiere aufweist. Bei den niederen

Wirbeltieren (so auch beim Frosch!) wechselt die Stellung der Sehelemente je nach der Außenhelligkeit. Bei geringem Außenlicht („Dämmerung“) sitzen nur die Stäbchen („Dämmerungsapparat“) der als Ebene deutlichsten Sehens anzusprechenden Membrana limitans externa an, während die in diesen geringen Helligkeiten sowieso untätigen Zapfen durch Streckung (= Verlängerung) ihres Myoids in die Tiefe der Sinneszellschicht, also auf das Pigmentepithel zu, gerückt sind. Gleichzeitig hat sich das Pigment des Pigmentepithels in seinen Zellen massiert (in der Figur links), um etwa in der Sinneszellschicht noch auftretendes und die Stäbchenaußenglieder noch treffendes Streulicht nicht an allgemeiner Ausbreitung und damit restloser Ausnutzung zu hindern. Bei hohen Intensitäten finden wir umgekehrt, daß die Stäbchen durch Verlängerung ihrer Myoide eine Stellung tief in der Sinneszellschicht einnehmen, wie sie oben von den Zapfen beschrieben wurde, denen sie den Platz an der „Bildebene“ nunmehr allein überlassen, diese durch Verkürzung ihres Myoids einnehmen. Den Zapfen rückt bei diesen hohen Intensitäten („Tagessehen“) das Pigment in den Ausläufern nach (in der Figur rechts) und umhüllt sie von hinten und seitlich. Damit wird der Austritt in den Zapfen etwa noch nicht verwerteter Lichtreste in die anderen Sinneszellen (was eine Verminderung der Sehschärfe zur Folge hätte, wenn ein Lichtpunkt mehrere Sehelemente reizt) und das

optisch bedingten Empfindungen und Reaktionen längst gelehrt, und Entsprechendes war auch für eine etwa in den Zapfen befindliche lichtempfindliche Substanz zu erwarten. Isoliert man die Netzhaut eines solchen dunkeladaptierten Tieres bei geeignetem (s. unten) schwachem Licht und belichtet sie, so war genau wie für die übrigen Sebstoffe auch für den in den Zapfen vermuteten ein Zerfall zu erwarten. Und da sich diese Vorgänge — Aufbau und Zerfall — nun in sehpurpurfreien reinen Zapfennetzhäuten nicht durch eine Farbveränderung der Gesamtnetzhaut kundgeben, bestand immerhin noch die weitere Möglichkeit, daß sie ihren Ausdruck in einer Absorptionsveränderung der retinalen Gewebe finden. Diese Vermutung konnte dadurch bestätigt werden, daß die stäbchen- und sehpurpurfreien Netzhäute dunkeladaptierter griechischer Landschildkröten bei schwächstem Rubinlicht isoliert, vor die Öffnung eines PULFRICH-Stufenphotometers gespannt und dann belichtet wurden; in der Tat ergab sich ein Abfall der retinalen Absorption im Verlaufe der Belichtung bis zu einem bestimmten Endwert, der als die Eigenabsorption der retinalen Gewebe gewertet werden muß. Der Nachweis einer lichtempfindlichen Substanz in der stäbchen- und sehpurpurfreien Netzhaut der Schildkröte, und damit ohne Zweifel in deren Zapfen, konnte als erbracht angesehen werden.

Subtrahiert man den die Eigenabsorption der retinalen Gewebe ausdrückenden Wert (s. vorigen Absatz) von denen, die im Beginn der Belichtung gemessen wurden, also die Absorption des Sebstoffes miterfassen, so erhält man dessen Absorption allein.

Diese Untersuchungen wurden nun mit ganz der gleichen Versuchsanordnung und unter durchaus entsprechenden Bedingungen auch an der (nahezu) zapfenfreien reinen Stäbchenretina der Ratte angestellt. Dadurch wurde die Möglichkeit eines unmittelbaren Vergleichs zwischen den entsprechenden Eigenschaften von Sehpurpur und Zapfensubstanz geschaffen. Wir werden diesen Vergleichen noch (vgl. Abschnitt 7) begegnen. Hier mag der Hinweis genügen, daß sie den ersten un-

umstößlichen Anhaltspunkt dafür lieferten, daß wir in der Zapfensubstanz nicht etwa Sehpurpur in sehr geringer Konzentration, die seine Farbe etwa nicht in Erscheinung treten lassen könnte, vor uns haben: die Sebstoffe von 13 qmm Fläche der Schildkrötenretina absorbieren 20,29%, die des gleichen Areals der Rattenetzhaut 19,17% der auffallenden 2,5 Lux weißen Lichtes. Da nun die Fähigkeit des Sehpurpurs, Licht zu absorbieren, proportional mit seiner Konzentration abnimmt, ist es unmöglich, daß er in einer Menge, die seine Farbe voll sichtbar macht (Rattenretina), 19,17, in einer geringeren Konzentration dagegen, die seine Farbe nicht mehr erkennen läßt (Schildkrötenetzhaut), 20,29% des gleichen Lichtes absorbiert.

Durch Absorptionsmessungen in verschiedenen Bereichen des Spektrums läßt sich die spektrale Absorption des in der Netzhaut enthaltenen Sebstoffes mit der gleichen Apparatur ermitteln, wenn diejenige der übrigen retinalen Bestandteile wenigstens näherungsweise bekannt ist. Durch totale Bleichung des Sebstoffes bis zu einem konstanten Endwert (= Absorption ausschließlich der retinalen Gewebe), darauffolgende Dunkelstellung der Netzhaut und abermalige Belichtung vor der Photometeröffnung ist eine Entscheidung darüber möglich, ob der Sebstoff während der auf die Bleichung folgenden Dunkelhaltung regenerierte: dies war dann der Fall, wenn zu Beginn der zweiten Belichtung ein höherer Absorptionswert gemessen wird, als am Ende der ersten und die Absorption auch im Verlaufe der zweiten Belichtung wieder bis zu dem konstanten Absorptionswert der retinalen Gewebe fällt. Auch derartige Versuche über die spektrale Absorption der Zapfensubstanz und ihre Regeneration wurden bereits in jenen ersten Versuchen an der isolierten Retina angestellt; auch ihre Ergebnisse werden wir weiter unten kennenlernen (Abschnitt 3 und 8).

Soweit diese ersten Versuche den Nachweis der Zapfensubstanz schlechthin, also den eines Absorptionsabfalles bei Belichtung isolierter, zuvor dunkeladaptierter Zapfennetzhäute betreffen, sind sie einer Nachprüfung seitens HOSOVAS, OKITAS und

Auftreten von Streulicht in der Sinneszellschicht verhindert; diese Vorgänge zeigen deutlich, wie das „Dämmerungsauge“ bestrebt ist, kleinste Lichtreste, selbst auf Kosten der Sehschärfe, noch voll auszunutzen, während das „Hellauge“ die Erzielung größtmöglicher Sehschärfe, auch auf Kosten der vollen Lichtausnutzung, „anstrebt“. Hierfür sprechen auch die verschiedenen Arten der Koppelung der beiden Sehelemententypen an eine Bipolare und damit Ganglienzelle und Sehnervenfaser. Die Stäbchen hängen zu mehreren an einer Sehnervenfaser; 4 verschiedene, die 4 rechten Stäbchen treffende Lichtpunkte werden also nur einen einzigen „Objektpunkt“ dem Gehirn „vortäuschen“, da sich die die 4 Stäbchen treffenden getrennten Reize zu einer einzigen Fasererregung summieren. Demgegenüber leiten die Zapfen einzeln ab, jeder Zapfen hat seine eigene Projektion im Gehirn, d. h. jeder einen Zapfen treffende Lichtstrahl wird als solcher getrennt auf der Sehrinde abgebildet und gestaltet so im Verein mit den von den anderen Zapfen kommenden Einzelerregungen ein denkbar vollständiges („scharfes“) Bild. — Die Art der Endigung der von dem Sehzellenkern zur Bipolare strebenden Leitfaser kann knopfartig oder dendritenförmig verzweigt sein. Im allgemeinen enden die Stäbchenfasern knopf-, die Zapfenfasern dendritenförmig (siehe Figur); bei dem Frosch (hierin weicht die Figur also von dem Vorbild der Froschretina ab!) enden Stäbchen- und Zapfenfasern gleichmäßig dendritenförmig. Ebenso ist darauf aufmerksam zu machen, daß die Stäbchen bei den meisten Wirbeltieren viel schmaler sind und dadurch gegenüber den Zapfen viel mehr zurücktreten, als das in der Froschretina der Fall ist.

AKUNES (1938), und zwar mit grundsätzlich dem gleichen Erfolg, unterzogen worden. Damit wird sich nun wohl auch die neuweltliche vergleichende Ophthalmologie, die WALDS Mitteilung über das „Iodopsin“ (1937; s. darüber v. STUDNITZ 1940a und e) sofort so lebhaft begrüßte (vgl. HECHT 1938), schließlich einmal mit dem Nachweis der Zapfensubstanz abfinden müssen, zumal ihre gegen die Deutung meiner Versuche vorgebrachten Einwände, es handle sich um Äußerungen photomotorischer Effekte (CHASE 1936, HECHT 1937), inzwischen nicht nur durch mich selbst (1940a, S. 158), sondern auch experimentell durch HOSOYA, OKITA und AKUNE dadurch widerlegt werden konnten, daß die japanischen Forscher die Zapfenwanderung bei ihren Versuchen eigens in Rechnung stellten.

Als Versuchsobjekt bedienten sich HOSOYA, OKITA und AKUNE der Schildkröte *Ocadia sinensis*. Leider scheint mir jedoch eine volle Gewähr dafür, daß die Netzhaut dieses Tieres tatsächlich nur Zapfen und keine Stäbchen und damit Sehpurpur aufweist, nirgends gegeben; gewisse Befunde an aus den Netzhäuten hergestellten Natriumcholatlösungen scheinen mir sogar unmittelbar auf das Vorhandensein von Sehpurpur in der Retina dieser Schildkröte hinzudeuten (vgl. v. STUDNITZ 1940a, S. 163). Aber selbst wenn dem so sein sollte, werden dadurch die Versuche der japanischen Autoren, soweit sie sich auf die *isolierte Netzhaut* beziehen, ebensowenig betroffen wie ihre aus diesen Versuchen gezogenen Schlußfolgerungen bzgl. des Vorhandenseins der Zapfensubstanz: HOSOYA, OKITA und AKUNE berichten nämlich, daß die bei Belichtung der zuvor dunkeladaptierten isolierten Retina in Erscheinung tretende Absorptionsabnahme dann viel deutlicher ist, wenn die Präparation der Netzhaut in blauvioletttem Licht $< 500 m\mu$ statt in einer roten Beleuchtung $> 620 m\mu$ vorgenommen wird! Und gerade jene blauen, unterhalb $500 m\mu$ gelegenen Bereiche absorbiert der Sehpurpur unvergleichlich stärker als die genannten roten, wäre also durch sie ohne Zweifel schon während der Präparation erheblich mehr zersetzt worden als durch das Rotlicht.

Ich selbst habe mich bei der zur Untersuchung bzw. Gewinnung der Zapfensubstanz vorgenommenen Isolierung der dunkeladaptierten Netzhäute von vornherein stets sehr schwacher Rubinlichter mit dem gleichen guten Erfolge bedient, der von der unter diesen Bedingungen erfolgenden Gewinnung des Sehpurpurs her längst bekannt ist. Der Befund HOSOYAS und seiner Mitarbeiter, daß schwaches Blauviolettlicht bei der Bearbeitung der Zapfensubstanz die gleichen oder gar noch bessere Dienste leistet, erschien deshalb nicht weniger bedeutungsvoll als ihre Bestätigung des Vorhandenseins der Zapfensubstanz: er deutet bereits gewisse Eigenschaften dieses Sehstoffes an, die zudem abermalig dessen grundsätzliche Verschiedenheit vom Sehpurpur auf tun.

3. Das Absorptionsspektrum der Zapfensubstanz.

Die spektrale Absorption der Zapfensubstanz wurde bereits gelegentlich der ersten Bearbeitung dieses Sehstoffes (1932c) durch photometrische Messung der retinalen Absorption in verschiedenen Bereichen des Bogenlampenspektrums zu ermitteln versucht. Dabei ergaben sich in 7 untersuchten Spektralbereichen zwischen 670 und $445 m\mu$ 3 deutliche Absorptionsmaxima: je eines bei 670 , 560 und $470 m\mu$. Als es dann späterhin gelungen war, Lösungen der Zapfensubstanz, und zwar auch aus gemischten Netzhäuten, herzustellen, wurden entsprechende Untersuchungen auch an diesen vorgenommen (1937b); diese mit einer ganz anderen Apparatur (Filterlichter und photoelektrische Registrierung mittels Photozelle und Spiegelgalvanometer) und statt an der Retina nur der Schildkröte an Lösungen aus den Netzhäuten dreier ganz verschiedener Wirbeltiere (*Scandrinus*, *Rana* und *Testudo*) ausgeführten Messungen hatten wieder das gleiche Ergebnis: je ein Maximum im Rot, Gelb und Blau.

Das Maximum im Gelb wurde stets und von vornherein als das eigentliche Absorptionsmaximum der Zapfensubstanz gewertet, da es mit dem der Kurve zusammenfällt, die die Verteilung der relativen Helligkeiten der Spektrallichter im Bereiche des Tages-(Zapfen)sehens beschreibt; und genau wie bei dem durch den Sehpurpur bedingten Dämmerungssehen muß auch hier die Höhe der Empfindung der Stärke der Absorption und damit der Zersetzung des betr. Sehstoffes direkt proportional sein. Das Maximum im Blau wurde als Wirkung der im Netzhautpräparat wie in Lösungen stets miterfaßten, vorwiegend gelben bzw. roten Ölkugeln angesehen. Das Maximum im Rot endlich blieb ebenso unverständlich, wie gewisse andere auf Grund dieser Erklärungen nicht gedeutete Beobachtungen: so z. B. der mit der Ölkugelabsorption nicht erklärbare starke Wiederabfall der Absorption zwischen 470 und $445 m\mu$ und eine starke Abspaltung der als Zerfallsprodukt der Zapfensubstanz erkannten Phosphorsäure (1932c, 1937a und Abschnitt 5) bei Bestrahlung der Retina nicht nur mit gelbem, sondern auch blauem Licht.

Erst ganz neuerdings (vgl. 1940e) ist der Verdacht aufgetaucht, daß die Zapfensubstanz selbst diese 3 Absorptionsmaxima aufweisen könne bzw. daß es sich bei ihr nicht um einen einheitlichen Stoff handelt, sondern um deren drei, deren jeweilige Absorptionsmaxima im Rot, Gelb bzw. Blau gelegen sind und daß letzteres bisher nur durch das der Ölkugeln verdeckt wurde.

Da es bislang nicht möglich ist, Ölkugeln und Zapfensubstanz in der Lösung voneinander zu trennen, verlangte die Prüfung dieser Vermutung die Untersuchung ölkugelfreier Netzhäute bzw. von Lösungen aus diesen. Zur unbedingten Sicherheit erschien zudem die Verwendung auch sehpurpurfreier Netzhäute ratsam, um eine Beeinflussung der Ergebnisse auch durch die an den Stäbchenapparat gebundenen gelben Ölkugeln des

Pigmentepithels mit Sicherheit zu vermeiden (vgl. v. STUDNITZ 1940a, c, e, f und Abschnitt 4). Beide Bedingungen erfüllt die Retina der Ringelnatter; aus 190 Netzhäuten dieser Schlange wurden 10 ccm Zapfensubstanzlösung gewonnen, die mit wieder einer anderen, nunmehr der dritten Apparatur (PULFRICH-Kolorimeter mit S-Filtern) in 10 Spektralbereichen auf ihre relative Absorption hin untersucht wurden (1940f).

Wieder ergaben sich die 3 nun schon bekannten Maxima im Rot (655 m μ), Gelb (555 m μ) und Blau (468 m μ), die damit mit Sicherheit auf die Zapfensubstanz selbst zu beziehen sind! Die Gesamtkurve zeigt zudem eine Gestalt, aus der sich ohne Schwierigkeit die Absorptionskurven dreier voneinander

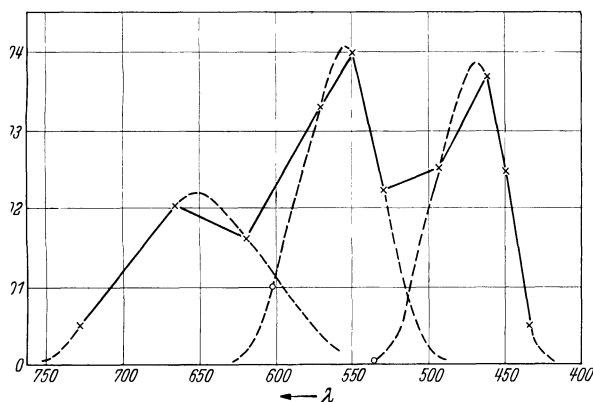


Fig. 2. Das Absorptionsspektrum der Zapfensubstanz (Ringelnatter, ätherische Lösung). Die Kreuze bezeichnen die Meßpunkte, die durch die ausgezogenen Linien direkt verbunden werden. Die unterbrochenen Linien bezeichnen, zum Teil im Verein mit den ausgezogenen, die vermutlichen Absorptionsspektren der Rot-, Gelb- und Blausubstanz. Die Kreise geben früher an Lösungen von Schildkrötenzapfensubstanz erhaltene Werte wieder. (Nach: v. STUDNITZ 1940f.)

unabhängiger Substanzen ablesen bzw. konstruieren lassen: die Absorption der „Rotsubstanz“ beginnt an der langwelligen Sichtbarkeitsgrenze des Spektrums eben jenseits 750 m μ , steigt bis 655 m μ an, um dann bis etwa 550 m μ wieder abzufallen. Der Wirkungsbereich der „Gelbsubstanz“ beginnt bei etwa 630 m μ , steigt bis 555 m μ , um dann in ständigem Abfall bei etwa 480 m μ zu endigen. Die „Blausubstanz“ endlich absorbiert zwischen etwa 415 und 540 m μ , wobei die Absorption auch hier dies- und jenseits des (bei 468 m μ gelegenen) Maximums zu den Enden abfällt (s. Fig. 2).

Der hiermit geführte Nachweis, daß die Zapfensubstanz keinen einheitlichen Stoff, sondern einen Komplex von 3 „Farbsubstanzen“ darstellt, ist in mehrfacher Hinsicht von ganz grundsätzlicher Wichtigkeit:

1. Zunächst ergibt sich durch den Nachweis der 3 Farbsubstanzen erstmalig die Möglichkeit, die retinalen Grundlagen des Farbsehens auf experimentell begründeter Basis zu erschließen. Es ist dies der Punkt, der eine besondere Auswertung

erfordert und uns deshalb an dieser Stelle nicht weiter beschäftigen soll. Nur daran sei hier erinnert, daß bisher noch jede zur Erklärung der Unterscheidung verschiedener Lichtqualitäten aufgestellte Hypothese mehr als einen Sehstoff rein theoretisch annehmen zu müssen glaubte und daß die derzeit bekannteste und einleuchtendste Theorie — die von YOUNG und HELMHOLTZ aufgestellte Dreikomponentenlehre — das Vorhandensein von 3 Sehstoffen innerhalb des Zapfenapparates voraussetzt; mit ihr wird sich unsere Auswertung denn auch vorzugsweise zu beschäftigen haben.

2. Die drei in verschiedenen Gebieten des Spektrums maximal absorbierenden und damit auch durchlassenden Farbsubstanzen machen bis zu einem gewissen Grade vielleicht — neben ihrer ohne Zweifel sehr geringen Konzentration — die weitgehende Farblosigkeit des Zapfensubstanzkomplexes verständlich. Es wäre vorstellbar, daß sich die von den einzelnen Sehstoffen vorwiegend durchgelassenen Bereiche weitgehend zu Weiß ergänzen.

In Zusammenhang hiermit steht eine mehr sekundäre Frage, nämlich die der Benennung unserer Stoffe. Ich selbst habe von vornherein und stets bewußt darauf verzichtet, Namen wie etwa „Sehviolett“ (HECHT, 1938) oder gar „Iodopsin“ (WALD, 1937) oder „Sehblau“ für die Zapfensubstanz zu prägen, wozu das zunächst einzige auf unseren Sehstoff bezogene Absorptionsmaximum im Gelb leicht hätte verleiten können und wodurch dann der bezüglich der Deutung der spektralen Absorption der Zapfensubstanz zuerst getane Mißgriff auch namentlich seinen Ausdruck gefunden haben würde.

Die Benennung der 3 Farbsubstanzen geschah im Gegensatz zu der bei den Sehstoffen des Dämmerungsapparates üblichen Terminologie (Sehpurpur, Sehrot, Sehorange, Sehgelb, Sehweiß) und in Anlehnung an die in den Theorien des Farbsehens gebräuchlichen Bezeichnungen nicht nach den von ihnen maximal durchgelassenen, sondern umgekehrt maximal absorbierten Bereichen!

Das Wort „Zapfensubstanz“ scheint nach diesen Befunden damit überflüssig, wenn nicht gar irreführend geworden zu sein. Wenn ich mich trotzdem zu seiner Beibehaltung entschließe, so geschieht dies der einfacheren Ausdrucksweise wegen, im Hinblick auf die bisherigen Forschungen auch deshalb, weil diese zwangsläufig stets den ganzen Komplex der Farbsubstanzen erfaßten. Es ist bei seiner Verwendung in Zukunft nur stets zu beachten, daß es sich bei ihm um einen Sammelbegriff für 3 Sehstoffe und nicht um die Bezeichnung eines einzelnen handelt.

3. Verständlich wird endlich, wieso es für die Erhaltung der Zapfensubstanz zumindest gleichgültig ist, ob die Isolierung der dunkeladaptierten Netzhäute, aus denen unser Sehstoff extrahiert oder in denen er unmittelbar untersucht werden soll, in rotem (v. STUDNITZ, HOSOYA, OKITA und AKUNE) oder blauvioletttem Licht (HOSOYA) erfolgt: in jedem Falle wird ganz ohne Zweifel eine der 3 Farbsubstanzen bis zu einem gewissen Grade zersetzt, bei der Präparation in Rotlicht die Rot-, bei der in Blauviolettlicht die Blausubstanz, während die jeweiligen anderen beiden Sehstoffe weit-

gehend erhalten bleiben. Erfolgt im Anschluß an die Isolierung der retinalen Gewebe deren Extraktion zur Lösung der Zapfensubstanz, so hat die — partiell oder total — zerstörte Farbsubstanz Zeit zur Regeneration, die direkt nachgewiesen werden konnte (v. STUDNITZ 1940d, s. Abschnitt 8). Soll dagegen die Untersuchung des Sehstoffes innerhalb der retinalen Gewebe vorgenommen werden, so wird sich diese der Präparation meist unmittelbar anschließen, die durch die Präparationsbeleuchtung mehr oder weniger zerstörte Farbsubstanz innerhalb des in der Retina enthaltenen Zapfensubstanzkomplexes also nach dem Grade ihrer Zerstörung ausfallen.

In diesem Zusammenhang ist es auffallend, daß HOSOYA, OKITA und AKUNE von ihren in Blauviolettlicht isolierten Netzhäuten ausdrücklich den starken Absorptionsabfall im Gebiete der langwelligen Strahlen hervorheben, Bereichen also, die vorwiegend von der durch die Präparationsbeleuchtung vermutlich gar nicht beeinflussten Rotsubstanz absorbiert werden! An ihren aus Netzhäuten, die in Blauviolettlicht isoliert worden waren, hergestellten *Extrakten* fanden die japanischen Forscher dagegen maximale Absorptionsverluste in 3 Bereichen, die noch dazu nahezu vollkommen mit denen übereinstimmen, die wir durch direkte Messung der spektralen Absorption der reinen Zapfensubstanzlösung als deren Absorptionsmaxima ermittelten: 460, 570 und 670—700 $m\mu$.

Bemerkenswert ist die Angabe HOSOYAS und seiner Mitarbeiter, daß in Lösungen, die aus in Rotlicht präparierten Schildkrötennetzhäuten hergestellt wurden, in nur einem einzigen Spektralgebiet ein besonders starker Abfall der Absorption bemerkbar wurde: im Blau bei 460 $m\mu$. Dies spricht dafür, daß die durch die (rote) Präparationsbeleuchtung ohne Zweifel mehr oder weniger zerstörte Rotsubstanz im Verlaufe der Extraktion nicht nennenswert regenerierte. Ich habe selbst einen durchaus entsprechenden Befund veröffentlicht (1937b): Während sich das Maximum im Rot nicht nur in den aus Fisch-, Frosch- und neuerdings auch Ringelnatternetzhäuten hergestellten Zapfensubstanzlösungen und auch bei der direkten Untersuchung der Schildkrötenretina stets zeigte, fiel es in der einzigen aus Schildkrötennetzhäuten hergestellten Lösungsprobe aus! Es scheint sich danach in dieser geringen Regenerations- oder Absorptionsfähigkeit der Rotsubstanz eine Eigentümlichkeit der Schildkrötenretina auszuprägen, mit der ja auch HOSOYA arbeitete. — Bei dieser Gelegenheit sei ferner darauf verwiesen, daß Wirkungsbereich und relative Absorption der einzelnen Farbsubstanzen keineswegs von einem Wirbeltier zum anderen stets genau die gleichen sein müssen! So liegt der Gipfel der Absorptionskurve der Rotsubstanz auch bei der Ringelnatter relativ zu dem der Gelbsubstanz besonders „tief“ (1940f), beim Frosch dafür auffallend hoch und bei der Rotfeder etwa zwischen beiden; ich hatte schon einmal Gelegenheit (1940f), auf das weite Arbeitsfeld hinzuweisen, das sich der kausalanalytisch vorgehenden Vergleichenden Physiologie hier erschließt.

Die Maximalabsorption der Gelbsubstanz ist relativ zu der der anderen Farbsubstanzen stets besonders hoch, so daß sich ihre Zersetzung in allen zur Messung der Spektralabsorption unternommenen Versuchsreihen im Gegensatz zu den

anderen Farbsubstanzen stets besonders bemerkbar machte (v. STUDNITZ 1932c, 1937b).

4. Daß auch die Säurebildung bei Belichtung zapfensubstanzhaltiger Netzhäute mit monochromatischen Lichtern gleicher Intensität nicht nur ein Maximum bei Gelbbeleuchtung aufweist, sondern ein zweites im Blau zumindest andeutet (NOVER 1939) und daß Gleiches auch bei der wieder durch den H-Ionenspiegel der Retina bestimmten (v. STUDNITZ 1932b, 1934b, 1940a; WIGGER 1937) Lichtwanderung der retinalen Elemente zur Beobachtung kommt (HONJO 1935, NOVER 1939), beweist, daß sowohl Gelb- als auch Blausubstanz bei ihrer photischen Zersetzung Phosphorsäure abspalten, während dies bei der Rotsubstanz nicht der Fall zu sein scheint. Neben der unterschiedlichen Spektralabsorption ist dies der zweite, und zwar der erste *unmittelbare* Hinweis auf eine chemische Verschiedenheit der 3 Farbsubstanzen.

4. Die Ölkugeln als lichtstabile Form der Sehstoffe.

Bei näherer Beschäftigung insbesondere mit der Zapfensubstanz mußte immer wieder ein auf die Dauer gar nicht zu umgehendes Problem auftauchen: die Tatsache nämlich, daß die Sehstoffe bei ihrer photischen Zersetzung ja weder spurlos verschwinden, noch im Verlaufe der Dunkeladaptation „aus dem Nichts“ entstehen können. Hier lag der Gedanke sehr nahe, daß ganz bestimmte, an sich vielleicht längst bekannte retinale Stoffe Vorstufen bzw. Zerfallsprodukte der Sehstoffe darstellen, ohne daß diese ihre Rolle bisher erkannt werden konnte.

Gewisse ältere, inzwischen wieder in Vergessenheit geratene Beobachtungen BOLLS (1877) und seiner Schüler CAPRANICA (1877) und ANGELUCCI (1878) über die Bindung der gelben Ölkugeln des Pigmentepithels an den Stäbchenapparat und ihre „Verzehrung“ während der Sehpurpurregeneration ließen mich diese Gebilde erneut als eine Art Vorstufe bzw. Ergänzungsmaterial des Sehpurpurs betrachten, und ganz Entsprechendes wurde für die in den Innengliedern der Zapfen gelegenen Ölkugeln bezügl. der Zapfensubstanz vermutet (1940a, c).

BOLLS, CAPRANICAS und ANGELUCCIS Befund von einer Substanz, „verzehrung“ der (pigmentepithelialen) Ölkugeln im Verlaufe der Dunkeladaptation (Sehstoffregeneration) konnte zunächst mit den gleichen Methoden auch für die Zapfenölkugeln bestätigt werden: Der mikroskopische Vergleich hell- und dunkeladaptierter Taubennetzhäute lehrt, daß die Farben der Ölkugeln in der Dunkelnetzhaute sehr viel weniger intensiv in Erscheinung treten als in der Hellretina (1940c).

Diese Befunde konnten durch genauere Versuche erhärtet werden. Der (photoelektrisch durchgeführte) Vergleich der Lichtabsorptionen von Ölkugellösungen, die aus gewichtsgleichen Mengen hell- bzw. dunkeladaptierter Froschnetzhäute und -pigmentepithelien hergestellt waren, ergab eine deutlich geringere Absorption der von

dunkeladaptierten Geweben gewonnenen Lösungen (1940c; s. Tabelle 1). Von entscheidender Bedeutung für diesen Ausfall der Versuche erwies sich dabei jedoch die Art, in der die beiden Epithelien hell- bzw. dunkeladaptiert wurden. Die genannte Absorptionsabnahme zeigt sich nur bei solchen Zapfenölkugellösungen, die aus *isoliert* der Dunkeladaptation unterworfenen Netzhäuten hergestellt wurden; extrahiert man Netzhäute, die der Dunkeladaptation in Kontakt mit dem Pigmentepithel unterworfen waren, so ergibt sich umgekehrt eine *vermehrte* Lichtabsorption gegenüber den aus Hellnetzhäuten gewonnenen Extrakten, ein Befund, der auch an Ölkugellösungen aus Hühnerretzhäuten und durch direkte Messung der Lichtabsorption hell- bzw. dunkeladaptierter Taubennetzhäute erhoben werden konnte. Seine Deutung liefern die an den pigmentepithelialen Ölkugellösungen erhaltenen Messungsergebnisse: Eine geringere Absorption der aus dunkeladaptierten Pigmentepithelien hergestellten Ölkugellösungen ist in jedem Falle bemerkbar, gleichgültig, ob die Dunkeladaptation des Epithels isoliert oder in Kontakt mit den übrigen retinalen Schichten vorgenommen wurde; nur ist die Absorption der Lösung im ersteren Falle (isolierte Dunkeladaptation) stets um einen gewissen Betrag höher, als im letzteren! Dieses Plus beträgt nun genau soviel wie das Minus, das die isoliert dunkeladaptierte Retina gegenüber der in Kontakt mit dem Pigmentepithel der Dunkeladaptation unterworfenen aufweist! Damit ist mit großer Wahrscheinlichkeit ein Übertritt von pigmentepithelialen Ölkugeln in die rezipierenden und leitenden Schichten der Retina im Verlaufe der Dunkeladaptation nachgewiesen (s. Tabelle 1), und auf ganz entsprechende Weise ist auch eine Verschiebung in umgekehrter Richtung, die im Verlaufe der Helladaptation erfolgt, nachweisbar.

Tabelle 1. Die Absorption ätherischer Lösungen aus hell- bzw. dunkeladaptierten Netzhäuten und Pigmentepithelien. (Aus: v. STUDNITZ 1940c.)

Adaptation	Pigmentepithel	Differenz	Retina	Art der Adaptation
Hell . .	1,23	0,15	0,395	In Kontakt miteinander bzw. isoliert
Dunkel .	0,63		0,410	In Kontakt miteinander
„	0,78			

Der Sinn dieser Verschiebung der pigmentepithelialen Ölkugelsubstanz kann nur im Lichte der Sehpurpurregeneration erkannt werden. Wir kennen die große Bedeutung des Pigmentepithels für diese (vgl. z. B. HOSOYA und SASAKI 1938), bei der jedoch andererseits auch wieder die während der Zersetzung des Sehpurpurs in der Retina gebildeten und dann in das Pigmentepithel wandernden Stoffe eine entscheidende Rolle spielen müssen.

Im Rahmen der hier zur Rede stehenden Versuche konnte nämlich gezeigt werden, daß Netzhäute, die zwar in Kontakt mit dem Pigmentepithel (dem sie ihre — ölkugelartigen — Sehpurpurzerfallstoffe also offenbar abgaben) belichtet, dann jedoch isoliert der Dunkeladaptation unterworfen worden waren¹⁾, der Sehpurpurregeneration nicht mehr fähig sind. Da nun weiterhin bekannt ist, daß sich der Sehpurpur aus zwei ganz verschiedenen Gruppen aufbaut, deren eine sicherlich durch ein Protein, deren andere möglicherweise durch die Ölkugeln dargestellt wird, liegt es nahe, dem Pigmentepithel die alleinige Fähigkeit zuzuerkennen, das für die Bildung des Sehpurpurs notwendige Protein zu liefern und dessen Vereinigung mit der anderen, durch Zerfall des Sehpurpurs entstandenen und aus der Retina bezogenen Gruppe zu vollziehen.

Die chemische Natur der zweiten den Sehpurpur bildenden Gruppe ist noch umstritten. WALD hält sie für ein Carotinoid, das er „Retinen“ nennt und mit dem Sehgelb weitgehend identisch sein soll, was auch für die gelben Ölkugeln zutreffen könnte; in diesen vermutet er ein Xantophyll. KRAUSE dagegen spricht in beiden Fällen von einem lipoiden gelben Pigment.

Vergleicht man in Tabelle 1 die Abnahme, die die Ölkugelsubstanz im Verlaufe der Dunkeladaptation in isoliert dunkelgestellten Epithelien gegenüber dem Gehalt helladaptierter erfahren hat, so ergibt sich, daß sich die Substanzmenge in Retina wie Pigmentepithel um die gleichen prozentualen Beträge verringert hat (34,2 und 36,5%). Diese Übereinstimmung läßt den bereits von WALD und ZUSSMAN (1937) auf Grund ihrer mikrochemischen Untersuchungen gezogenen Schluß zu, daß es sich bei den gelben Ölkugeln des Pigmentepithels und der Zapfen um chemisch identische Stoffe handelt. Damit ist zwar eine Verwandtschaft zwischen der Zapfensubstanz (wie wir sehen werden: der Blausubstanz) und dem Sehpurpur aufgetan, jedoch keine Identität der beiden Sehstoffe. Vielleicht dürfen wir den Hauptunterschied zwischen beiden Sehstoffen in dem Fehlen eines Proteins innerhalb des betreffenden Farbsubstanzkomplexes erblicken, das dem Sehpurpur im Verein mit jener anderen, die Verwandtschaft zur Zapfensubstanz darstellenden Gruppe seine erhöhte Lichtempfindlichkeit, eine rote Farbe und vor allem auch seine Wasserlöslichkeit verleiht.

In unmittelbarem Zusammenhang mit diesen Fragen mußte die nach der Bedeutung der in manchen Sauropsidennetzhäuten befindlichen drei verschieden gefärbten Ölkugelsorten auftauchen. Und es wurde sogleich (vgl. 1940a, c, f) vermutet, daß es sich bei ihnen um die in diesen besonderen

¹⁾ Voraussetzung für eine Sehpurpurregeneration in der isolierten Retina sind in jedem Falle der Netzhaut noch anhaftende Pigmentepithelreste (vgl. HOSOYA und SASAKI 1938), die offenbar zur Proteinlieferung ausreichen.

Fällen durch eine verschiedene Farbe gekennzeichneten Vorstufen der 3 Farbsubstanzen handelt. Die Richtigkeit auch dieser Vermutung konnte bestätigt werden (1940g).

Belichtet man Hühner, deren Retina alle 3 Ölkugelsorten (rote, ockergelbe und grünlichgelbe) aufweist, mit Lichtern verschiedener Wellenlänge, isoliert die Netzhäute in der Versuchsbeleuchtung, um ihre eine Gewichtshälfte weiterhin mit dem

Anschluß an die Versuchsbeleuchtung dunkeladaptierten Netzhäuten gewonnenen Ölkugellösungen ausdrücken, schneiden sich an jeweils einem Punkte, so daß die Absorption der Dunkellösung jenseits einer bestimmten Wellenlänge geringer, diesseits dagegen stärker ist als die aus ständig helladaptierten Netzhäuten hergestellten Extraktes.

Auf Grund unserer Kenntnis über die Farbe der Versuchsbeleuchtung und der von den ein-

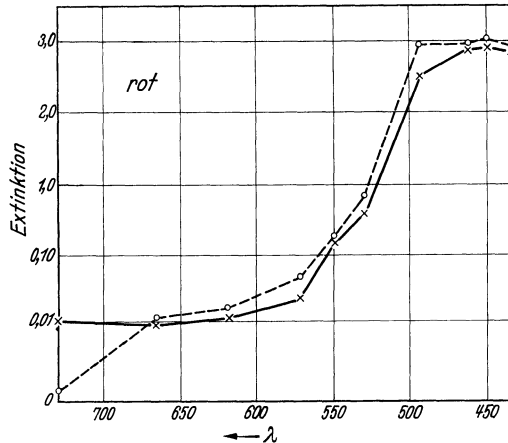


Fig. 3 a.

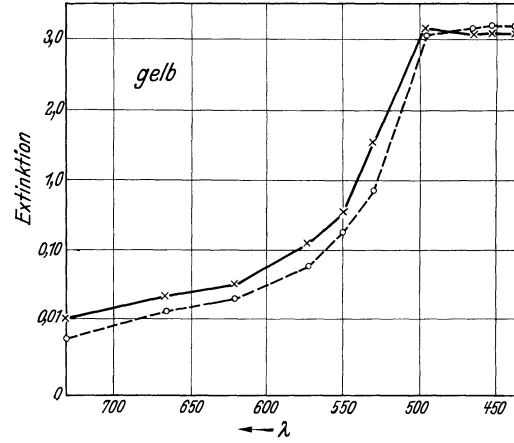


Fig. 3 b.

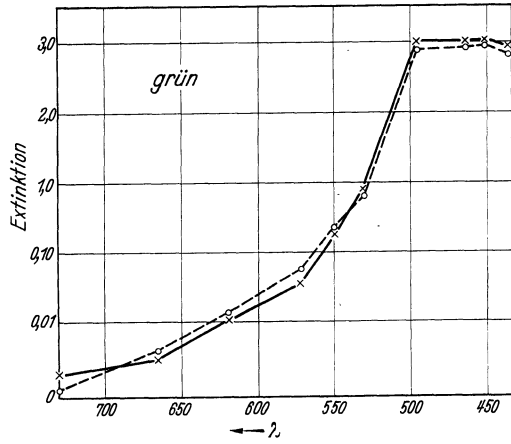


Fig. 3 c.

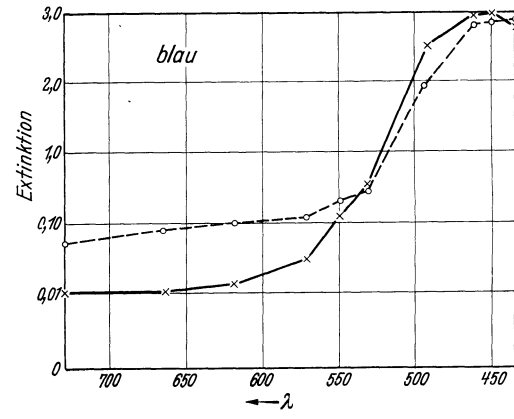


Fig. 3 d.

Fig. 3a—d. Absorptionskurven von Äther- (Ölkugel-) Lösungen aus verschiedenfarbig bestrahlten Hühnernetzhäuten. Die ausgezogenen Kurven stellen die Absorption von Ölkugeln dar, die aus ständig in der Versuchsbeleuchtung gehaltenen Netzhäuten stammen, die unterbrochenen aus solchen, deren Netzhäute nach Ablauf einer bestimmten Bestrahlungszeit mit dem farbigen Licht nicht weiterhin bestrahlt bzw. auch in der Farbbeleuchtung extrahiert, sondern im Anschluß daran dunkeladaptiert und auch im Dunklen der Extraktion unterworfen wurden. Die Art der jeweiligen Farbbeleuchtung ist auf den Kurven vermerkt. Die Intensität der Versuchsbeleuchtung wechselte von einer Farbe zur anderen, reichte jedoch in jedem Falle besonders in Anbetracht der langen Bestrahlungszeit, zur völligen Zerstörung der in Frage kommenden Farbsubstanz aus. (Nach: v. STUDNITZ 1940g.)

farbigen Licht zu bestrahlen, die andere dagegen dunkel zu stellen, so ergeben sich bei den aus diesen beiden gleichgewichtigen Netzhautmengen hergestellten ätherischen Ölkugellösungen charakteristische Absorptionsdifferenzen innerhalb des Gesamtspektrums (s. Fig. 3a—d). Die Kurven, die die spektrale Absorption der aus weiterhin hell- bzw. im

zelen Ölkugeln vorwiegend absorbierten Bereiche ergibt sich, daß eine tiefere Lage der Hellkurve vorwiegend mit einem Weiterbleichen bzw. einer Regeneration der Ölkugeln, eine solche der Dunkelkurve dagegen zur Hauptsache mit einem Schwund von Ölkugelsubstanz im Verlaufe der Dunkeladaptation gedeutet werden muß.

Maximale Absorptionsdifferenzen zwischen Hell- und Dunkelkurve sind auf jeweils nur enge Spektralbereiche beschränkt. Ihre Lage richtet sich, ebenso wie die der Schnittpunkte der Kurven, nach der Art der jeweils verwendeten Versuchsbeleuchtung (rot bzw. gelb, grün oder blau), und zwar ergeben sich innerhalb der Reihe der 4 bezügl. ihrer Farbe verschiedenen Voradaptationen 3 nach der Lage des Schnittpunktes und der maximalen Absorptionsdifferenz unterschiedene Fälle, deren jeder für die Wellenlänge des Farblichts charakteristisch ist (Fig. 3 a—d). Daraus war zu schließen, daß die nach der Dunkeladaptation partiell verminderte Absorption der gesamten Ölkugellösung auf jeweils nur eine und gerade für das betreffende Farblicht zuständige Ölkugelsorte zu beziehen ist! Da sich nun weiterhin die nach den einzelnen Farbbelichtungen bemerkbaren maximalen Absorptionsdifferenzen mit fallender Wellenlänge der Versuchsbeleuchtung nach dem kurzwelligeren Ende zu verschieben und auch die Absorptionsmaxima der roten, ockergelben und grünlichgelben Ölkugeln eine gleichsinnige Verschiebung durchmachen, wären die roten Ölkugeln als Vorstufe der Rot-, die ockergelben als die der Gelb- und die grünen als die der Blausubstanz zu betrachten!

Von ganz besonderem Interesse ist es, daß sich nach Grünbelichtung bezügl. Schnittpunkt und maximaler Absorptionsdifferenz kein grundsätzlicher Unterschied gegenüber den nach Blaubelichtung erhaltenen Verhältnissen ergibt. Dies bestätigt vollkommen die spektrale Untersuchung der Zapfensubstanz, nach der der Grünempfindung keine eigene Farbsubstanz zugrunde liegt; diese wird vielmehr im kurzwelligen Bereich durch die Blau-, im langwelligen durch die Gelbsubstanz bewirkt. Hierfür spricht auch die Lage der beiden Grünkurven zueinander (Fig. 3 c), die eine Mittelstellung zwischen den nach Blau- (Fig. 3 d) und Gelbbelichtung (Fig. 3 b) resultierenden Lageverhältnissen einnimmt.

Der Nachweis, daß es sich bei den Zapfenölkugeln um eine bestimmte Form der Zapfensubstanz handelt, ist nicht nur bezüglich der Abrundung unseres Wissens über diesen Sehstoff, sondern ohne Zweifel auch zu dessen weiterer Erforschung von grundlegender Wichtigkeit. Denn wenn auch aus den Versuchen hervorgeht, daß die Lichtempfindlichkeit dieser Gebilde größer ist, als man bisher auf Grund mehr subjektiver Beobachtungen annahm, so ist sie dennoch unzweifelhaft sehr viel geringer als die des Sehstoffes selbst. Zudem wird ihre Farbigkeit und in der Retina enthaltene größere Substanzmenge Untersuchungen über ihre eigene chemische Konstitution und damit auch die der Farbsubstanzen nur erleichtern.

Das dafür bisher vorliegende Material ist noch keineswegs befriedigend. Die Substanz der roten Ölkugeln halten WALD und ZUSSMANN (1937) für Astazin, und beim Vergleich der Eigenschaften dieses Carotinoids mit den bereits bekannten des „Rhodophans“ kann man sich den dabei ergeben-

den Übereinstimmungen kaum verschließen (siehe Tabelle 2). Das „Xantophan“ (ockergelbe Ölkugeln) halten WALD und ZUSSMANN für ein goldfarbenedes oder orangenes Xantophyll, das „Chlorophan“ (grünlichgelbe Ölkugeln) für einen grünlichgelben Kohlenwasserstoff (Weiteres bei: v. STUDNITZ 1940a). Die größte Schwierigkeit derartiger Deutungen scheint mir vorläufig darin zu bestehen, daß wir vorläufig weder vom Astazin noch vom Xantophyll so hochlichtempfindliche Formen kennen, wie sie die Sehstoffe darstellen und wie sie etwa vom Crocetin bekannt sind. — Daß KRAUSE zumindest die gelben Ölkugeln für Lipoide hält, fand bereits früher Erwähnung.

Tabelle 2. Vergleich einiger Eigenschaften des Carotinoids Astazin und des die roten Ölkugeln bildenden „Rhodophan“. Daten bezüglich des letzteren nach WALD und ZUSSMANN (1937).

	Rhodophan	Astazin
In Pyridin		
Form der Kristalle	Nadeln	Nadeln
Farbe der Kristalle	rot	rotviolett
Opt. Schwerpunkt	499,5 m μ	500 m μ
Löslichkeit d. Krist. in:	Pyridin gut Benzin schwer	Pyridin gut Benzin schwer

Die Deutung, die den Ölkugeln auf Grund der im vorstehenden umrissenen Versuche gegeben werden konnte, liegt auf einer grundsätzlich anderen Ebene als die diesen Gebilden bisher zugeschriebene Funktion. Erwägungen mehr spekulativer Natur faßten sie als intraokulare Lichtfilter auf, wobei nur der eigentliche Sinn dieser selektiven Abfilterung hauptsächlich der kurzen Wellen niemals eindeutig dargetan werden konnte (Zusammenfassendes: v. STUDNITZ 1940a, S. 173 ff.). Die Filterwirkung, die sich bei Tieren mit den die 3 Ölkugelsorten enthaltenden Netzhäuten in der bekannten Verkürzung des Spektrums am kurzwelligen Ende äußert, ist an sich keineswegs zu bestreiten, doch ist sie nicht Selbstzweck, sondern eine mit der Einlagerung gefärbter Vorstufen vor dem eigentlichen Rezeptionsort (= Zapfenaußenglied) zwangsläufig auftretende Sekundärerscheinung. Und zwar beruht sie, woraus ausdrücklich aufmerksam zu machen ist, dort, wo 3 Ölkugelsorten vorhanden sind, nicht auf der Tätigkeit der roten und ockergelben, sondern vorwiegend auf der der grünlichgelben Ölkugeln! Erstere lassen ja sinnvollerweise gerade die Spektralbereiche maximal durch, die von ihrer hinter ihnen im Zapfenaußenglied gelegenen Farbsubstanz vorwiegend absorbiert werden; letztere sind dagegen die Vorstufe einer Farbsubstanz, die für das Sehen der Farbbereiche kurzwelliges Grün und Blau gleicherweise zuständig ist und deren ihr vorgeschaltete Vorstufe minimale Absorption nur für einen durch ihre Farbsubstanz gerade relativ gering absorbierten Bereich aufweist. Das ist das langwellige Grün, während Blaugrün, Blau und Violett wachsend stärker absorbiert werden und

damit gegenüber allen anderen Spektralbereichen in der Empfindung helligkeitsmäßig relativ stark zurücktreten.

Eine einheitliche Farbe aller Ölkugeln, wie wir sie in den Netzhäuten besonders der Lacertilien finden, kann sehr wohl ebenfalls das Vorhandensein dreier chemisch voneinander verschiedener Farbstoffe (und Vorstufen) zulassen. Eine derartige Einrichtung wird jedoch gegenüber der vorstehend besprochenen eine volle Ausnutzung nur eines relativ schmalen Wellenlängenbereiches zulassen, desjenigen nämlich, der von einer Farbstoffsubstanz maximal absorbiert und gleichzeitig von dieser einheitlichen Vorstufenfarbe maximal durchgelassen wird. Die intensitätsmäßige Schwächung aller anderen Spektralbereiche wirkt sich praktisch wieder besonders auf die kurzwelligen Bereiche aus, da dort, wo innerhalb einer Netzhaut Ölkugeln nur einer Farbe gefunden werden, diese stets von einer mehr oder weniger gelben Farbe sind. Ein vollkommeneres Farbsehen vermitteln kleine Ölkugeln, die nicht den gesamten Strahlenweg zum Außenglied blockieren (Fische, zum Teil Amphibien) oder Einlagerungen der Vorstufen der Farbstoffe in farbloser Form (ohne Zweifel alle Wirbeltiere, deren Zapfen die Ölkugeln vermissen lassen).

Bei der Entwicklung dieser Folgerungen ist eine Voraussetzung gemacht worden, die nicht nur für die augenblickliche Darlegung, sondern vor allem auch zum Verständnis der retinalen Grundlagen der Farbumterscheidung von grundsätzlicher Wichtigkeit ist bzw. sein wird: daß innerhalb eines Zapfens nur jeweils eine Farbstoffsubstanz gelagert ist, daß sich die 3 Farbstoffe auf verschiedene Elemente verteilen! Es geht dies ohne weiteres aus der Tatsache hervor, daß ein Zapfen jeweils nur gleichgefärbte Ölkugeln enthält und wir eine Ölkugelsorte bestimmter Farbe als die Vorstufe nur einer Farbstoffsubstanz in Anspruch nehmen konnten!

5. Phosphorsäure als Zerfallsprodukt der Zapfensubstanz.

Die Kenntnis von einer Ansäuerung der retinalen Gewebe bei Belichtung ist schon recht alt und geht auf CHODIN (1877) zurück: LANGE und SIMON (1922) wiesen nach, daß sie auf einer Abspaltung freier Phosphorsäure beruht.

Ich konnte den Nachweis erbringen (1932c, 1933c, 1937a), daß diese Ansäuerung an das Auftreten von Zapfen in der Netzhaut gebunden ist; reine Stäbchennetzhäute reagieren im dunkel- wie helladaptierten Zustande entweder immer sauer (*Scyllium*, auch *Sepia*) oder immer alkalisch (Meerschweinchen). Der hieraus gezogene Schluß, daß es sich bei der Phosphorsäure um ein Zerfallsprodukt der Zapfensubstanz handelt, konnte durch eine Reihe von Versuchen sichergestellt werden.

Ausmaß und Geschwindigkeit der Säurebildung steigen proportional mit der Intensität (1937a). Bei Belichtung mit intensitätsgleichen Lichtern

verschiedener Wellenlänge ergibt sich für Fisch (1937a) wie Frosch (NOVER 1939) die stärkste Säurebildung in der Zeiteinheit bei Gelbbelichtung, ein Abfall zum Rot und Blau, welcher letzterer jedoch zumindest beim Frosch im Blaugrün wieder auf einen Anstieg deutende Unregelmäßigkeiten aufweist.

Eine verstärkte Ansäuerung des sie umgebenden Mediums zeigt auch die dunkeladaptierte, isolierte und dann weiterhin dunkel gehaltene Frosch (WIGGER 1937) und Fischretina (v. STUDNITZ 1937a). Dies wurde mit einer verminderten Regeneration, damit einem überwiegenden Zerfall des Sehstoffs in der isolierten Netzhaut gegenüber der intakten, in der sich Zerfall und Synthese nach vollendeter Adaptation die Waage halten (v. STUDNITZ 1934c, 1940a, e), gedeutet. Der Zerfall ist als photochemischer Prozeß von der Temperatur unabhängig, während sich die Syntheseprozesse mit deren Anstieg beschleunigen. In der Tat konnte gezeigt werden (1937a), daß erhöhte Temperatur die Säurebildung der isolierten Dunkelretina herabsetzt, niedrige dagegen sie erhöht.

Die Wirkungen aller dieser Außenfaktoren (Intensität und Wellenlänge des Reizlichts, Temperatur) finden in genau der gleichen Weise ihren Ausdruck auch in dem Ausmaß der Lichtwanderung der retinalen Elemente (HONJO 1935, WIGGER 1937, NOVER 1939), was neben gewissen Injektionsversuchen (v. STUDNITZ 1932b, WIGGER 1937) als hervorragender Anhaltspunkt dafür gewertet wurde, daß diese Bewegungen in direkter Abhängigkeit von dem retinalen p_H und damit dem Zerfallsgrad der Zapfensubstanz stehen.

In einer Besprechung meines Buches „Physiologie des Sehens“ vermutet LIESEGANG (1940) einen Zusammenhang zwischen der retinalen Säurebildung und den Phosphaten der Ölkugeln. Diese Anregung gewinnt nach dem inzwischen offenbar gewordenen Zusammenhang zwischen Ölkugeln und Zapfensubstanz besonderes Interesse.

6. Die Löslichkeit der Zapfensubstanz.

Eine Löslichkeit der Zapfensubstanz in den Sehpurpur lösenden Mitteln erschien von vornherein ganz unwahrscheinlich. Bei jeder photometrischen Untersuchung von Sehpurpurlösungen hätte dann die Zapfensubstanz zwangsläufig stets mituntersucht sein müssen, und es wäre völlig unverständlich, wieso das nicht, z. B. in der Gestalt des Absorptionsspektrums und der Bleichungskinetik (Abschnitt 7), hätte zum Ausdruck kommen sollen.

Nichtsdestoweniger habe ich stäbchenfreie Schildkrötenetzhäute (*Emys* und *Testudo*) mit den als Sehpurpurlösungsmitteln bekannten wäßrigen Lösungen von Na-Cholat, Na-Salicylat, Na-Oleat, Saponin und Digitonin in genau derselben Weise behandelt, als solle Sehpurpur extrahiert werden (1932c, 1937b); nicht in einem einzigen Falle ergaben sich Anhaltspunkte für das

Auftreten einer lichtempfindlichen Substanz in den Lösungen. Wohl aber zeigte sich in einzelnen Fällen (*Emys*, ferner in zu anderen Zwecken unternommenen Versuchen am Huhn) ein anderer, in der Literatur seltenerweise niemals erwähnter Effekt von grundlegender Wichtigkeit: Die zytolysierenden Agenzien hatten die Ölkugeln aus dem Gewebeverband befreit, und diese waren ihres geringen spezifischen Gewichts wegen zum Teil in kolloidaler Form in die wäßrigen Lösungen der obengenannten Drogen übergegangen.

Im unmittelbaren Anschluß an diese Versuche konnte der Nachweis dafür erbracht werden, daß die Zapfensubstanz ätherlöslich ist, wenn man den Kunstgriff gebraucht, die ihr Gefängnis bildende neurokeratinöse Hülle des Außengliedes vorher mit wäßrigen Lösungen zellauflösender Drogen (s. oben) zu zersprengen. Diese Ätherlöslichkeit der Zapfensubstanz ist inzwischen durch Untersuchungen der verschiedensten Art und Methode (Absorptionsspektrum 1937b, 1940f; Bleichungskinetik 1940d; Regeneration 1940d; s. ferner auch 1940c) ganz außer Frage gestellt worden. Indirekt wird sie ferner durch den ebenfalls inzwischen aufgedeckten Zusammenhang zwischen unserem Sehstoff und den — auch ätherlöslichen — Ölkugeln bestätigt.

Wenn es HOSOYA, OKITA und AKUNE (1938) trotzdem nicht gelang, in Ätherextrakten aus ihren Schildkrötennetzhäuten einen Sehstoff nachzuweisen, so liegt das vermutlich daran, daß sie auf die vorherige Behandlung der Netzhäute mit Digitonin o. ä. verzichteten. Demgegenüber wollen die japanischen Forscher die Zapfensubstanz in wäßrigen Na-Cholatlösungen gelöst haben. Diese Befunde habe ich zunächst auf eine Täuschung durch in der Lösung befindlichen Sehpurpur zurückgeführt, für die in der Tat sehr vieles spricht (1940a). Auf Grund unserer oben mitgeteilten Erfahrungen über das Vorhandensein von Ölkugeln in den wäßrigen Cholat- oder Digitoninlösungen und des in der Folgezeit ermittelten Zusammenhanges zwischen den Ölkugeln und der Zapfensubstanz halte ich es jedoch neuerdings nicht für ausgeschlossen, daß in besonders günstig gelagerten Fällen nicht nur die Ölkugeln selbst, sondern auch ihre lichtlabile Form in Gestalt der Farbstoffsubstanzen in irgendeiner Weise in der Wasserlösung der zytolysierenden Drogen enthalten sein könnte. Daß mir selbst in meinen diesbezüglichen Versuchen Entsprechendes nicht begegnete, mag an der Verschiedenheit der Objekte liegen; so gingen z. B. bei der in dieser Richtung von mir hauptsächlich untersuchten *Testudo* viel weniger Ölkugeln in die Digitoninlösung über, als beim Huhn oder bei *Emys* in die Cholatlösung.

In entsprechender Weise wären wohl auch WALDS (1937), allerdings nur in Gestalt einer vorläufigen Mitteilung erschienene Befunde am „Iodopsin“ zu verstehen, das er ebenfalls in wäßrigen Digitoninlösungen gelöst haben will, wobei dann nur unklar bleibt, wieso er nur ein Maximum des Absorptionsabfalls — bei 575 m μ — mit einer Methode findet, die der von

HOSOYA, OKITA und AKUNE sehr ähnelt. — Das Auftreten der, mengenmäßig in der gleichen Weise von den jeweiligen Lichtverhältnissen abhängigen, Ölkugeln in wäßrigen Digitoninlösungen mahnt übrigens weiterhin zur Vorsicht betreffs der Deutung seines als Sehpurpurzerfallsprodukt angesprochenen „Retinen“, da sich Ölkugeln wie „Retinen“ gleichermaßen mittels Benzin extrahieren lassen und beide nach WALDS eigenen Befunden die Antimontrichloridreaktion von CARR-PRICE zeigen!

7. Die Lichtbleiche der Zapfensubstanz.

Im Verlaufe der ersten Untersuchungen über die Zapfensubstanz wurde der Abfall der Absorption bei Belichtung zuvor dunkeladaptierter Netzhäute messend verfolgt. Dabei ergab sich an den gemischten Netzhäuten des Dorsches und des Aals (1932b) keine kontinuierlich verlaufende Ab-

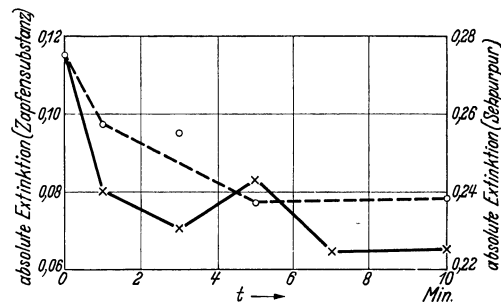


Fig. 4. Die Absorptionsveränderung für rote Bereiche bei gleichartiger Weißbestrahlung einer Sehpurpur- (unterbrochene Kurve) und Zapfensubstanz- (vorwiegend: Rötsubstanz-) Lösung (ausgezogene Kurve) aus den gleichen Froschnetzhäuten. (Nach: v. STUDNITZ 1940d.)

sorptionsabnahme, vielmehr wurde im Verlaufe der Belichtung eine temporäre Absorptionszunahme beobachtet, die alsbald jedoch wieder in eine nunmehr endgültige Absorptionsabnahme überging.

Später erwies sich, daß auch der Anstieg der Phosphorsäureabscheidung in der Zeiteinheit nicht kontinuierlich verläuft (1937a); entsprechend dem zeitweise verminderten Absorptionsabfall ergibt sich ein temporäres Absinken der Säurebildung. Und dieses wieder findet seinen Ausdruck in der durch den retinalen H-Ionenspiegel bestimmten Bewegung der Zapfen und des Pigments (v. STUDNITZ 1932b, WIGGER 1937): Nach einer gewissen Zeit der Vorwanderung strecken sich die Zapfen wieder, das Pigment weicht zurück, um dann nach Ablauf weiterer 5 Minuten der endgültigen Lichtstellung nunmehr pausenlos zuzustreben.

Die Tatsache, daß die temporäre Absorptionszunahme ihren Ausdruck auch in dem Maß der Säurebildung und Lichtwanderung der retinalen Elemente findet, machte es wahrscheinlich, daß ihre Ursache in einer Eigentümlichkeit der Zapfensubstanz und nicht des — kontinuierlich ausbleichenden — Sehpurpurs gelegen ist. Der Beweis hierfür konnte durch eine photometrische Verfolgung der Lichtbleiche der gelösten Zapfensubstanz erbracht werden (1940d; s. Fig. 4).

Diese zeitweilige Absorptionszunahme bzw. verminderte Säurebildung wurde ursprünglich auf eine temporäre Regeneration des Sehstoffs während der Bleichung bezogen. An dieser Deutung ist auch heute noch festzuhalten, denn wenn die Phosphorsäure als Zerfallsprodukt der Zapfensubstanz selbst aufgefaßt wird, dann spricht die temporär verminderte, im Anschluß daran aber wieder erhöhte Säurebildung für eine inzwischen erfolgte Ergänzung des Säurespenderbestandes. Ergänzend ist heute hinzuzufügen, daß der diskontinuierliche Verlauf der Zapfensubstanzbleiche wohl nicht einfach einer Konzentrationsänderung dieses Sehstoffs selbst Ausdruck verleiht, sondern daß er darüber hinaus das Auftreten mehrerer und verschieden stark absorbierender Bleichungsstufen verrät. Schon die Inanspruchnahme der Zapfenölkugeln als ein Zerfallsprodukt der Zapfensubstanz wirft die Frage auf, wieso dann bei Belichtung unseres Sehstoffs eine Abnahme und nicht eine Zunahme der Absorption registriert wird, da doch die Ölkugeln zumindest gemischtes Licht stärker absorbieren als die Sehstoffe selbst. Daraus mußte geschlossen werden, daß die Zapfensubstanz bei Belichtung nicht unmittelbar in Ölkugelsubstanz zerfällt, sondern zunächst in Produkte übergeht, die ihrerseits weniger Licht verschlucken als der Sehstoff selbst und die sich erst später in Ölkugeln umbilden; aus diesen könnte dann die Zapfensubstanz unmittelbar aufgebaut werden, und diese 3 Schritte könnten durch die anfängliche Absorptionsabnahme und die auf sie folgende Zunahme sehr wohl dargestellt sein.

Durch eine derartige Deutung würde auch die Abhängigkeit des Eintritts der temporären Absorptionszunahme von der Höhe der Beleuchtungsintensität sehr wohl verständlich: unsere Erscheinung wird um so später beobachtet, je höher die Intensität des Reizlichts gehalten wird (1932b, 1937a, 1940d). Der durch stärkere Reizlichter bedingte erhöhte Initialzerfall könnte den Eintritt des zweiten Prozesses, Bildung von Ölkugelsubstanz aus den primären Zerfallsprodukten, zeitlich verzögern. Von diesem Sekundärprozeß wäre nach derartigen Belichtungen dann wieder eine größere Vehemenz zu erwarten, die sich aus den Kurven in der Tat ablesen läßt (1940d).

Ebenfalls bereits in jenen ersten Untersuchungen wurde eine sehr viel stärkere Zerfallsgeschwindigkeit (= Absorptionsabnahme bzw. Lichtempfindlichkeit) der Zapfensubstanz gegenüber allen daraufhin untersuchten Sehpurpurarten festgestellt. Auch dieser an der isolierten Netzhaut erhobene Befund konnte späterhin (1940d) durch Vergleiche der Bleichgeschwindigkeiten aus den gleichen Netzhäuten hergestellter Zapfensubstanz- und Sehpurpurlösungen sichergestellt werden und wird auch von HOSOYA, OKITA und AKUNE bestätigt. Er erklärt die sehr viel raschere und feinere Unterscheidbarkeit des Zapfenapparates (1934a, c, 1939, 1940a, e).

Die inzwischen erworbene Kenntnis von dem komplexen Charakter der Zapfensubstanz macht jedoch eine vorsichtiger Beurteilung dieses Problems erforderlich; gemischtes Licht wird in Netzhaut wie Lösung naturgemäß alle 3 Farbsubstanzen gleichzeitig zersetzen und damit bei Vergleichen mit dem Sehpurpur der Konzentrationsabnahme eines einzigen Sehstoffes die einer Summe von dreien gegenüberstellen. Das aber würde wieder die innerrezeptorischen Vorgänge nicht wiedergeben, da sich, wie wir sahen, innerhalb einer einzelnen Seheinheit (= Zapfen) ja stets nur eine einzige Farbsubstanz befindet. Erforderlich wäre danach der Vergleich der Bleichgeschwindigkeit des Sehpurpurs mit der einer einzelnen Farbsubstanz; zumindest theoretisch wird er durch geeignete Zersetzung der beiden nicht mit zu untersuchenden Farbsubstanzen während Präparation oder Versuch (s. Abschnitt 3) oder durch Verwendung solcher Bleichlichter innerhalb des Versuchs ermöglicht, die eben nur die eine zum Vergleich gewünschte Farbsubstanz zersetzen.

Derartige Versuche liegen erst andeutungsweise vor (1940d). Immerhin zeigen sie, daß Rotlicht einer Wellenlänge und Intensität, die den Sehpurpur praktisch unzersetzt lassen, die Zapfen-(Rot-!)substanz innerhalb 4—5 Minuten auf 12—15% ihrer Anfangsabsorption bleicht. Aber auch vom Sehpurpur nahezu maximal absorbiertes grünes Licht bewirkt noch eine höhere Zerfallsgeschwindigkeit der Zapfensubstanz: letztere war nach 1 Minute auf 72,7, die aus den gleichen Netzhäuten hergestellte Sehpurpurlösung innerhalb der gleichen Zeit erst auf 75,6% ihrer anfänglichen Absorption ausgeblieben. Der chromatische Schwerpunkt des zu dieser Bestrahlung verwendeten Grünfilters war bei 530 m μ gelegen, das Reizlicht wird also hauptsächlich die Gelbsubstanz zersetzt haben, doch ist bei der Öffnungsbreite des Filters eine Beeinflussung auch der anderen Farbsubstanzen nicht ganz auszuschließen, eine Fehlerquelle, deren Umgehung bei der Verwendung gefilterter Lichter zu derartigen Untersuchungen auch in Zukunft schwer zu umgehen sein wird.

8. Die Regeneration der Zapfensubstanz.

Eine Regeneration der Zapfensubstanz in isoliert (1932c) oder im Augenverband (1940c) belichteten und dann dunkelgestellten Netzhäuten oder in Lösung (1940d) ist ebenso unzweifelhaft, wie die sehr viel größere Regenerationsgeschwindigkeit im Vergleich zum Sehpurpur, die der erheblicheren Zerfallsgeschwindigkeit entspricht. Das hier im Hinblick auf die den Ölkugeln zugeschriebene Rolle hauptsächlich interessierende Problem ist, ob die Zapfensubstanz aus ihren während der Belichtung gebildeten Zersetzungsprodukten heraus regeneriert werden kann, oder ob sie hierzu, wie der Sehpurpur, der Hilfe anderer Epithelien bzw. Stoffe bedarf.

In den ersten Versuchen über eine Regeneration der Zapfensubstanz ließ sich an Netzhäuten, die

isoliert belichtet und dann isoliert dunkelgestellt worden waren, in 2 von 4 Fällen kein Absorptionsabfall bei Wiederbelichtung mehr nachweisen. Daraus wurde, allerdings mehr in Analogie zu den beim Sehpurpur gefundenen Verhältnissen, eine Beteiligung des Pigmentepithels an dem Aufbau auch der Zapfensubstanz zumindest zur Diskussion gestellt. Alle weiteren Versuche sprechen jedoch gegen eine derartige Einflußnahme des Epithels. Neben der Regeneration in Netzhäuten, die im Bulbus belichtet, dann jedoch isoliert dunkel gestellt worden waren (Bedingungen also, unter denen keine Sehpurpurregeneration mehr stattfand; Abschnitt 4), wiegt hier besonders schwer der Befund, daß eine Regeneration in Gestalt eines Absorptionsanstiegs in unverminderter Stärke auch in mehrmals belichteten und im Anschluß an jede Belichtung wieder verdunkelten Lösungen beobachtet wird (1940d), daß also eine in Sehpurpurlösungen bemerkbare Erschöpfung der Regenerationskraft — vermutlich durch eine solche des vom Pigmentepithel gelieferten und zur Sehpurpursynthese notwendigen Proteins — bei Zapfensubstanzlösungen nicht in Erscheinung tritt. Aus allen diesen Versuchen scheint tatsächlich hervorzugehen, daß sich das gesamte Wechselspiel zwischen Lichtzerfall (zu Ölkugeln) und Dunkel-synthese (aus diesen) innerhalb des Zapfens selbst abspielt, ohne daß andere Stoffe Einfluß auf diese Vorgänge nehmen.

Bemerkenswert ist, daß die Zapfensubstanz auch in Lösung innerhalb einer Zeitspanne zur vollen Stärke regeneriert, die etwa der Dunkeladaptation der menschlichen Fovea bzw. des Zapfenapparates des Frosches entspricht (10 bis 15 Minuten; vgl. RIGGS 1937).

9. Zur Chemie der Zapfensubstanz.

Über die chemische Natur der Farbstoffe ist nicht mehr bekannt als das, was aus dem Vorstehenden hervorgeht. Insbesondere die Angaben WALDS über die Carotinnatur der Ölkugeln legen es nahe, Entsprechendes auch für die Zapfensubstanz zu vermuten. Die Antimontrichloridreaktion von CARR-PRICE, an dunkelgehaltenen oder belichteten Chloroformextrakten aus dunkeladaptierten (ölkugel- und sehpurpurfreien!) Netzhäuten der Ringelnatter ausgeführt, zeitigte jedoch ein eindeutig negatives Ergebnis.

10. Schlußwort.

Nachweis und weitere Untersuchung der Zapfensubstanz wurden erst ermöglicht durch eine grundsätzliche und völlige Abkehr von den bei der Sehpurpurforschung vorwiegend angewandten kolorimetrischen Methoden zugunsten rein photometrischer. — Nach Bekanntwerden des zwischen Zapfensubstanz und Phosphorsäure bestehenden Zusammenhangs konnte die Potentiometrie zur Untersuchung gewisser Probleme zusätzlich herangezogen werden. Und die Erkenntnis endlich, daß auch die Ölkugeln nichts anderes darstellen als

eine bestimmte Form der Farbstoffe, räumt nun auch der Kolorimetrie wieder einen Platz innerhalb der Erforschung unserer Sehstoffe ein.

Dieser methodischen Richtung scheint mir nach der gewissen Ausschöpfung der photo- und potentiometrisch zu lösenden Probleme für die Zukunft vielleicht sogar die Hauptrolle bei der Aufdeckung weiterer Eigenschaften der Sehstoffe zuzufallen. Trotz der — im Gegensatz zu botanischen Objekten — sehr geringen Menge der Netzhautcarotinoide wird es dennoch vielleicht möglich sein, die chemische Natur der Ölkugeln und damit der Farbstoffe auf chromatographischem Wege zu erschließen.

Die vergleichende Physiologie steht nun vor der großen Aufgabe, Verbreitung und Ausbildung der Farbstoffe, die Beeinflussung ihrer Wirksamkeit durch die Farbe etwa vorgeschalteter Vorstufen und den Einfluß beider Faktoren auf die Welt der jeweiligen farbigen Empfindungen aufzudecken.

Literatur.

- A. ANGELUCCI, Arch. Anat. Physiol. **1878**. — F. BOLL, Arch. Anat. Physiol. **1877**. — St. CAPRANICA, Arch. Anat. Physiol. **1877**. — A. M. CHASE, J. gen. Physiol. **19** (1936). — A. CHODIN, Sitzsber. Wien. Akad. **1877**. — W. J. CROZIER u. E. WOLF, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **24** (1938); J. gen. Physiol. **23** (1940). — H. v. EULER u. E. ADLER, Ark. Kemi, Mineral., Geol. **11** (1934). — S. HECHT, Physiol. Rev. **17** (1937) — J. appl. physics **9** (1938). — J. HOSOYA, Pflügers Arch. **233** (1933). — J. HOSOYA u. J. BAYERL, Pflügers Arch. **231** (1933). — J. HOSOYA u. T. OKITA u. T. AKUNE Proc. jap. Physiol. Soc. (Jap. J. Med. Sc., III, Biophysics **5**, 4 (1938). — J. HOSOYA Tohoku J. ex. Med. **34** (1938). — J. HOSOYA u. J. SAITO, Tohoku J. exp. Med. **32** (1938). — J. HOSOYA u. T. SASAKI, Tohoku J. exp. Med. **32** (1938). — J. HONJO, Z. vergl. Physiol. **22** (1935). — A. C. KRAUSE, Arch. Ophthalm. **18** (1937). — A. C. KRAUSE u. A. E. SIDWELL, Amer. J. Physiol. **121** (1938). — W. KÜHN, Herrmanns Handbuch Physiol. **3**, 1 (1879). — LANGE u. SIMON, Hoppe-Seylers Z. **120** (1922). — P. LASAREFF, Pflügers Arch. **154** (1913) — Naturwiss. **13** (1925). — E. LIESEGANG, Kolloid-Z. **1940**. — R. J. LYTHGOE, J. Physiol. **89** (1937). — R. J. LYTHGOE u. C. F. GOODEVE, Trans. ophthalm. Soc. U. Kingd. **57** (1937). — R. J. LYTHGOE u. J. P. OULLIAM, J. Physiol. **93** u. **94** (1938). — G. E. MÜLLER, Z. Psychol. **10** (1896). — H. L. NOVER, Pflügers Arch. **242** (1939). — A. PÜTTER, Pflügers Arch. **171** (1918). — L. A. RIGGS, J. comp. cell. Physiol. **9** (1937). — G. v. STUDNITZ, Pflügers Arch. **229** (1932) — Z. vergl. Physiol. **18** (1932) — Pflügers Arch. **230** (1932) — Z. vergl. Physiol. **19** (1933) — Zool. Jb. Physiol. **54** (1934) — Naturwiss. **1934** — Zool. Jb., Physiol. **54** (1935) — Pflügers Arch. **238** u. **239** (1937) — Umschau **1939** — Physiologie des Sehens — Retinale Primärprozesse. Leipzig 1940 — Naturwiss. **28** (1940) — Pflügers Arch. **243**, 181 u. 651 (1940) — Nova Acta Leop., N. F. **9** (1940) — Z. vergl. Physiol. **28**, 132 u. 169 (1940). — G. v. STUDNITZ u. H. WIGGER, Verh. dtsh. Zool. Ges. Bremen 1937. — G. WALD, Nature **132** (1933); **134** (1934) — J. gen. Physiol. **19** (1935) — Cold Spring Harb Symp. Quant. Biol. **3** (1935) — Nature **139** (1935); **140** (1937) — J. gen. Physiol. **19** (1936); **21** (1938). — G. WALD u. H. ZUSSMANN, Nature **140** (1937). — H. WIGGER, Pflügers Arch. **239** (1937).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über den Druck der Elektronenstrahlen.

(Vorläufige Mitteilung.)

Seit der Entdeckung der Wellennatur des Elektrons hat das Interesse an seinen korpuskularen Eigenschaften natürlicherweise und schon aus dem Grunde nachgelassen, weil es schien, daß in dieser Hinsicht schon nichts mehr zu erforschen sei. Dies ist aber nicht ganz der Fall. Wir wissen zwar seit geraumer Zeit, daß sich die Elektronenstrahlen in einem elektrischen oder magnetischen Felde so verhalten, als wäre die Elektrizität mit träger Masse verbunden, so daß bei Überführung einer Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb zugleich eine Masse von $5,66 \times 10^{-9}$ g übertragen wird, aber der unmittelbarste Beweis der Trägheit der Elektronen — daß sie nämlich beim Aufprall auf ein Hindernis einen mechanischen Druck auf dasselbe ausüben — wurde bisher noch nicht erbracht. Denn in den klassischen Versuchen von CROOKES wurde sein Mühlrad — wie heute allgemein bekannt — nicht durch den Druck der Kathodenstrahlen, sondern durch die Radiometerkräfte in Drehung gesetzt, und aus demselben Grunde scheiterte bisher jeder Versuch, den Druck der Kathodenstrahlen selbst qualitativ nachzuweisen¹⁾. Dabei ist diese Wirkung der Elektronenstrahlen nicht nur der unmittelbarste Beweis der Trägheit seiner Träger — wie schon oben bemerkt —, sondern sie bietet die einzige Möglichkeit, die *longitudinale* Masse des Elektrons zu bestimmen. Stehen nun einer derartigen Präzisionsmessung auch beim heutigen Stand der Vakuum- und Röhrentechnik noch beträchtliche Schwierigkeiten im Wege, so ist dennoch der Nachweis und eine angenähert richtige Messung der mechanischen Wirkung des Elektrons mittels einer sehr einfachen Anordnung — sogar in einem Vorlesungsversuch — durchzuführen. Zur Ausgestaltung der zu benutzenden Anordnung ist folgendes zu beachten: Ist J die Stromstärke der Elektronenstrahlen, U die beschleunigende Spannung, dann ist

$$P = (2m/e)^{1/2} J \cdot U^{1/2} = 3,37 \cdot J_{\text{mA}} \cdot U_{\text{V}}^{1/2} \cdot 10^{-4} \text{ dyn}$$

der mechanische Druckkraft, den sie auf eine Auffangselektrode ausüben. Der Druck ist also der Stromstärke proportional, nimmt aber nur mit der Quadratwurzel der beschleunigenden Spannung zu. Die Energie der Strahlen, d. h. die Wärmeentwicklung auf der Auffangselektrode, ist

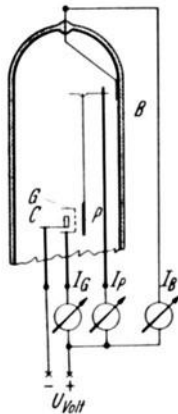


Fig. 1.

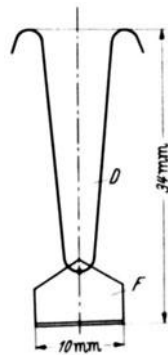


Fig. 2.

aber sowohl mit J als auch mit U proportional. Will man also die durch die Erwärmung hervorgerufenen Radiometerkräfte gegenüber der mechanischen Wirkung der Strahlen niedrig halten, so muß man — gerade umgekehrt wie bei den bisherigen Versuchen — mit hoher Stromstärke und niedriger Spannung arbeiten. Dies sind aber Verhältnisse, wie sie in Elektronenröhren vorhanden sind! Dementsprechend ist die zum Nachweis des Elektronendruckes benutzte Anordnung im wesentlichen eine Elektronenröhre mit beweglicher

Anode als Auffangselektrode²⁾. Ihre Einrichtung zeigt die schematische Fig. 1. In einer gut luftleer gemachten und abgeschmolzenen zylindrischen Röhre von 35 mm Durchmesser befindet sich eine, auf der Zeichnungsebene senkrecht angeordnete, direkt oder indirekt geheizte Kathode C , ein Gitter bzw. eine Beschleunigungselektrode G , deren längliche Öffnung von 2×10 mm Größe mit einem Drahtnetz bedeckt ist, und eine pendelartig aufgehängte Anode oder Auffangselektrode P . Die Ausführung der letzteren geht aus Fig. 2 hervor. Sie besteht aus einer U-förmigen Schleife aus dünnem Wolframdraht (aus einem einzigen Abschnitt des Glühfadens einer 110 V, 15 W Vakuumglühlampe mit gestrecktem Faden), an dessen unterem Ende die aus $0,3 \mu$ starker Goldfolie bestehende Auffangselektrode mittels eines Tropfens leitenden Kittes (kolloidales Graphit mit Zusatz von etwas Karamell) befestigt ist. Um der Goldfolie die notwendige Steifheit zu verleihen, ist ihre untere Kante rechtwinklig umgebogen; ihre der Kathode zugewandte Fläche wurde zur Unterdrückung der Sekundäremission mit Ruß überzogen. Das ganze Gehäuse wiegt rund 1 mg; die Lage seines Schwerpunktes wurde vor der Einhängung experimentell (durch Ausbalancieren auf einer Nähnadel) mit einer Genauigkeit von $0,3$ — $0,5$ mm bestimmt. Ein auf der Zeichnung nicht dargestellter, in die untere Krümmung der Schleife eingreifender Haken verhindert das Aushängen der Schleife. Zur Vermeidung von Wandladungen wurde die Röhre innen durch Kathodenzerstäubung mit einer durchsichtigen Goldschicht überzogen und diese mit einer Ableitungselektrode (an die Glaswand angeschmolzene, dünne Platinfolie) versehen. — Die Röhren wurden in üblicher Weise ausgeheizt, ausgepumpt und abgeschmolzen; durch Verdampfen von Barium wurde das Vakuum nachträglich verbessert.

Die Messungen wurden im einfachsten Falle mit der Schaltung nach Fig. 1 ausgeführt. Das Gitter G , die Auffangselektrode P , sowie der Metallüberzug des Kolbens B liegen auf dem gleichen positiven Potential $U_g = U_p = U$. Die Elektronen wurden also durch die Spannung U beschleunigt, treten durch die Öffnungen des Drahtnetzes durch, laufen in dem annähernd feldfreien Raume zwischen G und P weiter und treffen auf die letztere auf. Der dieser zufließende Strom J_P wird durch ein Milliampereometer gemessen; die Ablesung von J_G und J_B erfolgte nur, um die Stromverhältnisse zu überwachen. Der Ausschlag von P wurde durch ein horizontales Ablesemikroskop mit Okularmikrometer und 22facher Vergrößerung abgelesen. Aus dem bekannten Maße von P , aus der Lage seines Schwerpunktes und aus der Vergrößerung ergab sich die Größe der Kraft, welche einen Ausschlag von einem Skalenteil hervorruft bei den verschiedenen Röhrenexemplaren zu 12 bis 14×10^{-4} dyn. Demzufolge verursachte ein Elektronenstrom von $35 \text{ V} \times 1 \text{ mA}$ Stärke bereits einen Ausschlag von 2 Skalenteilen, und die Ablenkung konnte bis zu etwa 25 Skalenteilen (d. i. rund $1,1 \text{ mm}$) gesteigert werden. Eine obere Grenze der Ablenkung ist nur durch die thermische Belastbarkeit der Goldfolie gegeben: sie wird z. B. durch einen Elektronenstrom von $250 \text{ V} \times 1,2 \text{ mA}$ (d. h. durch $0,3 \text{ W}$) schon zum Glühen gebracht und leuchtet dann in fahlem, grünlichgelbem Lichte. Die angegebene Größe der Ablenkung reicht aber bei weitem aus, um durch Projektion des Schattenbildes der Röhre die mechanische Wirkung der Elektronen als Schauversuch vorzuführen und die Ablenkungen auch quantitativ, d. h. zu einer annähernden Bestimmung des Verhältnisses e/m zu verwerten. Es empfiehlt sich hierbei, die beschleunigende Spannung von einem Potentiometer-Widerstand abzugreifen; es ist dann sehr schön zu beobachten, wie bei zunehmender Spannung die Ablenkung zunimmt und umgekehrt³⁾. Als Beispiel zeigen wir in der Tabelle 1 eine Reihe von Messungen, ausgeführt an Röhre Nr. 11.

Hier bedeutet α den Ausschlag des Pendels in Okularskalenteilen, $P_{\text{obs.}} = \alpha \times 13,3$ die gemessene Druckkraft und $P_{\text{calc.}}$ seinen nach Gl. (1) berechneten Wert in 10^{-4} dyn. Wie die letzte Spalte zeigt, sind die gemessenen Werte durchwegs größer als die berechneten. Der Unterschied ist größtenteils den auf das Gehäuse wirkenden Radiometerkräften

Tabelle 1.

U_G	J_P	α	$P_{obs.}$	$P_{calc.}$	$P_{obs.}/P_{calc.}$
30 V	1,0 ^{mA}	1,6	21,3	18,5	1,15
40	1,5	2,8	37,3	32,0	1,17
50	2,05	4,3	57,2	49,0	1,17
60	2,61	6,0	80,0	68,0	1,18
70	3,16	7,0	105	89,0	1,18
90	4,50	12,5	166	144	1,15
100	4,90	14,0	186	165	1,15

zuzuschreiben⁴⁾. Eine gewisse Korrektur verlangt auch der Umstand, daß, obzwar sich G und P auf gleichem Potential befinden, der Raum zwischen ihnen nicht feldfrei ist. Die dort befindlichen Raumladungen bringen ein Potentialminimum U_m hervor, und beim Errechnen von $P_{calc.}$ ist in Gl. (1) an Stelle von U dieses U_m einzusetzen. Hierüber, sowie über die Wirkung der Sekundäremission der Auffangelektrode und über weitere Einzelheiten soll in der geplanten ausführlichen Mitteilung die Rede sein.

Budapest, den 10. Dezember 1940.

P. SELÉNYI.

¹⁾ Vgl. z. B. die sorgfältigen Untersuchungen von ANGERER, Ann. Physik (4) 41, 1 (1913).

²⁾ Ich habe bereits vor 15 Jahren [S. Z. techn. Physik 5, 412 (1924)] darauf hingewiesen, daß die zwischen den Elektroden einer Elektronenröhre wirkenden ponderomotorischen Kräfte durch den Impuls der Elektronen wesentlich beeinflusst werden. Aus der bekannten CHILD-LANGMUIRSCHEN Ableitung der Raumladungstheorie kann man unmittelbar herauslesen, daß z. B. in einer Zweielektrodenröhre, solange der Strom raumladungsbegrenzt ist, die auf die Anode wirkende resultierende mechanische Kraft gleich Null ist, und zwar deshalb, weil elektrostatische Anziehung und Impuls der aufprallenden Elektronen einander das Gleichgewicht halten (l. c. S. 415). Wendet man die gleiche Überlegung auf die Kathode an, so erhält man unmittelbar den Wert der dort herrschenden elektrischen Feldstärke, den man sonst nur aus der kinetischen Theorie des Elektronengases ableiten kann. — Gleichzeitig folgt aus dieser Tatsache — nämlich daraus, daß in einer Elektronenröhre elektrostatische Anziehungskräfte und Impuls (Druck) der Elektronen von gleicher Größenordnung, unter Umständen sogar gleich sind —, daß man den letzteren ebenso einfach und leicht an Röhren mit beweglichen Elektroden beobachten und bestimmen müssen kann, wie man die erstere an jedem Elektroskop schon bei 10–20 Volt Spannung messend beobachten kann. Diese Überlegung führte zu der oben beschriebenen und schon seinerzeit vorgeschlagenen Röhrenkonstruktion. Weitere Einzelheiten hierüber, so z. B. Beobachtungen an Röhren mit beweglicher Kathode bzw. Beschleunigungselektrode sollen demnächst in einer ausführlichen Darstellung dieses Gegenstandes mitgeteilt werden.

³⁾ Ich habe diesen Versuch sowie einige verwandte Erscheinungen an Röhren mit beweglicher Kathode bzw. Gitter in einer Sitzung des Ungarischen Elektrotechnischen Vereins in Budapest am 9. Mai 1939 vorgeführt.

⁴⁾ Man bedenke, daß der ganze Ausschlag nur wenige Skalenteile betrug und die Zehntel der Skalenteile nur geschätzt werden konnten. Die Genauigkeit der Messungen war also nicht sehr groß. Übrigens wurden ähnliche Ergebnisse mit anderen Röhren erhalten. — Das Gehäuse konnte man gleichzeitig als empfindliches Knudsen-Manometer benutzen, indem man die gegenüberliegende Kolbenwand erwärmte und den Ausschlag des Pendels beobachtete. So zeigte z. B. das Gehäuse der obigen Röhre bei einer Erwärmung durch einen Haartrockner auf 60–80° einen Ausschlag von 0,5 Skalenteilen, entsprechend einem Gasdruck von 8×10^{-6} mm Hg. Das erreichte Vakuum war also nicht besonders hoch und könnte durch geeignete Maßnahmen (Kolben aus Hartglas, stärkeres Ausheizen usw.) gewiß noch um eine Zehnerpotenz verbessert werden.

Ein neues Desorptionsverfahren.

Das Herauslösen eines aus Wasserlösung an aktive Kohle adsorbierten Stoffes ist gewöhnlicherweise nur unter Mit Hilfe großer Flüssigkeitsmengen einigermaßen quantitativ möglich. Die geringe Benetzbarkeit der Kohle gegenüber

Wasser im Vergleich mit anderen Flüssigkeiten könnte aber möglicherweise zum Austreiben benutzt werden. Wenn der nassen Kohle eine mit Wasser unmischnbare Flüssigkeit zugesetzt wird, könnte man erwarten, daß das Wasser von der Oberfläche der Kohle vertrieben wird. Ist diese Flüssigkeit gleichzeitig so gewählt, daß ein an die Kohle aus Wasser adsorbierter Stoff darin unlöslich ist, könnte man sogar erwarten, daß diese Flüssigkeit nicht nur das Wasser, sondern auch den adsorbierten Stoff auszutreiben vermöchte. Diese Hypothese ließ sich tatsächlich experimentell beweisen, und es war sogar mit kleinen Flüssigkeitsmengen eine quantitative Desorption erreichbar.

Ein paar Gramm hochaktive Kohle wurden mit einer Methylenblaulösung geschüttelt und filtriert. Das Waschwasser wird farblos. Im Trichter wurde die noch feuchte Kohle mit etwa 10 ccm Chloroform versetzt. Nach dem Durchlaufen des Chloroforms, das vollkommen farblos war — Methylenblau ist in Chloroform unlöslich —, wurde das Adsorbens mit etwa 20 ccm Wasser versetzt. Das Wasser lief jetzt stark blau durch. Nach wiederholtem Chloroform- und Wasserzusatz war es möglich, das Methylenblau quantitativ in einer noch stärkeren Konzentration zurückzugewinnen als es der Kohle ursprünglich zugesetzt war. Hierbei konnte das schon benutzte Chloroform wiederholt verwendet werden.

Die bekannte Methode, zwei Stoffe voneinander durch Ausschütteln zu trennen, konnte jetzt auch dazu weiterentwickelt werden, um zwei an aktive Kohle adsorbierte Stoffe getrennt herauszulösen. Der Gedankengang wird an Hand von Fig. 1 auseinandergesetzt.

Wenn zwei Stoffe, in der Figur durch schwarze und weiße Kugeln bezeichnet, in Wasserlösung mit der aktiven Fläche der Kohle in Berührung kommen, werden beide daran adsorbiert (Fig. 1a). Das Wasser, mit einer geringen Gleichgewichtskonzentration der beiden Stoffe, kann größtenteils von der Kohle durch Filtrieren getrennt werden. Es wird jetzt der nassen Kohle z. B. Benzol zugesetzt. Das Benzol verdrängt sofort das Wasser von der Oberfläche des Adsorbens und damit auch die beiden adsorbierten Stoffe. Von diesen Stoffen ist aber nur einer, und zwar der mit Schwarz bezeichnete, in Benzol löslich. Dieser Stoff löst sich deswegen in der Benzolphase und wird daraus größtenteils wieder an die Kohle adsorbiert (Fig. 1b). Obschon dieser Stoff im Benzol löslich ist, würde also trotzdem das Benzol die Kohle rein durchlaufen. Das nachher zugesetzte Waschwasser würde aber mit dem „weißen“ Stoff stark bemengt durchlaufen.

Auch diese Hypothese konnte experimentell bestätigt werden. Die zwei im Wasser löslichen Farbstoffe Atebrin (gelb) und Nilblausulfat (blau) wurden aus einer gemeinsamen grünen Lösung durch aktive Kohle filtriert. Das durchlaufende Wasser wird farblos. Eine Emulsion von Benzol und Wasser wurde danach der Kohle im Trichter zugesetzt. Im Filtrat war die Benzolphase vollkommen farblos, obschon Nilblausulfat in Benzol löslich ist. Die Wasserphase war rein gelb von Atebrin. Atebrin ist in Benzol unlöslich. Das Nilblausulfat konnte nachher mit einer Alkohol-Wasser-Mischung herausgelöst werden. Der Versuch konnte mit hydrophilen Adsorptionsmitteln, wie Silica-Gel, Aluminiumoxyd usw., nicht wiederholt werden. Das Phänomen wurde im Laufe einer größeren Untersuchung über Adsorptionsverdrängung studiert.

Stockholm, Königl. Techn. Hochschule, den 20. Dezember 1940.

BÖRJE STEENBERG.

Über das amphotere Verhalten des Bleisulfids als Halbleiter.

Halbleiter sind in der Regel chemische Verbindungen mit Ionengitter, die bei genauer stöchiometrischer Zusammensetzung isolieren, die aber durch einen kleinen Überschuss einer ihrer Komponenten eine elektrische Leitfähigkeit erhalten. Wird die Leitfähigkeit durch Überwiegen der elektropositiven Komponente hervorgerufen, so spricht man von einem Reduktionshalbleiter, wird sie von der negativen

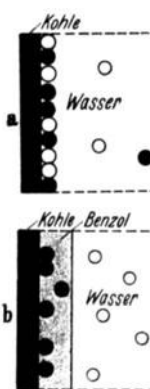


Fig. 1.

Komponente verursacht, so spricht man von einem Oxydationshalbleiter. Es gilt die Regel, daß bei Oxydationshalbleitung für Hall-Konstante und Thermokraft positive Werte, bei Reduktionshalbleitung negative Werte auftreten¹⁾.

Die meisten bisher untersuchten Substanzen zeigen eine sehr eindeutige Neigung, entweder Reduktions- oder Oxydationshalbleitung hervorzubringen, und zwar neigen ungesättigte Verbindungen der niedrigsten Wertigkeitsstufen zur Oxydationshalbleitung, während in den gesättigten Verbindungen der höchsten Wertigkeitsstufe Reduktionshalbleitung auftritt. Kommt aber das Metallion in einer mittleren Wertigkeitsstufe vor, von der es sowohl zu einer niedrigeren als auch zu einer höheren Wertigkeit übergehen kann, so ist sowohl bei reduzierender als auch bei oxydierender Behandlung eine Leitfähigkeitserhöhung möglich. Dieses Verhalten ist an UO_2 bekannt geworden, wobei die U^{4+} -Ionen sowohl in U^{3+} -Ionen als auch in U^{6+} -Ionen übergehen können. Für solche Halbleiter wurde von W. SCHOTTKY²⁾ die Bezeichnung „amphotere Halbleiter“ vorgeschlagen. Genauere Untersuchungen an einer solchen Substanz, bei denen auch Halleffekt und Thermospannung

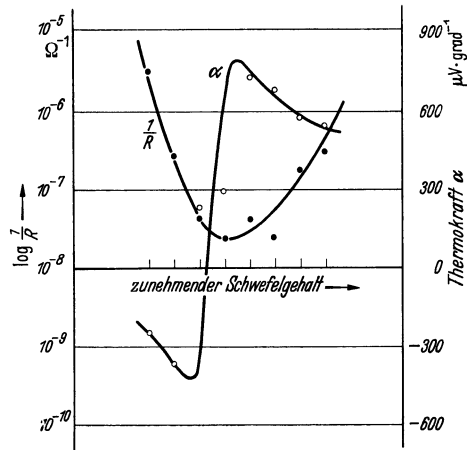


Fig. 1. Leitfähigkeit $1/R$ und Thermokraft α einer PbS-Schicht für verschiedenen Schwefelgehalt.

gemessen worden wären, lagen aber in der Literatur bisher nicht vor. Erst vor kurzem sind Arbeiten aus der GÜDDENschen Schule über $\text{PbSe}^3)$ und $\text{PbS}^4)$ erschienen. Danach nimmt die Leitfähigkeit, von PbSe mit Se-Überschuß ausgehend, mit abnehmendem Se-Gehalt zunächst ab, durchläuft beim stöchiometrischen PbSe ein Minimum und steigt dann mit überschüssigem Pb wieder an. Es kann also ein und derselbe Leitfähigkeitswert auf zwei Arten, entweder durch Pb- oder durch Se-Überschuß, erzeugt werden. Ebenso nehmen Hall-Konstante und Thermokraft je nach Se- oder Pb-Überschuß positive oder negative Werte an.

Bei PbS wurde mit zunehmendem S-Gehalt allerdings eine monoton abnehmende Leitfähigkeit gefunden ohne Leitfähigkeitsminimum, obwohl bei einer bestimmten Leitfähigkeit Hall-Konstante und Thermokraft ihre Vorzeichen wechseln.

Auch bei uns wurden Leitfähigkeits- und Thermokraftmessungen an PbS ausgeführt, das verschieden mit S behandelt worden war. Es wurden dabei dünne, aufgedampfte Schichten verwendet, die wesentlich leichter homogen durchschwefelt werden konnten als Preßkörper oder Kristallite. An ihnen zeigte sich folgendes Ergebnis: Die Leitfähigkeit des PbS kann sowohl durch Tempern im Vakuum (Pb-Anreicherung) als auch durch Tempern in Schwefelatmosphäre vergrößert werden. Bei den im Vakuum behandelten Schichten tritt negatives Vorzeichen der Thermokraft auf, bei den mit S behandelten Schichten positives Vorzeichen. Bei Vakuumbehandlung tritt also Reduktions-, bei S-Behandlung Oxydationsleitung auf. Durch abwechselnde Vakuum- und Schwefelbehandlung konnte auch an ein und derselben Schicht abwechselnd Reduktions- oder Oxydationsleitung erzeugt werden, wobei die Leitfähigkeit stets durch

ein Minimum ging und die Thermokraft das Vorzeichen wechselte. Figur 1 zeigt Leitfähigkeit und Thermokraft einer PbS -Schicht für 8 verschiedene Entschwefelungsstufen, die durch Erhitzen einer überschwefelten PbS -Schicht im Vakuum auf verschieden hohe Temperaturen erzeugt wurden. PbS ist also wie PbSe als ein typisch amphoterer Halbleiter anzusehen.

Alle Versuche wurden an aufgedampften Schichten im Vakuum ausgeführt, ohne daß die untersuchten Substanzen jemals mit Luft oder gar Feuchtigkeit in Berührung gekommen sind.

Eine ausführliche Arbeit wird in der Zeitschrift für Physik veröffentlicht werden.

Berlin-Siemensstadt, Forschungslaboratorium II der Siemenswerke, den 22. Dezember 1940.

H. HINTENBERGER.

1) Das Vorzeichen der Thermokraft wurde positiv gewählt, wenn an der kalten Stelle der Strom vom Halbleiter zur Bezugssubstanz (Platindraht) geht, an der heißen Stelle also Elektronen vom Halbleiter zur Bezugssubstanz fließen. Das stimmt überein mit der in den großen Tabellenwerken und Handbüchern benutzten Definition. Im Gegensatz dazu wird bei C. WAGNER und in den Arbeiten der GÜDDENschen Schule das Vorzeichen entgegengesetzt gebraucht.

2) W. SCHOTTKY, Z. Elektrochem. 45, 53 (1939).

3) K. BAUER, Ann. Physik (5) 38, 84 (1940).

4) L. EISENMANN, Ann. Physik (5) 38, 121 (1940).

Weiterer Beitrag zur Ursache der unterschiedlichen gonadotropen Wirkung der Ringdrüse von *Drosophila funebris* und *Drosophila melanogaster*.

In zwei anderen Arbeiten^{1, 2)} konnte ich zeigen, daß sich *melanogaster* (= *mel.*)-Larvenovarien bei Transplantation in *funebris* (= *fun.*)-Larven nur bis zum Beginn der ersten Dotterbildung entwickeln, während ich bei gleichzeitiger Implantation *arteigener mel.*-Ringdrüsen des öfteren eine Förderung der Dotterbildung — evtl. bis zur Eireifung — erzielte. Hiermit entstand die Frage, welcher Natur der Unterschied in der Wirkung der Ringdrüsen dieser beiden *Drosophila*-Arten ist. Infolge der langsameren Entwicklungsgeschwindigkeit von *D. funebris* konnte man daran denken, daß die gonadotrope Wirkung der *fun.*-Ringdrüse die für eine normale Eireifung nötige Stärke erst in einem Augenblick erreicht, in dem das *mel.*-Ovar nicht mehr reaktionsfähig ist. Die bisher von mir beschriebenen Versuche machten diesen Erklärungsversuch sehr unwahrscheinlich, doch schalten erst die im folgenden angeführten Versuche ihn endgültig aus.

Die Dotterbildung in den Eierstöcken einer *fun.*-Fliege wird bei 25° etwa 20 Stunden nach dem Schlüpfen der Imago deutlich; mit 48 Stunden treten die ersten reifen Eier auf. Es muß also die gonadotrope Wirkung der *fun.*-Ringdrüse den für eine normale Eireifung nötigen Schwellenwert *spätestens* zwischen 20 und 48 Stunden des Imaginallebens erreicht haben. Es wurde daher geprüft, ob die implantierten *mel.*-Ovarien auch noch in 20—48 Stunden alten *fun.*-Fliegen auf *mel.*-Ringdrüsenhormon reagieren können.

Zu diesem Zwecke wurden Ovarien verpuppungsreifer *mel.*-Larven in verpuppungsreife *fun.*-Larven implantiert. Nach dem Schlüpfen der operierten *fun.*-Fliegen wurden diesen auf verschiedenen Altersstufen 8 Ringdrüsen verpuppungsreifer *mel.*-Larven implantiert. Tabelle 1 bringt

Tabelle 1.

Alter der <i>fun.</i> -Fliegen bei Implantation der <i>mel.</i> -Ringdrüsen in Stunden	Entwicklungsgrad d. implantierten <i>mel.</i> -Ovarien					n
	nicht gefördert	gefördert			2-fädiges fast reifes Ei	
		Dotterhöhe stets unter $\frac{1}{4}$ der Eihöhe	Dotterhöhe der jeweils größten Eikammer			
		$\frac{1}{4}$ der Eihöhe	$\frac{1}{2}$ der Eihöhe	$\frac{3}{4}$ der Eihöhe		
1—6	—	4	3	—	1	8
24—36	4	5	—	—	1	10
48—54	7	8	2	—	2	19

das Ergebnis. Die implantierten *mel.*-Ovarien zeigten sich auf allen geprüften Altersstadien etwa in gleichem Maße

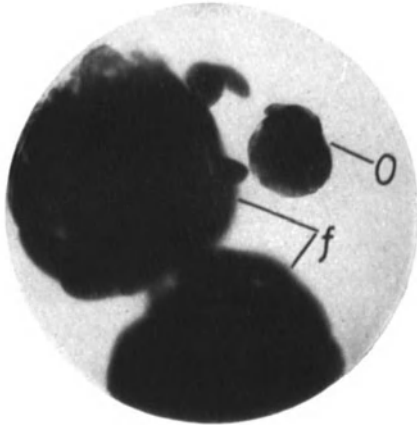


Fig. 1. Fast dotterfreies *mel.*-Ovar (o) in einem *fun.*-Männchen entwickelt bei Kontrollinjektion von 8 zusätzlichen *fun.*-Ringdrüsen in die 49 Stunden alte Wirtsflye. H = Wirtshoden. 20/1.

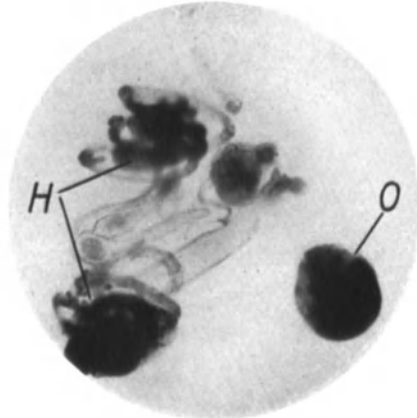


Fig. 2 a.

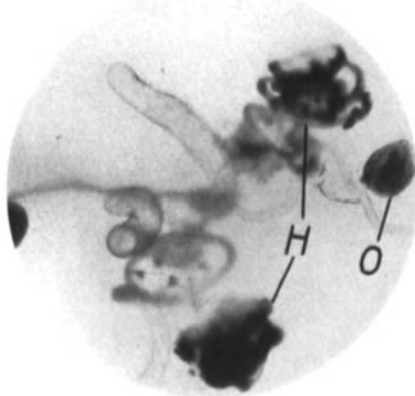


Fig. 2 b.

Fig. 2 a und b. Deutliche Dotterbildung im *mel.*-Ovar (o). a) in einem *fun.*-Männchen; b) in einem *fun.*-Weibchen entwickelt bei Injektion von 8 *mel.*-Ringdrüsen in die 49 bzw. 42 Stunden alte Wirtsflye. H = Wirtshoden, f = Wirtsovarien. 20/1.

reaktionsfähig. In der Mehrzahl der Fälle kam es zu einer deutlichen Förderung der Dotterbildung (eine Dotterhöhe, die ein Viertel der normalen Eihöhe erreicht, wurde in Kontrollen nie beobachtet), und in einigen Fällen fanden sich auch 1—2 fast reife 2fädige Eier. Dabei war das Geschlecht der Wirtstiere von keinerlei Bedeutung. Fig. 1 zeigt als Kontrollversuch ein *mel.*-Ovar (o), das sich in einem *fun.*-Männchen entwickelte, dem im Imaginalalter von 49 Stunden 8 *fun.*-Ringdrüsen implantiert wurden. In diesem Fall ist die Entwicklung des *mel.*-Ovars bei dem ersten Beginn der Dotterbildung stehengeblieben (H=Hoden). Fig. 2a und b zeigen ein implantiertes *mel.*-Ovar (o), das sich in a) in einem männlichen *fun.*-Wirt, in b) in einem weiblichen *fun.*-Wirt entwickelte. In beide *fun.*-Wirtsflyen waren im Alter von 49 bzw. 42 Stunden 8 *mel.*-Ringdrüsen implantiert worden. In beiden Fällen wurde die Dotterbildung deutlich gefördert.

Die Tatsache, daß bei Implantation der *mel.*-Ringdrüsen im Höchsthalle nur 1—2 Eier fast reif werden, möchte ich vorwiegend auf die bald einsetzende, und die Tatsache der ungleichen Förderung in den Einzelfällen auf die verschiedenen schnelle Degeneration der implantierten Larvenringdrüsen zurückführen.

Tabelle 1 zeigt also, daß implantierte *mel.*-Ovarien auch noch in der 48 Stunden alten *fun.*-Fliege auf *mel.*-Ringdrüsenhormon reagieren können. Bis zu diesem Stadium muß aber die gonadotrope Wirkung der Ringdrüse wenigstens eines weiblichen *fun.*-Wirtes für eine normale Eireifung ausreichend gewesen sein, da ein *fun.*-Weibchen dieses Alters schon reife Eier enthält. Hiermit fällt also der zeitliche Unterschied in dem Auftreten der gonadotropen Wirkung der Ringdrüse von *funebria* und *melanogaster* als Ursache aus, und es bleiben nur noch die beiden Möglichkeiten eines quantitativen oder qualitativen Unterschiedes in der Hormonproduktion der Ringdrüsen dieser beiden *Drosophila*-arten.

Folgendes sei nur beiläufig bemerkt: Aus früher veröffentlichten Versuchen schloß ich auf eine gonadotrope Tätigkeit der Ringdrüse schon im Larvenstadium. Die Möglichkeit, die Eireifung in *mel.*-Ovarien durch Zufuhr von Ringdrüsenhormon erst während des Imaginallebens hervorgerufen, weist vielleicht auf eine aktive gonadotrope Ringdrüsentätigkeit auch im normalen Imaginalleben hin. Diese ist um so eher anzunehmen, als THOMSEN³⁾ erst kürzlich die Notwendigkeit der Gegenwart der Ringdrüse in *Lucilia* und *Calliphora* zumindest in der ersten Zeit des Imaginallebens für eine normale Eireifung wahrscheinlich gemacht hat.

Neustadt/Schwarzwald, Institut der deutschen Hirnforschungsgesellschaft, den 30. Dezember 1940.

MARGUERITE VOGT.

¹⁾ Biol. Zbl. 60 (1940).

²⁾ Roux' Arch., im Druck.

³⁾ Nature (Lond.) 145 (1940).

Kristallchemische Gesichtspunkte bei der Deutung der Konstitution von Gläsern.

Nach den bahnbrechenden Arbeiten über die Struktur der kristallisierten Silikate vor allem durch W. L. BRAGG und fußend auf den Vorstellungen von V. M. GOLDSCHMIDT konnte der grundsätzliche Aufbau auch der Gläser durch die Röntgenstrukturforschung gedeutet werden (W. H. ZACHARIASEN, B. E. WARREN). Demnach bilden an den Ecken zu einem unregelmäßigen räumlichen Netzwerk verknüpfte Tetraeder von $[\text{SiO}_4]^{4-}$, $[\text{BO}_4]^{5-}$ usw. das Gerüst, in dem Fremd-Kationen, z. B. Na^+ , Ca^{++} usw. eingebaut sein können. Der Hauptunterschied zwischen dem Aufbau eines Glases und dem eines entsprechenden Kristalls ist also der Ordnungszustand gewisser Ionengruppierungen (z. B. der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder), nicht so sehr aber der grundsätzliche Aufbau dieser Gruppierungen selbst. Man darf erwarten, daß dies für sämtliche Kationen (Alkali, Erdalkali usw.) und Fremdanionen (Schwefel, Fluor usw.) gilt, mit anderen Worten, daß diese im Glas ähnlich eingebaut und koordiniert sein werden wie in vergleichbaren kristallisierten Verbindungen. Dies ist tatsächlich (z. B. bei Natriumborat-, Natriumsilikat- und Bleisilikatgläsern) gefunden worden [W. H. ZACHARIASEN, J. amer. chem. Soc. 54, 3841 (1932), G. J. BAIR, J. amer. ceram. Soc. 19, 339 (1936); B. E. WARREN und Mitarbeiter,

J. amer. ceram. Soc. 21, 259, 287 (1938); 19, 202 (1936)]. Bei diesem Vergleich zwischen Kristall und Glas kommt es nicht durchweg so sehr auf eine genau definierte Zahl von Liganden und deren geometrische Lage an, als vielmehr auf das daraus sich ergebende mittlere elektrische Feld, das auf das Kation einwirkt. Dies läßt sich besonders augenfällig an *gefärbten* Kationen verfolgen, deren Absorptionsspektrum sich unter dem Einfluß der umgebenden Kraftfelder ändert (s. W. WEYL, Z. Ver. dtsh. Chem. 1935, Beiheft Nr. 18).

Bei der Änderung der Koordination eines Kations sind zwei grundsätzlich verschiedene Fälle zu unterscheiden:

a) Übergang einer gesättigten in eine niedrigere, *ungesättigte* Koordination und damit *Abnahme* des negativen Feldes um das Kation. Dadurch wird bei Farbionen die Absorptionskante nach *längeren* Wellen verschoben. Der mittlere Abstand zwischen Kation und restlichen Anionen ändert sich nicht wesentlich. Hierbei können eigenartige Fälle auftreten, die wir an kristallisierten Verbindungen

verfolgen können. Die Gruppierung $\begin{array}{c} \circ \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \end{array}$ färbt *blau*, $\begin{array}{c} \circ \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \end{array}$ *grün*, $\begin{array}{c} \circ \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \\ | \\ \circ\text{Cu}_0 \end{array}$ *gelbbraun*. Die Gruppe $[\text{CuO}_4]$ bildet ein

ebenes Rechteck und scheint besonders stabil zu sein, während die restlichen 2 Liganden sich leichter entfernen lassen. (Die Gruppe $[\text{CuO}_4]$ liegt nach G. TUNELL, E. POSNJAK und C. I. KSANDA [Z. Krist. (A) 90, 120 (1935)] im CuO vor.) Ähnlich wird sich Cu^{2+} im Glas verhalten: die 6 Liganden um das Cu in den blauen Gläsern werden bei steigender Verknüpfung des Netzwerkes (z. B. durch B_2O_3 -Zusatz) nicht *gleichmäßig* vom zentralen Cu^{2+} etwas abrücken; man darf erwarten, daß auch hier die $[\text{CuO}_4]$ -Gruppierung bestehenbleibt und nur 2 O vom zentralen Cu^{2+} sich mehr oder weniger stark entfernen, entsprechend der räumlichen Anordnung der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder im Netzwerk.

Nimmt die Vernetzung so stark zu, daß nicht nur zwei, sondern mehr O-Ionen sich vom Cu merklich entfernen müßten, so scheidet sich CuO *kolloidal* unter Gelbfärbung aus; Cu^{2+} in echter Lösung färbt im Glas nur blau oder grün, nicht aber auch gelb.

Das farblose Pb(2)-Ion hat Koordinationen zwischen 8 und 12 (im PbCl_2 , im $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). Im PbO sollen unsymmetrische $[\text{PbO}_6]$ - bzw. sogar $[\text{PbO}_4]$ -Gruppen vorliegen [R. G. DICKINSON und I. B. FRIAUF, J. amer. chem. Soc. 46, 2457 (1924); G. R. LEVI und E. G. NATTA, Nuovo Cimento 1, 335 (1924); 3, H. 3 (1926); Strukturber. I, S. 89, 94, 121, 122]; aus diesen ungesättigten Koordinationen würde sich die gelbe bis rote Farbe des PbO erklären. Da Gläser mit steigendem Bleigehalt *gelb* werden, muß also die Koordinationsmöglichkeit für das Pb^{2+} abnehmen, ebenso wie dies bei Cu^{2+} der Fall sein muß, das in hoch bleihaltigen Gläsern *grün* (siehe oben) färbt. Die bisherige Annahme von hochdisperser PbO in den gelben, schweren Bleigläsern [H. MÖHL und H. LENMANN, Sprechsaal Keramik usw. 62, 463 (1929)] ist nach der Röntgenuntersuchung von G. J. BAIR [J. amer. ceram. Soc. 19, 339 (1936)] und auch wegen des Fehlens einer Fluoreszenz unbegründet.

b) Übergang einer höheren gesättigten in eine niedrigere, *gesättigte* Koordination und damit *Zunahme* des negativen Feldes um das Kation R wegen der Verringerung der Abstände R—O. Die Absorptionskante wandert nach *kürzeren* Wellen, oder es entstehen wegen des Übergangs der Ionen in eine kovalente Bindung neue Absorptionsbanden. Beispiele: $[\text{Fe}^{\text{III}}\text{O}_6]$ hellgelb, $[\text{FeO}_4]$ als enge Tetraederpackung im kristallisierten FePO_4 ebenso wie in Phosphatgläsern *farblos*, da die Absorptionskante im UV. liegt. (Man beachte den Unterschied gegenüber der *ungesättigten* $[\text{FeO}_4]$ -Packung im gelbgrünen $\text{K}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$.) — Durch Änderung der Bindungsart ist der Übergang von $[\text{CoO}_6]$ rosa (Ionenbindung) \rightarrow $[\text{CoO}_4]$ blau und grün (kovalente Bindung) zu erklären [G. FEITKNECHT, Helvet. chim. Acta 20, 659 (1937)], analog offenbar auch $[\text{NiO}_6]$ grün bzw. gelb \rightarrow $[\text{NiO}_4]$ blau.

Die Erscheinungen an *Schwermetallsulfiden* in Glas (*kolloide* Färbung bzw. Trübung oder aber *echte Lösung*) lassen sich ebenfalls kristallchemisch verstehen, wenn man die *gelösten* Sulfide als Sulfosalze mit dem Anion $(\text{MeS}_4)^{n-}$ auffaßt. Wenn auch im ZnS, FeS usw. und vielleicht auch in

diesen Anionen wegen der hohen Polarisationswirkung von Zn usw. auf S keine bzw. keine reine Ionenbindung vorliegt, so läßt sich doch mit den (auf Viererkoordination korrigierten) Ionenradien der Schwermetalle und von S'' aus dem R_R/R_A -Wert in guter Übereinstimmung mit den Tatsachen vorausagen, welche Sulfide ein *stabiles Komplexion* $(\text{MeS}_4)^{n-}$ ergeben (As^{3+} , As^{5+} , Sb^{5+} , Fe^{3+}) und welche nicht, sondern als *kolloide* Sulfide ausfallen (Fe^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} usw.). Analoges gilt für die Selenide [s. demnächst in Glastechn. Ber. 19 (1941)].

Herrn Prof. Dr. W. EITEL danke ich aufrichtig für wertvolle Hinweise.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung, den 18. Januar 1941. A. DIETZEL.

Über den hemmenden Einfluß der Blätter in der photoperiodischen Reaktion der Pflanzen.

Eine ganze Reihe von Untersuchungen^{1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 15} der letzten Jahre haben ergeben, daß für die Aufnahme der photoperiodischen Einwirkung bei Langtag- wie bei Kurztagpflanzen die *Blätter* maßgebend sind. Transplantationsversuche mit Blättern induzierter Exemplare auf nicht induzierte⁹) ergaben darüber hinaus, daß die Blätter auch als Ort der eigentlichen photoperiodischen *Induktion* anzusehen sind. Soweit sich die Untersucher die Frage nach der Wirkungsweise der Tageslänge überhaupt vorlegten, war die Vorstellung allgemein die, daß unter den geeigneten photoperiodischen Bedingungen in den Blättern Prozesse in Gang gesetzt würden, die offenbar auf stofflicher Grundlage, zur Blütenbildung in den Vegetationspunkten führten. Danach wäre also die die Blütenbildung zulassende Tageslänge selbst das Entscheidende und ihre Wirkung eine unmittelbare und fördernde. Bei Übertragung der photoperiodischen Reaktion von einem Teil der Pflanze — oder, in Transplantationsversuchen, einem Pfropfpartner — auf den anderen wurde zwar stets^{1-4, 8, 15}) eine mehr oder minder starke hemmende Wirkung ausgewachsener Blätter unter der die Blütenbildung nicht zulassenden Tageslänge beobachtet; ein spezifischer Einfluß wurde dieser Tageslänge aber meist nicht zugeschrieben. Nur Moškov¹³) nahm an, daß bei der Kurztagpflanze *Chrysanthemum* in Kurztagbedingungen spezifische blütenbildende, in Langtagverhältnissen dagegen der Blütenbildung entgegenwirkende, vegetatives Wachstum bestimmende Stoffe gebildet würden.

Eigene Untersuchungen, die an der zweijährigen Rasse von *Hyoscyamus niger* ausgeführt wurden, brachten für dieses Objekt Ergebnisse, die bei der Deutung der Tageslängenabhängigkeit der Blütenbildung die *Hemmwirkung* der nicht zusagenden photoperiodischen Bedingungen in den Vordergrund rücken. Beide Rassen von *Hyoscyamus niger*, die zweijährige (⊙) wie die einjährige (⊙), sind typische Langtagpflanzen. Die ⊙ bedarf außerdem einer Kälteeinwirkung auf den Vegetationspunkt¹¹), ohne die die Pflanzen in Langtag- wie in Kurztagbedingungen vegetativ bleiben; die Tageslängenreaktion dieser Rasse kommt also erst nach erfolgter Kälteinduktion zum Ausdruck. Etwa 3 bis 4 Monate alte Pflanzen der ⊙ Rasse aus normaler Anzucht (Juni bis September/Oktobre; natürliche Tagesverhältnisse; Temperatur nicht unter 18°) wurden 6 Wochen lang einer Temperatur von +5° ausgesetzt; diese Kälteperiode reicht für die Induktion stets aus. Danach wurden die Pflanzen teils in *beblättertem Zustand*, teils völlig *entblättert*, mit freigelegten Vegetationspunkten, in verschiedene photoperiodische Bedingungen gebracht, und zwar in Langtag (mindestens 16 Stunden Licht täglich), Kurztag (10^{1/2} bis 8^{3/4} Stunden Licht täglich) sowie völlige Dunkelheit. Bei den entblätterten Gruppen wurden die sich neu entwickelnden Blattanlagen fortlaufend entfernt; die Differenzierung von Blütenanlagen am Vegetationspunkt wurde in diesen Fällen unmittelbar mikroskopisch festgestellt (vgl.¹¹). Zu den Kurztag-Gruppen und der Gruppe „Langtag — entblättert“ wurden nicht kältebehandelte Kontrollen gehalten. Exakte Kontrollen für die Dunkelserie fehlen zur Zeit noch, doch ist auf Grund vorläufiger Beobachtungen kaum daran zu zweifeln, daß nicht kältebehandelte Pflanzen auch in Dunkelheit nicht zur Blüte kommen.

Das Ergebnis ist in der Tabelle zusammengefaßt.

Gruppe	Behandlung	Zahl der Pflanzen	Blütenbildung	vegetativ geblieben
1	Kälte—Langtag beblättert	8	8	—
2	„ — „ entblättert	9	8	(1)
3	„ — Kurztag beblättert	12	—	12
4	„ — „ entblättert	22	21	(1)
5	„ — dunkel beblättert	4	—	4
6	„ — „ entblättert	10	10	—
	keine Kälte			
7	= Kontrolle—Langtag entblättert	8	—	8
8	„ — Kurztag beblättert	10	—	10
9	„ — Kurztag entblättert	6	—	6

Die entblätterten Pflanzen kamen in allen Fällen, ganz unabhängig von den Lichtverhältnissen, zur Blütenanlage*). Die Annahme, daß die Entblätterung als solche durch Wundreiz die Blütenbildung auslöst, ist so gut wie ausgeschlossen, da in Pfropfversuchen (z. B.¹¹⁾ dauernd entblätterte Kontrollen nie blühen. Die Versuche zeigen somit, daß bei *Hyoscyamus*-Pflanzen nach erfolgter Kälteinduktion die Anwesenheit von Blättern für die Blütenbildung nicht erforderlich ist und daß darüber hinaus die Tageslänge, sowie Licht überhaupt, keine Bedeutung hat. In beblättertem Zustand bleiben die Pflanzen in Kurztag dagegen vegetativ; nicht zuzugende photoperiodische Bedingungen üben also auf dem Wege über die Blätter einen die Blütenbildung unterdrückenden Einfluß aus. Da die völlig dunkel gehaltenen Pflanzen sich genau so verhalten, dürfte der entscheidende Faktor der Kurztagwirkung die Dunkelheit allein sein; dieser Punkt bedarf allerdings angesichts des sehr kleinen Materials noch der Bestätigung und darüber hinaus einer sehr sorgfältigen kausalen Analyse.

Zur quantitativen Seite unserer Beobachtungen läßt sich noch nichts Endgültiges feststellen, da die Temperaturverhältnisse in den einzelnen Versuchsreihen untereinander nicht völlig gleich waren. Es scheint jedoch, daß in entblättertem Zustand die eigentliche Entwicklungsgeschwindigkeit, gemessen an der Zahl der vor der Blütenbildung angelegten Blätter, in Lang- und Kurztag dieselbe ist. Rein zeitlich verlief die Reaktion in den bisherigen Versuchen in Kurztag langsamer, was auf eine allgemeine Wachstumsverlangsamung zurückzuführen sein dürfte.

Die weitere Versuchsarbeit muß — neben der Klärung dieser quantitativen Verhältnisse und der Erweiterung des Materials — vor allem einer Analyse des Verhaltens von einjährigen Langtagformen, etwa der *Hyoscyamus*-Rasse, gelten. Bis dahin ist eine eingehendere Erörterung der bis-

herigen Ergebnisse in ihrer Bedeutung für das Gesamtproblem des Photoperiodismus zweckmäßig zurückzustellen. Hingewiesen sei nur darauf, daß das Ausbleiben der Blütenbildung bei Pfropfung von Blättern \odot *Hyoscyamus*-Pflanzen auf \odot in Kurztagbedingungen¹²⁾ nunmehr ohne weiteres verständlich ist.

Ergebnisse: 1. Bei der Langtagpflanze *Hyoscyamus niger* \odot ist nach erfolgter Kälteeinwirkung die Anwesenheit von Blättern für die Blütenbildung nicht erforderlich.

2. Die Blütenanlage erfolgt unabhängig von der Tageslänge, selbst in völliger Dunkelheit.

3. Das Ausbleiben der Blütenbildung bei kälteinduzierten \odot *Hyoscyamus*-Pflanzen in Kurztag beruht auf einer in den Blättern angreifenden Hemmwirkung der zu kurzen Photoperiode.

4. Bei dieser Hemmwirkung scheint die Dunkelheit allein maßgebend zu sein.

Dem Reichsforschungsrat danken wir für die Förderung unserer Versuche.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, Abt. v. WETTSTEIN, den 30. Januar 1941.

A. LANG. G. MELCHERS.

¹⁾ H. A. BORTHWICK u. M. W. PARKER, Bot. Gaz. 100, 374—387 (1938).

²⁾ M. H. ČAJLAHJAN, Hormonaltheorie der Pflanzenentwicklung. Moskau-Leningrad 1937.

³⁾ M. H. ČAJLAHJAN, Bull. Acad. Sci. URSS., Sér. biol. 1249—1279 1938.

⁴⁾ K. C. HAMNER u. J. BONNER, Bot. Gaz. 100, 388—431 (1938).

⁵⁾ K. C. HAMNER u. A. W. NAYLOR, Bot. Gaz. 100, 853—861 (1939).

⁶⁾ R. HARDER u. H. V. WITSCH, Gartenbauwiss. 15, 226 bis 246 (1940).

⁷⁾ J. E. KNOTT, Proc. amer. Soc. horticult. Sci. 31, Suppl.-Bd., 152—154 (1934).

⁸⁾ W. F. LOEWING, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 37, 631—634 (1938).

⁹⁾ E. M. LONG, Bot. Gaz. 101, 168—188 (1939).

¹⁰⁾ V. N. LUBIMENKO u. E. D. BOUSLOVA, C. R. (Doklady) Acad. Sci. URSS. 14, 149—152 (1937).

¹¹⁾ G. MELCHERS, Biol. Zbl. 57, 568—614 (1937).

¹²⁾ G. MELCHERS u. A. LANG, Biol. Zbl. 61, 16—39 (1941).

¹³⁾ B. S. MoŠKOV, Bull. Appl. Bot., A 19, 145—156 (1937).

¹⁴⁾ B. S. MoŠKOV, C. R. (Doklady) Acad. Sci. URSS. 24, 489—491 (1939).

¹⁵⁾ G. M. PSAREV, Sov. Bot. 1936 (3), 88—91.

*) Die beiden als vegetativ aufgeführten Individuen in Gruppe 2 und 4 befanden sich bei Abbruch des Versuches allem Anschein nach kurz vor der Blütenbildung.

Besprechung.

HARANG, LEIV, **Das Polarlicht und die Probleme der höchsten Atmosphärenschichten.** (Probleme der kosmischen Physik, Bd. XX. Herausgegeben von CH. JENSEN.) Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler Kom.-Ges. 1940. VIII, 120 Seiten, 72 Abbildungen und 17 Tabellen im Text. 15 cm x 23 cm. Preis br. RM 10.20, geb. RM 11.80.

Das Buch hat nicht den Charakter eines Handbuchsartikels, der mit möglichster Vollständigkeit alles zusammenstellt, was über das Gebiet im Schrifttum bekannt geworden ist. Hätte der Verf. diese Absicht gehabt, so würde das Buch nicht nur 120 Seiten umfassen. Tatsächlich hat er aus dem großen Gebiet diejenigen Fragen und Ergebnisse in sehr geschickter Weise herausgeholt, denen die Wichtigkeitsstufe 1 zuzuerkennen ist.

Von den 2 Teilen, in die das Buch zerfällt, bezieht sich der größere auf die Nordlichterscheinungen, der kleinere auf die Ionosphäre. In dem ersteren werden die verschiedenen Formen des Nordlichts und die

Methoden zur Messung ihrer Höhen besprochen, ebenso das Spektrum des Nordlichts und seine Deutung, die Theorien über die Entstehung des Nordlichts, besonders diejenige von BIRKELAND und STÖRMER. Daran schließt sich ein allgemeiner Abschnitt über den physikalischen Zustand der Atmosphäre in der Nordlichtregion, über Zusammensetzung, Druck und Temperatur der Atmosphäre, über die Frage nach dem Vorhandensein der leichten Gase, über die leuchtenden Nachtwolken und das Nachthimmellicht. Der zweite Teil befaßt sich mit der Ausbreitung der Radiowellen in einem ionisierten Gas und dem Einfluß eines magnetischen Feldes darauf, mit den ionisierten Schichten der Ionosphäre und ihrer täglichen und jährlichen Änderung, mit den Störungen der Ionosphäre, der Änderung der Ionisation während einer Sonnenfleckenperiode, den Theorien der Schichtenbildung.

Der Verf. als Leiter des Nordlicht-Observatoriums in Tromsø (Nord-Norwegen) besitzt für die Untersuchung des Nordlichts und damit zusammenhängender

Erscheinungen Möglichkeiten, wie sie kaum irgend jemand anderem zur Verfügung stehen. Der Überblick, den er in dem Buch gibt, rührt also von einem Mann her, der das Gebiet in besonderem Maße beherrscht: man merkt das sowohl in der Auswahl des Stoffes als

in der Darstellung. Ich weiß kein anderes Buch, das man zur Einführung in dieses ganze Gebiet dem Physiker, Geophysiker und Hochfrequenztechniker ebenso sehr empfehlen könnte wie das vorliegende.
J. ZENNECK.

Bericht über die Haupttagung der Deutschen Bunsengesellschaft in Leipzig, Ende Oktober 1940.

Die letzte Bunsentagung stand nicht im Zeichen eines Hauptthemas, wie es sonst üblich war. Doch wurde ein Teil der Vorträge unter dem Titel „Lichtabsorption und Konstitution“ zusammengefaßt. Hierüber wird im Teil B des Referates berichtet. Von den allgemeinen Vorträgen können nicht alle referiert werden. Von den nicht referierten werden am Schluß von Teil A die Titel genannt.

A. Allgemeine Vorträge.

R. FLEISCHMANN, Heidelberg, berichtete zusammenfassend über „Kernchemie“, d. h. über die Umwandlungen der Atomkerne, soweit es sich um Erscheinungen handelt, die mit chemischen Vorgängen in Parallele gesetzt werden können. Nach einigen Vorbemerkungen über die Erzeugung der eine Umwandlung hervorrufenden Teilchen gab der Vortr. einen Überblick über die rund 500 heute bekannten Umwandlungsreaktionen und die Methoden, die zu ihrer Beobachtung dienen. Besonders hervorgehoben wurde die wichtige Rolle der langsamen Neutronen, die von vielen Kernen angelagert werden, und dadurch neue, meist radioaktive Kerne erzeugen, die dann charakteristische Strahlungen aussenden. Der Aufbau der Kerne aus Neutronen und Protonen wurde beschrieben und der Zusammenhang zwischen Zusammensetzung und Stabilität eines Kerns erläutert. Zum Schluß wies der Vortr. auf die interessanten, heute schon möglichen, *praktischen* Anwendungen der Kernphysik hin.

O. FUCHS, Darmstadt, berichtete über interessante Versuche mit „hochgespanntem Wasserdampf als Lösungsmittel“. Stoffe, wie NaCl, KCl, NaOH lösen sich echt in hochgespanntem Wasserdampf und können echt mit ihm flüchtig gehen. Die gelösten Mengen sind beträchtlich; z. B. bei Kochsalz bei 220 kg/cm² über 400 mg/l im Kondensat.

H. A. STUART, Dresden, führte einen Film über zweidimensionale Modellversuche zu den in Flüssigkeiten auftretenden Nahordnungserscheinungen vor. Die Moleküle werden durch Stäbchen oder Scheiben, die zum Teil mit kleinen Stabmagneten versehen sind, dargestellt, die sich auf einer durch senkrechte Stöße erschütterten Unterlage befinden. Die Analogie der sich zeigenden Ordnungserscheinungen mit den Vorstellungen, die man sich von den Verhältnissen in Flüssigkeiten gebildet hat, ist sehr weitgehend.

W. KAST und A. PRIETZSCHK, Halle a. d. S., untersuchten die „Struktur des glasigen und des unterkühlten Äthylalkohols“ nach der Debye-Scherrer-Methode bei -150° . Es wird ein starker Reflex gefunden, der einem Abstand von 2,9 Å entspricht, der innerhalb des Moleküls nicht vorkommt und der der O—H—O-Brückenbindung zugeordnet wird. Aus den Intensitäten der Streukurve folgt, daß bei -150° jedes O-Atom durch solche Brücken mit zwei Nachbarn verknüpft wird, daß sich also lange Ketten von Alkoholmolekülen ausbilden, die die große Unterkühlbarkeit erklären.

Geringe Wasserzusätze erhöhen die Zähigkeit außerordentlich, so daß der Alkohol in den glasigen

Zustand übergeht. Die Deutung ist hier die, daß nun das Wassermolekül in diese Ketten mit eingelagert wird, und wegen seiner beiden O-Atome Anlaß zu Kettenverzweigungen gibt und damit zu einer flechtwerkartigen Struktur.

K. SEILER, Breslau, beschrieb eine „einfache Anordnung zur Erreichung von Heliumtemperaturen ohne Verwendung von explizit verflüssigtem Wasserstoff“. Es handelt sich um eine einfach konstruierte und billige Gegenstromanlage zur Verflüssigung von Helium, wobei das Helium einen vollständigen Kreislauf durchmacht und insgesamt nur etwa 20 l Heliumgas benötigt werden. Zur Vorkühlung wird Bombenwasserstoff benutzt, der ebenfalls in einem Gegenströmer entspannt wird.

TH. RUMMEL, Berlin, behandelte die „Schnellprüfung von flüssigen Isolierstoffen mittels elektrischer Entladungen“. In elektrisch beanspruchten Geräten mit flüssiger Isolierfüllung treten durch Einwirkung von Gasentladungen auf die Flüssigkeit Vorgänge physikalischer und chemischer Natur auf, die zu einer Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten führen. Diese Vorgänge kann man in besonders entwickelten Geräten zu Eignungsprüfungsverfahren für die flüssigen Dielektrika verwenden. Man kann physikalische und chemische Effekte unterscheiden. Zu den ersteren gehören die entgasende Wirkung, die mechanische Wirkung und die Leitfähigkeitserhöhung durch Konvektion. Chemische Wirkungen sind Polymerisationserscheinungen, Wasserstoffabspaltung und Zersetzungen infolge Zerstörung der C—C-Bindung, besonders beobachtet bei langkettigen Kohlenwasserstoffen.

W. HOLZMÜLLER, Berlin, untersuchte die „anomale Dispersion und den Verlustwinkel an amorphen, organischen Festkörpern bei Hochfrequenz“. Zunächst erläuterte der Vortr. ausführlich die rechnerischen Grundlagen, die sich auf den Theorien von DEBYE aufbauen. Dann werden Messungen des Verlustwinkels an Polyacrylsäuremethylester, Polystyrol und Polyvinylacetat, sowie Messungen der Temperaturabhängigkeit der Relaxationszeit an Mischpolymerisaten der beiden erstgenannten Verbindungen mitgeteilt und zur Prüfung der Theorie herangezogen. Diese Untersuchungen gestatten einen gewissen Einblick in die innere Struktur hochpolymerer, amorpher Kunststoffe.

FR. MÜLLER, F. HEUER und O. WITNES, Dresden, brachten einen „Beitrag zum Studium der Abscheidungsbedingungen bei der Herstellung von Elektrolyteisenblechen“. Elektrolyteisen ist extrem rein und besitzt hervorragende magnetische Eigenschaften. Die abgeschiedenen Bleche müssen porenfrei, nicht spröde und leicht von der Mutterkathode ablösbar sein. Orientierende Versuche hierzu wurden von den Verff. unternommen. Leicht ablösbar ist das Eisen z. B., wenn die Kathode vor Beginn der Abscheidung von einem Oxydfilm bedeckt ist. Als Ursache von Härte und Sprödigkeit des Elektrolyteisens wird neben dem mitabgeschiedenen Wasserstoff auch der Einbau von

Oxyden oder basischen Bestandteilen erkannt. Verhindert man ihre Entstehung durch Zusatz kleiner Mengen unedler Metalle, die ein schwerlösliches Hydroxyd bilden, so kann man unter Umständen wesentlich weichere Bleche abscheiden.

K. E. SCHWARZ, Köln, berichtete über „Überführungserscheinungen in Salzschnmelzen“. Es werden orientierende Messungen von Überführungszahlen und Diffusionspotentialen in Salzschnmelzen mitgeteilt ($\text{SnCl}_2 + \text{SnJ}_2$). Die Hauptschwierigkeit bereitet die Vermeidung von Konvektionserscheinungen. Bei der Messung des Diffusionspotentials sind die Schwierigkeiten geringer. Hier wurden Lösungen von Halogensilber in geschmolzenem AgNO_3 zwischen Ag-Elektroden untersucht. Sämtliche Halogenionen wandern zur Kathode. Die Konzentrationsabhängigkeit der Überführungszahlen stimmt mit den theoretischen Erwartungen überein.

K. F. BONHOEFFER, Leipzig, berichtete über „Versuche zur Aktivierung von passivem Eisen in Salpetersäure“. Berührt man einen Eisendraht, der sich in Salpetersäure von einer Konzentration befindet, die noch eben passivierend wirkt, an dem einen Ende einen Augenblick mit einem Zinkstab, so kann man unter bestimmten Bedingungen beobachten, wie eine aktive Zone entsteht, die längs des Drahtes fortwandert. Die Aktivierung durch das Zink entspricht dem Kurzschluß eines galvanischen Elementes zwischen dem Eisen und dem Zink. Die Aktivierung kann dementsprechend auch durch kathodische Polarisation des Eisendrahtes erreicht werden. Bei der Fortpflanzung der Erscheinung wirkt dann stets die aktive Zone des Eisens, die niedriges Potential besitzt, als Anode. Schon WILH. OSTWALD hat auf die große und mehr als formale Analogie hingewiesen, die zwischen der Fortpflanzung dieser Aktivität und der Fortpflanzung der Erregung längs eines Nerven besteht. Auch hier soll ja bekanntlich zwischen der erregten und der unerregten Stelle ein elektrischer Strom fließen.

Der Aufklärung der noch sehr undurchsichtigen physikalisch-chemischen Vorgänge dienen die Versuche des Vortr. Es wurde festgestellt, daß bei der Aktivierung durch kathodische Polarisation das Produkt aus Stromstärke und Zeit über mehr als zwei Zehnerpotenzen konstant ist und etwa 10^{-4} Coulomb beträgt, wodurch gerade eine monomolekulare Schicht von Eisenoxyd reduziert werden kann. Der Stromstoß wirkt nur auslösend. Hierin zeigt sich eine weitere Analogie zur Nervenleitung, bei der es auch keine verschieden starken Reize, sondern nur verschiedene Anzahlen von Reizen gibt.

Beobachtet man den Potentialverlauf beim Durchgang der Aktivierung an einem Punkt des Eisendrahtes, so sinkt das Potential zuerst von seinem anfänglichen Wert von etwa 1 Volt auf etwa 0,3 Volt ab; dann steigt es auf einen höheren als den Anfangswert, um schließlich auf diesen zurückzukommen. Man überlegt leicht, daß es hiernach Stücke in dem Draht geben muß, in denen Ströme in entgegengesetzten Richtungen fließen, zwischen denen es einen stromlosen Punkt gibt. Es bleibt ungeklärt, wie diese beiden Ströme zur Fortpflanzung der Störung längs des Drahtes führen.

J. GOUBEAU und L. THALER, Göttingen, stellten „Versuche zur quantitativen Raman-Spektralanalyse“ an. Bei diesen Versuchen treten zwei Schwierigkeiten auf, einmal der störende Einfluß des Untergrundes, der durch Tyndalleffekt und Fluoreszenz hervorgerufen wird, und dann die Tatsache, daß Intensität der Linien und Konzentration nicht streng proportional

sind. Mit Hilfe von Eichmessungen lassen sich an binären Gemischen zwischen 5 und 95% Analysen mit einer durchschnittlichen Genauigkeit von etwa 1,2% erzielen. Es gelingt, auch ternäre Gemische mit Hilfe der Daten der binären Gemische zu analysieren.

G. SCHMID und U. JETTER, Stuttgart, behandelten den „Einfluß von Ultraschall auf die magnetischen Eigenschaften von Nickel“. Die Autoren finden kräftige irreversible Änderungen der Magnetisierung, während reversible Änderungen kaum in Erscheinung treten. Die Effekte werden so gedeutet, daß die Barkhausensprünge durch den Ultraschall erleichtert werden.

E. JENCKEL und J. KOMOR, Berlin-Dahlem, berichteten über „Flüchtigkeit, Diffusion und Dampfdruck am System Acetophenon-Novolak“. Die Flüchtigkeit eines Weichmachers aus einem Kunstharz wird an Lösungen von Acetophenon in einem Formaldehydharz (Novolak) untersucht, wobei die Messungen über den ganzen Bereich von glasig festem Kunstharz bis zur leicht beweglichen Lösung erstreckt werden. Die Substanz wurde hierzu in ein Kästchen gebracht, dessen Deckel eine kleine Öffnung hatte. Es wurde die in der Zeiteinheit im Hochvakuum durch diese Öffnung verdampfende Menge des Lösungsmittels bestimmt. Nur bei Lösungen mit mindestens 70% Acetophenongehalt, bei denen die hohe Diffusionsgeschwindigkeit bei der langsamen Verdampfung noch nicht zu einer merklichen Verarmung der Oberfläche führt, hängt die so gemessene Flüchtigkeit vom Dampfdruck allein ab. Der Dampfdruck nimmt in konzentrierten Lösungen stärker ab als für ideale Lösungen. Aus den Messungen zwischen 20 und 60% Acetophenon läßt sich der Diffusionskoeffizient des Acetophenons in den Lösungen berechnen, der stark konzentrationsabhängig ist; und zwar ist der Logarithmus des Diffusionskoeffizienten der Konzentration proportional.

W. GROTH und P. HARTECK, Hamburg, beschrieben Versuche über die „Selbstdiffusion des Kryptons und des Xenons“. Mit einer Isotopentrennanlage nach CLUSIUS wurden die Krypton- und die Xenonisotope weitgehend getrennt. Die zu den Diffusionsmessungen verwendeten Proben der angereicherten Isotopenfraktionen unterschieden sich beim Xenon um 2,95, beim Krypton um 1,74 Atomgewichtseinheiten. Die Selbstdiffusionskoeffizienten werden nach einem dynamischen Verfahren bestimmt, bei dem die leichten und schweren Isotopengemische in zwei gleich langen Metallrohren ineinander diffundieren. Bei einem Druck von 760 mm Hg und 20° wurde der Selbstdiffusionskoeffizient des Xenons zu $0,408 \text{ cm}^2/\text{sec}$, der des Kryptons zu $0,097 \text{ cm}^2/\text{sec}$ gefunden.

H. MARTIN, Kiel, und W. KUHN, Basel, gaben ein „Multiplikationsverfahren zur Spaltung von Racematen“ an. Das Trennverfahren besteht aus dem Zusammenwirken zweier Effekte. Einmal wird in einem Temperaturgefälle zwischen zwei parallelen Wänden durch verschieden starke Adsorption eine kleine Trennung des Racemates, hier d,l-Mandelsäure adsorbiert an einem Wollband, erzielt. Dieser kleine Effekt wird durch einen senkrecht dazu wirkenden Umlauftransport multipliziert, genau wie dies von CLUSIUS bei seiner Isotopentrennmethode durch Thermodiffusion gemacht wurde. Der Umlauf wird hier dadurch erzielt, daß das Wollband, an dem die Substanz adsorbiert ist, senkrecht zum Temperaturgradienten bewegt wird. Die mitgeteilten Effekte sind gering, zeigen aber die Richtigkeit des eingeschlagenen Weges.

G. V. SCHULZ, Freiburg i. Br., sprach über „Anregung von Polymerisationsreaktionen durch freie

Radikale“. [Polymerisationsreaktionen sind Kettenreaktionen. Über den Abbruch der Ketten weiß man, daß er durch Kettenzusammenschluß geschieht. Über Reaktionsbeginn und Kettenwachstum kann man bisher keine sicheren reaktionskinetischen Schlüsse ziehen. Die Versuche des Vortr. zeigen nun, daß durch die Entwicklung freier Radikale in monomerem flüssigem Styrol und Methacrylsäureester diese Äthylenderivate zur Polymerisation angeregt werden. Außer ihrer induzierenden Wirkung auf den Primärakt der Polymerisation beteiligen sich die Radikale je nach Reaktionsfähigkeit auch mehr oder weniger stark am Kettenabbruch. Aus dem Vergleich der Zahl der erzeugten Makromoleküle mit der der entwickelten Radikale folgt, daß die reaktionskinetische Kettenlänge gleich der molekularen ist. Die Versuchsergebnisse werden als Beweis dafür angesehen, daß der Polymerisationsvorgang über Radikalketten verläuft.

R. SUHRMANN und H. SCHNACKENBERG, Breslau, untersuchten die „Kinetik des Überganges ungeordneter Metallschichten in den geordneten Zustand“. Die Autoren stellen bei 64° absolut (flüss. Stickstoff) dünne, nichtkristallisierte Schichten aus verschiedenen Metallen durch Kondensation aus dem Dampf her. In dem Temperaturbereich, in dem der elektrische Widerstand dieser dünnen Schichten mit steigender Temperatur irreversibel abnimmt, tritt bei konstant gehaltener Temperatur eine zeitliche Abnahme des elektrischen Widerstandes ein, die bei 77,5°, 182,5° absolut und bei Zimmertemperatur untersucht wird.

Bei jeder der Temperaturen nähert sich der Widerstand einem konstanten Endwert, nimmt also die Zahl der gestörten Zentren um einen bestimmten Betrag auf einen Endwert ab, für den der erreichte Widerstand ein Maß ist. Die zeitliche Abnahme der gestörten Zentren bei einer bestimmten Temperatur läßt sich durch eine Hyperbel darstellen, woraus man schließen kann, daß der Abbau und die Einordnung der Gitterstörungen als eine Reaktion 2. Ordnung aufgefaßt werden kann. Die erforderliche Aktivierungsenergie kann aus der Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeit berechnet werden. Es zeigt sich, daß die Aktivierungsenergien der Metalle sich in der Reihenfolge der charakteristischen Temperaturen Θ einordnen. Ein Vergleich der gefundenen Aktivierungsenergien mit den aus den charakteristischen Temperaturen Θ berechenbaren Eigenschwingungsenergien der verschiedenen Metalle zeigt, daß die Schwingungsenergie jedesmal nahezu gleich der Aktivierungsenergie ist. Diesen merkwürdigen Befund deuten die Verf. so, daß die Aktivierung zweier gestörter Zentren dann erfolgt, wenn ihre thermische Energie „in einer Art Resonanz“ mit der Schwingungsenergie der Gitterbausteine der einzelnen Kristallisationskeime sich befindet.

Außerdem wurden folgende Vorträge gehalten: F. LIENEWEG, Berlin-Siemensstadt, „Selbsttätige Konzentrationsbestimmungen mittels elektrochemischer Meßverfahren“; F. ROGOWSKI, Berlin-Dahlem, „Elektroneninterferometrische Vermessung freier Moleküle; Isomerie am Stickstoffatom“; F. WIEGNER, Bonn, „Löslichkeitsmessungen von Chlorwasserstoff in Cyclohexan“; H. RÖGENER, Leipzig, „Messungen der Selbstdiffusion von Flüssigkeiten“; O. SCHMITZ-DUMONT, Bonn, „Über die Amide des dreiwertigen Chroms und Kobalts“; F. WEIBKE und G. SCHRAG, Stuttgart, „Die Bildungswärmen der niederen Phosphide einiger Schwermetalle“; M. BODENSTEIN, Berlin, „Die Reaktionen des Hydroxylamins und die katalytische Ammoniakoxydation“; H. ZEISE, Berlin, „Das physikalisch-chemische Problem der motorischen Zündung“;

K. H. GEIB, Leipzig, „Spektroskopische Untersuchungen an Flammen mit atomarem Sauerstoff“; C. F. HÜRTIG und E. HERRMANN, Prag, „Über die Erhöhung der Lösbarkeit der in den Kaolinen enthaltenen Tonerde als Folge einer Vorerhitzung in Fremdgasen“; E. SCHIEBOLD, Leipzig, „Über die Bedeutung kristallographischer Faktoren bei heterogenen Reaktionen“; R. SCHENK, Marburg, „Aus der Entwicklungszeit der Chemie des festen Zustandes“.

K. WIRTZ, Berlin-Dahlem.

B. Vortragsgruppe „Lichtabsorption und Konstitution“.

Der Aufstellung dieser Vortragsgruppe lag die Absicht zugrunde, die verschiedenen Anschauungen über das Zustandekommen der Lichtabsorption, insbesondere bei organischen Verbindungen, einander gegenüberzustellen. Zu den älteren phänomenologischen Theorien, die im wesentlichen allein auf das chemische Erfahrungsmaterial begründet sind, tritt heute die physikalische Theorie, welche dieses Erfahrungsmaterial aus der Natur des Lichtabsorptionsvorgangs heraus zu erklären versucht. Vertreter beider Richtungen kommen innerhalb der Vortragsgruppe zu Worte.

Zur Einführung gibt G. SCHEIBE, München, einen kurzen Überblick über die Bedeutung der Lichtabsorption als Hilfsmittel der Forschung und geht sodann auf die Entwicklung der verschiedenen theoretischen Vorstellungen ein. Ausgehend von der klassischen Farbtheorie von WITT, welcher die Begriffe „Chromophor“, „Chromogen“ und „Auxochrom“ schuf, sind zwei große Entwicklungsrichtungen erkennbar. Die eine Richtung sah die Chromophore, die Träger der Farbeigenschaften, in *einzelnen* ausgezeichneten Atomen, die andere in einer *Gesamtheit* von Atomen, die durch besondere Bindungsweise (Konjugation) miteinander verknüpft sind.

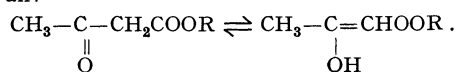
Mit der Entwicklung der Elektronentheorie der Atome begann auch die Behandlung des Problems durch die Physik. Im Rahmen der klassischen Physik stellte man sich ein Mitschwingen der Elektronen unter dem Einfluß der einfallenden elektromagnetischen Wellen vor, das innerhalb der Resonanzbereiche zu Absorption führt. Die Weiterentwicklung der Atomtheorie hat zur quantenmechanischen Behandlung des Vorgangs geführt. Die hierauf gegründete Theorie steht in ihren Ergebnissen mit denen der chemischen Theorien in Einklang, gestattet aber weitergehende Aussagen. Die Kompliziertheit des zu ihrer exakten Durchführung benötigten mathematischen Apparats steht ihrer umfassenden Anwendung jedoch noch im Wege.

Von besonderem Interesse ist die als *Farbe* in Erscheinung tretende Lichtabsorption im sichtbaren Spektralgebiet. Daß von den experimentell und theoretisch gut fundierten Zusammenhängen zwischen Lichtabsorptionsdaten und Farbedruck wenig Gebrauch gemacht wird, liegt zum großen Teil an dem Fehlen einheitlicher Meßverfahren auf dem Gebiet der Farbe. Über die hier in letzter Zeit gemachten Fortschritte berichtet ein Vortrag von S. RÖSCH, Wetzlar. Die Farbedrucke des normalen Sehvorgangs bilden eine dreidimensionale Mannigfaltigkeit, die geometrisch durch einen „Farbkörper“ dargestellt werden kann. Viele derartige Modelle sind bisher realisiert worden, jedes von ihnen kann als Bezugssystem zur Festlegung von Farben dienen. Diese Vielheit der Bezugssysteme hat die Ausfühung systematischer Farbmessungen bisher stark behindert, so daß die neuerdings getroffenen Vereinheitlichungen

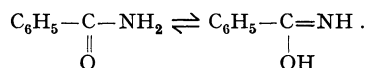
(Normblatt DIN 5033) sehr zu begrüßen sind. Von den zur Farbmessung verfügbaren Hilfsmitteln sind vier besonders zu erwähnen: Der OSTWALDSche Farbenatlas, das ARONSche Chromoskop, der Leifo-Farbmischer und das Optimalcolorimeter von RÖSCH. Die gegenseitige Vergleichbarkeit der mit diesen ermittelten Farbkoordinaten wird durch bereits vorliegende Messungen ermöglicht.

In engerem Zusammenhang zum Thema stehen die nun folgenden Vorträge. Hier berichtet zuerst M. PESTEMER, Graz, über die Erkennung konjugierter Doppelbindungssysteme in organischen Verbindungen an den hierfür charakteristischen Absorptionsgebieten. Als Beispiel wird die Absorptionsänderung bei unter Aufhebung von Doppelbindungen vorgehenden Polymerisationen betrachtet, ferner die Erkennung der in teilweise hydrierten aromatischen Ringsystemen vorliegenden konjugierten Systeme.

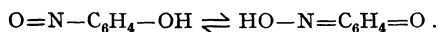
Zur Untersuchung von Tautomerien auf diesem Wege ist es notwendig, daß die auftretenden Formen genügend verschiedene Doppelbindungssysteme besitzen, um sich in ihrer Absorption wesentlich zu unterscheiden. Dies ist z. B. bei der Tautomerie des Acetessigesters der Fall:



Fehlende Absorptionsunterschiede zwischen tautomeren Formen sind mitunter durch spektrale Ähnlichkeit der beteiligten Atomgruppen zu erklären, so bei der Tautomerie des Benzamid:



In anderen Fällen scheint statt der eigentlichen Ketoform ein Zwitterion zu existieren, dessen Elektronensystem von dem der Enolform nur wenig verschieden ist. Große spektrale Änderungen zeigen auch die mit der Umwandlung benzoider in chinoide Formen verbundenen Tautomerien, wie z. B. die des p-Nitrosphenol:

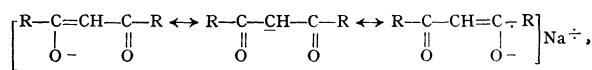


Unter Beibringung von zahlreichem neuem experimentellen Material behandelt E. HERTEL, Danzig-Langfuhr, eine Reihe von Fragen über die Natur und Eigenschaften chromophorer Gruppen. Sowohl Einzelatome als auch größere Atomgruppen können das Zustandekommen von Absorptionsbanden bewirken, d. h. als Chromophore auftreten. Letzteres läßt sich z. B. aus dem Vergleich von Molekülen erkennen, bei denen eine Vinylengruppe ($-\text{CH}=\text{CH}-$) durch eine Divinylengruppe ($-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-$) ersetzt ist. Hierbei tritt keine neue Absorptionsbande auf, vielmehr wird die vorhandene Bande nur verstärkt und etwas zu längeren Wellen verschoben.

Hieraus ist zu schließen, daß bei der Veränderung kein neuer Chromophor in das Molekül eintritt, sondern der bereits vorhandene verändert wird. Ein solches Zusammenwirken der Atome in einem gemeinsamen Chromophor ist auch bei aromatischen Systemen zu erkennen. Demgegenüber gibt es Moleküle mit olefinischem und aromatischem Teil, bei denen die Absorptionsbanden der einzelnen Teile unabhängig voneinander auftreten. Bei der weiter untersuchten Frage nach einem Zusammenhang zwischen Polarität einzelner Gruppen und ihrer Wirkung auf die Lichtabsorption wird gefunden, daß ein unmittelbarer derartiger Zusammenhang nicht existiert. Bei Ionisierung einer Gruppe (z. B. $-\text{OH} \rightarrow -\text{O}^-$) ergibt

sich nur eine Veränderung der vorhandenen Absorptionsbanden, neue Banden treten hingegen nicht auf.

Die beiden nächsten Vorträge behandeln Zusammenhänge zwischen Säureeigenschaften organischer Verbindungen und ihrer Lichtabsorption. Wie B. ERSTERT, Ludwigshafen, in seinem Vortrag betont, zeigen z. B. substituierte Methane wie $(\text{RSO}_2)_2\text{CH}_2$ und $(\text{RCO})_2\text{CH}_2$ große Neigung zur Abdissoziation eines Protons. Die Lichtabsorption der von diesen „Säuren“ gebildeten Salze zeigt jedoch einen wesentlichen Unterschied. Im ersten Beispiel beobachtet man Absorption erst im kurzwelligen Ultraviolett, im zweiten dagegen schon im langwelligen Ultraviolett oder gar im Sichtbaren. Die Abdissoziation des Protons hat in beiden Fällen verschiedene Ursachen. Im 1. Falle sind dies allein die auf der Dipolnatur des Substituenten (RSO_2) beruhenden elektrostatischen Kräfte (sog. induktiver Effekt). Im 2. Falle tritt hingegen auch ein elektromerer Effekt auf. Dieser besteht darin, daß das entstehende Anion Mesomerie (= quantenmechanische Resonanz) zeigt. Sein Bindungszustand ist nämlich als Zwischenzustand zwischen mehreren Grenzformeln zu deuten:



Die Stabilität derartiger mesomerer Systeme (beruhend auf der quantenmechanischen Resonanzenergie) begünstigt die Existenz des Anions und trägt daher zu dem Säurecharakter der ursprünglichen Verbindung bei. Andererseits ist die Mesomerie auch Ursache der Lichtabsorption im langwelligen Spektralgebiet.

Auch bei Triphenylmethanderivaten besteht dieser Unterschied. Das p-p'-Dinitrotritan ($\text{O}_2\text{NC}_6\text{H}_4$) CHC_6H_5 bildet (z. B. in NaOH) farbige Anionen, das entsprechende p-p'-Di(methylsulfonyl)-tritan ($\text{CH}_3\text{SO}_2\text{C}_6\text{H}_4$) CHC_6H_5 dagegen nicht. Auch die Wirkung der auxochromen Gruppen in Triphenylmethan- und ähnlichen Farbstoffen beruht auf ihrer Fähigkeit zu induktiver und elektromerer Wirkung.

Über quantitative Zusammenhänge zwischen Säurestärke und Lichtabsorption von Farbstoffen berichtet G. SCHWARZENBACH, Zürich. Die auxochromen Gruppen der Farbstoffe können je nach der Wasserstoffionenkonzentration des Lösungsmittels Protonen anlagern oder abgeben (z. B. $-\text{O}^- \rightarrow -\text{OH} \rightarrow -\text{OH}_2^+$). Die mehr oder weniger große Tendenz hierzu kommt in den Werten der betreffenden Dissoziationskonstanten zum Ausdruck. Bei den hierzu besonders geeigneten Sulfo-phthaleinen werden die Dissoziationsvorgänge in dem p_{H} -Bereich von -10 bis $+17$ untersucht. Die Veränderungen sind an den Farbänderungen erkennbar, mit denen sie verbunden sind (Indikatorwirkung). Farbstoffe mit zwei auxochromen Gruppen zeigen bei Durchlaufen der p_{H} -Skala mehrere abwechselnd bathochrome und hypsochrome Farbumschläge, indem zunächst eine, dann auch die andere Gruppe verändert wird. Hierbei zeigt sich, daß symmetrische Systeme tieferfarbig sind, auch besitzen sie ein größeres Existenzgebiet auf der p_{H} -Skala, sind also im Verhältnis zu den unsymmetrischen Formen stabiler. Beides ist eine Folge der quantenmechanischen Resonanz (= Mesomerie) in diesen Systemen, die durch die Symmetrie begünstigt wird.

Diesen symmetrischen Resonanzsystemen werden die Polyene gegenübergestellt, an deren Bindungszustand eine einzige Valenzformel bei weitem bevorzugt beteiligt ist, so daß die grundsätzlich vorhandene Resonanz mit den übrigen Valenzformeln weniger zum Ausdruck kommt. Die Veränderung der Absorptions-

wellenlängen (λ) mit zunehmender Zahl (n) der Doppelbindungen geht bei Polyenen und symmetrischen Resonanzsystemen nach verschiedenen Gesetzen ($\lambda \propto n$ bzw. $\lambda \propto \sqrt{n}$). Die bekannten Farbstoffe lassen sich zwischen diese beiden Extremfälle einordnen.

Die quantenmechanische Auffassung des Lichtabsorptionsvorgangs selbst wird in dem Vortrag von TH. FÖRSTER, Leipzig, behandelt. Zum Zustandekommen von Absorptionsgebieten im langwelligen Ultraviolett oder im Sichtbaren ist die Existenz von Anregungszuständen verhältnismäßig niedriger Energie notwendig. Bei konjugierten Systemen sind die Voraussetzungen hierfür gegeben. Wenn im Grundzustand des Moleküls Resonanz (= Mesomerie) zwischen mehreren Valenzformeln besteht, existieren Anregungszustände, die durch Resonanz der gleichen Valenzformeln zustande kommen und daher in ihrer Energie wenig vom Grundzustand verschieden sind. Beispiele hierfür sind die aromatischen Ringsysteme und Farbstoffionen vom Typ der im Vortrag von SCHWARZENBACH behandelten symmetrischen Resonanzsysteme. Bei den Polyenen kommt der niedrige Anregungszustand in anderer Weise zustande, nämlich durch die energieerniedrigende Wirkung der Resonanz, die sich in den Anregungszuständen stärker als im Grundzustand betätigt. Als Beispiel der quantenmechanischen Behandlungsweise wird die Einführung auxochromer Gruppen in das Triphenylmethylkation eingehender betrachtet. Es ergibt sich hierbei eine mit der Beobachtung übereinstimmende Regel für die Veränderung der Absorptionsgebiete.

Das schon in den Vorträgen von PESTEMER und HERTEL behandelte Problem der Zuordnung von Absorptionsbanden in konjugierten Chromophorsystemen wird von G. KORRUM auf Grund weiterer Beobachtungsmaterialien behandelt. Es läßt sich bei organischen Molekülen zwischen lokalisierten und nicht-lokalisierten Absorptionsbanden unterscheiden. Erstere treten, meist mit geringerer Intensität, schon bei Anwesenheit einzelner chromophorer Gruppen (wie $-N=O$, $-NO_2$, $-N=N-$ und $=C=O$) bei verhältnismäßig langen Wellen auf, letztere erst bei Konjugation von mehreren. Im einen Falle ist die Elektronenanregung lokalisiert, im anderen auf das konjugierte System verteilt. Die auch bei konjugierten Systemen mitunter vorkommenden lokalisierten Banden lassen sich durch die Annahme erklären, daß hier an Grund- und Anregungszustand des Moleküls der Chromophor in seiner normalen Elektronenkonfiguration vorhanden ist. Im Rahmen der Mesomerievorstellung läßt sich die Veränderung dieser Elektronenkonfiguration durch elektromer wirksame Substituenten erwarten und die dabei eintretende Absorptionsänderung verstehen.

Als Beispiel einer Anwendung spektroskopischer Methoden zur Klärung chemischer Fragen berichtet E. MAYER-PITSCH, Graz, über die Ultraviolettabsorption einiger Kunstharze vom Formaldehydtyp. Die Untersuchung betrifft die durch Erhitzen von p-Cyclohexylphenoldialkohol in erster Härtingsstufe entstehenden Resitole. Der Befund steht mit der Annahme einer Kondensation durch Bildung von Ätherbrücken in Einklang. Nachgewiesen wird auch der durch nachträgliche Krackung der gebildeten Ketten entstehende Aldehyd.

In einem äußerst anschaulich gehaltenen Experimentalvortrag demonstriert E. WEITZ, Gießen, die

Farbänderungen, die eine große Zahl von Stoffen bei der Adsorption an Kieselgel und ähnlichen Adsorptionsmitteln zeigen. Bei unpolaren Verbindungen ist dies so zu erklären, daß sie durch die starken elektrischen Felder an der aktiven Oberfläche polarisiert werden, so daß Ionen in mehr oder weniger freiem Zustande entstehen, deren Farbe dann statt derjenigen der ursprünglichen Verbindung erscheint. So verschwindet die Farbe der Verbindungen HgJ_2 , BiJ_3 , Chinaldinjodäthylat durch den eintretenden Zerfall in die farblosen Ionen. Umgekehrt beobachtet man bei der Adsorption von Triphenylchlormethan, Triphenylcarbinol und sogar von dessen Methyläther die gelbe Farbe des entstehenden Triphenylmethylkations. Eine gewisse Neigung zum Übergang in den heteropolaren Zustand ist dabei Voraussetzung; fehlt diese, so findet keine Farbänderung statt.

Hiervon zu unterscheiden sind die bei nichtionoiden Farbstoffen beobachtbaren Farbänderungen durch Adsorption. Die Farbe dieser Stoffe hängt mit einer unvollständigen inneren Salz- oder Zwitterionbildung zusammen, die durch die Adsorption verstärkt wird. So ist es verständlich, daß meist eine Farbvertiefung eintritt. Auch bei Chinhydronen treten Farbänderungen auf, wobei sich in den einzelnen Fällen erkennen läßt, daß es dabei zur Bildung echter zwei-zwei-wertiger Salze oder aber zur Bildung merichinoider Salze kommt.

Als letzter Vortr. berichtet G. SCHEIBE, München, über die Bildung von lockeren Komplexen gewisser organischer Farbstoffe und die an diesen beobachtbaren Lichtabsorptions- und Fluoreszenzerscheinungen. Farbstoffe vom Typ des Pseudoisocyanin zeigen in genügend konzentrierten wäßrigen Lösungen reversible Polymerisation zu solchen Komplexen. Man erkennt deren Bildung am Auftreten einer ungewöhnlich schmalen Absorptionsbande, innerhalb der Resonanzfluoreszenz zu beobachten ist. Die Gesamtheit der miteinander vereinigten Moleküle wirkt dabei als Absorptionseinheit. Durch Vergleich mit verschieden substituierten Farbstoffen läßt sich zeigen, daß die Fähigkeit zur Polymerisation von einer gestreckten ebenen Form des Farbstoffmoleküls abhängig ist. Die polymeren Moleküle lassen sich durch Strömung ihrer Lösungen in engen Kapillaren ausrichten. Hieraus und aus anderen Beobachtungen wird geschlossen, daß es sich um eindimensionale, fadenförmige Aggregate handelt. Versuche mit polarisiertem Licht zeigen Richtungsabhängigkeit der Absorption. Und zwar wird innerhalb der Polymerisationsbande nur Licht absorbiert, dessen elektrischer Vektor in der durch die Polymerisation ausgezeichneten Richtung schwingt, während die normale Absorptionsbande der Einzelmoleküle nur auf hierzu senkrechte Schwingungen anspricht.

Ein Rückblick auf die Vorträge der Gruppe „Lichtabsorption und Konstitution“ zeigt, daß dieses schon seit so langer Zeit bearbeitete Gebiet noch längst nicht erschöpft ist. Auch heute noch lassen sich neue, unerwartete Beobachtungen machen, und eine einheitliche Theorie existiert noch nicht. Die älteren, phänomenologischen Theorien stellen nur Zusammenfassungen beobachteter Regelmäßigkeiten dar und geben keine Erklärung. Die tiefere Erkenntnis versprechende quantenmechanische Theorie dagegen steht heute erst in ihren Anfängen und hat bisher nur in einem kleinen Teilgebiet ihre vollständige Durchführung gefunden.
TH. FÖRSTER, Leipzig.

Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen.

Von P. JORDAN, zur Zeit in einem Fliegerhorst.

1. Einleitung.

Aus vielen Beispielen der Eiweißchemie ist eine hochgradig spezifische Wirkungsweise bekannt derart, daß etwa ein gewisses Ferment seine charakteristische katalysatorische Wirkung nur gegenüber ganz bestimmten Eiweißarten entfaltet. Entsprechend einer bekannten Bemerkung EMIL FISCHERS, nach welcher ein Schlüssel um so weniger verschiedene Schlösser öffnet, je komplizierter er ist, lassen sich verschiedenartige Bedingungen für das geeignete Zusammenpassen kompliziert gebauter Moleküle denken. Daher erscheint die Spezifität der Fermente zunächst nicht als einheitliches Problem; die verschiedenartigen Möglichkeiten ihres Zustandekommens dürften mit von Fall zu Fall wechselnden Anteilen zur Geltung kommen.

Ein klar umrissenes, einheitliches Problem bietet sich jedoch dar in dem eigentümlichen Vermögen des lebenden Organismus, auf künstliche Einbringung einer fremden Substanz mit der Bildung von Eiweißkörpern zu antworten, welche gegenüber dieser Substanz in hochgradig spezifischer Weise reagieren. Diese Vorgänge — Immunisierung; anaphylaktische Sensibilisierung; Bildung ABDERHALDENSCHER Abwehrfermente — stellen in mannigfach verschiedenen Ausgestaltungen ein augenscheinlich im Kern einheitliches Grundphänomen dar, für das bis vor kurzem jede Erklärungsmöglichkeit fehlte. Die EHRLICHsche Theorie der Immunisierungs- und Anaphylaxieerscheinungen versuchte gar nicht eine Lösung, sondern vielmehr eine *Ablehnung* dieses Problems: Sie nahm an, daß die nach Einspritzung von „Antigenen“ auftretenden „Antikörper“ schon unabhängig von der Antigenzufuhr im Organismus vorhanden seien. Die Antigenzufuhr sollte lediglich bewirken, daß der passende Antikörper (oder die passenden Antikörper) inaktiviert und der Organismus dadurch zu einer — in Überproduktion auslaufenden — *Regeneration* dieses Antikörpers angeregt würde. Diese Vorstellung konnte aber nur so lange glaubhaft erscheinen, als die unerschöpfliche Vielseitigkeit des Organismus in der Hervorbringung spezifischer Antikörper auch für zahllose *künstlich hergestellte* Antigene noch nicht bekannt war: Heute müssen wir die Antikörper durchaus als durch die Antigenzufuhr veranlaßte *Neubildungen* ansehen.

Da auch spätere theoretische Erwägungen zum Immunisierungsproblem¹⁾ keine eigentliche Er-

klärung für das Zustandekommen der Antikörper versuchten, bestand bis vor kurzem überhaupt kein Erklärungsversuch für diese Erscheinung.

Eine Bemerkung von TIMOFÉEFF-RESSOVSKY¹⁾ hat den Verfasser angeregt, eine Theorie der Immunisierungs- und Anaphylaxieerscheinungen zu versuchen, welche diese Erscheinungen in Zusammenhang bringt mit dem Phänomen der *autokatalytischen Vermehrung*, wie wir sie bei den *Viren* und *Genen* kennengelernt haben. Im folgenden soll eine zusammenfassende Übersicht der diesbezüglich ausgeführten Überlegungen²⁾ gegeben werden. Ferner bringt der Aufsatz einige Ergänzungen sowie eine gewisse Präzisierung und Vereinfachung der Darstellung. Insbesondere sollen auch die Abwehrfermente mit berücksichtigt werden; ihre Bildung läßt sich analog verstehen, wie die der serologischen Antikörper.

Wir beginnen mit einer Übersicht der allgemeinen experimentellen Tatsachen³⁾. Leider müssen wir in der Kürze dieses Berichtes verzichten auf eine Hervorhebung der Verfasser, denen die grundlegenden Erkenntnisse des Gebiets zu verdanken sind⁴⁾.

2. Antigene.

Wir wollen uns unter dem Antigen im folgenden stets eine chemisch einheitliche Substanz vorstellen. Einbringung eines Gemisches verschiedener Antigene kann gegenüber dem im folgenden Darzustellenden zusätzliche (und uninteressante) Komplikationen bedingen.

Zur antigenen Wirksamkeit — *definiert* als die Hervorrufung eines spezifischen Antikörpers — sind viele Eiweißstoffe befähigt. Eine *partielle fermentative Zerspaltung* ist zur Einleitung ihrer

¹⁾ N. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Congrès du Palais de la Découverte, S. 495. Paris 1937.

²⁾ P. JORDAN, Fundam. Radiol. 5, 43 (1939) — Z. Immunforsch. 97, 330 (1939) — Physik. Z. 39, 711 (1938) — Z. Physik 113, 431 (1939). — Ferner: Diskussionsbeitrag zur Zweiten Wiss. Woche Frankfurt a. M. 1939 (Dresden: Th. Steinkopff).

³⁾ Dieser Übersicht liegen hauptsächlich folgende zusammenfassende Darstellungen zugrunde: Beiträge von H. SACHS, E. WITEBSKY, H. SCHLOSSBERGER, R. DOERR im Handb. d. norm. u. path. Physiol. 13. Berlin 1929. — F. HAUROWITZ, Fortschritte der Biochemie II u. III. Dresden-Leipzig 1932 u. 1938, ferner Med. Klin. 1938, Nr 26. — H. SCHMIDT, Fortschritte der Serologie. Dresden-Leipzig 1933. — J. MARRACK, Erg. Enzymforsch. 7, 281 (1938). — K. LANDSTEINER, Die Spezifität der serologischen Reaktionen. Berlin 1933. — P. KALLÓS u. L. KALLÓS-DEFFNER, Erg. Hyg. 19, 178 (1937).

⁴⁾ Eine historische Übersicht gibt KALLÓS, a. a. O.

¹⁾ Vgl. z. B. die der hier vorgetragenen Theorie etwas näher kommenden Überlegungen von F. HAUROWITZ, Med. Klin. 1938, Nr 26.

antigenen Wirksamkeit notwendig¹⁾. Irreversibel denaturiertes Eiweiß wirkt nicht antigen.

Als „Hapten“ bezeichnet man eine Substanz, die selber nicht Antigen ist, aber durch Verbindung mit Eiweiß Antigen ergibt und dann Antikörper hervorruft, die nicht nur mit dem vollständigen Antigen, sondern auch mit dem isolierten Hapten spezifisch reagieren. Manche dieser Haptene liefern nur nach Bindung an ein *artfremdes* Eiweiß Antigene, andere dagegen bereits bei Bindung an eigenes Eiweiß des behandelten Organismus. Zu den ersteren scheinen gewisse Lipoide zu gehören, welche bei der SACHSSchen „Kombinationsimmunsierung“ zugleich mit artfremdem Eiweiß eingespritzt werden und dann antigen wirken, was bei Einspritzung der Lipoide *allein* nicht der Fall ist. Im Gegensatz zur SACHSSchen „Schleppertheorie“, welche unseres Erachtens unnötige Komplizierungen in diesen Sachverhalt — und damit auch in die grundsätzliche Problematik der Serologie — hindeutet, möchten wir (mit LANDSTEINER) diesen Effekt so auffassen, daß zunächst (wenn auch vielleicht nur in geringer Menge) eine Verbindung des Lipoids mit dem benutzten Eiweiß zustande kommt, die dann ihrerseits antigen wirkt. Eine Stütze dieser Auffassung bildet die Tatsache, daß die entstehenden Antikörper Spezifität nicht nur in bezug auf das Lipoid-Hapten, sondern auch in bezug auf das betreffende artfremde Eiweiß zeigen — ein Sachverhalt, der im Rahmen der Schleppertheorie allerdings eine andersartige Darstellung findet²⁾.

Zahlreiche Antigene sind künstlich erzeugt worden, indem Diazverbindungen verschiedenster Art an Eiweiß gekuppelt wurden (LANDSTEINER). Bei dieser Kupplung heften sich gewöhnlich mehrere (oft 50—100) der fraglichen Radikale an je ein Eiweißmolekül³⁾. Es ergeben sich auf diese Weise Antigene, welche Spezifität hauptsächlich in bezug auf das benutzte Hapten zeigen, in geringem Maße auch in bezug auf das benutzte Eiweiß.

Nach neueren Ergebnissen⁴⁾ scheint auch die antigenen Wirksamkeit gewisser hochmolekularer Kohlehydrate nunmehr gesichert, welche in gewissen Bakterien enthalten sind. Grundsätzlich kann allerdings nicht die Möglichkeit ausgeschlossen werden, daß auch diese zunächst mit körpereigenen Eiweißmolekülen in Verbindung treten, bevor sie antigen wirksam werden.

3. Antikörper.

Die Zahl der gebildeten Antikörpermoleküle ist gewöhnlich sehr viel größer, als die der eingespritzten Antigenmoleküle. Z. B. ist in einem Falle ein ungefähres Verhältnis von 100000 : 1 nachgewiesen⁵⁾, in einem anderen ein Verhältnis von

25000000 : 1 zu schätzen¹⁾. Unspezifische Zellreize können die Antikörpererzeugung verstärken, auch noch nach Abklingen des ursprünglichen Antigenreizes („*Protoplasmaaktivierung*“²⁾). In manchen Fällen (vielleicht häufig?) veranlaßt ein einziges Antigen die Bildung mehrerer verschiedener Antikörper³⁾.

Soweit unsere Kenntnis reicht, gehören die Antikörper stets zur *Globulinfraction* des Serums. Sie lassen sich in vielen Fällen nicht von dieser abtrennen, außer unter Benutzung ihrer spezifischen Affinität gegenüber dem zugehörigen Antigen. In gewissen daraufhin untersuchten Fällen waren Antikörper sogar serologisch nicht vom normalen Globulin zu unterscheiden; d. h. bei Verwendung als *Antigen* zeigen das normale Globulin und das Antikörper-Globulin keine Verschiedenheit⁴⁾. Jedoch konnte TISELIUS für bestimmte Beispiele den Antikörper *elektrophoretisch* vom normalen Globulin unterscheiden. Das normale Globulin des betreffenden Organismus zeigte in der elektrophoretischen Analyse drei trennbare Komponenten α , β , γ ; darin vorhandene Antikörper gehörten teils zur Komponente γ , teils bildeten sie eine besondere zusätzliche Komponente. Es gibt aber auch Fälle derart, daß sich ein Antikörper schon durch das Molekulargewicht vom normalen Serumglobulin unterscheidet. So z. B. im Pferdeserumglobulin (Molekulargewicht 150000) ein gewisser Antikörper vom Molekulargewicht 500000⁵⁾.

Die Bildung der Antikörper geschieht nicht im Blute selbst; vielmehr werden sie erst sekundär aus ihren Bildungsstätten in die Blutbahn ergossen. Man wird von vornherein die Bildungsstätten der Antikörper dort vermuten, wo auch die normalen Globuline des Blutes gebildet werden. Es scheint, daß sie vorwiegend in der Leber, der Milz und dem Knochenmark entstehen (vgl. z. B. HAUROWITZ a. a. O.). In gewissem Umfang haben aber wohl alle oder mindestens sehr viele Zellarten die Fähigkeit der Antikörperbildung.

Die Spezifität der Antigen-Antikörper-Reaktionen ist keine absolute, obwohl oft sehr hochgradige. Ein Antikörper reagiert außer dem zu seiner Erzeugung benutzten Antigen oft auch mit einem „ähnlichen“ Antigen; die Ähnlichkeit der beiden Antigene kann darin bestehen, daß beide Moleküle ein gewisses Teilstück in übereinstimmender Gestalt besitzen; jedoch ist auch eine bloße chemische *Ähnlichkeit* zweier Teilstücke in vielen Fällen ausreichend. Insbesondere kommen „*areziproke Reaktionen*“ vor derart, daß zwischen 2 Antigenen A' , A'' , mit zugehörigen Antikörpern K' , K'' , wohl eine Reaktion von A' mit K'' , aber nicht von A'' mit K' stattfindet. — Diese Fest-

¹⁾ Vgl. KALLÓS, a. a. O., S. 205.

²⁾ Vgl. KALLÓS, a. a. O.

³⁾ Vgl. z. B. KALLÓS, a. a. O., S. 204.

⁴⁾ A. J. WEIL, J. A. PARFENTJEV, K. L. BOWMAN, J. of Immunol. 35, 399 (1938). — Vgl. ferner KALLÓS, a. a. O., S. 206.

⁵⁾ Vgl. KALLÓS, a. a. O.

¹⁾ Vgl. z. B. KALLÓS, a. a. O., S. 200.

²⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 441.

³⁾ Vgl. KALLÓS u. KALLÓS-DEFFNER, a. a. O., S. 204.

⁴⁾ Vgl. HAUROWITZ, a. a. O. — KALLÓS, a. a. O., S. 200.

⁵⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 448.

stellungen konnten natürlich nur auf Grund der Herstellung chemisch einheitlicher und wenigstens teilweise strukturell bekannter Antigene gemacht werden; an uneinheitlichen Antigenen können äußerlich ähnliche Effekte auf Grund sekundärer Komplikationen zustande kommen.

Die Antigen-Antikörper-Reaktion ergibt eine lockere Verbindung zwischen beiden Substanzen. Oft kann diese Verbindung leicht, z. B. durch bloße Verdünnung der Lösung oder Änderung des Ionenmilieus, Kataphorese usw., wieder gespalten werden; durch die Reaktion bewirkte Veränderungen der Reaktionspartner sind gewöhnlich nicht festzustellen¹⁾. Ein *Dissoziationsgleichgewicht* wurde übrigens schon von ARRHENIUS und MADSEN 1903 angenommen zwecks Erklärung von Effekten, die EHRlich — eine festere Verbindung von Antigen und Antikörper annehmend — durch Zusatzhypothesen deuten mußte²⁾. Bei „natürlichen“ Antigenen handelt es sich anscheinend stets um *stöchiometrische* Verbindungen; allerdings derart, daß mehrere verschiedene Komplexmoleküle mit verschiedenen Anzahlen der beteiligten Antigen- bzw. Antikörpermoleküle gebildet werden können. Bei künstlich hergestellten Komplexantigenen, bei denen die „determinante“ Gruppe des Antigenmoleküls sehr klein ist und sich an einem einzelnen Antigenmolekül vielfach wiederholt, wird man naturgemäß mit der Möglichkeit einer starken Verwischung stöchiometrischer Verhältnisse rechnen.

Von näherer Erörterung ausgeschlossen bleiben soll hier die (praktisch wichtige) Tatsache, daß die Antigen-Antikörper-Reaktionen häufig (nicht immer) verknüpft sind mit *Komplementbindung*. Obwohl grundsätzlich gut zu dem hernach zu entwickelnden theoretischen Bilde passend, ist diese Tatsache doch im einzelnen noch nicht genauer zu beurteilen. Dasselbe gilt von dem sog. DANYSZ-DUNGERNSCHEN Phänomen³⁾, welches zeigt, daß die Antigen-Antikörper-Reaktion nicht immer einfach zu einem reversiblen Dissoziationsgleichgewicht führt, sondern zusätzliche Komplikationen noch ungeklärter Art zeigen kann.

Die hernach darzustellende Theorie der serologischen Erscheinungen legt gewisse Vermutungen betreffs der Natur dieser Komplikationen nahe. Eine endgültige Klärung der Verhältnisse wird nur durch weitere Experimente zu erreichen sein, bei deren Planung und Durchführung jedoch die Theorie im Auge behalten werden sollte.

4. Anaphylaktische Sensibilisierung.

Bei vielen Antigenen tritt nach der Einspritzung — nach Verlauf einer gewissen Latenzzeit — eine spezifische Überempfindlichkeit ein, derart, daß nochmalige Zufuhr desselben Antigens (in genügen-

der Dosis) einen „*anaphylaktischen Schock*“ auslöst. Die Symptome dieses — oft tödlichen — Schocks sind charakteristisch für die betreffende Tierart. Dagegen sind sie unabhängig von der Wahl des Antigens. Sie unterscheiden sich durch letzteres wesentlich von einer bei manchen Toxinen bekannten Überempfindlichkeit, die ebenfalls nach erstmaliger Einspritzung eintritt, deren Symptome aber die für das betreffende Gift charakteristischen sind. Diese Toxinsensibilisierung, die wahrscheinlich auf ganz andersartigen Umständen beruht⁴⁾, soll hier außer Betracht bleiben.

Der Primärvorgang des anaphylaktischen Schocks spielt sich nicht in der Blutbahn ab, im Gegenteil konnte SCHÄFER⁵⁾ kürzlich in sehr ausführlicher und klarer Weise zeigen, daß der Antikörpergehalt des Blutes keinerlei wesentlichen Einfluß auf Zustandekommen oder Nichtzustandekommen des Schocks besitzt³⁾. Nach der eindrucksvollen Darstellung von DOERR⁴⁾ kann folgendes als gesichert gelten: Der Primärvorgang spielt sich in den Gewebszellen, grundsätzlich anscheinend in *allen* Gewebsarten⁵⁾, ab, insbesondere auch in den glatten Muskeln. Er bewirkt eine Kontraktion dieser Muskeln, und zwar augenblicklich, ohne Zwischenschaltung einer meßbaren Latenzzeit. Mehrfache Gründe sprechen dafür, daß diese augenblickliche Auswirkung eine unmittelbare Folge der Antigen-Antikörper-Reaktion ist, die durch *stürmischen Verlauf* einen zur Kontraktion führenden Reiz auf den Muskel ausübt. Es entfällt danach die von vielen Verfassern in verschiedenen Spezialisierungen versuchte Hypothese eines besonderen „Anaphylaxiegiftes“, welches bei dieser Reaktion entstehen sollte, und für welches die im folgenden vorzutragende Theorie der serologischen Erscheinungen in der Tat keinen Platz bietet.

In weitem Umfang ist das Gesagte übrigens zu übertragen auf die sog. „allergischen Anfallskrankheiten“ des Menschen („Idiosynkrasien“), bei welchen ebenfalls eine Sensibilisierung vorliegt, derart, daß die in den Gewebszellen stattfindende Antigen-Antikörper-Reaktion eine pathogene Zellreizung bedingt⁶⁾.

Besondere Erfahrungen lehren allerdings, daß die anaphylaktische Primärreaktion nicht — oder mindestens nicht in allen Fällen — einfach als Reaktion des Antigens mit dem Antikörper, übereinstimmend mit der Reaktion *in vitro*, angesehen werden darf; sondern der in den fraglichen Zellen befindliche Antikörper muß sich in einem besonderen Zustand befinden (worüber hernach die

¹⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 454. — SCHLOSSBERGER, a. a. O., S. 644—646. — DOERR, a. a. O., S. 665.

²⁾ W. SCHÄFER, Arb. Staatsinst. exper. Ther. Frankf. H. 38, 25 (1939).

³⁾ Betreffs anderer schöner Experimente zu diesem Punkt vgl. KALLÓS, a. a. O., S. 195.

⁴⁾ DOERR, a. a. O.

⁵⁾ Vgl. KALLÓS, a. a. O., S. 195—197.

⁶⁾ KALLÓS, a. a. O.

¹⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 414—416. — Ferner z. B. P. H. LONG u. P. K. OLITZKY, J. of exper. Med. 51, 209 (1930).

²⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 417.

³⁾ Vgl. SACHS, a. a. O., S. 417—418.

Theorie bestimmtere Angaben machen wird). Es gibt nämlich Fälle einer sog. „inversen Anaphylaxie“¹⁾, bei welcher die zusätzliche Einspritzung desselben Antikörpers, der sich auf Grund von Antigenzufuhr im Organismus gebildet hat, schockauslösend wirkt.

Wird einem sensibilisierten Tier das Antigen, für welches es überempfindlich ist, unter Vorsichtsmaßregeln, die einen Schock vermeiden lassen, zugeführt, so kann vorübergehend eine *Desensibilisierung* erreicht werden; das zugeführte Antigen hat die im Zellgewebe vorhandenen Antikörper abgesättigt und damit bis zur Bildung neuer Antikörpersubstanz die Sensibilisierung aufgehoben („Antianaphylaxie“).

5. Passive homologe Sensibilisierung.

Wird ein anaphylaktischer Antikörper dem ihn erzeugenden Tier entnommen und in die Blutbahn eines gleichartigen Tieres eingeführt, welches *keine* Antigeneinspritzung erhalten hatte, so stellt sich in vielen Beispielen nach einer gewissen Latenzzeit auch bei diesem Tier eine gleichartige Sensibilisierung ein. („Passive homologe Sensibilisierung“). Im Endergebnis besteht kein feststellbarer Unterschied zwischen diesem „passiv sensibilisierten“ und dem ersten, „aktiv sensibilisierten“ Tier. Insbesondere kann man, wie DOERR betont, nicht etwa durch hohe Antikörperdosen passiv-homolog *stärker* sensibilisieren, als aktiv möglich ist. Gewisse Verschiedenheiten im *zeitlichen Verlauf* der Reaktionen²⁾ sind nicht größer als die auch innerhalb der aktiven Präparation bei verschiedener Größe oder Unterteilung der zugeführten Dosen auftretenden Verschiedenheiten. Grundsätzlich ist auch für die passive homologe Sensibilisierung nicht die in der Blutbahn vorhandene Antikörpermenge maßgebend, sondern der in den Gewebszellen bestehende Zustand.

Die Erscheinung der passiven homologen Sensibilisierung kann uns gewisse Erfahrungen verständlicher machen, die bei der aktiven Sensibilisierung gemacht worden sind, und zwar bei Einspritzung *minimaler* Antigenmengen (z. B. 0,00001 ccm Fremdserum für ein Meerschweinchen). Hierbei ergibt sich eine sehr verzögerte Sensibilisierung, deren allmählicher Anstieg sich über Monate erstrecken kann. Sie entwickelt sich, wie DOERR es ausdrückt³⁾, in einem autonomen Vorgang, der nur in seinem Anfang durch das Antigen ausgelöst ist, aber in seiner weiteren Entwicklung bis zum Abschluß durch die inneren Bedingungen des Organismus reguliert wird. Diese autonome Fortentwicklung der zunächst nur in geringer Spur hergestellten Sensibilisierung möchten wir für *denselben* Vorgang halten, mit dem wir es bei der passiven homologen Sensibilisierung zu tun haben: Die ersten, unmittelbar infolge der

Antigenzufuhr gebildeten geringen Antigenkörpermengen müssen — entsprechend dem Verhalten *ingespritzter* Antikörpersubstanz — rückwirkend eine nachträgliche Verstärkung der Antikörperproduktion ergeben.

Betreffs der passiven homologen Sensibilisierung aber ist die Erwartung berechtigt, daß der Antikörper — als eine nicht zum normalen Eiweiß des Blutes gehörende Substanz — auch als *Antigen* wirksam sei. Fragen wir nach dem durch diese Antigenwirkung erzeugten Antikörper, so kann als solcher nur *dieselbe* Antikörpersubstanz angesprochen werden, da ja das Wesen der passiven Sensibilisierung darin besteht, daß die eingespritzte Antikörpersubstanz über die Blutbahn in die Gewebszellen eindringt und dort zur Vermehrung *schreitet*.

Wir kommen so dazu, die passive Sensibilisierung nicht als besondere Erscheinung neben der aktiven aufzufassen, sondern als einen *Spezialfall* der aktiven, gekennzeichnet durch die Besonderheit, daß *Antigen und Antikörper dieselbe Substanz sind*.

Auch für die *inverse* Anaphylaxie ist eine „passive“ Sensibilisierung (mit Latenzzeit) bekannt. Auf diese sind ebenfalls die soeben ausgeführten Überlegungen anzuwenden, und die Art und Weise, wie wir die passive Sensibilisierung als Spezialfall der aktiven auffassen, kann am besten verdeutlicht werden, wenn wir uns ein Antigen *A* und einen zugehörigen Antikörper *K* denken mit der Eigenschaft, daß *A* sowohl gewöhnliche als auch inverse Anaphylaxie verursacht.

Wir kommen dann zu folgendem Schema, in welchem die passive Sensibilisierung sich tatsächlich als der Spezialfall $A = K$ der aktiven erweist:

	Aktive Sensibilisierung	Passive homologe Sensibilisierung
Antigen	<i>A</i>	<i>K</i>
Antikörper	<i>K</i>	<i>K</i>
Antigen-Antikörper-Reaktion	Verbindung $A_n K_m$	Polymer K_{n+m}
Schockauslösend wirkt	<i>A</i>	<i>K</i>
„ „	<i>K</i>	<i>K</i>

Die Möglichkeit einer passiven Sensibilisierung ist als eines der *definierenden* Kennzeichen der Anaphylaxie empfohlen worden¹⁾. Wenngleich diese Begriffsbestimmung vorteilhaft sein mag im Sinne einer radikalen Ausscheidung andersartiger Sensibilisierungserscheinungen, die keine innere Verwandtschaft mit der Anaphylaxie besitzen, so entspricht sie doch wohl kaum dem Sinn der Sache. Theoretisch besteht keine Veranlassung, zu bezweifeln, daß es Fälle von Antigenen und zugehörigen Antikörpern gibt, deren Reagieren zu Schockerscheinungen führt, wobei aber der Anti-

¹⁾ Vgl. DOERR, a. a. O. — KALLÓS, a. a. O., S. 196 bis 197.

²⁾ DOERR, a. a. O., S. 710.

³⁾ DOERR, a. a. O., S. 672.

¹⁾ Vgl. die bei DOERR (a. a. O., S. 664) wieder-gegebene Begriffsbestimmung von G. H. WELLS.

körper *nicht* im obigen Sinne zur Wirkung als Antigen geeignet — mit anderen Worten gesagt also keine passive Sensibilisierung möglich ist. Experimentell kennt man viele Fälle, die vielleicht hierher gehören, wobei jedoch größtenteils noch nicht entschieden ist, ob die beobachtete Sensibilisierung tatsächlich auf einer Antikörperbildung beruht. Bei Ratten und Affen versagt die passive Sensibilisierung überwiegend; und es gibt auch sonstige Beispiele ihres Versagens¹⁾ in Fällen, die zweifellos anaphylaktischer Natur im erläuterten Sinne sind.

6. Immunisierung.

Während in bezug auf die anaphylaktischen Reaktionen die im Blute vorhandene Antikörpersubstanz keine wesentliche Rolle spielt, gewinnt sie in anderem Zusammenhang erhebliche Bedeutung bei speziellen Klassen von Antigenen. Toxine können im Blute durch entsprechende Antikörper (Antitoxine) aufgefangen und somit unschädlich gemacht werden. In Bakterien enthaltene antigene Substanzen können mit Antikörpern in der Blutbahn reagieren, woraus eine Tötung der Bakterien resultieren kann. Dergestalt durch Antikörper geschützte Tiere werden als *aktiv immunisiert* bezeichnet, wenn sie den oder die Antikörper selbst auf Grund von Antigenzufuhr erzeugt haben; als *passiv immunisiert* dagegen, wenn ihnen die fertige Antikörpersubstanz zugeführt ist. Es beruht aber auch diese Schutzwirkung nicht ganz allein auf dem im Blut enthaltenen Antikörper, sondern auch der in den Gewebszellen vorhandene spielt mit.

Die Toxinantigene haben in den bisherigen Erfahrungen *keine* anaphylaktische Sensibilisierung ergeben; die schon erwähnte Toxinsensibilisierung (deren Vorhandensein *neben* der Immunität mit besonderen Methoden nachweisbar ist), scheint anderer Art zu sein. Die Frage, ob es Antigene gibt, die *keine* anaphylaktische Sensibilisierung bewirken²⁾, ist für die Theorie wohl nicht von entscheidender Bedeutung, da man sich vorstellen könnte, daß in einzelnen Fällen die Antigen-Antikörper-Reaktion nicht stürmisch genug verläuft, um schockauslösend zu wirken. Jedoch würde eine Regel derart, daß *alle* Toxine *keine* Anaphylaxie ergeben, einer besonderen Erklärung bedürfen, für welche wir bislang keine Anhaltspunkte erkennen. Sehr wichtig erscheint deshalb das Urteil R. PRIGGES³⁾, daß auch bei Toxinen die Möglichkeit von Anaphylaxie keineswegs unwahrscheinlich sei, derart, daß ihr Nachweis bisher nur an der auch bei immunisierten Tieren notwendigen Kleinheit der toxischen Antigenzufuhr (und sonstigen Vorsichtsmaßregeln, wie subkutaner Einspritzung) gescheitert sei.

Da die Immunwirkung zum wesentlichen Teil von dem in der Blutbahn vorhandenen Antikörper

¹⁾ Vgl. DOERR, a. a. O., S. 682—683. — KALLÓS, a. a. O.

²⁾ Vgl. dazu DOERR, a. a. O., S. 689.

³⁾ Nach freundlicher brieflicher Mitteilung.

abhängt, kann sie auch dann auf andere Tiere übertragen werden („passive Immunisierung“), wenn der fragliche Antikörper seinerseits *nicht* im oben besprochenen Sinne antigen wirkt, also nicht geeignet wäre, eine etwaige anaphylaktische Sensibilisierung zu übertragen.

7. Deutung der passiven homologen Sensibilisierung.

Die passive homologe Sensibilisierung, bei welcher einem Tier der von einem anderen Tier gleicher Art erzeugte Antikörper eingespritzt wird, kann nach den oben angestellten Erwägungen auch als eine Art *Virusinfektion* betrachtet werden. Es handelt sich ja darum, daß der Antikörper nach Einbringung in das normale unvorbehandelte Tier dort einen *autokatalytischen Vermehrungsvorgang* durchführt.

Die bei den Virusmolekülen — und ebenso den Genmolekülen — geschehende autokatalytische Vermehrung ist ein Vorgang, der als Grundphänomen alles organischen Lebens überhaupt betrachtet werden darf. Ihn molekularphysikalisch zu verstehen ist eine Aufgabe, die nur allmählich und schrittweise zu bewältigen sein wird. Jedoch wird eine recht vorläufige Analyse dieses Vorgangs hinreichend sein, um zu erkennen, daß die allgemeinen empirischen Gesetze der allergischen Erscheinungen durch deren Einordnung in diese autokatalytischen Vorgänge verständlich gemacht werden können, wonach dann die allergischen Erscheinungen zur spezielleren Erforschung der Eiweiß-Autokatalysen ein reichhaltiges Erfahrungsmaterial — neben den Ergebnissen der Virusforschung und der Genetik — zur Verfügung stellen.

Die autokatalytische Vermehrung von Riesenmolekülen muß offenbar so vor sich gehen, daß das fragliche Molekül M eine Anziehung ausübt auf gewisse kleinere Moleküle bzw. Radikale μ_1, μ_2, \dots , welche jeweils einem Teilstück von M gleichen. Da erfahrungsgemäß die Vermehrung eines Virus nur innerhalb eines bestimmten Eiweißmilieus vor sich geht, wird man annehmen dürfen, daß die Teilstücke μ_1, μ_2, \dots wenigstens teilweise selber schon sehr große Atomkomplexe sind.

Im einfachsten Falle also würde die Selbstreproduktion des fraglichen Riesenmoleküls so zustande kommen, daß M der Reihe nach eine Anzahl kleinerer (aber vorwiegend ebenfalls recht großer) Komplexe — die ihm zufällig nahe kommen — anzieht und festhält, welche in ihrem Zusammenschluß gerade ein neues, gleichartiges Molekül M ergeben. Natürlich können und werden dabei häufig noch gewisse Umlagerungen oder Abspaltungen zusätzlich erforderlich sein, doch fehlen uns für eine detailliertere Ausmalung des Vorgangs vorderhand noch die Unterlagen.

Das virusartige Antikörpermolekül, mit dem wir es bei der passiven homologen Sensibilisierung zu tun haben, macht also in den Gewebszellen eben diesen Vorgang durch. Dabei ist zu beachten, daß dies Molekül einem normalen Globulinmolekül sehr

ähnlich ist — es unterscheidet sich offenbar nur in einem gewissen Teilkomplex von diesem, während die übrigen Teilkomplexe des normalen Globulins und des Antikörpers dieselben sind. Deshalb dürfte der Vermehrungsvorgang gewöhnlich derart vor sich gehen, daß im Neuaufbau eines Antikörpermoleküls gerade dieser „*determinante*“ Komplex erst *zuletzt*, nach längerem Fehlen, eingebaut wird, weil seine Beschaffung schwieriger ist, als die der anderen, auch für den Aufbau normalen Globulins ständig benutzten Teilkomplexe. Wir werden also im sensibilisierten Gewebe mit Molekülen zu rechnen haben, welche zusammengesetzt sind aus *fertigen* Antikörpermolekülen und *unfertigen*, denen gerade der determinante Komplex noch fehlt. Diese Moleküle werden dann eine spezifische Affinität gegenüber einer Zufuhr freien Antikörpermaterials besitzen: *Damit ist die Grundlage für die Primärreaktion der inversen Anaphylaxie gegeben.*

Wir gewinnen also, indem wir die Analogie der passiven homologen Sensibilisierung zu einer Virusinfektion analysieren, auf einfachste Weise ein Verständnis derjenigen Erscheinungen, in welchen der Antikörper *allein* auftritt als sein eigenes Antigen, und umgekehrt wieder als sein eigener Antikörper. Wir haben die so primitiven Überlegungen, die hierbei auszuführen waren, absichtlich in recht breiter Form vorgeführt, um zu verdeutlichen, daß die Theorie, deren Darstellung uns beschäftigt, nicht eine künstliche Konstruktion ist — anstatt welcher vielleicht auch eine andere erdacht werden könnte —, sondern das unausweichliche Resultat, zu welchem eine Analyse der Erfahrungstatsachen führen muß, wenn man die in den letzten Jahren gewonnene grundlegende Erkenntnis der *Molekülnatur der Viren* und des verbreiteten Vorkommens autokatalytischer Molekülvermehrung im Auge behält.

8. Allgemeine Theorie der allergischen Reaktionen.

Um die Zwangsläufigkeit der logischen Entwicklung auch beim Fortschreiten zum allgemeinsten Fall der Sensibilisierung oder Immunisierung zu betonen, wollen wir zunächst die bisherigen Betrachtungen auf den Fall der „passiven *heterologen* Sensibilisierung“ erweitern. Es handelt sich hier darum, daß ein mit Hilfe eines Antigenes *A* in einem gewissen Tiere erzeugter Antikörper *K* einem Tiere *anderer Art* eingespritzt wird, wodurch sich die anaphylaktische Sensibilisierung — Überempfindlichkeit in bezug auf das Antigen *A* — wiederum vom ersten auf das zweite Tier überträgt. Fassen wir auch hier die passive Sensibilisierung als eine aktive auf (nur mit der Besonderheit, daß als Antigen eine Substanz *K* benutzt wird, die in einem vorherigen Experiment die Rolle eines Antikörpers spielte), so sehen wir, daß der vom zweiten Tier gebildete Antikörper *K'*, da er mit seinem Antigen *K* die Eigenschaft der spezifischen Affinität zum Ur-Antigen *A* teilt, *hinsicht-*

lich der entsprechenden determinanten Gruppe mit seinem eigenen Antigen K übereinstimmen muß.

Die Hypothese, daß Antigen und Antikörper hinsichtlich der determinanten Atomgruppe einander gleich seien, ist schon früher versucht worden, aber wieder aufgegeben, nachdem sie als in gewissen Fällen bestimmt unrichtig erwiesen war. Wir erkennen sie jetzt als andererseits in gewissen Fällen bestimmt zutreffend, und werden nunmehr ihre Gültigkeitsgrenzen genauer zu bezeichnen haben.

Unsere Vorstellung vom Verlauf der Antikörperbildung im allgemeinen Falle ist nun diese: Das antigen wirksame Eiweißmolekül — bzw. das mit einem Hapten verbundene Eiweiß — ist zunächst einem gewissen fermentativen Abbau ausgesetzt. Die Spaltprodukte werden nach Zufalls Gesetzen die mannigfaltigsten Verbindungen mit körpereigenen Molekülen des Organismus eingehen. In sehr seltenen Fällen kommt dabei einmal ein Molekül zustande, das die Fähigkeit autokatalytischer Selbstvermehrung hat. Es ist zu beachten, daß diese Vermehrungsfähigkeit wesentlich *milieuabhängig* ist: sowohl das Vorhandensein der zum Aufbau benötigten Materialien als auch Abwesenheit hindernder Umstände sind erforderlich. Die Vermehrung wird nach einiger Zeit zu einem Abschluß kommen. *Wir haben diesen autokatalytischen Selbstvermehrter als einen Antikörper anzusehen.* Daß es sich stets um ein Globulin handelt, muß als Erfahrungstatsache hingenommen werden; es ist daraus wohl der Schluß zu ziehen, *daß auch das normale Globulin durch Autokatalyse gebildet wird.* Ferner wird verständlich, daß die Antigen-eigenschaft anscheinend immer ein *eiweißhaltiges* Molekül voraussetzt: nur in diesem Falle kann ein Spaltprodukt des Moleküls im Aufbau eines Globulinmoleküls mitbenutzt werden.

Die spezifische Reaktion des Antikörpermoleküls mit dem Antigenmolekül ist nun ohne weiteres zu verstehen. Die Vermehrungsfähigkeit des Antikörpermoleküls bedeutet eine Fähigkeit, sich Moleküle bzw. Molekülteile anzuheften, welche *mit Teilstücken des Antikörpermoleküls übereinstimmen* — also insbesondere auch die dem Antikörpermolekül und dem Antigenmolekül gemeinsame determinante Gruppe anziehen. Es paßt gut zu dieser Vorstellung, daß die Antigen-Antikörper-Reaktion erfahrungsgemäß gewöhnlich zu einer lockeren Additionsverbindung führt.

Der erfahrungsgemäß *begrenzten* Spezifität der Anziehung von Antikörper und Antigen muß allerdings eine ebenso *begrenzte Genauigkeit* der autokatalytischen Reproduzierung entsprechen: die durch das erste Antikörpermolekül gebildeten „Tochtermoleküle“ können in manchen Fällen auch etwas abweichend von dem „Muttermolekül“ strukturiert sein. Ist z. B. das Antigenmolekül *arsenhaltig*, so versteht man ohne weiteres die empirische Tatsache, daß die Antikörpermoleküle *kein Arsen* enthalten¹⁾. Denn es wird nur ein

¹⁾ Vgl. LANDSTEINER, a. a. O. — KALLÓS, a. a. O.

verschwindend kleiner Teil unter diesen Molekülen mit Benutzung eines Antigenspaltprodukts als Baustein aufgebaut, und anderweitig steht arsenhaltiges Material nicht zur Verfügung. Falls also das erste Antikörpermolekül selber noch Arsen enthielt, mußten im Ablauf der autokatalytischen Vermehrung (etwas früher oder etwas später) arsenfreie Tochtermoleküle durch noch arsenhaltige Muttermoleküle aufgebaut werden.

Wir wollen aber noch einen Schritt weitergehen und für gewisse Klassen von Antigenen (vermutungsweise für die meisten der künstlichen LANDSTEINERschen Antigene, sowie überhaupt für Antigene mit kleinen, nicht eiweißartigen determinanten Gruppen) eine noch größere Verschiedenheit der affinitätsbestimmenden Teilstücke in Antigen und Antikörper in Betracht ziehen. Derartige könnte auf folgendem Wege zustande kommen. Es hat sich zunächst ein globulinartiges Molekül gebildet, in das die fragliche determinante Gruppe als Baustein aufgenommen ist. Dieses Molekül nun erfüllt in fast allen seinen Teilen, nur gerade nicht in der determinanten Gruppe, die Voraussetzungen für identische Selbstreproduktion. Es baut dann ein Tochtermolekül auf, welches ihm in fast allen Teilen gleicht, bei welchem aber die determinante Gruppe ersetzt ist durch einen anderen (eiweißartigen) Komplex, welcher der determinanten Gruppe *nicht ähnlich* ist, aber seiner Struktur nach gerade besonders gut zu ihr *paßt*: wir haben schon in den einleitenden Sätzen betont, daß *diese* Seite des Spezifitätsproblems, die Existenz genau zueinander passender komplizierter Atomkomplexe, *kein* Problem ist. Ist nun dies Tochtermolekül seinerseits voll befähigt zu autokatalytischer Vermehrung, so übernimmt es die Rolle des Antikörpers.

Der Sinn dieser letzten Erweiterung unseres Schemas ist der, daß wir die *spezifische Anziehung zwischen gleichartigen Atomkomplexen*, welche als Ursache der autokatalytischen Vermehrungsvorgänge gedacht werden muß, einschränken möchten auf eiweißartige Komplexe.

Wir tragen zugleich aber mit dieser Erweiterung des Schemas in natürlichster Weise den oben erwähnten *areziproken Reaktionen* Rechnung, welche als Argument gegen die Gleichheit von Antigen und Antikörper in bezug auf die determinante Gruppe angeführt worden sind¹⁾. Man kann zwar auch *ohne* diese Erweiterung des Schemas die areziproken Reaktionen erklären; doch halte ich diese früher (a. a. O.) gegebene Erklärung jetzt doch für zu künstlich.

Ein Antikörper, welcher sich *nicht* zu passiver homologer Übertragung eignet, ist nach unserer Auffassung der Verhältnisse *nicht antigen* für die ihn erzeugende Tierart. Dies wird etwa so zu verstehen sein, daß die fermentative Abspaltung seiner determinanten Gruppe nicht gelingt. Danach wird verständlich, daß dieser Antikörper,

wenn man ihn einem Tiere anderer Art als Antigen zuführt, wiederum keine aus jener determinanten Gruppe entspringende antigene Wirksamkeit zeigt, so daß er also, wie sich in dem oben erwähnten Befunde von WEIL und Mitarbeitern ergeben hat, von dem normalen Globulin des ihn erzeugenden Tieres serologisch nicht zu unterscheiden ist.

9. Abwehrfermente.

Da Antikörper und Fermente in gleicher Weise Eiweißkörper sind, liegt die Vermutung nahe, daß ihre Spezifität gleichartig bedingt sei, derart, daß ein Ferment *F*, das spezifisch auf eine Substanz *A* wirkt, teilweise gleichartig strukturiert sei wie ein Antikörper *K*, dessen Bildung durch die als Antigen oder Hapten benutzte Substanz *A* veranlaßt wurde. Diese Vermutung ist von MARRACK (a. a. O.) gestützt worden durch ausführlichen Vergleich der Spezifitäten von Fermenten einerseits und Antikörpern andererseits in bezug auf gewisse Kohlehydrate, die nach der LANDSTEINERschen Methode als Haptene benutzt werden können.

Ein überzeugender Beweis für die Richtigkeit der fraglichen Vermutung entspringt aus einer Anwendung unserer obigen Theorie auf die ABDERHALDENschen Abwehrfermente, betreffs deren die experimentelle Erfahrung folgendes lehrt¹⁾. Wird in die Blutbahn eines Tieres eine normalerweise nicht dorthin gehörende Substanz eingebracht, so bilden sich in vielen Fällen Fermente, welche in hochgradig spezifischer Weise gerade diese Substanz abbauen. Die Spezifität dieser Fermente zeigt eine ebenso erstaunliche Ausprägung, wie die der serologischen Reaktionen. Die Technik des Arbeitens mit der „Abwehrfermentreaktion“ ist gegenüber der serologischen Technik einfacher insofern, als die fraglichen Fermente gewöhnlich durch die Nieren ausgeschieden und somit ohne Blutentnahme zugänglich werden.

Eine kausale Verknüpfung dieser Erscheinung mit den Antikörperbildungen ist von ABDERHALDEN selber abgelehnt worden. Die zeitliche Entwicklung beider Erscheinungen ist verschieden; die Abwehrfermente sind gewöhnlich früher nachweisbar als die Antikörper. Es handelt sich also anscheinend um voneinander unabhängige Parallelerscheinungen.

Das Auftreten dieser Abwehrfermente wird nun analog verständlich, wie das der Antikörper, sofern wir — ebenso wie für die Serumglobuline — auch für die Fermente (oder mindestens einen großen Teil aller Fermente und darunter die Abwehrfermente) eine Erzeugung durch Autokatalyse annehmen. Es ist dabei nicht unbedingt erforderlich, die autokatalytische Erzeugung als *einzig*e Erzeugungsmöglichkeit anzusehen; es genügt für unseren Zweck, wenn überhaupt derartige Auto-

¹⁾ Vgl. E. ABDERHALDEN, Abwehrfermente. 4. Aufl. Berlin 1914 — Handb. d. biol. Arbeitsmeth. IV, 2 Bd. 2 (Lfg. 415) — Nova Acta Leopold. 7, 59 (1939).

¹⁾ LANDSTEINER, a. a. O.

katalysen vorkommen. Diese Annahme ist nicht nur ad hoc gemacht; sie findet eine Stütze z. B. in der autokatalytischen Bildung von Trypsin aus Trypsinogen oder Pepsin aus Pepsinogen¹⁾.

In stark schematischer Weise kann man ein Ferment [bzw. ein aktives Proteid²⁾] so kennzeichnen, daß ein Eiweißanteil bestimmend ist für die Spezifität, also dafür, welche Moleküart durch das Ferment angegriffen wird, während eine aktive Gruppe (die nicht in allen Fällen abtrennbar ist) die Art der Betätigung (z. B. Hydrierung, Oxydation usw.) bestimmt. Man wird annehmen dürfen, daß dieselbe Spezifität des Ferments, die sich in der Auswahl der anzugreifenden Moleküle äußert, auch bei autokatalytischer Vermehrung des Moleküls die Auswahl der anziehenden Bausteine beherrscht.

Danach können wir uns die Entstehung der Abwehrfermente analog wie die der Antikörper denken: Ein Teilstück eines der eingespritzten Moleküle wird zufällig einmal in den Aufbau-prozeß eines Fermentmoleküls (statt in den eines inaktiven Globulinmoleküls) einbezogen. Es entsteht damit ein Fermentmolekül, das entweder selber schon autokatalytisch vermehrungsfähig ist, oder aber ein ihm selbst unähnliches, aber spezifisch angepaßtes Tochtermolekül aufbauen kann, welches seinerseits voll vermehrungsfähig ist. Dieses bestätigt die Spezifität, die es dank seinem Zustandekommen besitzt, auch in der Auswahl der Substanzen, die es angreift.

10. Statistik des Immunisierungserfolges.

Die Vorstellung, daß bei der autokatalytischen Vermehrung der Viren jeweils ein einzelnes Teilchen — ohne irgendein Zusammenwirken mit anderen Teilchen gleicher Art — bei Vorhandensein geeigneten Baumaterials zum Aufbau eines ihm gleichen neuen Teilchens fähig ist, ergibt eine charakteristische Folgerung, welche experimentell prüfbar ist. Nämlich die Folgerung, daß bereits die Einbringung eines einzigen Virusteilchens in einen Wirtsorganismus zur Erkrankung führen kann, wenn dieses Teilchen zufällig dazu gelangt, eine „Vermehrungslawine“ des Virus einzuleiten. Dabei kann und wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein bestimmtes Teilchen wirklich zur Vermehrung kommt — statt z. B. durch Angriff eines Ferments zerstört oder an einem zur Vermehrung ungeeigneten Ort festgelegt zu werden —, in vielen Fällen sehr klein sein. Dann ist also eine Infektion mit einer größeren Zahl von Teilchen erforderlich, um eine merkliche Wahrscheinlichkeit der Erkrankung zu ergeben, während hingegen die Möglichkeit der Erkrankung schon durch ein einziges Teilchen geschaffen wird. Nur dann, wenn die Infektionswahrscheinlichkeit schon für ein einzelnes Teilchen beträchtlich ist, kann man

durch Anwendung sehr kleiner Virusmengen (etwa Pinseln von Tabakblättern mit sehr verdünnter Viruslösung) diese Möglichkeit unmittelbar demonstrieren; jedoch sind derartige Demonstrationen nicht zu quantitativ exakten, endgültigen Beweisen geeignet.

Dagegen führt eine Untersuchung der Statistik des Infektionserfolges zu eindeutigen Ergebnissen. Sei w die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein einzelnes eingebrachtes Virusteilchen zur Auslösung einer Vermehrungslawine kommt. Dann ist $1 - (1 - w)^N$ die Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine Infektion mit N Teilchen Erfolg hat. Wird also für verschiedene Mengen D des Virusmaterials durch vielfache Wiederholung des Infektionsexperiments die Wahrscheinlichkeit $W(D)$ des Gelingens der Infektion ermittelt, so muß sich eine Abhängigkeit der Form

$$W(D) = 1 - e^{-D \cdot D_0} = \frac{D}{D_0} - \frac{1}{2!} \frac{D^2}{D_0^2} \pm \dots$$

ergeben; ihre Nachprüfung erfordert übrigens nicht die Kenntnis der in einer Materialmenge D enthaltenen Teilchenzahl N .

Jeder Vermehrungsmechanismus, der irgendwie ein Zusammenwirken mehrerer Teilchen erfordern würde, müßte für den Fall sehr kleiner Werte D (also $D \ll D_0$) statt einer Proportionalität mit D Proportionalität mit einer höheren Potenz von D ergeben. Voraussetzung für eine genaue Erfüllung der obigen Formel ist Gleichheit der infizierten Organismen (um Gleichheit von w in allen Fällen zu gewährleisten). Aber die anfängliche Proportionalität mit D ist ein hiervon unabhängiges Kriterium.

Eine positive Bestätigung dieser Formel hat PARKER¹⁾ erhalten bei Infektionen mit Vakzinevirus. LURIA hat dasselbe Experiment mit einem Bakteriophagen ausgeführt, wobei die Rolle des Wirtsorganismus von einer Bakterienkultur übernommen war. In wesentlich vertiefter Weise hat DELBRÜCK²⁾ neuerdings dieses Thema weiter verfolgt.

Die oben ausgeführte Theorie der Anaphylaxie und Immunisierung führt zu der Folgerung, daß analoge Verhältnisse auch in der Statistik des Sensibilisierungs- und Immunisierungserfolges nachweisbar sein müßten. Die erschlossene autokatalytische Vermehrung des Antikörpers läßt erwarten, daß die Immunisierung durch ein einziges Antigenmolekül veranlaßt werden kann, analog der durch ein einziges Virusmolekül herbeigeführten Erkrankung. Das experimentelle Verfahren wäre derart, daß man an möglichst homogenem Tiermaterial (homozygoter Inzuchtstamm) die Wahrscheinlichkeit $W(D)$ des Immunisierungserfolges in Abhängigkeit von der eingespritzten Antigen-dosis D ermittelt.

¹⁾ Vgl. J. H. NORTHROP, Congrès du Palais de la Découverte, S. 365. Paris 1937.

²⁾ Vgl. O. WARBURG, Congrès du Palais de la Découverte, S. 345. Paris 1937.

¹⁾ R. F. PARKER, J. of exper. Med. 67, 725 (1938).

²⁾ E. L. ELLIS u. M. DELBRÜCK, J. gen. Physiol. 22, 365 (1939) — M. DELBRÜCK, ebenda 23, 631, 647 (1940).

Derartige Experimente sind in der Tat — allerdings von andersartigen theoretischen Erwägungen ausgehend — von PRIGGE ausgeführt. PRIGGE¹⁾ hat seine Ergebnisse in den Kurven der Fig. 1 zusammengefaßt. Die verschiedenen Kurven A bis D beziehen sich auf verschiedene Tierstämme. Als Abszisse x ist aufgetragen der Logarithmus der Dosis: $x = \log \frac{D}{D_0}$; die angeschriebenen Zahlwerte an der Abszisse bedeuten die zugehörigen Werte von $100 \cdot \frac{D}{D_0}$. Die Ordinaten y der Kurven sind proportional mit

$$\frac{dW(D)}{d \ln D} = D \frac{dW}{dD}.$$

Diese Form der graphischen Darstellung wurde gewählt von der Auffassung aus, daß das Ge-

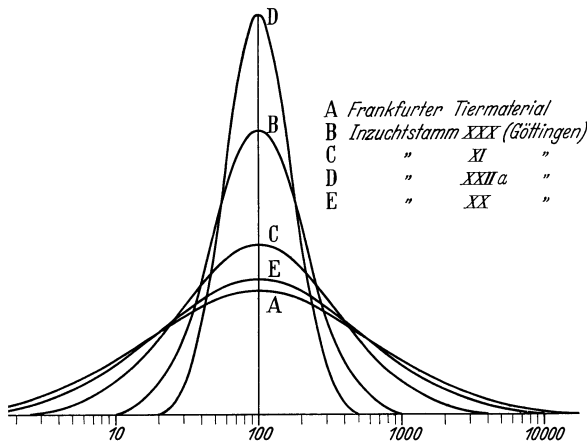


Fig. 1. Verteilungskurve des Immunisierungserfolges, nach PRIGGE, für mehrere Meerschweinchenstämme.

lingen oder Nichtgelingen der Immunisierung im Einzelfall abhängig sei von der von Fall zu Fall verschiedenen *individuellen Immunisierbarkeit*. Es wurde aus den erhaltenen Kurven entnommen, daß der Tierstamm „A“ der inhomogenste, der Tierstamm „D“ der homogenste sei.

Nach unserer Auffassung muß aber auch bei ideal gleichartigem Tiermaterial die nach PRIGGE gezeichnete „Verteilungskurve“ eine bestimmte endliche Breite behalten (während sie nach der ursprünglich von PRIGGE verfolgten Auffassung in diesem idealen Falle unendlich schmal zu denken wäre).

Schreiben wir nämlich die obige theoretische Formel für $W(D)$ — die, wie schon betont, nur bei ideal gleichen Individuen exakt erfüllt werden kann — in den PRIGGESCHEN Koordinaten x, y auf, so erhält sie offenbar die Gestalt

$$y = \text{const.} \cdot e^{x - e^x + 1}, \\ \approx \text{const.} \cdot e^{-(x^2/2 + x^3/6)}.$$

Das entspricht innerhalb der Fehlergrenzen dem Kurventyp der Fig. 1, und zwar, wie man leicht

¹⁾ R. PRIGGE, Z. Hyg. 118, 186 (1937).

überlegt, mit derjenigen Breite der Kurve, welche beim homogensten Tierstamm „D“ gerade vorliegt. Man kann also die PRIGGESCHEN Befunde so deuten, daß der Tierstamm „D“ bereits annähernd ideale Homogenität besitzt, und daß die ihm entsprechende Kurve der Fig. 1 tatsächlich die Möglichkeit der Immunisierung durch ein einziges Antigenmolekül anzeigt¹⁾.

Spätere Untersuchungen von PRIGGE und Mitarbeitern²⁾ liefern weiteres Material zu unserer Frage. Z. B. wurden von einem gewissen Anti-Tetanus-Impfstoff (Al-hydroxyd-Impfstoff B) Dosen angewandt, die sich wie 1 : 2 : 4 : 10 verhielten. In einem späteren Vergiftungsexperiment erwiesen sich von den geimpften Tieren Prozentsätze 0 %, 16 %, 50 %, 92 % als geschützt. Zur Ermittlung dieser Prozentsätze wurden je ungefähr 20 Tiere herangezogen; es ist also mit einer Unsicherheit von etwa ± 15 % zu rechnen. Der theoretischen Formel würden etwa die Zahlen 10 %, 20 %, 35 %, 70 % entsprechen; die Abweichung bleibt also hier etwas außerhalb der wahrscheinlichen Fehlergrenzen. Weitere Ergebnisse aus den genannten Arbeiten stimmen zum Teil besser³⁾, zum Teil nur ebenso roh. Die Experimente sind aber unter anderen Gesichtspunkten durchgeführt, als sie uns hier beschäftigen, und es konnte deshalb nicht auf Erfüllung derjenigen Bedingungen geachtet werden, welche für eine zuverlässige Klärung unserer jetzigen Frage erforderlich wären. Unter anderem ist zu beachten, daß bei der angewandten Vergiftungsmethode zweifellos eine gewisse *Mindestmenge* von Antikörpersubstanz Voraussetzung des Schutzes ist; und die Einzelheiten der Sachlage sprechen dafür, daß diese Mindestmenge noch nicht erreicht wird, wenn nur eine „Vermehrungslawine“ zustande kommt — es mögen dafür vielleicht im Durchschnitt 2 bis 4 Lawinen erforderlich sein. Zur Prüfung der obigen Formel wäre also eine Methode anzuwenden, die auch etwas geringere Grade der Immunisierung erfaßt. Leider hat der Kriegsausbruch weitere Untersuchungen verhindert, die von Herrn PRIGGE und dem Verfasser gemeinsam beabsichtigt waren. Man darf aber wohl urteilen, daß das bislang vorliegende Material für die Richtigkeit unserer Vorstellungen spricht.

Wiederum dieselben Verhältnisse sollten nach den oben entwickelten Überlegungen endlich auch bei der Bildung von Abwehrfermenten eintreten. Auch hier wären statistische Erhebungen betreffs der Wahrscheinlichkeit positiven Reagierens bei kleinen Injektionsdosen wünschenswert. Die auf die Ausscheidung der Abwehrfermente durch die Nieren gegründete Arbeitstechnik dürfte derartige Untersuchungen sogar noch leichter durchführbar

¹⁾ P. JORDAN, a. a. O.

²⁾ G. ISTRATI, L. KICKSCH u. R. PRIGGE, Zbl. Bakter., I Orig. 145, 233 (1940). — R. PRIGGE, ebenda S. 241 — Z. Immun.forsch. 97, 459 (1940).

³⁾ Z. B. geschützte Prozente 24,0 % und 71,4 % für Dosen 1 : 4; oder 35,4 % und 88,0 % für Dosen 1 : 4.

machen, als die Statistik des Immunisierungserfolges.

Die bisherigen experimentellen Ergebnisse geben nur qualitative Hinweise in der von uns vermuteten Richtung: Die Tatsache, daß kleine Injektionsdosen eine *höhere Spezifität* der Abwehrfermente ergeben als größere Dosen, scheint zu beweisen, daß die Injektion nur eine *Wahrscheinlichkeit* für die Bildung von Abwehrfermenten schafft; denn wir sehen ja, daß bei kleinen Dosen nur ein Teil derjenigen verschiedenen Abwehrfermente entsteht, welche bei Anwendung größerer Dosen gebildet werden. Eine planmäßige Erforschung der Statistik dieser Bildungsprozesse dürfte zu einer wesentlichen Vertiefung unserer Kenntnis der Abwehrfermente führen.

11. Die statistische Beziehung von Antigendosis und Antikörpermenge.

Ein schönes quantitatives Ergebnis von PRIGGE und Mitarbeitern¹⁾ wird durch Fig. 2 veranschaulicht. Es wurde für verschiedene Dosiswerte der

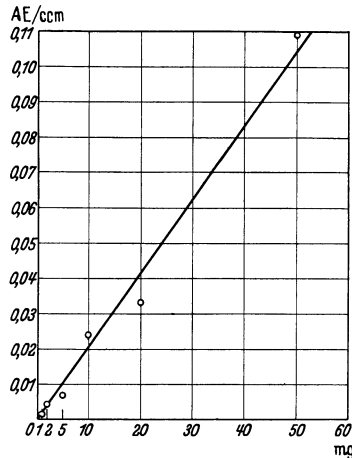


Fig. 2. Beziehung zwischen Antigendosis und mittlerem Antitoxintiter bei tetanusimmunisierten Meer-schweinchen.

statistische Mittelwert der daraufhin gebildeten Antikörpermenge ermittelt. Das Ergebnis ist eine *Proportionalität* beider Größen.

Zum Verständnis dieses Befundes ist zunächst hervorzuheben, daß der fragliche Antikörper (Tetanus-Antitoxin) zu denjenigen gehört, welche (im Sinne unserer obigen Erläuterungen) *nicht* selbst wieder antigen wirken. Es wird deshalb (was wir oben schon vorwegnehmend berühren mußten) verschiedener Umfang der gesamten Antikörpererzeugung erreicht werden, je nachdem wie viele Vermehrungslawinen eingeleitet werden. Ist

$$I = e^{-D/D_0}$$

die Wahrscheinlichkeit dafür, daß *mindestens eine* Lawine zustande kommt, so ist nach einer in der

¹⁾ G. ISTRATI, L. KICKSCH u. R. PRIGGE, Zbl. Bakter. I Orig. 145, 19 (1939).

quantenbiologischen „*Treffertheorie*“ viel benutzten Formel

$$\frac{1}{n!} \left(\frac{D}{D_0}\right)^n e^{-D/D_0}$$

die Wahrscheinlichkeit dafür, daß genau n Lawinen — nicht weniger und nicht mehr — zustande kommen. Denken wir uns alle Lawinen als durchschnittlich gleich groß, so wird also der statistische Mittelwert der Antikörperproduktion proportional der Summe aller Ausdrücke

$$n \cdot \frac{1}{n!} \left(\frac{D}{D_0}\right)^n e^{-D/D_0} = \frac{D}{D_0} \cdot \frac{1}{(n-1)!} \left(\frac{D}{D_0}\right)^{n-1} e^{-D/D_0}$$

für $n = 1, 2, 3 \dots \infty$. Diese Summe ist aber gerade gleich D/D_0 , also in der Tat proportional mit der Antigendosis D .

12. Zur molekularphysikalischen Deutung der Eiweiß-Autokatalysen.

Das Vorkommen einer spezifischen Anziehung zwischen *gleichen* Molekülen oder Molekülteilen von eiweißartiger Struktur ist als eine *empirische Tatsache* abzulesen aus dem autokatalytischen Vermehrungsgeschehen der Viren, dem nach unseren obigen Ergebnissen entsprechende Vorgänge von Antikörpern und Abwehrfermenten zur Seite treten. Es fragt sich nun, wie diese Tatsache aus der Struktur der fraglichen Gebilde heraus chemisch-molekularphysikalisch zu verstehen sind. Man darf dies wohl als die eigentlich *zentrale* Frage der Eiweißstrukturforschung bezeichnen.

Ein interessanter Versuch, diese Anziehung verständlicher zu machen, ist die kürzlich von NEUGEBAUER¹⁾ vorgeschlagene Hypothese, daß die fraglichen Eiweißmoleküle zeitweilig eine *flächenhafte* Gestalt annehmen und dann in diesem Zustand zur Vermehrung schreiten. Jedoch kann der dabei angenommene Wert von $\approx 1,5 \text{ \AA}$ für die Dicke des Moleküls nicht für glaubhaft gelten: Macht man die Hypothese des flächenhaften, netzartigen Molekülzustandes, so wird man jedenfalls dieser Molekülgestalt mindestens dieselbe Dicke zuschreiben müssen, welche von monomolekularen Eiweißschichten bekannt ist, d. h. mindestens etwa 6 \AA . Damit wird nicht nur die spezielle von NEUGEBAUER versuchte Theorie hinfällig, sondern es wird überhaupt der Nutzen der hypothetischen Netzgestalt in bezug auf eine Erleichterung des Problems recht fraglich. Man müßte sich ja denken, daß von zwei sich in dieser Form anziehenden gleichen Molekülen die „Rückseite“ des einen auf die „Vorderseite“ des anderen paßt²⁾; und es wären dann noch sehr spezielle und eigentümliche Strukturverhältnisse zu ersinnen, damit dies Zusammenpassen von Vorder- und Rückseite gerade bei *Gleichheit* der beiden Moleküle am besten zustande kommt.

Andererseits stößt die Hypothese der Netzgestalt auf Schwierigkeiten. Die Molekulargewichte

¹⁾ Th. NEUGEBAUER, Physik. Z. 40, 406 (1939).

²⁾ Ein Eiweißmolekül ist *nicht* etwa seinem *Spiegelbilde* kongruent!

der wohldefinierten Virusmoleküle gehen mindestens bis 20 000 000, vielleicht auch bis zum Zehnfachen, hinauf. Die Umlagerung eines solchen Moleküls in eine flächenhafte Form ist eine wenig glaubhafte Vorstellung, zumal wenn man an die im Chromosomenverband festhaftenden Gene denkt.

Noch radikaler, und aus den genannten Gründen noch unglaublicher, wäre die Vorstellung, daß sogar eine zeitweilige Umlagerung in ein *Kettenmolekül* Voraussetzung des Vermehrungsvorgangs sei. In diesem Zusammenhange sei betont, daß die oft gehörte These, diejenigen Proteine, welche (im Gegensatz etwa zu Keratin oder zu Gelatine) wohldefinierte Einzelmoleküle besitzen, seien als *zusammengeknäuelte Kettenmoleküle* zu verstehen, durchaus irreführend ist. Bei der Knäuelung eines Fadens entsteht stets ein hochgradig unregelmäßiges, unsymmetrisches Gebilde. Dagegen wissen wir aus den röntgenanalytischen Untersuchungen der BERNALSchen Schule¹⁾, daß die fraglichen Proteine Moleküle von wunderbarer Regelmäßigkeit des Baues besitzen.

Zum mindesten ist die Hypothese des Netzmoleküls eine ad hoc erdachte, die keine sonstigen Tatsachen für sich anführen kann, da eine Reihe verschiedenartiger physikalischer Untersuchungsmethoden uns die Virusmoleküle stets in derselben Gestalt entgegentreten läßt. Wir erinnern uns insbesondere an die ergebnisreichen Untersuchungen des Tabakmosaikvirus in mehreren gemeinsamen Arbeiten von KAUSCHE, PFANKUCH, RUSKA, STUBBE. Mäßige Vergrößerung (lichtoptisch) läßt dies Protein in der Form der Fig. 3 erscheinen²⁾; bei elektronenmikroskopischer Vergrößerung erweisen sich die kleinen Nadeln als Bündel parallelliegender Einzelmoleküle (Fig. 4), deren jedes ein Stäbchen mit einer Dicke von 15 Å und einer Länge von rund 330 Å ist. Die Vermutung liegt nahe, daß uns diese *Parallelbündel den autokatalytischen Vermehrungsvorgang unmittelbar vor Augen führen*, so daß also von einer Netzgestalt des sich verdoppelnden Moleküls keine Rede ist.

Die offenbar erhebliche Schwierigkeit, die in dieser Parallelbündelung zutage tretende spezifische Affinität — die nicht nur von der Oberflächengestalt der dicken Stäbchen abhängt, sondern genaue Gleichheit der gesamten Innenstruktur voraussetzt! — im Sinne gewohnter valenzchemischer Vorstellungen zu deuten, läßt die Frage interessant werden, ob die Quantenmechanik möglicherweise einen speziell die *Gleichheit* zweier Moleküle voraussetzenden — also auf einer Resonanz beruhenden — Anziehungseffekt zur Verfügung stellt. Die Antwort fällt grundsätzlich bejahend aus. Jedoch ergeben sich dabei recht einschneidende Bedingungen, von denen noch nicht

¹⁾ Vgl. etwa den Bericht P. JORDAN, Naturwiss. 28, 69 (1940).

²⁾ Fig. 3 und 4 nach G. A. KAUSCHE, Arch. ges. Virusforsch. 1, 362 (1940). — Vgl. ferner die ausführlichere Darstellung G. A. KAUSCHE u. H. RUSKA, Biochem. Z. 303, 221 (1939).

zu sagen ist, ob sie bei den Eiweißmolekülen tatsächlich erfüllt sein könnten.

Das Ergebnis einer einfachen quantenmechanischen Rechnung sei in wenigen Worten erläutert. Wir denken uns zwei genau gleiche Moleküle im



Fig. 3. Tabakmosaikvirusprotein, gefärbt; lichtoptisch etwa 500fach.

Abstand \mathfrak{R} (in Parallelstellung) aufgestellt. Für ein *einzelnes* dieser Moleküle seien die verschiedenen Anregungszustände numeriert durch den Index n . Das elektrische Dipolmoment habe die Matrix $\mathfrak{P}(n, m)$; dabei sei der statische Anteil $\mathfrak{P}(n, m) = 0$.



Fig. 4. Ammonsulfatgefälltes Tabakmosaikvirusprotein; elektronenoptisch 16 000fach.

Ist $W(n)$ die Energie des einzelnen Moleküls, so hat das aus beiden — zunächst ungekoppelten — Molekülen bestehende Gesamtsystem die Energie

$$W_{n'n''} = W_{n'} + W_{n''},$$

welche eine *Entartung*

$$W_{n'n''} = W_{n'n''}$$

zeigt. Die *erste* schwerwiegende Voraussetzung ist nun die, daß *sonst keine Entartung* vorhanden sei. Dann ergeben sich für das Gesamtsystem zwei *nichtkombinierende Termsysteme*, ein symmetrisches und ein antisymmetrisches (analog etwa den bekannten Verhältnissen beim He-Atom). Die Wechselwirkung der Dipolmomente der beiden

Moleküle ergibt dann in leichtverständlicher Bezeichnungswiese eine Zusatzenergie

$$W_{n'n'}^{\pm} = \pm \frac{|\mathfrak{P}(n', n'')|^2 - 3 |\mathfrak{P}(n', n'')\mathfrak{r}|^2}{R^3}$$

(mit $R = |\mathfrak{R}|$ und $\mathfrak{r} = \mathfrak{R}/R$). Damit diese Energie uns etwas nützt, muß die zweite wesentliche Voraussetzung gemacht werden, daß $\mathfrak{P}(n', n'') \neq 0$ ist für jedes Paar n', n'' von Zuständen, die energetisch nahe beim Grundzustand liegen, so daß sie thermisch angeregt werden können.

Die gemachten beiden Voraussetzungen stellen sehr einschneidende Forderungen an die physikalischen Strukturverhältnisse der Eiweißmoleküle, sofern deren spezifische Anziehungen tatsächlich auf quantenmechanischer Resonanz beruhen. Würden wir uns vorstellen, daß ein derartiges Riesenmolekül einem kleinen Kristallstück ähnlich sei, bei welchem die thermische Agitation den Charakter elastischer Eigenschwingungen besitzt, so würden beide Voraussetzungen in extremster Form verletzt. Denn bekanntlich kann ein elastisch, unter Wahrung des HOOKESCHEN Gesetzes, schwingendes System aufgefaßt werden als ein System ungekoppelter harmonischer Oszillatoren. Sobald aber das Einzelmolekül die Eigenschaft besitzt, aus zwei ungekoppelten Teilsystemen zu bestehen, sind, wie man leicht überlegt, unsere Voraussetzungen beide verletzt; ein „kristallinisches“ Molekül also, dessen innere thermische Bewegung eine rein elastische ist, so daß es in so viele harmonische Oszillatoren zerfällt, wie es innere Freiheitsgrade hat, verletzt die Voraussetzungen aufs schärfste. Dazu kommt dann noch, daß auch der einzelne harmonische Oszillator — wegen der Äquidistanz seiner Energiewerte und wegen der Auswahlregel — noch einmal beide Voraussetzungen verletzt.

Eine Erfüllung der fraglichen Voraussetzungen ist also — wenn überhaupt — nur durch Strukturverhältnisse möglich, die ganz extrem andersartig sind, als im Falle des „kristallinischen“ Riesenmoleküls. Es müßte sich bei der thermischen Bewegung um ein ganz kompliziertes Durcheinander handeln, bei welchem sich Schwingungen koppeln etwa mit inneren Rotationen (wie wir sie ja auch von gewissen Kristallen kennen) und mit noch tiefer eingreifendem ständigem Platzwechsel eines Teiles der Atome. Man könnte etwa daran denken, daß ein Teil der Protonen des Moleküls in fortwährender Bewegung begriffen sei derart, daß dauernd gewisse Valenzumlagerungen vor sich gehen, ähnlich etwa denjenigen, die bei Eiweiß-Kettenmolekülen die gestreckten und kontrahierten Formen unterscheiden. Jedoch ist vorderhand noch in keiner Weise zu beurteilen, ob die notwendigen Voraussetzungen der Resonanzanziehung bei den Eiweißmolekülen erfüllt sein könnten¹⁾, oder ob man die Erklärung der autokatalytischen Wirksamkeit auf einer ganz anderen Grundlage suchen muß.

¹⁾ Diesbezügliche Bedenken erörtern DELBRÜCK und PAULING in einer Note, die mir durch die Freundlichkeit der Verfasser im Manuskript zugänglich wurde.

Zugunsten des Resonanzeffektes spricht vielleicht die Tatsache, daß nach interessanten Überlegungen von FRIEDRICH-FREKSA¹⁾ gerade eine mit R^{-3} proportionale Anziehung homologer Gene gut geeignet scheint, die dynamischen Verhältnisse bei der *Konjugation* der Chromosomen verständlich zu machen. Der von FRIEDRICH-FREKSA gemachte Vorschlag, die Nukleinsäure-Anteile der Gene für das Zustandekommen dieser Anziehung verantwortlich zu machen, verdient Beachtung, erscheint uns aber doch bedenklich.

Man wird auch nicht ganz die Möglichkeit außer Betracht lassen dürfen, daß der dieser Autokatalyse zugrunde liegende Anziehungseffekt vielleicht eine Erscheinung sein könnte, die grundsätzlich nicht mehr auf die bis heute bekannten Gesetze der Atomphysik zurückzuführen wäre. Die oft vertretene Überzeugung, daß das organische Leben uns Erscheinungen darbietet, welche nicht restlos auf die bereits bekannten Gesetze der Physik-Chemie zurückgeführt werden können, ist bekanntlich von BOHR in dem Sinne präzisiert worden, daß in der lebenden Substanz Komplementaritätsverhältnisse vorliegen dürften, die über die aus der Quantenmechanik bekannten noch hinausgehen. Unsere Kenntnis der Eiweißmoleküle und ihrer inneren Zustandsverhältnisse ist noch so gering, daß wir nicht die Möglichkeit ausschließen können, daß schon hier, im einzelnen vermehrungsfähigen Molekül, grundsätzlich neuartige Naturerscheinungen mit ins Spiel kommen. Eine Festlegung der inneren Strukturverhältnisse der Eiweißmoleküle ist nicht nur ein im quantitativen Sinne sehr schwieriges Problem; sie stößt vielleicht sogar auf gewisse grundsätzliche Hinderungen, weil jedem Versuch, mit den Methoden chemischer Strukturforschung zum Ziele zu kommen, die außerordentliche Labilität und Umlagerungsneigung dieser Gebilde hindernd entgegentritt. Die Röntgenanalyse als schonendere Methode erlaubt die Elektronenverteilung im Eiweißmolekül zwar weitgehend, aber keineswegs vollständig zu ermitteln: Daß man hier beschränkt bleibt auf die sog. *Patterson-Harker-Analyse*, könnte vielleicht aufgefaßt werden als eine prinzipielle, nicht nur durch den augenblicklichen Stand unserer technischen Mittel bedingte Beschränkung.

Die ganzen Erörterungen dieses letzten Abschnitts 12 verfolgen keinen anderen Zweck, als den, hervorzuheben, wie anziehend und eigentümlich die hier auftretenden Probleme sind. Ob die angedeuteten Lösungsversuche auf einen richtigen Weg führen, oder ob die wirkliche Lösung in ganz anderer Richtung gesucht werden muß, wird die Zukunft lehren.

Den Hinweis auf das Gebiet der Immunitätserscheinungen und seine vermutlichen Beziehungen zum Gen- und Virusproblem verdanke ich Herrn TIMOFÉEFF-RESSOVSKY. Für freundliche Ratschläge bin ich Herrn R. PRIGGE und Herrn R. OTTO sehr zu Dank verpflichtet.

¹⁾ H. FRIEDRICH-FREKSA, Naturwiss. 28, 376 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Die Indophenolreaktion der Polplasmen von *Tubifex*¹⁾.

RIES²⁾, REVERBERI und PITOTTI³⁾ fanden, daß sich das „gelbe Plasma“ (das präsumptive Muskelmaterial) des Eies der Ascidie *Ciona* selektiv bläut, wenn die Eier in das Indophenolreagens (Dimethylparaphenylendiamin und α -Naphthol) eingebracht werden. Bis zur ersten Differenzierung der Muskelfasern bleibt die Indophenolreaktion (IR.) charakteristisch für diesen Keimbezirk. Die Befunde an Ascidienei legten es nahe, auch am Ei des Süßwasseroligochäten *Tubifex*, bei dem gleichfalls eine relativ frühzeitige Sonderung organbildender Plasmen stattfindet, die IR. zu versuchen. Die Versuche fielen positiv aus. Bei *Tubifex* gibt das Material der sog. Polplasmen selektiv die IR.

Während der Reifungsteilungen sind die Polplasmen noch nicht an den Polen angehäuft, und dementsprechend zeigt die ganze Eioberfläche eine diffuse IR. Nach Abschluß der 2. Reifungsteilung vollzieht sich die Bildung der Polplasmen, und parallel damit findet man auch eine allmähliche Konzentration der IR. im Bereiche der beiden Eipole, wobei die frühere Anheftungsstelle der Richtungsspindel längere Zeit ausgespart bleibt. Kurz vor der 1. Furchungsteilung sind die Polplasmen scharf abgesetzte Plasmaanhäufungen und geben auf diesem Stadium eine sehr intensive IR., während der Rest der Keimoberfläche nicht reagiert. Während der Furchung gibt der erste Mikromerenkranz eine schwache IR., während die Zelle 2d, der ektodermale Somatoblast, sich sehr intensiv bläut. 4d, der zweite, der mesodermale Somatoblast, bläut sich etwas weniger intensiv. Die künftigen Entodermzellen geben keine IR. Bei den Stadien der Keimstreifbildung, die nun folgen, bleibt die IR. im ektodermalen Keimstreif kräftig, wobei sich besonders die 4 Telektoblasten bläuen. Die Urmesodermzellen reagieren gleichfalls, jedoch in jedem Fall erheblich schwächer als die Telektoblasten. Das Entoderm bläut sich primär nicht.

Somit läßt sich das Bildungsplasma für die meso- und ektodermalen Keimstreifen bei *Tubifex* von den Stadien der Reifung bis zum fertigen Keimstreif durch seine intensive IR. kennzeichnen, die ohne Schwierigkeiten durch Farbaufnahmen mit Agfacolorfilmen festgehalten werden konnte. Die IR. des Polplasmamaterials von *Tubifex* ist ein weiteres Beispiel neben der IR. des gelben Plasmas der Ascidie *Ciona* für die selektive chemische Reaktionsfähigkeit eines wichtigen organbildenden Plasmabezirks, die sich vom Ei bis zu fortgeschrittenen Embryonalstadien lückenlos verfolgen läßt.

Bern (Schweiz), Zoologisches Institut der Universität, den 6. Januar 1941. F. E. LEHMANN.

¹⁾ Ausgeführt mit Unterstützung der bernischen Hochschulförderung.

²⁾ E. RIES, Versuche über die Bedeutung des Substanzmosaiks für die embryonale Gewebedifferenzierung bei Ascidienei. Arch. exper. Zellforsch. 23 (1939).

³⁾ G. REVERBERI u. M. PITOTTI, Differenziazione fisiologica nell'uovo delle Ascidie. Pont. Ac. Sc. Commentationes 3 (1939).

Die Lagerung der Polplasmen des *Tubifex*eies in ihrer Abhängigkeit von der Eirinde¹⁾.

Die Beobachtungen an Schnitten und an lebenden Eiern, an denen die Indophenolreaktion (IR.) ausgeführt wurde²⁾, machen es wahrscheinlich, daß das Bildungsmaterial der Polplasmen vor Abschluß der Reifungsteilungen gleichmäßig über das ganze Ektoplasma des Eies in einer *subkortikalen Schicht* ausgebreitet ist. (Das Ektoplasma des Eies läßt sich zweckmäßig in 2 Schichten unterteilen³⁾, eine *äußere*, relativ dünne und zähe Schicht, das *Plasmalemma*, und eine *innere*, dickere und weniger zähe Schicht, das *subkortikale Plasma*.) Einzig die Zone der Richtungsspindel am animalen Pol bleibt ausgespart. Erst nach Ausstoßung des 2. Richtungskörpers setzt die Konzentration der Polplasmen am animalen und am vegetativen Pol ein, und zwar im Zusammenhang mit der Bildung zahlreicher kugeligter Protuberanzen in der Äquatorialzone des Eies. Nach der Rückbildung der Protuberanzen liegt die Hauptmasse der Polplasmen am ani-

malen und am vegetativen Pol, von denen noch einige Zeit meridional verlaufende Schlieren des mit IR. reagierenden Plasmas gegen den Äquator hin ausstrahlen. Kurz vor der 1. Furchungsteilung haben sich die beiden Polplasmen vollständig zu 2 kompakten, scharf begrenzten Massen konzentriert.

Welche Faktoren spielen bei der Lokalisierung der Polplasmen eine Rolle? Auf diese geben Zentrifugierungsversuche einige Hinweise⁴⁾. Es gelang, Eier vor der 2. Reifungsteilung in ganz bestimmter Orientierung zu zentrifugieren und dementsprechend ihren Einhalt in bestimmter Weise zur ursprünglichen Eiachse zu schichten. Entweder kann die neue Achse des zentrifugierten Eies zusammenfallen mit der ursprünglichen animal-vegetativen Achse oder sie kann senkrecht zu dieser stehen⁴⁾. In beiden Fällen ist die Schichtung des Einhaltes dieselbe. Nahe dem lipoidhaltigen zentripetalen Pol liegt eine Plasmazone, welche die Materialien der Polplasmen enthält. Wie erfolgt die Bildung der Polplasmen in den zentrifugierten Eiern? Zunächst erschien sie weitgehend verschieden je nach der Orientierung der Eier in der Zentrifuge. Doch zeigte eine genauere Analyse, daß in sämtlichen Versuchen das Polplasmamaterial von den ursprünglichen Polzonen des Cortex angezogen wird.

1. Fallen die alte und die neue Eiachse zusammen und liegt das Polplasmamaterial nahe dem Cortex des animalen Pols, so ballt sich die gesamte Masse unter Verdrängung der Lipoiden dort zusammen und bildet ein abnorm großes animales Polplasma. Dies erfordert nur geringfügige Umlagerungen des Einhaltes. So bleibt in diesem Falle die durch die Zentrifuge erzwungene Schichtung der Materialien bis zur 1. Teilung gut erhalten.

2. Steht die neue Achse senkrecht auf der alten Achse, so strömt das Polplasma zum ursprünglichen animalen und vegetativen Cortex hin und sammelt sich dort. In diesem Falle wandert das Plasma eine beträchtliche Strecke, um die ursprünglichen Pole zu erreichen. Diese Bewegung führt sehr starke Umlagerungen des Einhaltes mit sich, so daß in diesem Falle die durch die Zentrifuge erzwungene Schichtung schon bei der 1. Teilung weitgehend verwischt ist.

Es existieren demnach schon vor der Lokalisierung der Polplasmen in der Eirinde früher Reifungsstadien *Anziehungsbereiche*, die durch die Zentrifugierung nicht verlagert werden können. Das auf frühen Stadien gleichmäßig verteilte subkortikale Polplasmamaterial scheint auch normalerweise nach Abschluß der 2. Reifungsteilung mit den kortikalen Anziehungsbereichen zu reagieren. Das führt zu den Konzentrationsbewegungen des subkortikalen Plasmas und der Bildung der Polplasmen. Bei zentrifugierten Eiern richtet sich das Ausmaß der Bewegungen nach der Lagebeziehung des Polplasmamaterials zu den kortikalen Anziehungsbereichen.

Nach dieser Auffassung sind bei der Bildung der Polplasmen kortikale und subkortikale Faktoren beteiligt. Man kann deshalb die Polplasmen nicht als ausschließlich kortikale Bildungen bezeichnen. Ferner läßt sich das Auftreten von Reaktionen zwischen kortikalen und subkortikalen Plasmasystemen nicht mit Anschauungen vereinbaren, welche bei tierischen Eiern nur ein Rinden- und ein Endoplasmasystem annehmen³⁾.

Bern (Schweiz), Zoologisches Institut der Universität, den 6. Januar 1941. F. E. LEHMANN.

¹⁾ Ausgeführt mit Unterstützung der bernischen Hochschulförderung.

²⁾ F. E. LEHMANN, Die Indophenolreaktion der Polplasmen von *Tubifex*. Naturwiss. 1941 (s. vorst. Mitt.).

³⁾ A. M. DALCQ, Form and causality in early development. Cambridge 1938.

⁴⁾ F. E. LEHMANN, Polarität und Reifungsteilungen bei zentrifugierten *Tubifex*-Eiern. Rev. Suisse de Zool. 37, 177 (1940).

Fluoreszenzkurven von Chloroplasten-Grana.

Die grünen Grana der Chloroplasten mancher Pflanzen lassen sich aus deren Blättern durch schonendes Auspressen und nachfolgendes fraktioniertes Auszentrifugieren in Form von Suspensionen isolieren. Diese Suspensionen sind ver-

hältnismäßig einheitlich; sie enthalten vor allem keine ganzen Chloroplasten mehr. Belichtet man sie und mißt die zeitliche Intensitätsänderung ihrer roten Chlorophyllfluoreszenz mit Photozelle und Fadenelektrometer und registriert die Fadenausschläge photographisch, so erhält man Fluoreszenzintensitäts-Zeitkurven vom Typ der Kurve I.

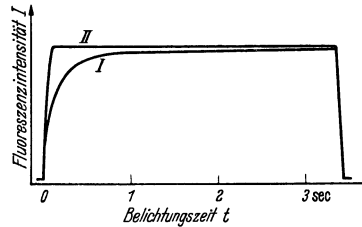


Fig. 1.

Grana des Seifenkrautes (*Saponaria* off.) wurden in 10proz. Zuckerlösung suspendiert. Das p_H betrug 6,2 bis 6,8. Nur in diesem Gebiet ist die Fluoreszenzkurve durch das p_H kaum beeinflusst und erreicht ihre maximale Ausbildung. Ein geringer CO_2 -Gehalt ist nötig; er muß aber nicht sehr konstant gehalten werden, denn erst höhere Kohlendioxidkonzentrationen verändern die Gestalt der Kurve. Die Granakonzentration der Suspension war so gering, daß die Belichtungsbedingungen für alle in der Versuchskuvette befindlichen Grana annähernd die gleichen waren. Die unveränderten Versuchsbedingungen waren: Die Konzentration der Granasuspension, die Intensität des erregenden Lichtes und die Temperatur (20°).

Verändert wurden zunächst die zwischen einzelnen Belichtungen eingeschalteten Dunkelzeiten in Erwartung einer auf die Lichtreaktion folgenden Dunkelreaktion. Unter den gegebenen Bedingungen und im Gleichgewicht der Suspension mit Luft erhält man die Kurve I. Sie ist der Ausdruck einer Lichtreaktion, in welcher ein fluoreszenzlöschender Stoff A in einen die Fluoreszenz nicht beeinflussenden A' verwandelt wird: $A + Ch^* \rightarrow A' + Ch$. A ist diffusibel und an Chlorophyll adsorbiert. Oberflächenaktive Stoffe wie Phenylurethan verdrängen in geeigneter Konzentration das vorhandene A so vollkommen, daß die Fluoreszenzlöschung aufgehoben ist und an Stelle der Kurve I eine zur Abszisse parallele Gerade maximaler Fluoreszenzhelligkeit in der Lage der Kurve II tritt.

Belichten wir nach Aufnahme der Kurve I gleich wieder, so erhalten wir die Kurve II; die Faden schnellst sofort auf eine hohe Fluoreszenzintensität. Daraus ist zu ersehen, daß der Lichtzustand in einer kurzen Dunkelzeit nur wenig verändert wird. Erst nach einer Dunkelzeit von etwa 10–15 Minuten ist der normale Dunkelzustand vollkommen regeneriert. Das gesamte in der schnellen Lichtreaktion entstandene A' ist in der langsamen Dunkelreaktion wieder in A rückverwandelt worden. Die Form der Kurve (Kurve I) bei erneuter Belichtung bezeugt dies.

Weiter wurde der Einfluß des Sauerstoffs auf die Dunkelreaktion untersucht. In Stickstoff ist nach einer Vorbelichtung eine Regeneration des Dunkelzustandes auch nach überlangen Regenerationszeiten nicht mehr möglich. Wiederbelichtung ergibt eine Kurve vom Typus II. Die Rückverwandlung des A' in A bedarf des Sauerstoffs. Sobald man nämlich den Stickstoff durch Luft ersetzt, regeneriert sich in angemessener Zeit der Dunkelzustand und mit ihm die Kurve I. Auffallenderweise kommt eine Regeneration auch in Stickstoff zustande, wenn an Stelle von Sauerstoff sehr geringe Konzentrationen von Kaliumferrioxalat oder Chinon der Granasuspension zugesetzt werden. Zunächst möchte man daraus schließen, daß der Übergang von A' nach A auf einer Oxydation beruht. Die außerordentlich großen Unterschiede der Regenerationszeit bei verschiedenen Pflanzen und andere hier nicht aufgeführte Beobachtungen deuten auf die Beteiligung eines fermentativen Faktors bei der Regeneration hin.

Die Möglichkeit der sauberen Trennung von Licht- und Dunkelreaktion bei der *Saponaria officinalis* ist den großen Geschwindigkeitsunterschieden beider Reaktionen zuzuschreiben. Für Spinatgrana beträgt die Regenerationszeit

unter vergleichbaren Bedingungen nur 60–90 Sekunden. Bei dieser Pflanze stellt sich ein Lichtgleichgewicht ein, in welchem neben A stets auch A' in meßbaren Mengen vorhanden ist. Man erkennt dies an der leichten Veränderlichkeit der Kurvenhöhe durch alle die Dunkelreaktion beeinflussenden Veränderungen der Außenbedingungen. Von diesem Gesichtspunkt aus ist jetzt das früher¹⁾ geschilderte Verhalten der auf Glasplatten aufgetrichenen Granasedimente leicht zu verstehen.

Vergleicht man das Fluoreszenzverhalten der Grana mit dem lebender Chloroplasten, dann wird es klar, daß hier die Isolierung einer Licht- und einer dazugehörigen Dunkelreaktion erreicht ist, die beide an der Formung der Fluoreszenzkurven lebender Chloroplasten maßgebend beteiligt sind.

Die dem Fluoreszenzabfall der lebenden Pflanze zugrunde liegende Dunkelreaktion ist nach exakten Messungen von U. FRANCK²⁾ an *Ulva lactuca* vom Sauerstoffdruck stark abhängig. Die Identität dieser Dunkelreaktion lebender Pflanzen mit der Dunkelreaktion vorbelichteter isolierter Grana ist deshalb sehr wahrscheinlich.

In Beziehung zur Assimilation soll hier nur erwähnt werden, wie auffällig es ist, daß die geschilderte Dunkelreaktion derjenigen Pflanzen besonders schnell verläuft, die noch bei tieferen Temperaturen zu wachsen vermögen. Schließlich sei noch auf die Möglichkeit eines Zusammenhanges der Wirkung des Kaliumferrioxalats auf die Fluoreszenzkurve sauerstofffreier Grana mit der von HILL³⁾ entdeckten Fähigkeit sauerstofffreier „isolierter Chloroplasten“, im Licht mit Kaliumferrioxalat Sauerstoff zu entwickeln, hingewiesen. Die Arbeiten werden fortgesetzt.

Leipzig, Chemisches Laboratorium der Universität, im Januar 1941. H. KAUTSKY. W. ZEDLITZ.

¹⁾ Biochem. Z. 291, 285 ff. (1937).

²⁾ Noch unveröffentlichte Dissertation.

³⁾ R. HILL, Nature (Lond.) 139, 881 (1937).

Die Zentrifugierung und die Sedimentationskonstante des Maul- und Klauenseuche-Virusproteins.

Die Isolierung des Maul- und Klauenseuche-Virusproteins in stark gereinigtem Zustande aus Blasenlymphe und Blasendecken mit Hilfe der Gipsmethode¹⁾ hat es wahrscheinlich gemacht, daß dieses Virusprotein in wägbaren Mengen und relativ hoher Konzentration in Blasenlymphe vorhanden ist, und die chemische Analyse dieser Präparate hat ausgewiesen²⁾, daß es sich dabei um Nucleoproteine handelt, die Phosphor und einen Zucker, wahrscheinlich Ribose, enthalten.

Für die weitere Untersuchung dieses interessanten tierischen Virusproteins, das nach der Filtrationsmethode³⁾ mit dem Virus der Poliomyelitis das kleinste bekannte Virusprotein ist — der mittlere Durchmesser beträgt nur $10 m\mu$ —, wurde eine physikalisch-chemische Untersuchung mit Hilfe der Ultrazentrifuge notwendig.

Maul- und Klauenseuchelymphe (Typus O) von Schweinen wurde im Staatlichen Veterinären Untersuchungsinstitut in Rotterdam hergestellt, defibriert, filtriert, gekühlt und kalt mit Flugpost nach dem Physikalisch-Chemischen Institut der Universität in Uppsala geschickt und wurde dort auf Zentrifugierbarkeit und Molekulargewicht untersucht.

Wir haben dabei gefunden, daß in der Separationszelle⁴⁾ der SVEDEBERG'schen Gleichgewichtszentrifuge⁵⁾ nach 18 Stunden bei 18000 U. p. M. (Zentrifugalfeld etwa 20000fache Erdschwere) praktisch kein Virusprotein mehr in der oberen Abteilung vorhanden ist und daß es durch wiederholte Erneuerung der Flüssigkeit in dieser Abteilung, Mischen und Abzentrifugierung gelingt, das Maul- und Klauenseuche-Virusprotein zu reinigen.

Untersucht man diese konzentrierte Viruslösung in der analytischen Zelle in derselben Zentrifuge mit Hilfe der Skalenmethode, so zeigt das Diagramm neben einem starken Globulinmaximum die Anwesenheit einer kleineren Menge eines Eiweißes mit einer Sedimentationskonstante von ganz roh 28×10^{-13} . Nach Abzentrifugierung eines gelben Präzipitates und einer weiteren Reinigung von Serumweiß in der Separationszelle in 0,1% Natriumazetat vom p_H 7,6 wurden bei der analytischen Untersuchung Diagramme mit zwei schönen Maxima (Fig. 1) von Serumglobulin ($s_{20} = 5,9 \times 10^{-13}$) und Maul- und Klauenseuchevirus ($s_{20} = 21 \times 10^{-13}$) erhalten.

Präparate von Maul- und Klauenseuchevirus gereinigt mit Hilfe der Gipsmethode und Präzipitation mit Ammoniumsulfat mit nachträglicher Dialyse zeigten eine starke Aggregation.

Weitere Reinigung wurde durchgeführt mit Hilfe der Beams-Vakuultrazentrifuge⁶⁾ mit Luftantrieb, womit etwa 100 ccm Lymphe zugleich ausgeschleudert werden können. Mit 25000 U. p. M. (etwa 40000fache Erdschwere) wurde in 5¹/₂ Stunden das Maul- und Klauenseuchevirus nach dem Tierversuch quantitativ auszentrifugiert, und die überstehende Flüssigkeit war nicht mehr infektiös. Das Virusprotein befindet sich nach beendeter Zentrifugierung in einem klebrigen gelben Eiweißniederschlag am Boden, der sich in Pufferlösungen nur teilweise lösen läßt.

Durch dreimalige abwechselnde Zentrifugierung mit 3000 U. p. M. (etwa 600fache Erdschwere) und 27000 U. p. M. (etwa 50000fache Erdschwere) in der gewöhnlichen und der Ultrazentrifuge konnten die Serumeiweiße und ziemlich viel von dem gelben Material entfernt werden. Es wurde so eine Lösung von Maul- und Klauenseuche-Virusprotein dargestellt, deren Infektiosität umgerechnet von der der verwendeten Lymphe nur wenig verschieden ist, und welche, in der analytischen Zentrifuge mit der Skalenmethode aufgenommen, nur

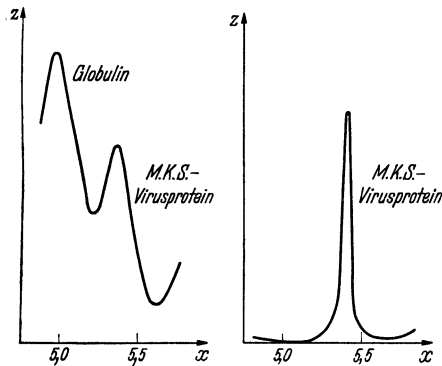


Fig. 1.

Fig. 2.

Sedimentationsdiagramme von Maul- und Klauenseuche-Virusprotein. Zentrifugalfeld etwa 20000fache Erdschwere. Abszissen: Abstand vom Rotationszentrum (cm). Ordinaten: Skalenstrichverschiebung (relatives Maß). Fig. 1. In der Separationszelle gereinigtes Virus. Aufnahme nach 5 Stunden. Fig. 2. In der Beams-Vakuultrazentrifuge gereinigtes Virus. Aufnahme nach 8¹/₂ Stunden.

ein einziges scharfes Maximum zeigt, das sich gemäß einer Sedimentationskonstante von 17 bis 18 × 10⁻¹³ verschiebt (Fig. 2).

Wir müssen also das in dieser Weise dargestellte Maul- und Klauenseuche-Virusprotein als ein fast *homogenes Eiweiß* betrachten, welchem nach der letzten SVEDBERG'schen Tabelle⁷⁾ ein Molekulargewicht von etwa 500000—1000000 zukommen würde, und wir finden damit unsere schon 1934 ausgesprochene Meinung⁸⁾ vollkommen bestätigt, daß das Maul- und Klauenseuchevirus seinen Eigenschaften nach ein lebloses Eiweißteilchen ist und nicht ein kleiner Mikroorganismus.

Nach vorläufigen Berechnungen enthält 1 ccm Blasenlymphe etwa 1 mg dieses Viruseiweißes, das Virus kommt also richtig in relativ großen Mengen in Blasenlymphe vor.

Es ist noch nicht ganz klar, von welcher Art die große Menge gelben Eiweißes ist, die ebenfalls bei der hohen Zentrifugiergeschwindigkeit an den Boden sedimentiert, dort festklebt und dabei unlöslich wird. Vielleicht enthält dieses Material auch die beträchtlichen Mengen Lipoidphosphor, welche neben Nucleoproteinphosphor in letzter Zeit im Niederländischen Institut in roher Lymphe gefunden wurden; vielleicht enthält es auch aggregiertes Virusprotein.

Das Absorptionsspektrum des Virusproteins im ultravioletten Lichte ergab ein typisches Eiweißabsorptionsspektrum mit Maximum und Minimum, wie von Serumproteinen, nur war das Absorptionsmaximum des Virusproteins etwas nach kürzeren Wellen (2750 Å) verschoben.

Die geplante Untersuchung von weiteren physikalisch-chemischen und chemischen Eigenschaften des gereinigten Virusproteins in Uppsala wurde durch den Kriegsausbruch verhindert. Die Arbeit in Uppsala wurde ermöglicht durch Unterstützung der Rockefeller Foundation. Der Verfasser ist den Herren Prof. T. SVEDBERG und Dr. H. S. FRENKEL zu großem Dank verpflichtet für die Unterstützung bei dieser Arbeit und für die Gelegenheit sie auszuführen. Ebenso möchte er Dr. O. QUENSEL, N. GRALÉN u. a. danken für ihre Hilfe in Uppsala.

Uppsala (Schweden), Physikalisch-Chemisches Institut der Universität, und Rotterdam (Niederlande), Staatliches Veterinäres Untersuchungsinstitut, im Januar 1941.

L. W. JANSSEN.

- 1) L. W. JANSSEN, Z. Hyg. **119**, 558 (1937).
- 2) L. W. JANSSEN, Versl. St.Ve.Onderz. Inst. **1936/37**, 62.
- 3) I. A. GALLOWAY u. W. J. ELFORD, Brit. J. exper. Path. **12**, 407 (1931).
- 4) T. SVEDBERG u. K. O. PEDERSEN, Die Ultrazentrifuge **1940**, 132.
- 5) T. SVEDBERG, Naturwiss. **22**, 225 (1934).
- 6) J. W. BEAMS, F. W. LINKE u. P. SOMMER, Rev. Sci. Instr. **9**, 248 (1938).
- 7) T. SVEDBERG u. K. O. PEDERSEN, Die Ultrazentrifuge **1940**.
- 8) L. W. JANSSEN, Versl. St.Ve.Onderz. Inst. **1933/34**, 117 — Münch. tierärztl. Wschr. **86**, 373 (1935).

Besprechungen.

Handbuch der Erbbiologie des Menschen. In Gemeinschaft mit K. H. BAUER, E. HANHART und J. LANGE † herausgegeben von G. JUST. Berlin: Julius Springer 1940. II. Band: Methodik. Genetik der Gesamtperson. Redigiert von G. JUST. XI, 820 S. mit 289 Abb. i. Text und auf 2 Tafeln. 17 cm × 25 cm. Preis RM 123.—, geb. RM. 127.50.

Das neue Handbuch der Erbbiologie des Menschen gibt eine von allen Blickpunkten aus gesehene Gesamtchau des Erfahrungsgutes seines Wissensgebietes. Es geht jedoch insofern weit über ein einfaches Referat des aus der menschlichen Erbbiologie Bekannten hinaus, als es auch Einblicke in eine Reihe von Hilfs- und Nachbargebiete gibt. So wird das Verständnis menschlicher Erbeigenschaften und Erbkrankheiten wesentlich durch die Darstellung entsprechender Erscheinungen beim Säugtier erleichtert, ebenso finden die Grundlagen der Erbbiologie, die zum großen Teil auf dem Gebiete der Experimentalgenetik (Drosophila-

Versuche) und der Erbmathematik liegen, soweit sie für die menschliche Genetik von Bedeutung sind, eine eingehende Darstellung. Durch die große Zahl der Mitarbeiter, die meistens als die besten Kenner des von ihnen bearbeiteten Teilgebietes gelten können, wird die Vielseitigkeit der Betrachtung verbürgt. Zum großen Teil stellen die einzelnen Autoren auch eigene Forschungen in den Vordergrund, so daß auch der persönliche Charakter in der Darstellung der Teilgebiete gewahrt bleibt. Gewisse Überschneidungen in dem von den einzelnen Kapiteln Dargestellten erhöhen in diesem Sinne bei der jeweils andersartigen Betrachtung nur den Gesamtwert des Werkes. Wenn auch die Erbbiologie des Menschen eine verhältnismäßig junge Wissenschaft ist, die hier ihre erste handbuchmäßige Gesamtdarstellung erfährt, und auch viele Einzelgebiete keineswegs als annähernd abgeschlossen bearbeitet gelten können, so gibt das Buch doch eine ausgezeichnete Darstellung der gesamten Problemlage

und der heute gültigen Theorien und Hypothesen. Besonders wichtig sind die den einzelnen Kapiteln beigegebenen Literaturverzeichnisse, die in ihrer Gesamtheit eine vollständige Bibliographie der menschlichen Erbbiologie darstellen. Das Buch ist daher nicht allein für die Arbeit der Erbbiologen, Mediziner und Anthropologen unentbehrlich, sondern auch für die der Zoologen, Tierärzte, Tierzüchter, der Psychologen und Pädagogen.

Der zweite Band des fünfbändigen Werkes, auf den hier näher eingegangen werden soll, behandelt die erbbiologische Methodik und die Genetik der Gesamtperson. Ein Beitrag von H. WENINGER gibt eine Darstellung der anthropologischen Methoden in der menschlichen Erbforschung und behandelt die Erscheinungsformen und die Meßtechnik des Kopfes, des Gesichtes (auch Augenlid, Nasenform, Ohrform usw.), des Körpers und der Extremitäten. Auch auf die Konstitutionstypen, die Fingerbeerenlinien, Haarfarbe und Irisform und -farbe geht WENINGER ein. W. ENKE gibt eine Übersicht über die Kennzeichen der körperlichen Konstitutionstypen des Pyknikers, des Leptosomen und des Athletikers. Er legt dabei die Typologie von KRETSCHMER zugrunde, während er die Typologie von JAENSCH kurz erwähnt. Auch die psychologischen Methoden der Konstitutionsforschung werden von ENKE behandelt, während O. KROH eine Darstellung der methodischen Erschließung spezifischer Begabungsgrade und Begabungsrichtungen gibt, unter denen die musikalische und mathematische Begabung am besten bekannt sind. Die statistischen Grundlagen der allgemeinen Erbforschung und speziell der menschlichen Genetik (Erbstatistik in der Familie, in der Bevölkerung, Untersuchung des Erbganges) behandelt S. KOLLER in umfassender Weise vom Standpunkt des Mathematikers, während ein spezielles Gebiet der menschlichen Erbforschung, die Zwillingsforschung, von H. LUXENBURGER in den Methoden und Anwendungsmöglichkeiten beleuchtet wird. Zwei besonders interessante Gebiete der Vererbungslehre, die auch eine besondere praktische Bedeutung haben, nämlich einmal die erbbiologische Beurteilung der zu erwartenden Nachkommenschaft und zweitens die erbbiologische Ermittlung der Abstammung (Vaterschaftsdiagnose) behandelt L. LOEFFLER. Für die Vaterschaftsdiagnose sind besonders die Ausschlußmöglichkeiten mit Hilfe der Untersuchung von Fingerbeerenmustern und Blutgruppen von besonderer Bedeutung. Auch auf die richterliche Bedeutung des erbbiologischen Vaterschaftsgutachtens geht LOEFFLER ein.

Im zweiten Teile des Bandes, der die Genetik der Gesamtperson darstellt, behandelt W. ZELLER Wachstum und Reifung in Hinsicht auf Konstitution und Erbanlage. T. KEMP gibt anschließend eine Übersicht über die erbbiologischen Grundlagen des Alterns und der Alterskrankheiten und über die Erbllichkeit der Lebensdauer bei Tieren und Menschen. In dem Teilgebiet „Funktionsdynamik der Gesamtperson“ behandelt W. ABEL die Physiognomik und Mimik, für die bei eineiigen Zwillingen eine große Ähnlichkeit besteht. Lippe, Auge und Ohr werden dabei in den Erscheinungsformen eingehend behandelt. W. ENKE gibt eine Darstellung der Motorik und Psychomotorik (Handform und Motorik, Handgeschicklichkeit, Mimik, Handschrift, Schriftdruck, motorische Begabung u. a.). Auch Psychomotorik und Sport und die krankhafte Psychomotorik finden Erwähnung. T. KEMP behandelt die Funktionen und die Zusammenarbeit der Blutdrüsen, deren Anomalien die Grundlage einer

Reihe von Erbkrankheiten bilden. Ein sehr umfangreiches Stammbaummateriale veröffentlicht E. HANHART für die Frage der Erbpathologie der sog. Entartungszeichen, der allergischen Diathese und der rheumatischen Erkrankungen. HANHART hatte die Möglichkeit, in abgelegenen Dörfern der Schweiz stark in Verwandtenehen lebende isolierte Bevölkerungen zu untersuchen und die Erbgänge einer Reihe von Erbkrankheiten dabei zu beleuchten. In einer Anzahl von Sippen fanden sich höchst verschiedenartige Erbkrankheiten in Mehrzahl nebeneinander, so daß HANHART das gemeinsame Auftreten für ein nicht zufälliges hält. Doch ist die Forschung heute wohl noch nicht so weit, um sagen zu können, daß Sammelbegriffe, wie Status degenerativus, Status dysraphicus usw., „eine Abstraktion aus Tatsachen und keine phantasievolle Konstruktion“ sind. Das gleiche gilt bis heute wohl auch für die Frage der Degenerationszeichen (Stigmatisierung). M. v. PFAUNDLER behandelt die Erbpathologie einiger besonderer Erkrankungsbereitschaften, in erster Linie die der exsudativen Diathese mit ihren als allergische, katarrhalische, vasoneurotische, lymphatische und dystrophische Diathese bezeichneten Teilbereitschaften. Theoretisch beschäftigt sich v. PFAUNDLER eingehend mit dem „Erbgang im Block“, bei dem sich seiner Meinung nach verschiedene Erbkrankheiten bei gleicher genetischer Grundlage im Phänotyp vertreten können. TH. FÜRST stellt die erbbiologischen Grundlagen der Eignung dar, als einen der wesentlichsten Gesichtspunkte bei der Berufsberatung. Abschließend behandeln E. KRETSCHMER und W. ENKE in zwei Kapiteln die Beziehungen zwischen Körperbau und Charakter. F. STEINIGER, Berlin-Dahlem.

STRÖMGREN, B., *Universets Udforskning*. (Hirschsprungs Popularvidenskabelige Haandbog VII.) Kopenhagen: H. Hirschsprungs Forlag 1940. 200 S., 8 Taf., 43 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis Kr. 7.50.

Ein auf allen Gebieten bewandelter Forscher führt den Leser durch das Gesamtgebiet der Astronomie, vom einfachen Anblick des Sternhimmels über die Geschichte der Himmelsmechanik (von PTOLEMÄUS bis NEWTON) zunächst durch das Sonnensystem und seine nähere Umgebung. Dann werden in einigen Kapiteln die Methoden zur Bestimmung der Helligkeiten und Farben, der Radien, Massen und Dichten, der Spektren und Radialgeschwindigkeiten der Sterne behandelt. Das Kapitel über die Sonne leitet unter Zwischenschaltung einiger Ausführungen über die Einrichtung astronomischer Observatorien über zu Betrachtungen über das Innere der Sterne, über Doppelsterne, Sternhaufen, veränderliche und neue Sterne. In dem systematischen Aufbau schließt sich daran die Besprechung des Milchstraßensystems und seines Bewegungszustandes und der Materie zwischen den Sternen an. Den Beschluß bilden die Kapitel über „Stern-Nebel“ (worunter die außergalaktischen Sternsysteme verstanden werden), das sich ausdehnende Universum und die Entwicklung der Sterne.

Ganz ohne Formeln, mit einigen einfachen Zeichnungen und ein paar Tafeln mit Wiedergaben von Originalaufnahmen, in ansprechendem Plauderton geschrieben und mit gut gewählten Beispielen und Vergleichen durchsetzt, wird das Büchlein sicher manchem Belehrung und vor allem Anregung bringen. Es ist, wenn auch der Natur nach an der Oberfläche bleibend, ganz auf der Höhe der Zeit und erfreut besonders durch die Art, wie hier die Durchdringung der Astronomie mit physikalischen Gedanken als selbstverständlich zum Ausdruck kommt. H. KIENLE, Potsdam.

Zur Theorie fester Isolatoren.

Von F. MÖGLICH und R. ROMPE, Berlin.

Der erste Schritt zur Aufklärung der Erscheinungen des metallischen Zustandes wurde um die Jahrhundertwende getan von DRUDE, RIECKE und LORENTZ durch die Konzeption der Idee des Elektronengases. Diese Forscher deuteten das Verhalten der Metalle aus den Eigenschaften eines den Gesetzen der klassischen Statistik unterworfenen Gases geladener Teilchen (Elektronengas) und erzielten als ersten großen Erfolg die Herleitung des WIEDEMANN-FRANZschen Gesetzes. Auch die Anwendung auf glühelektronische Emission, Photoeffekt und andere, besonders auch für die Technik bedeutsame Erscheinungen, bewies zur Genüge die Fruchtbarkeit dieser Vorstellungen. Das war insbesondere auch der Grund für deren Beibehaltung trotz eines ganz entscheidenden Versagens hinsichtlich der spezifischen Wärme der Elektronen, die ja bekanntlich nie hat nachgewiesen werden können, theoretisch sich aber unter Benutzung der klassischen Statistik als von der gleichen Größe wie die spezifische Wärme des Festkörpers hätte ergeben müssen. Es war aber unmittelbar klar, daß bei einer derartig großen Differenz zwischen Experiment und Theorie der Grund dafür in den unmittelbaren theoretischen Ansätzen gesucht werden mußte. Erst im Jahre 1928 gelang SOMMERFELD¹⁾ der entscheidende Schritt: indem er konsequenterweise das Elektronengas als der Fermistatistik unterworfen ansah, konnte er den Nachweis führen, daß dieses in praktisch allen Fällen „entartet“ ist und daher einen verschwindend geringen Beitrag zur spezifischen Wärme beisteuert. Wegen der Kleinheit der Elektronenmasse und der relativ großen Dichte der Elektronen im Metall befindet man sich auch bei Temperaturen, die noch weit über Zimmertemperatur liegen, in einem Gebiet, in dem in Übereinstimmung mit dem NERNSTschen Wärmethem die spezifische Wärme den klassischen Wert weit unterschreitet. Das WIEDEMANN-FRANZsche Gesetz sowie die meisten anderen thermoelektrischen wie auch thermomagnetischen Effekte können trotz der veränderten Statistik in prinzipiell der gleichen Weise wie früher hergeleitet werden.

Ein weiterer, sehr wichtiger Fortschritt bestand darin, die Elektronen des Metalles nicht mehr als frei anzusehen²⁾. In der Tat bewegt sich jedes Elektron im Kristallgitter des festen Körpers in einem räumlich periodischen Kraftfeld, das von

¹⁾ A. SOMMERFELD, Z. Physik 47, 1, 43 (1928). — Vgl. A. SOMMERFELD; H. BETHE, Handbuch der Physik 24, 2, 1933. Dort auch weitere Literatur.

²⁾ E. BLOCH, Z. Physik 52, 555 (1928).

den Gitterbausteinen und den übrigen Elektronen herrührt. Für derartige Bewegungstypen kannte man bereits die möglichen Verteilungen der Energie der Elektronen (Energiespektrum): ein Kontinuum¹⁾ von erlaubten Energiewerten, das durch breite verbotene Zonen unterbrochen wird. Es entstehen auf diese Weise energetische Kontinua von endlicher Breite, die sog. Energiebänder, deren Ausdehnung mit wachsender Energie zunimmt. Obgleich im allgemeinen für den dreidimensionalen Fall die Energiegebiete, die den Elektronen zur Verfügung stehen, bezüglich ihrer Zusammenhängeverhältnisse in ein dreidimensionales Schema eingeordnet werden müssen, hat sich trotzdem die Bezeichnung „Bändermodell“ eingebürgert, und wir werden diese Bezeichnung auch im folgenden benutzen.

Wie weittragend übrigens die Einführung des den periodischen Bewegungstypen zugeordneten Bänderspektrums ist, geht unmittelbar aus der Tatsache hervor, daß es damit erstmalig gelang, den qualitativen Unterschied zwischen Isolator und Metall auf einen quantitativen Unterschied des gleichen elektronischen Modells zurückzuführen: der Isolator hat nur voll besetzte Bänder, das Metall mindestens ein nur teilweise besetztes Band²⁾. Damit erweiterte sich die Elektronentheorie der Metalle zu einer Elektronentheorie der festen Körper.

Aber trotz der prinzipiellen Gleichheit des dem Isolator und dem Metall zugrunde liegenden Modelles läßt sich der metallische Zustand methodisch leichter behandeln, und die theoretischen Ergebnisse lassen sich mit der Erfahrung ohne jede Mühe in Übereinstimmung bringen. Demgegenüber gibt es Vorgänge in Isolatoren, die lange Zeit hindurch der Deutung durch das Bändermodell widerstanden haben, ja sogar als Argumente gegen die Verwendbarkeit des Bändermodelles angeführt worden sind.

Wir wollen sogleich zugeben, daß auch nach unserer Auffassung das Bändermodell für die Wirklichkeit korrigiert bzw. ergänzt werden muß. Denn dieses Modell setzt einen unendlich ausgedehnten Kristall ohne jeden Baufehler voraus.

¹⁾ Genau gesagt: ein Bündel sehr vieler sehr eng zusammenliegender Terme. Da die Termdifferenz etwa 10^{-22} eVolt beträgt, kann man praktisch von einem Kontinuum sprechen.

²⁾ Gelegentlich kann es vorkommen, daß bei Isolatoren eins der tieferen Bänder nur teilweise besetzt ist. Bedingung hierfür ist, daß die Austauschfrequenz der Elektronen dieses Bandes besonders klein ausfällt, so daß keine Leitfähigkeit zustande kommen kann.

Beide Voraussetzungen sind natürlich nicht erfüllt. Verzichtet man auf sie, so wird man zu einem energetischen Modell geführt, das man immer noch als Bändermodell bezeichnen kann, weil es als wesentlichstes Kennzeichen die bänderförmig angeordneten Energieterme des „idealen“ Kristalles enthält. Daneben aber gibt es noch gewisse zusätzliche, von den „Störungen“ herührende Besonderheiten im Energiespektrum, die an geeigneter Stelle dieses Berichtes zur Besprechung kommen.

Damit ist allerdings noch nicht alles erreicht. Die Anschauung von DRUDE-RIECKE-LORENTZ stellt dem Elektronengas als zweites, mit ihm gekoppeltes Teilsystem das positiv geladene Gitter gegenüber. An dieser Zweiteilung muß festgehalten werden, wenn eine vollständige Beschreibung des Gesamtsystems „fester Körper“ durchgeführt werden soll. Wir werden deshalb im folgenden, wenn wir vom „Bändermodell“ sprechen, immer die Kombination dieser beiden Teilsysteme im Auge haben, wie das auch in der Literatur häufig geschehen ist.

Naturgemäß ist die Zweiteilung: Elektronengas-Gittergefüge eine etwas willkürlich vorgenommene Vereinfachung. Dementsprechend sind auch von verschiedenen Seiten Bedenken laut geworden¹⁾, dieses Modell auf Isolatoren anzuwenden, ohne daß allerdings bisher andere und bessere Wege sichtbar geworden wären.

Demgegenüber haben sich die Verfasser bemüht²⁾, zu zeigen, daß die Zweiteilung in Elektronengas und Gittergefüge auch für den Isolator beibehalten werden kann, sofern nur die Wechselwirkung des Teilsystems ausreichend berücksichtigt wird. Es gelang ihnen³⁾, eine Reihe von Erscheinungen aufzuklären, die bisher einer einfachen Deutung widerstanden. Über diese Punkte soll im folgenden berichtet werden. Dabei soll aber vorweg einer oft stillschweigend gemachten Voraussetzung widersprochen werden, daß Elektronengas und Gittergefüge immer als *schwach* gekoppelte Systeme anzusehen sind. Die Stärke der Kopplung hängt sehr von der Temperatur des Gittergefüges und von der Energie der Elektronen ab. Zuweilen ist die Kopplung so eng, daß man beide Teile wirklich nicht mehr als getrennte Gebilde ansehen kann.

Optische Eigenschaften.

Das Absorptionsspektrum eines Metalles unterscheidet sich in einigen wesentlichen Punkten von dem eines Isolators. In der Abb. 1 ist die Ab-

sorption eines Isolators dargestellt. Aus ihr ersehen wir, daß ein Isolator eine Absorption im Ultravioletten besitzt, die bei farbigen oder undurchsichtigen Substanzen sich teilweise oder ganz über das sichtbare Gebiet erstrecken kann. Dieser ist nach langen Wellen hin ein schwaches Gebiet der Absorption vorgelagert¹⁾, das als erstes Anzeichen für die Abweichung des Kristallgefüges vom idealen Typ gedeutet wird. Es ist nach SMEKAL²⁾ auf innere Spannungen, auf Gitterbaufehler oder auf Verunreinigungen zurückzuführen. Tatsächlich hat dieses schwache Absorptionsgebiet Eigenschaften, die von Kristall zu Kristall stark variieren, während die vorher besprochene starke Absorption und insbesondere deren langwellige Grenze nur von der chemischen Beschaffenheit und der Gitterstruktur abhängen. Im langwelligen Gebiet, bei ungefähr 4μ , beginnt bei Ionenkristallen eine neue Absorption, die schon durch die klassische Theorie gedeutet werden konnte und kurz als Reststrahlabsorption bezeichnet werden soll. Sie ist zurückzuführen auf gewisse Typen der elastischen Schwingungen des Kristalles, bei denen durch die Bewegung der verschiedenen geladenen Ionen gegeneinander ein optisch wirksames Dipolmoment induziert wird, das Emission bzw. Absorption zur Folge hat. Die Eigenschwingungen des Kristalles, die zu solchen Dipolmomenten Anlaß geben, treten nur auf, wenn der Kristall aus zwei Ionenarten verschiedener Massen aufgebaut ist (optischer Zweig des elastischen Spektrums). In Übereinstimmung mit diesen Überlegungen zeigen einheitliche Kristalle, wie Diamant, eine Absorption in diesem Gebiet des Ultraroten nicht. Wo eine solche beobachtet wurde, läßt sie sich immer auf Verunreinigungen zurückführen. Fast alle Isolatoren zeigen im sehr langwelligen Ultraroten zwischen 60 und 300 μ eine mehr oder minder starke Absorption, deren Herkunft allerdings zur Zeit noch nicht geklärt ist. Bekannt ist dieses Phänomen bei der Emission heißer Quarze. Ob diese Erscheinung dem Gitter oder den Elektronen zuzuschreiben ist, entzieht sich noch unserer Kenntnis.

Die Absorption der Metalle ist im kurzwelligen Gebiet ebenfalls sehr stark und verhält sich dort auch quantitativ ähnlich der kurzwelligen Absorption der Isolatoren. Nach längeren Wellen hin schließt sich daran im allgemeinen ein Gebiet nicht verschwindender Absorption an, das sich ziemlich gleichmäßig bis zu sehr langen Wellen erstreckt. Bei einigen Metallen, wie Au, Ag und Cu zeigt sich im sichtbaren Wellengebiet ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Minimum. Das hiermit zusammenhängende Maximum der Reflexion ist für die Farbe dieser Metalle verantwortlich zu machen (Fig. 1).

Ein ähnliches Verhalten wird bei allen metallisch leitenden Substanzen, z. B. auch bei den lei-

¹⁾ J. FRENKEL, *Physic. Rev.* **37**, 17, 1276 (1931) — *Z. Physik Sowjetunion* **9**, 158 (1936). — I. C. SLATER, *Trans. Faraday Soc.* **34**, 828 (1938).

²⁾ F. MÖGLICH, R. ROMPE, *Z. Physik* **115**, 707 (1940).

³⁾ F. MÖGLICH, R. ROMPE, *Phys. Z.* **41**, 236 (1940). — F. MÖGLICH, N. RIEHL, R. ROMPE, *Z. f. techn. Phys.* **21**, 128 (1940). — F. MÖGLICH, *Z. angew. Chem.* **53**, 54, 405 (1936).

¹⁾ A. SMEKAL, *Handbuch der Physik* **24**, 2, 886.

²⁾ A. SMEKAL, *Z. Physik* **101**, 661 (1936).

tenden Ionenkristallen beobachtet. Dies legt nahe, für die metallische Absorption denselben Mechanismus anzunehmen wie für die elektrische Leitfähigkeit. Die Absorption der Metalle (im weiteren Sinne) in dem Gebiet, in dem die Isolatoren durchsichtig sind, wird von den freien Elektronen bewirkt. Nach kurzen Wellen hin schließt sich bei Metallen wie auch bei Isolatoren ein Gebiet starker Absorption an, welches offenbar bei beiden Substanzarten dem gleichen Mechanismus zugeschrieben werden kann. Die langwellige (Reststrahlen-) Absorption hat kein Gegenstück bei den

gruppen, die man als besetzte Energiebänder bezeichnet, teilweise besetzte Energiebänder und freie Energiebänder.

Am absoluten Nullpunkt der Temperatur werden eine gewisse Anzahl der untersten Energieniveaus mit Elektronen besetzt sein. Im allgemeinen werden mehrere Bänder von der Gesamtheit der vorhandenen Elektronen angefüllt werden. Bestimmend für das Verhalten des Stoffes ist, ob das oberste mit Elektronen besetzte Band voll besetzt (Isolator) oder teilweise besetzt (Metall) ist.

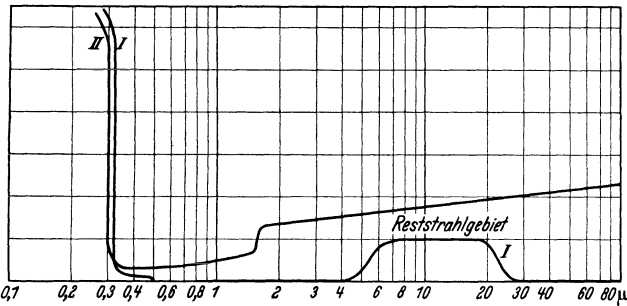


Fig. 1. Schematische Darstellung der Absorption eines Isolatoren (I) und eines Metalles (II). Die bei der metallischen Absorption auftretende Lücke im sichtbaren Gebiet ist bei einigen Metallen (Cu, Ag, Au) sehr stark, bei anderen wieder nur sehr schwach ausgebildet.

reinen Metallen, während bei leitenden Ionenkristallen diese durch die langwellige Absorption der Elektronen überdeckt sein dürfte.

Das Bändermodell.

Das unterschiedliche Verhalten von Metallen und Isolatoren hinsichtlich ihrer Absorptionseigenschaften läßt sich ohne weiteres auf Grund des Bändermodelles verstehen. Da hierüber bereits eine umfangreiche Literatur vorhanden ist, beschränken wir uns auf einige, auch für das folgende wichtige Punkte.

Das Energiespektrum der Elektronen eines Kristalles besteht nicht aus einzelnen Termen, wie das Spektrum eines Atomes, sondern aus Termgruppen. Eine große Anzahl von Termen ($2N$, wo N die Zahl der Atome des Kristalles ist) liegen so eng zusammen (≈ 1 bis 10 Volt), daß sie praktisch ein kontinuierliches Spektrum ergeben, jedoch sind die verschiedenen Termgruppen durch mehr oder minder breite verbotene Energiegebiete voneinander getrennt. Dieser Aufbau entsteht aus dem Termspektrum der einzelnen, in großer gegenseitiger Entfernung sich befindenden Atome bei wachsender Annäherung und regelmäßiger räumlicher Anordnung. Jeder Atomterm geht — zum mindesten prinzipiell — in eine $2N$ -fach aufgespaltene Termgruppe über, für welche die oben eingeführte Bezeichnung „Band“ üblich ist. Jedes Energieniveau einer solchen Termgruppe kann gemäß dem PAULI-Prinzip mit höchstens einem Elektron besetzt sein. Man unterscheidet daher volle Term-

Dieses einfache Schema klärt sofort das Fehlen der elektrischen Leitfähigkeit beim Isolator kristall auf. Da das oberste, Elektronen enthaltende Band voll besetzt ist, ist eine Beschleunigung der Elektronen in einem angelegten elektrischen Felde nicht möglich. Denn hierbei müßte ein Elektron in einen Zustand höherer Energie übergehen können. Solche unbesetzten Zustände existieren aber beim Isolator gemäß dem PAULI-Prinzip nicht. Das gleiche gilt übrigens auch für das Verhalten der Elektronen gegenüber auftreffenden Lichtquanten kleiner Energie. Anders aber bei den Metallen, die zum mindesten ein nur teilweise besetztes Energieband haben. Unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes oder auch unter dem Einfluß von Licht können die Elektro-

nen des teilweise besetzten Bandes Energie aufnehmen, ohne dadurch mit dem PAULI-Prinzip in Konflikt zu geraten. Die Elektronen geben dann ihrerseits die aus dem äußeren Felde aufgenommene Energie an das Kristallgitter ab, das sich unter der Einwirkung der Stöße zwischen den Elektronen und dem Gitter erwärmt. Diese Erwärmung ist das bekannte Phänomen der JOULESchen Wärme.

Das gleiche geht mit den Elektronen in einem teilweise besetzten Band vor sich, wenn elektromagnetische Strahlung auftritt. Für einfallende Strahlung des sichtbaren Gebietes tritt eine Absorption auf, bei der Elektronen und Gitterschwingungen gemeinsam beteiligt sind. In der Gegend von etwa $1-2 \mu$ und nach längeren Wellen wird dieser Vorgang überdeckt von einem anderen, bei dem nicht mehr einzelne Elektronen und Gitterwellen die Absorption besorgen, sondern die Elektronengesamtheit, die wir als Plasma bezeichnen (siehe den Abschnitt Plasmawechselwirkung). Diese Absorption läßt sich formal genau so behandeln, als wenn die Elektronen ein klassisches Elektronengas bilden würden. Aus diesem Grunde wird dieser Absorptionsprozess auch „klassische Absorption“ genannt. Wir werden uns diesem Brauch anschließen, obgleich wir der Ansicht sind, daß die für die klassische Behandlung dieses Teiles der Absorption in der Literatur vorgebrachten Gründe nicht befriedigen¹⁾.

¹⁾ Vgl. dazu: R. PEIERLS, Erg. d. exakten Naturw. 11, 291 (1932).

Die spektrale Ausdehnung der klassischen und gitterbedingten Absorption reicht von ganz langen Wellen bis zu einer kurzwelligen Grenze, die durch den Energieunterschied vom oberen Rand des Bandes zum Energiepegel der Elektronen im Band gegeben ist. Durch die klassische Absorption wird übrigens auch die bei leitenden Ionenkristallen vorhandene Absorption des Gitters im Ultraroten überdeckt und damit unbeobachtbar gemacht.

Außer der eben genannten Absorption ist bei den Metallen noch eine weitere durch Übergang der Elektronen in höhere Bänder möglich. Die spektrale Lage dieser neuen Absorption ist kurzwelliger als die der klassischen. Bei einigen Metallen schließt sich diese Absorption nicht unmittelbar an die klassische und gitterbedingte Absorption an (Fig. 1) und es entsteht auf

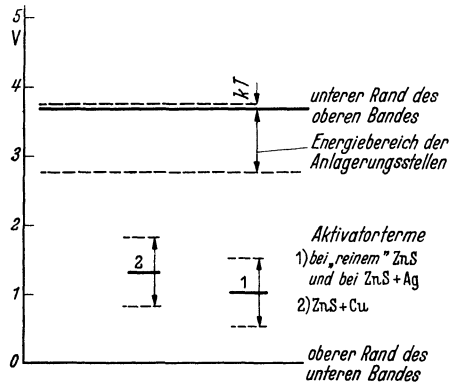


Fig. 2. Quantitatives Energieschema eines Zn-S-Phosphors.

diese Weise ein Durchlässigkeitsgebiet, wie es bei Cu, Au und Ag und im UV bei Alkalimetallen bekannt ist. Die Breite eines solchen Tales in der Absorption ist gegeben durch die Breite der Energiebänder sowie die Breite der verbotenen Zone zweier aufeinanderfolgender Bänder, ferner durch die Art der Auswahlregeln bei dem Band-Band-Übergang. Die Band-Band-Absorption ist bei Isolatoren genau so vorhanden wie bei den Metallen und stellt den der starken Absorption im UV zugrunde liegenden Mechanismus dar (Fig. 1).

Für die Übergänge in höhere Bänder gelten Auswahlregeln, die im wesentlichen die Erhaltung des Impulses garantieren und demgemäß verschiedene Möglichkeiten eröffnen, je nachdem, wie die Energie von dem (modifizierten) Impulsvektor abhängt. Der Fall, daß der den Impuls beschreibende sog. reduzierte Ausbreitungsvektor in zwei aufeinanderfolgenden Bändern gegenläufig ist, d. h. daß einem Wert des Ausbreitungsvektors am oberen Rande des einen Bandes der gleiche Wert am unteren Rande des nächsten Bandes entspricht, ist z. B. bei Zn-S-Kristallen erfüllt. In einem solchen Falle kann man auch ohne Kenntnis der Bandbreiten ein Energieschema des Kristalles aufstellen (Fig. 2).

Energiewanderung.

Daß man trotz der in den Kristallen herrschenden und auf die Elektronen wirkenden Felder die letzteren als „quasifrei“ ansehen darf, ergibt die mathematische Theorie der Elektronenbewegung in periodischen Kraftfeldern. Es zeigt sich dabei, daß die Elektronen genau wie im leeren Raum von einer ebenen fortschreitenden Welle begleitet werden, nur daß die Amplitude dieser ebenen Welle räumlich periodischen Schwankungen unterworfen ist und daß in diesen periodischen Schwankungen der gesamte Einfluß des Gitterpotentials steckt.

Diese Eigenschaft der Elektronen in Festkörpern bzw. in Systemen, bei denen die Elektronenenergieterme in Bänderform angeordnet sind, wird in letzter Zeit zur Erklärung der von RIEHL¹⁾ an Kristallphosphoren nachgewiesenen „Energiewanderung“ herangezogen. Ähnliche Vorgänge sind auch bei Molekülkomplexen²⁾ (Gene, Chlorophyllmoleküle) beobachtet und sollen nach einem Vorschlag von MÖGLICH und SCHÖN³⁾ ebenfalls auf die Existenz von Elektronentermbändern zurückzuführen sein.

Der zu deutende Tatbestand ist der folgende: Die Absorption eines Lichtquantens in einem größeren Komplex des betrachteten Kristalles bzw. eines Riesenmoleküls kann an bestimmten bevorzugten Stellen einen atomaren Mechanismus auslösen, z. B. den an einen Aktivator gebundenen Leuchtvorgang in einem Kristallphosphor (s. zu diesem Prozeß nächsten Abschnitt).

Ein solcher Vorgang ist nur dann unverständlich, wenn man sich der herkömmlichen Anschauung bedient, daß der Absorptionsprozeß an irgendeinem der Atome des Gitters stattfindet. Dies aber ist keineswegs zutreffend, weil ja die Elektronen nicht mehr den einzelnen Atomen des Gitters zugeordnet werden können, sondern dem ganzen Gitter angehören. Die von einem Elektron aufgenommene Energie kann daher durch das ganze Gitter getragen werden, bzw. ist im ganzen Gitter „gegenwärtig“. Das zu erledigende Problem ist dann nur, zu erklären, wie die Elektronen ihre Energie an gewissen bevorzugten Stellen des Kristalles oder Riesenmoleküls abgeben können, wobei dieser Vorgang als eine Art Stoß 2. Art aufgefaßt werden kann.

Es mag auch darauf hingewiesen werden, daß die Vorstellung, die Absorption eines Lichtquantens könne an einzelnen Atomen des Gitters vor sich gehen, prinzipiell nicht haltbar, zum mindesten aber nichtssagend ist. Sind nämlich gleichartige Atome in dichter Packung angeordnet, so entsteht bereits eine derartig intensive Dipolwechselwirkung unter ihnen, daß die Lebensdauer der einzelnen atomaren Zustände unter die Zeit 10^{-10} sec verkürzt ist. Die Energie wechselt dauernd von einem Atom

¹⁾ N. RIEHL, Ann. Physik (5), **29**, 640 (1937).

²⁾ H. GAFFRON, K. WOHL, Naturwiss. **24**, 81, 103 (1936).

³⁾ F. MÖGLICH, M. SCHÖN, Naturwiss. **26**, 199 (1938).

auf das andere, und es läßt sich auf keine Weise feststellen, welches Atom die Energie aufgenommen hat bzw. welches die Energie zu einem späteren Zeitpunkt besitzt. Durch den Platzwechsel der Energie entsteht naturgemäß nach den Ungenauigkeitsrelationen eine Modifikation der Atomterme im Sinne einer Verbreiterung. Man kann rückwärts aus der Breite der Bänder eines Kristalles größenordnungsmäßig auf die Platzwechsel-
frequenz der Energie schließen und gelangt so zu Frequenzen, die größer als 10^{14} sind, so daß also die Aussage, ein bestimmtes Atom habe ein Lichtquant absorbiert, nur für Zeiten von der Größenordnung 10^{-14} sec sinnvoll wäre.

Nicht nur in Festkörpern, sondern auch in Gasen können die Verhältnisse von dieser Art sein. Dies ereignet sich z. B. bei der von WOOD entdeckten „metallischen“ Resonanzfluoreszenz, die bei entsprechend hohen Gasdichten auftritt. Man sieht hieraus auch, daß die Vorstellung der Einzelabsorption und die Vorstellung der Energiewanderung einander ausschließen müssen, weil die letztere gerade auf dem schnellen Platzwechsel der Energie beruht.

Über die Energiewanderung in Kristallen und Komplexen hat in dieser Zeitschrift vor kurzem sehr eingehend N. RIEHL¹⁾ berichtet, so daß es sich erübrigt, auf die experimentellen Tatsachen des näheren hier einzugehen.

Das Schön-Riehlsche Modell eines Luminophors.

SMEKAL hat eindringlich darauf hingewiesen, daß Lockerstellen und Spannungen in einem Festkörper eine Modifikation des elektronischen Energiespektrums hervorrufen müssen. Dasselbe geschieht bei einem Einbau oder Ausbau von Gitterbestandteilen²⁾, wie er z. B. bei Halbleitern nötig ist. Auch bei Kristallphosphoren weiß man, daß die Leuchteigenschaften von dem Einbau gewisser metallischer Komponenten in sehr geringen Mengen abhängig ist.

Wenn man sich nun ein ungefähres Bild machen kann, welche Folgen ein Einbau von Fremdatomen auf das elektronische Energiespektrum hat, so kann man rückwärts aus den allgemeinen Eigenschaften der Luminophore ein energetisches Schema für diese entwerfen. Diesen Weg haben mit Erfolg SCHÖN und RIEHL und SCHÖN³⁾ beschritten.

Der Kristallphosphor hat im wesentlichen die Elektronenanordnung eines Isolators, d. h. jedes mit Elektronen besetzte Energieband ist voll besetzt im Sinne des PAULI-Prinzips. Der Unterschied zum gewöhnlichen Isolator macht sich bemerkbar an gewissen Zwischenniveaus, die zwischen dem obersten besetzten und dem untersten un-

besetzten Energieband vorhanden sind. Diese Zwischenniveaus liegen teilweise unter dem ersten von Elektronen freien Bande und enthalten keine Elektronen. Diese sind wahrscheinlich identisch mit den oben beschriebenen Störtermen. Eine zweite Sorte von Niveaus, von SCHÖN und RIEHL Aktivatoren genannt, liegen über dem obersten voll besetzten Energieband und sind ihrerseits mit Elektronen voll besetzt im Sinne des PAULI-Prinzips. Beide Sorten von Zwischenniveaus unterscheiden sich von den Energiebändern eines Isolators wesentlich dadurch, daß sie zu örtlich lokalisierten Teilen innerhalb des Phosphors¹⁾ gehören und daher nicht unbedingt die Eigenschaften haben, die bei den Energiebändern von der räumlichen Periodizität des Kristalls herrühren (siehe Fig. 3).

Die Anregung eines Luminophors durch Licht erfolgt nach diesem Modell so, daß die Energie des einfallenden Lichtquantens ein Elektron aus dem obersten besetzten Energieband in das unterste

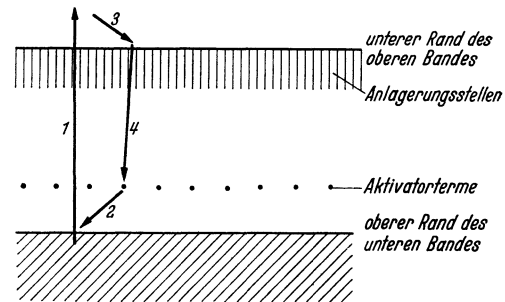


Fig. 3. Energieschema eines Kristallphosphors vom ZnS-Typ. Pfeil 1: Absorption, Pfeil 2: Freimachung eines Aktivatorterms, Pfeil 3: Beförderung des Elektrons an den unteren Rand des oberen Randes, Pfeil 4: Strahlungsemission.

freie Band befördert. Der dadurch im besetzten Band frei werdende Platz wird durch ein Elektron aus den Aktivatorstellen aufgefüllt, und die Emission findet jetzt dadurch statt, daß das Elektron vom freien Band in den leergewordenen Aktivatorterm fällt.

Dieses Modell beschreibt für einen bestimmten Typ von Luminophoren (ZnS-Typ) die beobachteten Erscheinungen zutreffend, wofern man einige zusätzliche Annahmen einführt. Eine davon ist die, daß die in das freie Band gehobenen Elektronen nicht unmittelbar ihre Energie als Licht abgeben, sondern zunächst durch einen Zwischenprozeß nicht näher definierter Art an den unteren Rand des freien Bandes gelangen, weil anderenfalls die beobachtete Konstanz des Emissionsspektrums bei weitgehender Variation der spektralen Zusammensetzung des erregenden Lichtes nicht gewährleistet werden kann.

¹⁾ Allerdings von einer räumlichen Ausdehnung, welche die Größe einer Elementarzelle wesentlich über-
treffen kann; als Hinweis hierfür s. L. LANDAU, Sowjet-
Phys. 2, 46–51 (1932).

¹⁾ N. RIEHL, Naturwiss. 28, 609 (1940).
²⁾ E. FRIEDERICH, Z. Physik 31, 813; 34, 637 (1925).
— W. MEYER, Z. Physik 85, 278 (1933) — Z. techn. Physik 14, 126 (1933); 16, 355 (1935).
³⁾ M. SCHÖN, Z. techn. Physik 19, 369 (1938). — N. RIEHL, M. SCHÖN, Z. Physik 114, 682 (1939).

Plasmawechselwirkung.

Es gelang uns zu zeigen¹⁾, welcher Art der fragliche Mechanismus ist, der die Elektronen vor der Emission an den unteren Rand des freien Bandes befördert. Es stellt sich nämlich heraus, daß im wesentlichen die Wechselwirkung eines angeregten Elektrons mit den übrigen ins freie Band beförderten Elektronen die geforderte Eigenschaft hat, nämlich durch Energieübertragung vom angeregten Elektron auf die übrigen Elektronen des freien Bandes die Lebensdauer des hochangeregten Elektrons so zu verkürzen, daß praktisch eine Lichtemission nicht auftreten kann. Denn die mittlere Verweilzeit eines Elektrons in einem stationären Zustand ist in bezug auf die Lichtemission um viele Größenordnungen größer als die Zeit, die nötig ist, um das Elektron durch Wechselwirkung mit den anderen Elektronen des oberen Bandes an den unteren Rand dieses Bandes zu befördern. Die Wechselwirkung findet dort erst eine natürliche Grenze und von dort ab kann die Emission des Lichtes einsetzen. Der hier betrachtete Prozeß ist völlig analog dem Prozeß der Wechselwirkung zwischen einem schnellen Elektron und den langsamen Elektronen des Plasmas einer Gasentladung, und wir nennen deshalb den betrachteten Prozeß im Kristall „Plasmawechselwirkung“.

Wir wie oben gesagt haben, sind die Elektronen in einem nur wenig besetzten Band als ein Gas von freien Elektronen anzusehen und zu behandeln. Die Existenz der positiv geladenen Atomionen braucht zunächst nicht berücksichtigt zu werden außer in der Feststellung, daß durch sie eine Kompensation der Elektronenraumladung bewirkt und ein Auseinanderfliegen der Elektronen verhindert wird. Fragen wir nach der Zeit, welche ein schnelles Elektron beim Eindringen in eine Wolke langsamer Elektronen braucht, um mit den langsamen Elektronen ins Gleichgewicht zu kommen, so können wir die entsprechende Formel aus der Theorie der Gasentladungen in guter Näherung anwenden:

$$\tau = \gamma \cdot \frac{m^2 v^3}{e^4 \cdot N}. \quad (1)$$

Hier bedeuten m , v , e Masse, Geschwindigkeit, Ladung eines Elektrons, während N die Zahl der Elektronen im oberen Band ist. γ ist eine Konstante von der Größenordnung 10.

Die Auswertung dieser Formel für experimentell untersuchte Leuchtstoffe liefert Zeiten von 10^{-10} sec, wie sie auch für die Leuchtstoffe gefordert werden müssen. Man muß also annehmen, daß die Wechselwirkung der Elektronen untereinander eine sehr wesentliche Rolle für das optische Verhalten der Isolatoren spielt. Denn durch sie wird erklärt, daß ein in das obere Band gebrachtes Elektron sich frei nicht unbegrenzte Zeit in der durch die Absorption geschaffenen energetischen Lage aufhält, sondern mit großer

Wahrscheinlichkeit an den unteren Rand des Bandes gelangt, von wo aus es mit den Störtermen der Ausläuferabsorption (Anlagerungsstelle) in Wechselwirkung treten bzw. bei Kristallphosphoren unter Ausstrahlung in einen Aktivatorterm übergehen kann. Ferner auch, daß sich nach der genannten sehr kurzen Zeit eine MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung¹⁾ der Elektronen einstellt, und zwar genau durch den gleichen Vorgang wie im Plasma.

Das hier mitgeteilte Ergebnis ist zu einem gewissen Grade überraschend, indem die Elektronen in außerordentlich kurzer Zeit dafür sorgen, daß in ihrem Ensemble keine abnormen Geschwindigkeiten auftreten und daß sich damit im Elektronengas ein Gleichgewicht einstellen kann. Es ist insbesondere gar nicht nötig, daß zur Einstellung des Gleichgewichts die Wechselwirkung der Elektronen mit dem Gitter berücksichtigt wird. Es zeigt sich sogar bei näherer Durchrechnung, daß die Wechselwirkung mit dem Gitter eine Einstellung des Gleichgewichts wesentlich langsamer bewirken würde als die Plasmawechselwirkung, und zwar ist der Zeitfaktor etwa 10^4 bis 10^7 .

Man darf übrigens aus diesem Ergebnis nicht den Schluß ziehen, daß die Wechselwirkung der Elektronen mit dem Gitter unwesentlich und klein ist. Bei sehr vielen Phänomenen spielt diese sogar eine entscheidende Rolle. Bekannt ist ja die Tatsache, daß sich die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit durch die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Gitter befriedigend erklären läßt. Aber auch andere Erscheinungen, vor allem bei Isolatoren, finden durch Berücksichtigung dieser Wechselwirkung ihre Aufklärung. Wir wollen uns daher nunmehr eingehend mit den Fragen der Wechselwirkung zwischen Elektronen und Gitter beschäftigen.

Vorher wollen wir aber noch aus der Theorie der Plasmawechselwirkung für die Metalltheorie einen interessanten Schluß ziehen. Zwar wird für Metalle die Gültigkeit der Gleichung 1 in Zweifel zu ziehen sein, weil diese Gleichung klassische Statistik voraussetzt, was bei der hohen Dichte der Elektronen im Metall anzunehmen nicht gestattet ist. Doch wird man der Formel entnehmen dürfen, daß die Relaxationszeiten für Metalle besonders klein sind und daß daher Elektronen des Metalles, denen auf irgendeine Weise Energie zugeführt wird, diese sehr schnell an die Elektronengesamtheit abgeben. Die Zeit, bis zu der sich ein Gleichgewicht wiederherstellt, muß also sehr klein sein. Die diesem Zeitintervall entsprechende maximale Frequenz ν_0 ist aber die obere Grenze, bis zu der nach SOMMERFELD und BETHE²⁾ die „klassische“ Absorption Gültigkeit besitzt. Aus den experimentellen Daten kann man diese Frequenz

¹⁾ K. BIRUS, M. SCHÖN, Verh. d. Deutschen Phys. Ges. 19, 83 (1938).

²⁾ A. SOMMERFELD, H. BETHE, l. c. S. 579 ff.

¹⁾ F. MÖGLICH, R. ROMPE, l. c.

abschätzen, ihre Größenordnung ist etwa bei Cu $\nu_0 = 10^{13}$.

Diese Größe ν_0 ist übrigens kleiner als diejenige Frequenz, bei der unter Voraussetzung freier Elektronen die Grenze liegt zwischen einem Gebiet völliger Totalreflexion und vollständiger Durchsichtigkeit bei geeignetem Einfallswinkel. Die Größe dieser Frequenz ist gegeben durch die Gleichung¹⁾

$$\nu' = \sqrt{\frac{e^2 N}{\pi m}} \quad N \text{ Dichte der Elektronen.}$$

Übrigens spielt diese Frequenz auch in ganz anderem Zusammenhang eine Rolle. Sie erscheint in der Theorie der Elektronenplasmaschwingungen als Eigenfrequenz des Plasmas²⁾. Bemerkenswerterweise steht diese Frequenz, wie STEENBECK³⁾ gezeigt hat, in einem unaufgeklärten Zusammenhange mit dem Einsetzen der kurzwelligen Absorption eines Metalles (s. Figur 1). Daß ein solcher empirischer Zusammenhang besteht, erscheint uns als Hinweis dafür, daß die theoretischen Grundlagen der Absorption der Metalle doch noch nicht hinreichend geklärt sind.

Wechselwirkung mit dem Gitter.

Zum Verständnis der Wechselwirkung zwischen Elektron und Gitter ist es zweckmäßig, darauf hinzuweisen, daß die Gitterschwingungen sich hinsichtlich ihres thermischen Verhaltens genau so benehmen wie die Hohlraumstrahlung. Dieses Ergebnis darf man durch die Untersuchungen über die spezifischen Wärmen fester Körper als gesichert ansehen. Zu der durch die Quantentheorie konzipierten Existenz der Lichtquanten treten nun in Parallele die Schallquanten, deren Energieinhalt genau wie bei den Lichtquanten bestimmt ist durch die assoziierte Frequenz ν nach der Regel $E = h\nu$ und deren Impuls bestimmt ist durch die Gleichung $p = h/\lambda$, wo λ die zur Frequenz ν gehörende Wellenlänge bedeutet. Die Tatsache, daß ein Schallquantengas thermisch durch die PLANCKSche Funktion beschrieben wird, ist dann naturgemäß so zu deuten, daß die Schallquanten nicht der FERMISchen, sondern der BOSESchen Statistik genügen, genau, wie das die Lichtquanten auch tun. Der einzige Unterschied ist der, daß die Frequenzen der Hohlraumstrahlung über alle Grenzen wachsen, während die Frequenzen des Festkörpers eine Grenze haben, die von der Größenordnung $\nu_{\max} = 10^{13}$ ist. Sowohl die Frequenzen der Hohlraumstrahlung wie die eines Festkörpers bilden eine diskrete Folge, doch liegen sie in beiden Fällen bei hinreichend großem Hohlraum bzw. bei hinreichend großem Festkörper so dicht, daß sie praktisch als ein Kontinuum angesehen werden können.

¹⁾ H. FRÖHLICH, Elektronentheorie und Metalle, Berlin 1936, S. 104.

²⁾ R. ROMPE, M. STEENBECK, Erg. d. exakten Naturw. 18, 298 ff. 1939.

³⁾ M. STEENBECK, Z. Phys. 76, 260, 1932.

Den Frequenzen des Festkörpers $\nu_1 \nu_2 \nu_3 \dots \nu_N$; $\nu_N = \nu_{\max}$ kann man die Größe Q_{ν_i} Energiedichte der Schallstrahlung von der Frequenz ν_i zuordnen. Für diese Größe gilt im Falle des thermischen Gleichgewichts die PLANCKSche Formel:

$$Q_{\nu_i} = \frac{12\pi h \nu_i^3}{q^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu_i/kT} - 1}.$$

Diese unterscheidet sich von der PLANCKSchen Formel der Hohlraumstrahlung noch durch den Faktor $3/2$, weil im Unterschied zur Hohlraumstrahlung die Schallquantenstrahlung nicht 2, sondern 3 Polarisationszustände hat. q ist die Schallgeschwindigkeit, die wir hier der Einfachheit halber für alle Frequenzen und alle Polarisationsrichtungen als konstant ansehen wollen.

Wenn formal auch eine volle Übereinstimmung zwischen Schallquantengas und Hohlraumstrahlung vorhanden ist, so gibt es doch in quantitativer Hinsicht bemerkenswerte Abweichungen, die sich ganz besonders bei der Bewertung der verschiedenen statistischen Einzelprozessen bemerkbar machen. Insbesondere kann man sofort sehen, daß die Kleinheit der Schallgeschwindigkeit im Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit (Faktor 10^{-5}) die Dichte der Schallenergie im Vergleich zur Dichte der Lichtquanten der gleichen Frequenz um den Faktor 10^{15} heraufsetzt, da die Energiedichten umgekehrt proportional zur 3. Potenz der Ausbreitungsgeschwindigkeiten sind.

Wollen wir nun die energetische Wechselwirkung eines Schallquantengases mit irgendeinem quantenmechanischen System untersuchen, so bedienen wir uns zweckmäßigerweise der Methode von EINSTEIN, wie sie zur Ableitung der PLANCKSchen Formel benutzt wird. Wir nehmen dabei der Einfachheit halber an, daß das atomare System, das in Wechselwirkung mit dem Schallquantengas steht, nur zweier energetischen Zustände fähig ist, deren Energiedifferenz gleich $h\nu$ gesetzt wird. Den Normalzustand des atomaren Systems bezeichnen wir mit 0, den angeregten Zustand mit 1. n_0 und n_1 seien die Zahl der Atome in den beiden Zuständen.

Einfachstöße.

Die Häufigkeit des Prozesses der Absorption (Verschwinden eines Schallquantens der Frequenz ν und Übergang des atomaren Systems aus dem Zustand 0 in den Zustand 1) ist dann gegeben durch:

$$n_0 B_{01} Q_{\nu}.$$

Der Prozeß der Emission hingegen (Auftreten eines Schallquantens unter gleichzeitigem Übergang des Atoms aus dem Zustand 1 in den Zustand 0):

$$n_1 \cdot A_{10} + n_1 \cdot B_{10} \cdot Q_{\nu}.$$

Hier ist die Größe A_{10} der Koeffizient der Spontanerzeugung eines Schallquantens. Er trägt der Tatsache Rechnung, daß auch dann ein Schallquant erzeugt werden kann, wenn Q_{ν} gleich Null ist. Die Größen B_{01} und B_{10} sind die Übergangswahrscheinlichkeiten des atomaren Systems für die Über-

gänge 0—1 bzw. 1—0. Diese beiden Größen, wie auch A_{10} hängen von der Natur des atomaren Systems und von der Art der Wechselwirkung zwischen dem atomaren System und dem Schallquantengas ab.

Im Falle des thermodynamischen Gleichgewichts muß die Zahl der Emissionsprozesse gleich der Zahl der Absorptionsprozesse sein (Forderung des detaillierten Gleichgewichts). Im Falle des thermischen Gleichgewichts ist $n_1 : n_0 = e^{-h\nu/kT}$, und wenn man für ϱ_ν die PLANCKSche Formel einführt, so ergibt sich¹⁾

$$B_{10} = B_{01}, \quad A_{10} = B_{10} \cdot \frac{12\pi h\nu^3}{q^3}. \quad (3)$$

Aus dieser letzteren Gleichung folgert man übrigens, daß nicht nur die Energiedichte, sondern auch der Spontanemissionskoeffizient gegenüber dem Koeffizienten der erzwungenen Emission B_{10} um den Faktor 10^{15} größer ist als im Falle der Hohlraumstrahlung unter gleichen Voraussetzungen.

Trotzdem aber spielt bei höheren Temperaturen der Koeffizient der spontanen Emission eine unvergleichlich viel geringere Rolle als bei der Lichtstrahlung. Es liegt dies daran, daß ϱ_ν nicht nur bei hohen Temperaturen, sondern auch bei vergleichsweise kleinen Frequenzen sehr groß wird und daher der Summand $\varrho_\nu B_{10}$ die Größe A_{10} überwiegen kann; dies ist der Fall, wenn $h\nu \ll kT$ ist. Im Falle der Lichtstrahlung wird das zwar auch so sein, aber es gibt im Falle der Lichtstrahlung immer Frequenzen, für die $h\nu \gg kT$ ist. Im Falle der Schallstrahlung gibt es solche Frequenzen dann nicht mehr, wenn $h\nu_{\max} \ll kT$, und diese Bedingung kann unter Umständen schon bei Zimmertemperatur annähernd erfüllt sein. Sie ist es immer ungefähr bei 700 K. Die Frequenz, für die die Strahlungsdichte ein Maximum hat, liegt bei Zimmertemperatur also bereits außerhalb des Spektrums des Festkörpers. Das ist auch der Grund, weshalb im allgemeinen bereits bei Zimmertemperatur das DULONG-PETITSche Gesetz der spezifischen Wärme erfüllt ist.

Das System, mit dem das Schallquantengas energetisch dauernd gekoppelt ist, ist die Gesamtheit der Elektronen. Die Koppelung zwischen den Elektronen der tieferen Schalen der Atome des Gitters und dem Gittergefüge wird man als äußerst klein anzusehen haben und vernachlässigen können. Hinzu kommt bei ihnen noch, daß die Energie, die zu ihrer Anregung nötig wäre, viel zu groß ist, um aus dem Wärmeverrat des Gitters entnommen zu werden. Es bleiben daher nur die Elektronen für die Berücksichtigung der Wechsel-

wirkung übrig, die den äußersten Schalen der Atome zugerechnet werden müssen und die sich energetisch im obersten besetzten Band des Gitterspektrums befinden.

Das hier ins Auge gefaßte energetische System unterscheidet sich von dem atomaren System, von dem wir vorher sprachen, in zwei wesentlichen Punkten. Erstens gibt es nicht lediglich zwei Energiestufen, sondern sehr viele, die auch noch dazu beliebig dicht liegen, und dann unterliegt dieses System nicht der BOLTZMANNschen Statistik (berücksichtigt durch den Ansatz $n_0 : n_1 = e^{-h\nu/kT}$), sondern der FERMISchen Statistik.

Wir betrachten aus diesen Gründen zunächst nicht mehr 2 Energieniveaus des Elektronengases, sondern 2 Energiegebiete, beide von der gleichen energetischen Breite $\delta\varepsilon$, die zwar klein ist, aber doch immerhin so groß, daß in ihr viele einzelne Energieniveaus liegen. Das Gebiet kleinerer Energie sei das Gebiet zwischen ε_s ; $\varepsilon_s + \delta\varepsilon$, und das Gebiet größerer Energie sei das zwischen ε_i und $\varepsilon_i + \delta\varepsilon$. Ferner sei $\varepsilon_i - \varepsilon_s = h\nu$. Die Wahrscheinlichkeit für den Übergang eines Elektrons vom Gebiet s zum Gebiet i ist dann nicht nur gleich $n_s \cdot B_{si}$, sondern auch noch gleich der Zahl der freien Elementarzellen im Gebiet i . Nennen wir die Zahl der Phasenraumzellen im i -ten Gebiet z_i , so haben wir noch mit $z_i - n_i$ zu multiplizieren, weil dies die Zahl der freien Phasenraumzellen ist. Entsprechend haben wir bei dem inversen Prozeß (Übergang von i nach s) die Wahrscheinlichkeit proportional zu $n_i(z_s - n_s)$ anzusetzen. Nach der Fermistatistik gilt aber die Gleichung

$$\frac{n_i}{z_i - n_i} = e^{-\frac{\varepsilon_i}{kT} - \alpha}$$

Sie folgt unmittelbar aus der Minimumbedingung für die Entropie, wenn man die Nebenbedingungen der Konstanz der Teilchenzahl und der Gesamtenergie berücksichtigt. Durch Gleichsetzung der beiden Häufigkeiten kann man dann wie vorher schließen und gelangt zu den gleichen Ergebnissen.

Darüber hinaus aber gestatten die thermodynamischen Überlegungen natürlich keine Schlüsse. Wie groß die A - und B -Koeffizienten sind, kann nicht angegeben werden. Diese Lücke füllt die Quantentheorie aus, nach deren allgemeinem Schema der Koeffizient B gegeben ist als

$$B_{si} = |\int \psi_s^* V \psi_i d\Sigma|^2. \quad (4)$$

Hier bedeutet V die Wechselwirkungsenergie zwischen Gitter und Elektronen, und ψ_s bzw. ψ_i sind die Wellenfunktionen des Anfangs- und Endzustandes des ganzen Systems. Jede Wellenfunktion ist also ein Produkt aus einer Elektroneneigenfunktion und einer Gitterschallquanteneigenfunktion, und die Integration ist über die Elektronenkoordinaten und über die Bestimmungsgrößen des Schallquantengases auszuführen.

Der Mechanismus der Absorption eines Schallquantens bei gleichzeitigem Übergang eines Elektrons auf ein entsprechend höheres Energieniveau

¹⁾ Für den Fall der Hohlraumstrahlung konnte EINSTEIN das PLANCKSche Gesetz ableiten, indem er die Gültigkeit der aus dem detaillierten Gleichgewicht folgenden Gleichung auch für beliebig hohe Temperaturen forderte. Dieser Weg ist uns versperrt, da für beliebig hohe Temperaturen ein Festkörper nicht existieren kann. Wir müssen die entsprechenden Gleichungen daher umgekehrt aus der empirisch gefundenen Gültigkeit des PLANCKSchen Gesetzes folgern.

ist im allgemeinen nur auf Metalle beschränkt. Diese haben, wie schon ausgeführt, ein nur teilweise, besetztes elektronisches Energieband, und nur dort ist garantiert, daß in dem geringen energetischen Abstand $h\nu$ (ν Frequenz des Gitters) von einem besetzten Elektronenterm sich ein freier Elektronenterm befindet.

Der Fall der Absorption oder Emission eines Schallquantens, in der Literatur auch Einfachstoß genannt, weil es sich hier um einen Stoß zwischen *einem* Elektron und *einem* Schallquant handelt, hat BLOCH sehr eingehend durchgerechnet. Er macht für das Störungspotential den folgenden Ansatz:

$$V = (u, \text{grad} V_0),$$

wo V_0 das Potential des thermisch unbeeinflussten Gitters und u der Vektor der thermischen Verdrückungen der Gitterpunkte ist.

Das Verfahren der quantenmechanischen Störungsrechnung wird von BLOCH¹⁾ benutzt, um nachzuweisen, daß die Quantentheorie die richtige Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit ergibt. Die Übereinstimmung ist befriedigend, wenn auch gewisse Abweichungen vom Experiment vorhanden zu sein scheinen. Diese werden darauf zurückgeführt, daß das Störungsverfahren nur bis zur ersten Näherung benutzt wird, während höhere Näherungen, die den Stoß

¹⁾ E. BLOCH, l. c.

eines Elektrons mit 2 und mehr Schallquanten beschreiben würden, vernachlässigt sind.

Der gleiche Formalismus gibt übrigens auch Auskunft über die sog. klassische Absorption elektromagnetischer Strahlung durch das Elektronengas. Wie wir schon früher ausgeführt haben, besteht für die Absorption elektromagnetischer Strahlung im allgemeinen nur dann eine endliche Wahrscheinlichkeit, wenn das Elektron von einem energetischen Zustand eines Bandes in ein anderes Band übergeht. Dieser Satz gilt allerdings nur so lange, wie andere als elektromagnetische Prozesse an der Absorption nicht mitwirken. Der gleiche Formalismus, wie der von BLOCH benutzte, gibt aber die Möglichkeit der Absorption von Lichtstrahlung unter gleichzeitiger Emission bzw. Absorption eines Schallquantens. Hier besteht die Möglichkeit, mit Hilfe des Schallquantens den innerhalb eines Energiebandes allein nicht zu befriedigenden Impulssatz zu retten, so daß in halb-besetzten Energiebändern die Elektronen quasi-klassisch zu absorbieren in der Lage sind. Daß dies der gleiche Prozeß ist, der auch für das Auftreten einer endlichen Leitfähigkeit sorgt, garantiert den von der klassischen Theorie behaupteten Zusammenhang zwischen Absorptionskoeffizienten und echter elektrischer Leitfähigkeit, während dieser Zusammenhang im Falle der Quantenabsorption von Band zu Band nur mehr formale Bedeutung hat. (Schluß folgt.)

Bedeutungslehre in der Biologie.

Von O. KOEHLER, Königsberg i. Pr.

Je mehr die breite Öffentlichkeit heute an biologischen Grundfragen Anteil nimmt, um so zahlreichere Aufsätze, Hefte und Bücher schreiben Autoren, die die Biologie um so gründlicher revolutionieren wollen, je weniger sie im eigentlichen Sinne von ihr wissen. In solcher Zeit verdienen grundsätzliche Darstellungen aus wirklich berufener Feder eine ganz besondere Aufmerksamkeit und tragen besonders hohe Verantwortung.

JAKOB VON UEXKÜLL, in seinen klassischen Originalarbeiten einer unserer größten Reizphysiologen, in der Folge Begründer einer vielleicht noch mehr beachteten eigenen biologischen Weltanschauung, der bekannte Meister in der Kunst, diese seine Lehre von immer neuen Seiten her zu sehen und sie in immer neue Worte zu kleiden, schenkte uns jüngst eine kurze, aber inhaltreiche Schrift¹⁾, deren Inhalt, auf kürzeste Form gebracht, etwa folgender ist:

I. *Bedeutungsträger* (Objekte) schließen vermöge ihrer den Rezeptor erregenden Merkmalsträger und ihrer dem Effektor als Angriffspunkt dienenden Wirkmalsträger den Funktionskreis des Subjektes; seine wichtigsten Funktionskreise sind die des Mediums, der Nahrung, des Feindes und des Geschlechtes. — II. *Umwelt und Wohnhülle*. Dies Funktionsschema gilt natürlich so nur für Tiere mit Nervensystemen;

bei Pflanzen besorgt die Epidermis die Reizauswahl. Jede physikalisch-chemische Verknüpfung, wie etwa die in den motorischen Nervenendplättchen, ist nachträglich. Ursprünglich gehorchen alle Zellen allein der melodischen Induktion ihrer Ichtöne (JOHANNES MÜLLERS spezifische Energien). Auch die Blastomeren sind freie Zellen, gut vergleichbar den einzeln lebenden *Dictyostelium*-Amöben in W. ARNDTS Film, die allein der melodischen Induktion ihrer Ichtöne gehorchend zum artgemäßen Pseudosporangium zusammenkriechen. — III. *Bedeutungsverwertung*. Alle Organe verdanken ihre Form und ihre Stoffverteilung ihrer Bedeutung als Verwerter der ihnen von außen zugebrachten Bedeutungsfaktoren. Erst nachdem man die Bedeutung erkannt hat, darf man nach den kausal bedingten Vorgängen forschen, die immer äußerst begrenzt sind, da die Tätigkeit der lebenden Zellen durch ihre Ichtöne geleitet wird. Es gibt in der Entwicklung nicht nur Formbildungs-, sondern auch Bedeutungsbefehle, so bei SPEMANNS Überpflanzung von Kaulquappenhaut in die Mundgegend einer Molchslarve, wo sie ortsgemäß (Bedeutungsbefehl) einen Mund mit dem Erbgut des Implantats gemäßen vegetarierhaften Hornzähnen entwickelte (Formbildungsbefehl), statt der raubtierhaften echten Molchszähnen. So kann allgemein der Bedeutungsbefehl je nach der Art des Erbgutes auf sehr verschiedene Weise befolgt werden. Alle Ichtöne gehorchen dabei dem Bedeutungston. Wir stehen mit der Bedeutungslehre erst am Anfange. Noch wissen wir nicht, mit dem Gehirn, das einen „Denkton“ besitzen muß, viel anzufangen.

¹⁾ v. UEXKÜLL, J., *Bedeutungslehre*. (Bios, Abhandlungen zur theoretischen Biologie und ihrer Geschichte sowie zur Philosophie der organischen Naturwissenschaften. Bd. X.) Leipzig: J. A. Barth, 1940. VI, 62 S. 15 cm × 23 cm. Preis RM. 4.20.

Aber die Bedeutung schlägt auch hier die Brücke zwischen körperlichen und unkörperlichen Vorgängen, so wie sie es zwischen Partitur und Melodie tut. — IV. *Die Deutung des Spinnennetzes*. Es ist die wohlgelegene Hohlform (so wie Anzüge Hohlformen des menschlichen Körpers sind) der Fliege. „Die Urpartitur der Fliege (ihr Urbild) wirkt auf die Urpartitur der Spinne derart ein, daß das von dieser gesponnene Netz fliegenhaft genannt werden kann.“ Wenn die Erbsenkäferlarve nach Anlegen der Nahrungshöhle den Ausgang schafft, aus dem später der Käfer schlüpfen wird, muß eine Bedeutungsübertragung des Urbildes der Erbse auf das Urbild des Erbsenkäfers stattgefunden haben, die den Käfer und die Erbse in Einklang brachte. — V. *Formbildungsregel und Bedeutungsregel*. Das Chordotonalorgan der Nachschmetterlinge spricht nur auf so hohe Töne wie der Pieplaut der Fledermaus an. Wie kommt nun im Bau des Schmetterlings ein Apparat zum Hören der Fledermaustöne zustande? Die Formbildungsregel der Schmetterlinge enthält von vornherein die Anweisung, ein Gehörorgan auszubilden, das auf den Pieplaut der Fledermaus eingestellt ist. Ganz unzweifelhaft ist es hier die Bedeutungsregel, die auf die Formbildungsregel einwirkt, damit (Zitat) dem Bedeutungsträger sein Bedeutungsverwerter entgegentritt und umkehrt. (Man vergleiche LAMARCK'S Satz, daß das empfundene Bedürfnis nach einem neuen Organ zugleich seine Befriedigung in sich schließt. Ref.) — VI. *Die Bedeutungsregel als Überbrückung zweier Elementarregeln*. Wenn in der Eichel die künftige Eiche verborgen liegt, die allen künftigen Unbilden trotzen wird, so sind diese doch außerstande, die Formbildung der Eiche kausal zu beeinflussen. Ebenso unfähig waren dazu die gleichen Umwelteinwirkungen, die einst die werdende Muttereiche trafen, weil damals die Eichel noch nicht vorhanden war. „Nur wenn Ursache und Wirkung zu gleicher Zeit am gleichen Ort zusammentreffen, kann von einer Kausalverknüpfung die Rede sein.“ „Der Vorgang der gesteigerten Subjektivierung von Zellton zu Organmelodie, zu Organismussymphonie“ ist dem Vorgang des musikalischen Komponierens vergleichbar: in der Natur stehen die Bedeutungsfaktoren zu den Bedeutungsverwertern in einem kontrapunktischen Verhältnis. — VII. *Die Kompositionsregel der Natur*. Der Bedeutungsträger muß auffällig und in dem Sinne eindeutig sein, daß seine Verwertung den biologischen Sinn sicher erfüllt. Weder weiß der Anglerfisch (*Lophius*), wie die Beute in der Umwelt der von ihm erangelten Raubfische aussieht, noch weiß das Pfauenauge, daß der Sperling Katzenaugen fürchtet. Aber der Komponist dieser Umweltkomposition muß es wissen. Dank diesem, nicht menschlichen, erfahrungsunabhängigen Wissen ist es dem Komponisten möglich, das künftige Lebensbedürfnis eines noch nicht vorhandenen Käfers zur Ursache (Zitat) der Handlung der Käferlarve zu machen. — VIII. *Die Bedeutungserdung* passiver Bedeutungsträger: Das Beutetier muß sich fressen lassen. Die Bedeutungsregel sichert, anstatt des Interesses des Einzelstücks, vielmehr das der Art, nicht etwa indem nur die Passendsten überleben, sondern vielmehr die Normalen in einer Anzahl, die eben hinreicht, um der Art im Rahmen des biologischen Gleichgewichtes ihren Platz zu sichern. — IX. *Die Naturtechnik*. Wie der Komponist die Freiheit hat, Töne aller beliebigen Instrumente zusammenklingen zu lassen, so kann auch die Natur jeden Bedeutungsgleichklang bei beliebigen Paaren von Organismenarten nützen. Wie aber die Orchesterinstrumente be-

reits einen „kontrapunktischen Bau“ zeigen, so auch die lebenden Organismen. — X. *Der Kontrapunkt als Motiv der Formbildung*. Der erste Forscher, der das kontrapunktische Verhalten von Bedeutungsträger und Subjekt erfaßte (hoher Akazienbaum, langer Giraffenhals; vom Verf. zitiert), war LAMARCK. DARWIN ist abzulehnen. — IX. *Der Fortschritt*. „War der so hochgepriesene Fortschritt, der die Lebewesen aus unvollkommenen Anfängen zu immer höherer Vollkommenheit führen sollte, doch im Grunde nur eine spießbürgerliche Spekulation auf den steigenden Nutzen des Geschäftes?“ Alle Arten sind gleich lebensfähig, alle gleich von Bedeutung beherrscht; „überall ein Fortschreiten, nirgends ein Fortschritt im Sinne des Überlebens des Passendsten“, niemals eine Auswahl des Besseren durch einen planlos wirkenden Kampf ums Dasein. „Nicht das Aufblasen unseres Umweltraumes um Millionen von Lichtjahren hebt uns über uns selbst hinaus, wohl aber die Erkenntnis, daß außer unserer persönlichen Umwelt auch die Umwelten unserer menschlichen und tierischen Mitbrüder in einem allumfassenden Plan geborgen sind.“ — XII. *Zusammenfassung und Schluß*. Wie die Gestaltmelodie des Löwenmäulchens in die der Hummel eingreift und umgekehrt, so gestalten überall fremde Bedeutungsmotive allseitig eingreifend den Aufbau der Tiere: das ist „die solide Perspektive der Naturtechnik“, die Verf. an Stelle der „fruchtlosen Ahnenspekulation“ setzen möchte. Die Melodienbildung aber — und auch hier ist es die Melodie, die die Spieluhr erbaut — ist uns ewig unerforschlich. Jede Umwelt enthält nur Bedeutungssymbole, und jedes Bedeutungssymbol ist zugleich Bedeutungsmotiv für die Körpergestaltung des Subjektes. Für uns selbst sind unsere Sonne, unser Mond, die Menschen, Tiere und Pflanzen in unserer Umwelt auch nur Symbole einer allumfassenden Naturkomposition, die alles nach Rang und Bedeutung ordnet. Es gibt nicht nur die beiden Mannigfaltigkeiten von Raum und Zeit, sondern dazu noch die der Umwelten, in denen sich die Dinge in immer neuen Formen wiederholen. All diese Umwelten liefern in der dritten Mannigfaltigkeit die Klaviatur, auf der die Natur ihre überzeitliche und überräumliche Bedeutungssymphonie spielt. Unsere Lebensaufgabe ist es, mit unserer Umwelt eine Taste in der riesenhaften Klaviatur zu bilden, über die eine unsichtbare Hand spielend hinweggleitet.

Ich habe versucht, in fast wörtlicher Anlehnung an die Urschrift — es stehen viel zu wenig Anführungszeichen da — die Grundzüge der wohlhabenderen Konzeption herauszuheben, die Verf. uns in immer neuen, immer einfacheren und damit immer schöneren Worten vorträgt. Aber selbst die Ehrfurcht vor der unsterblichen Leistung dieses genialen Forschers auf den Gebieten der vergleichenden Physiologie kann uns nicht davon entbinden, Stellung zu nehmen, zumal Verf. in der Einleitung und durch seine Widmung („meinen wissenschaftlichen Gegnern zu freundlicher Beachtung empfehlen“) ausdrücklich dazu auffordert, MAX HARTMANN, den wir anderen als Vorbild für unsere Art der Lebensforschung verehren, „bedeutungsblind“ nennt und seine Forschung nicht als Biologie gelten lassen will. Kann nun diese Bedeutungslehre die vom Verf. immer heftiger angegriffene Kausalforschung ersetzen, soll sie sie verdrängen? Und wie nimmt sich die Bedeutungslehre aus, wenn wir versuchen, sie in die uns gewohnte konkretere und bilderärmere Sprache der Kausalforschung zu übersetzen?

Den Tatbestand vom Form- und Bedeutungsbefehl in SPEMANN'S Überpflanzungsversuch faßt KÜHN nach heutigem Wissensstande verallgemeinernd in den Satz:

„Die in der Entwicklung einer Pflanze oder eines Tieres ablaufenden Formbildungsreaktionen sind *Modifikationen* bestimmter Zellgruppen durch örtliche Bedingungen.“ Innerhalb der prospektiven Potenz (= ererbte Variationsbreite) bestimmen örtlich und zeitlich bestimmte Außenreize (Entwicklungsbedingungen) die ortsangepaßte Differenzierungsrichtung. Der Satz des Verf., alle Ichtöne gehorchten dabei dem Bedeutungston, lautet in KÜHNS Sprache etwa so: Alle individuelle Anpassung ist Modifikation. „Die Anpassung einer Art an neue Bedingungen besteht in der Ausbildung einer neuen Rasse mit geeigneter Reaktionsnorm.“ Hiermit gibt die heutige Kausalforschung DARWIN recht, nicht aber LAMARCK, so sehr sie mit Verf. anerkennt, daß LAMARCK seinen Finger auf etwas ungeheuer Bedeutsames legte, von dessen Verständnis wir trotz aller bisherigen Fortschritte der Entwicklungsphysiologie noch himmelweit entfernt sind. Immerhin ist die Kausalforschung derzeit auf legitimen Wege, die Stammesgeschichte wenigstens der Arten und Rassen wirklich verständlich zu machen. Wenn ferner angesichts der Tatsache, daß Bau- und Leistungsplan eines Affen anders und verwickelter sind als bei der Hydra, bei Einzellern anders und verwickelter als bei Bakterien, daß der Mensch anders und verwickelter denkt als ein Wolf, die Forschung von Aufstieg und Fortschritt spricht, so sind das angeborene Wertungen, die ihren Erlebniswert auch angesichts der Erkenntnis nicht verlieren, daß Bakterien, Hydren, Affen und Menschen alle gleich gut in ihre Lebensbedingungen eingepaßt sind. Jeder unvoreingenommene Mensch nimmt es der *Sacculina* buchstäblich übel und verachtet sie gewissermaßen, weil sie die angeborene Organisationshöhe des Rankenfüßlers im Augenblick des Übergangs zur parasitischen Lebensweise zu einem unförmlichen bewurzelten Eiersack abbaut.

Die immer wiederkehrende Folge des „warum . . . damit“ in der Darstellung des Verf., seine Beanspruchung von Bedeutungen als Ursachen der Entwicklung, kurz, die planmäßige Vermengung von Kausalität und Finalität erscheinen uns angesichts seiner früheren bahnbrechenden Leistungen auf dem Gebiete der physiologischen Kausalforschung fast unbegreiflich. Wie hätte er je einen Bedeutungsbefehl konkretisieren können, ohne sich dabei einzig und allein der Ergebnisse dieser verachteten Kausalforschung andauernd zu bedienen? Wie leer und nichtssagend würde unsere Tagesarbeit, wenn wir immer nur von den Bedeutungen reden wollten, die zudem wohl kein Kausalforscher je übersah. Gerade die Erkenntnis der Bedeutungen ist es ja, die uns die Frage nach ihrem kausalen Zustandekommen aufzwingt. Von Anpassung redet Verf. viel, nirgends aber von Voranpassung, von all den noch ungenützten Vermögen zum Beispiel, die wir bei Tieren bereits kennen, wie etwa dem Hören der Fische, dem Farbensinn der Libellenlarve, den Vorstufen späteren echten menschlichen Zählens bei Vögeln. Präadaptation, d. h. Vorhandensein von Strukturen und Leistungen, die heute noch bedeutungslos sind, wohl aber später Bedeutung gewinnen können, ist der Schlüssel zum Verständnis der Evolution. Dem Kiefergelenk des Haies hätte niemand, als es nur Haie gab, vorausgesagt, daß es dereinst beim Säuger als Sicherheitsventil gegen das Herausreißen der Steigbügelplatte durch überlauten Schall weiterfunktionieren würde. Allein vergleichende Induktion und geduldige Versuchsarbeit können uns die Bedeutungswechsel und damit das Zustandekommen all jener Verzahnungen der Umwelten aufklären, die wir als Symbiosen, Parasitismen, als kontrapunktisches Zusammenpassen

von Form und Leistung der Organe und der Organismen in ihrer Vollendung bewundern. Ist etwa die moderne Tierpsychologie bedeutungsblind, weil sie die wunderbar bedeutsamen „Instinkte“ analysiert, d. h. sie nach LORENZ' Vorbilde in ererbte starre Instinktbewegungen und ebenso ererbte Taxien nebst vielen erworbenen weiteren Anteilen des Appetenzverhaltens zerschlägt? Alle seine „Auslöser“ (= v. UEXKÜLLS Schemata) sind stets als Bedeutungsträger angesprochen und erkannt worden. Doch ist es damit nicht getan. Fruchtbar wird dies Wissen erst, sobald wir nach bewährter naturwissenschaftlicher Methode, durch Kausalanalyse also, geduldig ihre ererbten und erworbenen Anteile auseinanderlesen und aus diesen Bausteinen, schrittweise unter dauernder Versuchskontrolle, die Gesamthandlung wieder aufbauen. Was nützt dem Schützen die Kenntnis von der Bedeutung des Gewehrschlusses, wenn es einmal nicht zündet? Dann muß er es auseinandernehmen, das Ineinandergreifen der Hebel und Federn verstehen, um es wieder gebrauchsfähig zu machen. So schön es ist, vom höchsten Bergesgipfel gleichzeitig möglichst viel zu überschauen, – Voraussagbarkeit und Beherrschung der ganzen Mannigfaltigkeit gewinnt nur der, der ins Tal hinabsteigt und irgendwo in die Tiefe bohrt. Gewiß kann man das Spinnennetz fliegenhaft nennen, doch besagt das nicht viel mehr, als daß es zum Fliegenfangen gut ist, was wir wohl kaum vergessen haben. Unsere kausalanalytische *Neugier* aber, die letzte und einzige Triebfeder all unseres Tuns, fragt, wie die Spinne dies Netz macht, wie sie Schäden ausbessert, welche Instinktbewegungen, welche Taxien, welche erworbenen Anteile sich hier biologisch sinnvoll zu den Gesamthandlungen verschränken, deren Zielgerechtigkeit wir mit v. UEXKÜLL bewundern. Erst wenn wir dies alles von recht vielen Spinnenarten recht genau wissen, können wir hoffen, *konkret* auf die große Frage zu antworten, wie die in der Fliegenhaftigkeit des Netzes und damit in der ein solches Netz erzeugenden Organisation liegende Anpassung *kausalhistorisch* zustande gekommen ist. Denn so lautet die Frage für uns. Dann werden wir wohl auch hier erfahren, daß nicht direkte Anpassung im Sinne LAMARCKS, sondern vielmehr Voranpassung und Auslese in DARWIN'S Sinne den Kontrapunkt komponieren. Ohne solche geduldige Analyse aber helfen uns keine Bedeutungsmelodien und sonstige allgemeine Aussagen weiter, ebensowenig wie einer Buna erfände, der lediglich das Bedürfnis nach diesem Stoffe empfände, aber von Molekeln und Atomen nichts wissen wollte.

Bei all unserer Ehrfurcht vor der Natur, die bei uns nicht geringer ist als beim Verf., werden wir doch nie sagen, ein Kontrapunkt sei ewig unerforschlich. Die Grenze künftiger Forschungserfolge festlegen zu wollen, ist noch nie gelungen. Die prästabilierte Harmonie, das Wirken des seiner Schöpfung immanenten Gottes, die Entelechie, die Weltkomposition oder wie sonst man die zutiefst gesetzliche Unüberschaubarkeit des Ganzen nennen mag, sie regen den Naturforscher immer wieder zur kausalanalytischen Weiterarbeit auf. Wir reden von dem, was wir wissen, deuten auf das Unbekannte dort, wo wir einen Weg zu seiner Erforschung zu sehen meinen, und verehren den schier unendlich viel größeren Rest des Irrationalen, der-einst doch noch an irgendwelchen Einbruchsstellen zu Rationalisierenden in Ehrfurcht, jedoch ohne jeden Ehrgeiz nach abschließenden Formulierungen, die alles decken wollen, die dem, der sie glaubt, das Fragen abgewöhnen, und die, so erhaben sie auch immer lauten, doch ihrem Wesen nach erkenntnisleer bleiben müssen.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über den Polymorphismus des Sulfanilamids.

Kristallographische Untersuchungen dieses pharmakologischen wichtigen Körpers wurden bisher nicht ausgeführt. Durch Umkristallisation der käuflichen Präparate des Sulfanilamids wurden drei verschiedene Formen erhalten, die sich durch Debye-Scherrer-Aufnahmen als verschiedene Modifikationen (α , β und γ) erwiesen.

Die α -Modifikation kristallisiert in kleinen Nadeln oder Schuppen aus der abgekühlten Alkohollösung. Die goniometrischen Messungen ergaben, daß die Kristalle dem rhombisch-holoedrischen System angehören und ein Achsenverhältnis $a:b:c = 0,383:1:1,243$ haben, wobei die auftretenden Formen $\{001\}$, $\{012\}$ und $\{111\}$ sind. Die β -Modifikation wurde dargestellt durch langsames Stehenlassen der Methanol- oder Acetonlösung. Die so erhaltenen Kristalle bildeten große farblose Prismen, die durch goniometrische Messungen der monoklinhloedrischen Klasse zugeordnet wurden. Es ergaben sich: Achsenverhältnis $a:b:c = 0,996:1:1,115$, Achsenwinkel $\beta = 111^\circ 30'$ und auftretende Formen $\{100\}$, $\{010\}$, $\{001\}$, $\{110\}$, $\{011\}$, $\{102\}$ und $\{112\}$. Fast alle Handelspräparate gehören zu dieser Modifikation. Die γ -Modifikation kristallisiert in kleinen Prismen aus heißer Propylalkohol- oder Butylalkohollösung. Sie gehören dem monoklinhloedrischen System an und haben ein Achsenverhältnis $a:b:c = 0,726:1:0,600$, $\beta = 127^\circ 14'$. Die auftretenden Formen sind nur $\{110\}$ und $\{011\}$.

Zunächst wurden Schwenkaufnahmen um die drei Hauptachsen jeder Modifikation mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung gemacht. Die aus Schichtlinienabständen und Äquatormessungen ermittelten Dimensionen der Elementarzellen sowie die Molekülzahlen, die sich bei der Annahme der mittels Schwebemethode erhaltenen spezifischen Gewichte ergaben, sind in der Tabelle angegeben.

	α -Modifikation	β -Modifikation	γ -Modifikation
a	5,76 ₆ Å	9,08 ₃ Å	5 9,36 ₅ Å
b	14,78 ₃ Å	8,86 ₄ Å	12,95 ₉ Å
c	18,61 ₇ Å	10,11 ₄ Å	7,82 ₄ Å
β	—	111°30'	127°14'
V	1534,6 Å ³	757,6 Å ³	756,0 Å ³
σ_{300}	1,486	1,513	1,492
σ_{exp}	7,98~8	4,00~4	3,95~4

Bezogen auf die oben erhaltenen Dimensionen wurden alle Schwenkaufnahmen indiziert. Bei der α -Modifikation sind die Ebenen (hkl) in allen Ordnungen vorhanden, während (0kl) für l ungerade, (h0l) für h ungerade, (hk0) für k ungerade ausgelöscht sind. Hieraus folgt als Raumgruppe D_{2h}^{15} -Pcab. Bei der β -Modifikation sind (hkl) in allen Ordnungen vorhanden und ausgelöscht (h0l) für l ungerade, (0k0) für k ungerade. Daraus ergibt sich die Raumgruppe C_{2h}^5 -P2₁/C. Bei der γ -Modifikation sind auch (hkl) in allen Ordnungen vorhanden, systematische Auslöschungen wurden beobachtet bei (h0l) (h+l) ungerade, bei (0k0) k ungerade, was auf die Raumgruppe C_{2h}^5 -P2₁/n deutet.

Nach der Elementaranalyse wurde die Bruttoformel jeder Modifikation übereinstimmend zu $\text{C}_7\text{H}_9\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$ gefunden. Bei über $\sim 40^\circ$ wandelt sich die α -Modifikation langsam in die β -Modifikation um, die β -Modifikation wandelt sich auch bei über $\sim 120^\circ$ in die γ -Modifikation um. Die drei Modifikationen schmelzen also bei $166,5^\circ$, was der Schmelzpunkt der γ -Modifikation ist. Ein ausführlicher Bericht erfolgt demnächst an anderer Stelle.

Osaka (Japan), Wissenschaftliches Laboratorium von Ch. Takeda & Co. Ltd., den 21. Dezember 1940.

ATUSI WATANABE.

Die Aktivierung der Kohlendioxidhydratase.

Im Zusammenhang mit Untersuchungen über die Kinetik der Kohlendioxidhydratase¹⁾ erschien es interessant, zu prüfen, wie durch einen Aktivator die Substrataffinität des Fermentes, die Aktivierungsenergie und der Einfluß der

Wasserstoffionen verändert werden. LEINER hat an dieser²⁾ und mehreren anderen Stellen^{3, 4, 5)} mitgeteilt, daß die Kohlendioxidhydratase durch verschiedene Stoffe, wie Cystein, Glutathion, Histidin, Histamin, Harnsäure, Tryptophan u. a., durch Magermilch und gekochte Extrakte verschiedener Gewebe stark aktiviert wird. Unter den chemisch bekannten Stoffen waren die vier zuerst genannten die wirksamsten. In Konzentrationen von etwa 20 mg pro Liter steigerten sie die Aktivität des Ferments um 600—800%.

In eigenen Untersuchungen, die mit einer zuverlässigen manometrischen Methode^{6, 7)} durchgeführt wurden, konnte durch Cystein, Histidin, Histamin, Magermilch und gekochten Muskelextrakt keine Aktivierung des Ferments erzielt werden. Die Messungen wurden in 0,05 m-Phosphat und 0,1 m-Pyrophosphat vom p_{H} 7,4, 0,1 m-Pyrophosphat vom p_{H} 8,5 und 8,95 und 0,1 m-Carbonat vom p_{H} 9,13 bei einer Temperatur von $0,1^\circ$ durchgeführt. Cystein, Histidin, Histamin, Aneurin wurden in Konzentrationen von 10 bis

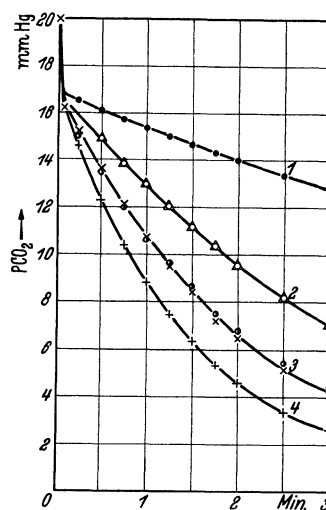


Fig. 1. Geschwindigkeit der Hydratation von CO_2 in 0,1 m-Pyrophosphat vom p_{H} 8,5. Temperatur $0,1^\circ$. Kurve 1... Hydratation in Pyrophosphat, Kurve 2 $\Delta\Delta\Delta$ Hydratation in Pyrophosphat + 0,5 γ Kohlendioxidhydratase.

Kurve 2 $\circ\circ\circ$ Hydratation in Pyrophosphat + 0,5 γ Kohlendioxidhydratase + 0,5 mg Histidin. Kurve 3 $\times\times\times$ Hydratation in Pyrophosphat + 1,0 γ Kohlendioxidhydratase. Kurve 3 $\circ\circ\circ$ Hydratation in Pyrophosphat + 1,0 γ Kohlendioxidhydratase + 1,0 mg Cystein. Kurve 4 $+++$ Hydratation in Pyrophosphat + 2,0 γ Kohlendioxidhydratase. Fermentaktivität 50 Einheiten¹⁾ pro Milligramm. Gasraum 77,5 ccm, Pyrophosphatlösung 10,0 ccm. Schüttelgeschwindigkeit 680 Doppelschwingungen pro Minute.

200 mg/l, Magermilch und gekochter Pferdemuskelextrakt (1 Teil Muskel in 10 Teilen Wasser) in Konzentrationen von 5—100 ccm/l angewandt. Die Lösungen der Stoffe wurden auf das p_{H} des jeweils benutzten Puffers eingestellt. In Fig. 1 sind einige Beispiele der Ergebnisse wiedergegeben. Dargestellt sind die ursprünglichen Beobachtungen der Druckabnahme über einer Pufferlösung ohne bzw. mit Ferment und Zusätzen. Mit den Zusätzen verlief die Hydratation ebenso schnell wie ohne diese. Bei anderen Wasserstoffionenkonzentrationen und in Phosphat und Carbonat wurden genau die gleichen eindeutigen Ergebnisse erhalten.

Um die Möglichkeit eines Einflusses der Darstellungsmethode auf die Empfindlichkeit des Ferments für eine Aktivierung auszuschließen, bat ich Herrn LEINER, mir von dem Ferment, mit dem er gearbeitet hatte, eine Probe zur Verfügung zu stellen. Auch dieses Präparat konnte durch die genannten Stoffe nicht aktiviert werden.

Übrigens war schon in früheren Untersuchungen^{8, 9)} gezeigt worden, daß Cystein die Aktivität der Kohlensäureanhydrase nicht steigert.

Berlin, Pharmakologisches Institut der Universität, den 27. Januar 1941. MANFRED KIESE.

- 1) M. KIESE, Biochem. Z. im Druck.
- 2) M. LEINER, Naturwiss. 28, 316 (1940).
- 3) M. LEINER u. G. LEINER, Biol. Zbl. 60, 449 (1940).
- 4) M. LEINER, Klin. Wschr. 1940, 1151.
- 5) M. LEINER, Forsch. u. Fortschr. 16, 340 (1940).
- 6) M. KIESE, Biochem. Z. 305, 22 (1940).
- 7) M. KIESE, Biochem. Z. 307, H. 3, im Druck.
- 8) M. KIESE, Klin. Wschr. 1939, 1104.
- 9) M. KIESE u. A. B. HASTINGS, J. of biol. Chem. 132, 281 (1940).

Plastische Eigenschaften von Einkristallen und metallischen Werkstoffen.

Eingehende Untersuchungen unter Verwendung neuerer experimenteller Ergebnisse haben zu folgenden Ergebnissen geführt, über die demnächst ausführlich berichtet wird¹⁾.

Homogene Verformung von Einkristallen. Auf rein experimenteller Grundlage ergibt sich die „Zustandsgleichung“

$$\sigma = \sigma_0 + \tau; \quad \sigma_0 = \varphi(u, T). \quad (1)$$

σ ist die Schubspannungskomponente im wirksamen Gleitsystem (kurz als *Schubspannung* bezeichnet), σ_0 die zur Gleitgeschwindigkeit u gehörige Anfangsschubspannung, die sog. *kritische Schubspannung*, τ die *Verfestigung*, die eindeutig meßbar ist als Differenz der zu gleicher Gleitgeschwindigkeit gehörigen Werte von jeweiliger und kritischer Schubspannung. Die zuerst von BECKER²⁾ und OROWAN³⁾ abgeleitete Beziehung

$$\varphi(u, T) = A(1 - B\sqrt{\ln C/u} \sqrt{T}) \quad (2)$$

gibt, wie an Hand eines umfangreichen experimentellen Materials nachgewiesen wird, die wirklichen Verhältnisse gut wieder. Für die Berechnung der Verfestigung τ bietet die Vorstellung von TAYLOR⁴⁾, daß sie durch das Spannungsfeld der gebundenen „Versetzungen“ hervorgerufen wird, entgegen einer in neuerer Zeit mehrfach anzutreffenden Ansicht⁵⁾, nach der dieses Spannungsfeld nicht stabil wäre oder nur einseitig verfestigend wirken könnte, eine geeignete Grundlage. Das kann außer durch zahlreiche experimentelle Befunde bei einseitiger Verformung auch durch die Befunde bei wechselnder homogener Verformung⁶⁾ und durch atomistische Betrachtungen eindeutig nachgewiesen werden.

Inhomogene Verformung von Einkristallen. Versuche von HELD⁷⁾ und LÖRCHER⁸⁾ haben ergeben, daß die plastische Biegung ebenso scharf einsetzt wie eine plastische homogene Verformung, daß aber das so definierte „kritische Moment“ M_0 bis zu 70% größer sein kann als das Moment $M_{elast.}$, das bestehen würde, wenn die Verformung bis dahin elastisch und die maximale Schubspannung gleich der homogenen kritischen Schubspannung wäre. Eine nähere Analyse des Gleitvorganges zeigt, daß die Verformung beim kritischen Moment aber bereits nahezu vollständig plastisch ist; die Erhöhung von M_0 gegenüber $M_{elast.}$ ergibt sich durch eine Integration von (1) ohne weitere Zusatzannahmen. Oberhalb M_0 dagegen verläuft die Biegungskurve bei höheren Momentwerten, als sie sich aus (1) ergeben. Diese Erhöhung ist eine Folge der elastischen Verbiegung der Gleitlamellen, die bei der Biegung, wie bei jeder inhomogenen Verformung, notwendig mit der Gleitung verbunden ist, und deren Energie gleichzeitig mit der rein plastischen Verformungsarbeit von den äußeren Kräften aufgebracht werden muß. An Stelle von (1) tritt für inhomogene Verformungen:

$$\sigma = \sigma_0 + \left(\tau + \frac{dU}{da} \right). \quad (3)$$

Die Zunahme der Energie U der elastischen Verzerrungen der Gleitlamellen pro Volumeneinheit, bezogen auf die Abgleitungszunahme a , die *Spannungsverfestigung*, wirkt also wie eine zusätzliche „atomistische“ Verfestigung. Trotz dieser Gleichberechtigung von dU/da und τ in (3) sind beide Größen hinsichtlich ihrer Erholungsfähigkeit grundlegend verschieden: Während die atomistische Verfestigung durch Erholung vollständig beseitigt werden kann, ist das für die Spannungsverfestigung erst durch Rekristallisation möglich.

Plastische Verformung von Vielkristallen. Durch Integration von (3) erhält man in den Fällen, in denen die Verformung durch eine Verformungskordinate s bestimmt ist⁹⁾:

$$K = K\sigma_0 + K\tau + \frac{dU}{ds}; \quad K\sigma_0 = \psi(g, T). \quad (4)$$

Dabei bedeuten: K die äußere Spannung, $K\sigma_0$ bzw. $K\tau$ die Mittelwerte der Streckgrenzen bzw. der atomistischen Verfestigungsanteile der homogenen Dehnungskurven der Einkristalle, die aus den Schubspannungswerten ihrer Verfestigungskurve berechnet werden können, und $\psi(g, T)$ eine Funktion, die in ähnlicher Weise von der Verformungsgeschwindigkeit $g = ds/dt$ und der Temperatur T abhängt, wie $\varphi(u, T)$ nach (2) von der Gleitgeschwindigkeit u und der Temperatur. Mit Hilfe von (4) kann das Kurzzeit- und Dauerverhalten bei einseitiger und wechselnder Beanspruchung vielkristalliner Werkstoffe in Übereinstimmung mit der Erfahrung angegeben werden. Wesentlich ist, daß bei ihnen, im Gegensatz zu inhomogen verformten Einkristallen, die Spannungsverfestigung bereits an der Streckgrenze K_0 bedeutende Werte annehmen, d. h. K_0 wesentlich größer als der Mittelwert $K\sigma_0$ der Einkristallstreckgrenzen sein

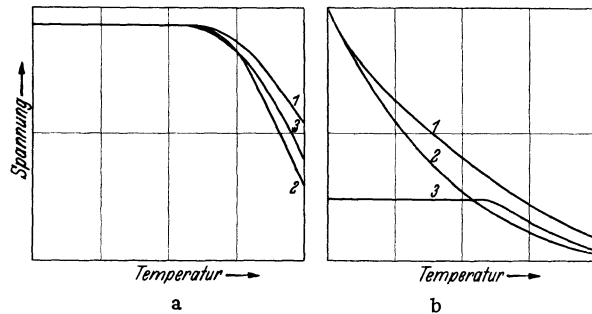


Fig. 1. Qualitativer Temperaturverlauf der Streckgrenze (Kurven 1), der technischen Dauerstandfestigkeit (Kurven 2) und der technischen Wechselfestigkeit (Kurven 3) von Werkstoffen a) der Gruppe I, b) der Gruppe II.

kann. Besonders übersichtlich sind die Verhältnisse bei den kubisch-flächenzentrierten und kubisch-raumzentrierten reinen Metallen und Legierungen, da bei ihnen wegen der zahlreichen Gleitmöglichkeiten die Spannungsverfestigung oberhalb K_0 nicht mehr merklich zunimmt und somit die (von K_0 an gemessene) Vielkristall-Dehnungskurve mit der (von K_0 an gemessenen) mittleren Einkristall-Dehnungskurve übereinstimmt. Diese Metalle lassen sich in 2 Gruppen einteilen: In der Gruppe I, zu der die kubisch-flächenzentrierten reinen Metalle gehören, ist K_0 vorwiegend durch die Spannungsverfestigung, in der Gruppe II, zu der Eisen und viele Leichtmetallelegierungen gehören, vorwiegend durch $K\sigma_0$ bestimmt. Ein Werkstoff der Gruppe II zeigt qualitativ dasselbe plastische Verhalten wie ein Einkristall, ein Werkstoff der Gruppe I dagegen nur bei hinreichend großen Dehnungen, bei denen die atomistische Verfestigung gegenüber der Spannungsverfestigung überwiegt, nicht aber in der Umgebung der Streckgrenze. Dementsprechend ist der Temperaturverlauf der Streckgrenze in beiden Gruppen ganz verschieden (vgl. Fig. 1). Die technische Dauerstandfestigkeit zeigt gegenüber der Streckgrenze in beiden Fällen das-

1) In der Sammlung „Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen“, herausgegeben von W. KÖSTER. Berlin: Julius Springer 1941.
2) R. BECKER, Physik Z. 26, 919 (1925).
3) E. OROWAN, Z. Physik 89, 605 (1934).
4) G. J. TAYLOR, Proc. roy. Soc. Lond. A. 14, 362 (1934). — Z. Kristallogr. 89, 375 (1934).
5) G. MASING, Z. Metallkde 31, 235 (1939). — J. M. BURGERS, Proc. phys. Soc. 52, 23 (1940).
6) H. HELD, Z. Metallkde 32, 201 (1940).
7) H. HELD, Stuttgarter Diplomarbeit (1938).
8) E. LÖRCHER, Unveröffentl. Versuche im zweiten Phys. Institut der T. H. Stuttgart (1939).
9) Wir nehmen sie als dimensionslos an, also z. B. gleich der Dehnung bei freiem Zug.

selbe Verhalten: Sie stimmt bei hinreichend tiefen Temperaturen mit letzterer überein, fällt aber bei höheren Temperaturen rascher ab. Die technische Wechselfestigkeit, die, wie bereits DEHLINGER¹⁰⁾ bemerkt hat, im wesentlichen durch die Spannungsverfestigung bestimmt ist, hat zwar in beiden Gruppen qualitativ denselben Temperaturverlauf, unterscheidet sich aber wesentlich durch ihr Verhältnis zur

¹⁰⁾ U. DEHLINGER, Z. Physik 115, 625 (1940).

Streckgrenze und zur praktischen Dauerstandfestigkeit. Fig. 1 gibt eine Übersicht über die Verhältnisse.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es unter Berücksichtigung aller experimentellen Ergebnisse gelungen ist, eine umfassende Deutung der plastischen Eigenschaften von Ein- und Vielkristallen zu gewinnen.

Stuttgart, Zweites physikalisches Institut der Technischen Hochschule und Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung, den 27. Januar 1941. A. KOCHENDORFER.

Besprechungen.

HÄMMERLING, J., **Fortpflanzung im Tier- und Pflanzenreich.** (Sammlung Göschen Bd. 1138.) 131 S. 101 Abbild. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1940. Geb. RM 1.62.

Die überaus mannigfaltigen Fortpflanzungserscheinungen im gesamten Organismenreich sind im vorliegenden neuen Göschenbändchen klar und übersichtlich zusammengefaßt. Dabei sind die eigentlichen, wesentlichen Vorgänge der Fortpflanzung behandelt, während die gerade in der Fortpflanzungsbiologie so vielfältig ausgebildeten begleitenden, grundsätzlich nicht dazugehörigen Einrichtungen und Vorgänge unberücksichtigt bleiben. Diese Stoffauswahl wird möglicherweise manchem der nicht direkt in der Biologie stehenden Leser unerwartet sein, da er auf Grund des Bändchentitels vielleicht mehr die Behandlung der fortpflanzungsbiologischen Begleiterscheinungen unter besonders eingehender Berücksichtigung der höheren Tiere und Pflanzen vermuten wird. Diese Seite der Fortpflanzung konnte jedoch in dem eng begrenzten Rahmen eines Göschenbändchens, wenn dieses eine einigermaßen abgerundete Darstellung der Fortpflanzungserscheinungen bei Tieren und Pflanzen geben sollte, keinen Raum finden; ihre Behandlung würde ein weiteres Bändchen füllen können.

Ausgehend von dem Grundvorgang jeglicher Fortpflanzung, der Kern- und Zellteilung, die allerdings im Hinblick auf das vorgesehene Bändchen von H. BAUER über die Zelle nur kurz gestreift ist, werden im ersten, dem morphologischen Teil die ungeschlechtliche Fortpflanzung mit Agamogonie und vegetativer Vermehrung, weiter die geschlechtliche Fortpflanzung und schließlich der Kernphasen- und Generationswechsel behandelt; im zweiten, dem physiologischen Teil dann die Physiologie der Kern- und Zellteilung, der Befruchtung und des Generationswechsels. Durch vergleichende Betrachtung wird in der bestehenden großen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen stets das vorhandene Gemeinsame aufzuzeigen versucht. Es werden durchwegs die Einteilungen und Bezeichnungen von HARTMANN verwendet. Neu und zweckmäßig ist die Benennung der beiden Typen des primären Generationswechsels als homo- und heterophasisch, statt, wie bisher üblich, als homolog und antithetisch. Daß der Inhalt des Bändchens dem modernsten Stand der Forschung entspricht, zeigt u. a. die eingehende Besprechung der neuesten Untersuchungen über Gamone und Termone im Abschnitt über die Physiologie des Befruchtungsvorganges.

Erwähnenswert scheint mir, in welcher Weise die Reifeteilungen behandelt sind. Ihrer Schilderung ist nicht das bekannte und bisher in allgemeinen Darstellungen übliche, nach den heutigen Kenntnissen jedoch recht grobe Schema zugrunde gelegt, in welchem die 1. und 2. Reifeteilung als Reduktions- und Äquationsteilung säuberlich voneinander getrennt hintereinander aufgeführt werden, allenfalls unter nachträglichem Hinweis auf die Frage der Prä- und Postreduktion und unter Anbringung noch weiterer Korrekturen.

Sondern es werden die Vorgänge von vornherein mehr den tatsächlichen Verhältnissen entsprechend an Hand eines von BAUER gegebenen Schemas geschildert, welches zeigt, daß nicht nur jedes Chromosomenpaar zufällig prä- oder postreduktionell geteilt werden kann (was schon in einem anderen bekannten Schema — nach BELAR — berücksichtigt worden war), sondern darüber hinaus, infolge regelmäßig erfolgenden Stückaustausches zwischen den Chromatiden auf dem Vierstrangstadium, sowohl die 1. als auch die 2. Reifeteilung für jedes Chromosomenpaar teils reduktionell, teils äquationell verläuft und daß somit die vieldiskutierte Frage nach Prä- oder Postreduktion der homologen Chromosomen als überholt anzusehen ist.

HANS ULRICH, Göttingen.

JURASKY, K., **Kohle. Naturgeschichte eines Rohstoffes.** (Verständl. Wissensch. 45.) VIII, 170 S., 58 Abb. 12 cm × 18,5 cm. Berlin: Julius Springer 1940. Preis geh. RM 4.80.

An Darstellungen über die Kohlen ist kein Mangel, auch an solchen, die für weitere Kreise bestimmt sind. Meist ist darin dann sehr viel von der Chemie der Kohle, wenig von ihrer Geologie, fast nichts aber von den biologischen Grundlagen ihrer Entstehung gesagt. Bei JURASKY, der sich hier H. POTONIE zum Vorbild genommen hat, ist es gerade umgekehrt. In knappen, klaren und sehr lesbaren Sätzen schildert er die Entstehung der Kohle und beginnt nach einem kurzen historischen Rückblick mit den Vorgängen der „Inkohlung“, wie sie sich noch heute in Seen und Torfen abspielen, um dann die Pflanzen der älteren Lagerstätten, also Braunkohlen- und Steinkohlenflora kurz zu beschreiben. Sie bestimmen die Ausgangsstoffe für die späteren, im einzelnen verwickelteren, als Inkohlung zusammengefaßten Umwandlungen, die vom Torf über die verschiedenen Kohlenarten bis zum Graphit als Endglied führen. Auch seltenere Abarten, wie Algen- und Sporenkohlen, bleiben nicht unerwähnt. Sehr gut ist die Auswahl der Bilder, die namentlich in dem Abschnitt „Kohle unter dem Mikroskop“ eine wertvolle Ergänzung des Textes bieten. Hier wie an anderen Stellen kann Verf. auf musterhafte eigene Untersuchungen zurückgreifen, was der Lebendigkeit der Darstellung zugute kommt. Entsprechend der Anlage des Buches wird die Verwertung der Kohlen nur kurz gestreift. Mit Recht betont J. hier, daß sie von der rein wissenschaftlichen Betrachtung gar nicht zu trennen ist, sondern darauf aufbauen muß.

R. KRÄUSEL.

Die Methoden der Fermentforschung. Unter Mitarbeit von Fachgenossen herausgegeben von E. BAMANN und K. MYRBÄCK. Leipzig: Georg Thieme. 20 cm × 27 cm. Lieferung 3: 392 S. (S. 477—868) u. 249 Abb. (Preis geh. RM 39.20), und Lieferung 4: 408 S. (S. 869—1276) u. 177 Abb. (Preis geh. RM 20.40).

Auf die beiden ersten Lieferungen dieses Werkes sind nun in kurzem Abstände die dritte und vierte Lieferung gefolgt. In diesen wird zunächst die Be-

sprechung der Substrate abgeschlossen. Ein verhältnismäßig umfangreiches Kapitel ist neueren Untersuchungsmethoden im Dienste der Substraterforschung gewidmet. Dieser Abschnitt geht an sich über den Rahmen des Werkes hinaus. So wird z. B. unter den Methoden der Fermentforschung kaum jemand eine genaue Schilderung der Methodik magnetischer Untersuchungen (EUGEN MÜLLER) suchen, da dieses Gebiet bisher nur wenig Berührungspunkte mit der Enzymologie aufweist. Die Auswahl der Themen ist jedoch recht interessant, und die Bearbeitung erfolgt durch vorzügliche Sachkennner. Aus der Fülle der Beiträge seien hier einige Beispiele genannt: „Aufklärung der Konstitution höher molekularer Verbindungen mit Hilfe von Fermenten“ (K. FELIX), 2 Beiträge von W. T. ASTBURY über röntgenologische Untersuchungen an Naturstoffen und an Proteinen, R. BRDIČKA, „Polarographie“, O. LAMM, „Ultrazentrifugierung und Diffusion als Methoden zur Untersuchung des Molekularzustandes in Lösung“, S. ARRHENIUS, „Dielektrische Messungen an Eiweißstoffen“ sowie 2 Beiträge von I. KOFLER über Schmelzpunktmikrobestimmung und Sublimationsverfahren.

Im Abschnitt B des 1. Hauptteiles beginnt die allgemeine Besprechung der Enzyme, und zwar zunächst mit der „Verfolgung der Katalyse“. Der wichtigste Teil ist hiervon die Darstellung der physikalischen und physikalisch-chemischen sowie der chemischen und besonders mikroanalytischen Verfahren zur Verfolgung der Enzymwirkung. Die einzelnen Abschnitte umfassen alle für den Enzymatiker wichtigen Methoden, wie z. B. Polarimetrie, Refraktometrie, Bestimmung der Viskosität, der Oberflächenspannung, dilatometrische Bestimmungen sowie die manometrischen Methoden. Ein ausführliches Kapitel ist der Glaselektrode und ihrer Anwendung gewidmet. Von chemischen Methoden werden die Bestimmung von Alkoholen, Aldehyden und Säuren, von Kohlehydraten und Purinbasen sowie die titrimetrischen und volumetrischen Methoden zur Bestimmung von Aminosäuren und ihren Derivaten berücksichtigt. Die einzelnen Abschnitte sind sehr sorgfältig ausgearbeitet und behandeln neben bereits Bekanntem alle neuartigen Verbesserungen. Das Kapitel wird abgeschlossen durch einen Beitrag von K. LINDERSTRØM-LANG und H. HOLTERS über die enzymatische Histochemie. GERHARD SCHRAMM, Berlin-Dahlem.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Über einige geographische Ergebnisse der Deutschen Dozenten-Afrikareise 1938, und zwar der zweiten Hälfte, **Vom Tanganyikasee nach Westangola**, sprach Herr W. GLEY, Frankfurt a. M., am 2. Dezember 1939. Die Reise galt in erster Linie der Untersuchung der meteorologischen Faktoren an sich und ihrer Wirkung auf Mensch und Pflanzenwelt. Teilnehmer waren Dozenten folgender Wissenschaftsgebiete: Bioklimatologie, Meteorologie, Geophysik, Botanik und Geographie; letztere war durch den Vortr. vertreten. Der Reiseweg war so angelegt, daß sowohl die Trocken- wie die Regenzeit erlebt wurde. Er führte quer durch Zentralafrika, von der Ost- zur Westküste. Der Vortr. schloß noch eine Rundreise durch Mittel- und Südangola an und legte damit in Afrika selbst 9600 km zurück. Er hatte sich die Aufgabe gestellt, einen vergleichenden landschaftlichen Schnitt vom Tanganyikasee westwärts zu geben und dabei besonders die Vegetationszonen und die wirtschaftlichen Nutzungsformen zu behandeln.

Er begann bei Kigoma, betonte die wirtschaftliche Bedeutung der im ostafrikanischen Bereich lebenden Inder (rund 100000) und Araber und schilderte das im Verfall befindliche Udji dji. Eine Dampferfahrt führte nach dem belgischen Albertville, wo schon die Kokospalme vorkommt. Der westliche Abbruch der westafrikanischen Scholle hat sich hier wesentlich erniedrigt. Dann ging es mit der Bahn zum Lualaba, auf dem eine mehrtägige Dampferfahrt unternommen wurde. Der von zahlreichen Krokodilen und von Flußpferden belebte Strom durchzieht zunächst ein von Uferwäldern durchsetztes Savannengebiet. Am vierten Tag wurde die Region der Papyrussümpfe im Upemba-Graben erreicht, die in einer künstlich geschaffenen Schifffahrtsrinne durchfahren wird. Die Uferzone ist einigermaßen besiedelt. Die Eingeborenen (Bantu), für die der Einbaum das einzige Verkehrsmittel darstellt, pflegen durch Abbrennen des Papyrus das Land auszutrocknen und zum Anbau geeignet zu machen. Sie bewohnen überwiegend Rundhütten, die auf einer Seite zu einer Laube geöffnet sind.

Dann ging es südwärts in den Kupferdistrikt von Katanga, der der Region des Trockenwaldes angehört.

Die Europäisierung der Neger ist hier durch die Industrie viel stärker. In riesigen Tagebauanlagen wird ein Raubbau getrieben, der rasch über die Landschaft hinweggeht: 15–20 Jahre ist eine Grube in Betrieb, dann breitet sich der Wald wieder darüber aus. Die Verhütung wird mit südrhodesischem oder auch belgischem Koks an Ort und Stelle vorgenommen; bei geringwertigen Erzen wird auch die sehr moderne elektrolytische Ausnutzung angewendet.

Von dem Regierungszentrum dieses Distriktes, Elisabethville, reiste der Vortr. allein — die anderen waren schon voraus — in das portugiesische Angola. Er besuchte zunächst das westangolische Bergland, eine Rumpffläche mit afrikanischem Trockenwald, der nur an einzelnen Stellen von natürlichen Lichtungen unterbrochen ist. Granitdome ragen kahl über die Vegetation empor. Auf den Höhen der Rumpffläche finden sich Kaffeepflanzungen.

Dann führte die Reise durch die Schichtstufenlandschaft von Südangola zur Küste, deren Abrasionsfläche mit Anschwemmungen bedeckt ist. Salzsümpfe trennen stellenweise, so bei Lobito, die Küste vom Hinterland; Benguella liegt günstiger, hat aber nur eine offene Reede.

Von hier aus wurde wieder das innere Hochland aufgesucht. Im Küstenstreifen querte man zunächst noch Dornbuschsteppe mit Schirmakazie, Aloe und Affenbrotbaum als Charakterbäumen. Auf das Hochland hinaufsteigend, erreichte man dann die nächsthöhere Vegetationsstufe, den „hohen“ Trockenwald (1000–1750 m), wo für Maisanbau gerodet wird. Diese Anbauflächen werden nach durchschnittlich 8 Jahren wieder verlassen, und der Wald kommt wieder — allerdings als Kümmerform, zumal wenn schon mehrere Kulturen darüber hinweggegangen sind. Klimatisch ist Westangola ein Übergangsbereich von doppelter zu einfacher Regenzeit; der Verlauf der Regenzeit ist von Jahr zu Jahr sehr verschieden, was wirtschaftlich von großer Bedeutung ist. Das Reisen im Auto ist auch während der Regenzeit möglich, da das Straßennetz verhältnismäßig gut entwickelt ist.

Die eingeborene Bevölkerung gehört einer jüngeren Bantugruppe an. Die Hütten sind rechteckig mit

einem Firstdach, das nach allen vier Seiten abgewalmt ist. Die Neger Angolas sind sehr primitiv; nur in der Nähe der Städte haben sich ihre Lebensgewohnheiten stark gewandelt. Die Portugiesen leben in ungewöhnlich hoher Zahl in ihrer Kolonie, und zwar weit überwiegend als Händler, Beamte, Soldaten usw.; nur 10% sind in der Landwirtschaft tätig. Von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist der Anbau der Sisalagave, der hier erst 1928 durch eine englische Firma eingeführt worden ist. Schon vorher wurde von deutschen Pflanzern, die trotz ihrer recht geringen Zahl (420 Köpfe) einen wichtigen Faktor im Wirtschaftsleben bilden, der Kaffeeanbau begonnen. In der Küstenregion wird durch Engländer und Portugiesen Zuckerrohr angebaut, das in großen portugiesischen Zuckerfabriken verwertet wird. —

Am 18. Dezember 1939 behandelte Herr H. WINZ, Berlin, an Hand einer von ihm für den Atlas des deutschen Lebensraumes entworfenen Karte **Die Verbreitung der Runddörfer in Deutschland**. Die Kennzeichen eines Runddorfes oder „Rundlings“ sind: der mehr oder weniger runde Platz in der Mitte, der von den Gehöften umgeben ist, und die fächerförmige Anlage der Grundstücke um den Platz herum. Außerdem ist die Größenordnung wesentlich; EBERT, an dessen Arbeit der Vortr. anknüpft, bezeichnet als eigentlichen Rundling nur die kleinen Formen. Allerdings erfüllen die wenigsten Runddörfer diese Bedingungen, zeigen vielmehr oft verwachsene, unregelmäßige Formen. Den Rundlingen eng verwandt sind die Sackgassendörfer, während die sehr verbreitete Form des Rundweilers — mit mehreren Eingängen und ohne den Dorfplatz in der Mitte — stark abweicht. Dann gibt es noch das Rundanger- oder Rundplatzdorf und endlich als letzte Form ein mit einer Hufenflur verbundenes Runddorf, das von EBERT als Rundreihendorf bezeichnet wird. Die wesentlichen Gegensatzformen sind der kleine Rundling nach EBERT und das Rundangerdorf.

Der Vortr. ging dann kritisch auf die Theorien über die Entstehung ein. Eine Gruppe von Forschern will von der Lage ausgehen und stellt besonders die Niederungslage heraus. Nach Ansicht des Vortr. ist jedoch diese Meinung nicht zutreffend. Andere haben angenommen, der Rundling sei eine Anlage der Viehzüchter; der Platz in der Mitte sei für das Vieh bestimmt. Auch diese sehr häufig vertretene Ansicht wird vom Vortr. abgelehnt, desgleichen die Erklärung des Rundlings als Schutzform, die auf alte Burganlagen, meist Fliehburgen, zurückgeht. Gegen diese Meinung spricht u. a. die Tatsache, daß zu einer Anzahl slawischer Rundlinge immer eine Fliehburg gehört.

Eine andere Gruppe von Entstehungstheorien knüpft an die völkische Zugehörigkeit an. Insbesondere hat man schon früh den Rundling den Slawen zuordnen wollen und dafür slawische Rundlinge als Beweis angeführt. Der Vortr. erklärte dazu, daß die in der Literatur beschriebenen Formen dieser Art gar keine echten Rundlinge seien.

Der Vortr. ging nun die auf der Karte in Erscheinung tretenden Verbreitungsgebiete durch, um auf diesem Wege dem Problem näher zu kommen. Er gelangte zu der Auffassung, daß sich der Rundling von anderen Formen durch eine besondere Siedlungsidee unterscheidet, und setzte an die Stelle der bisherigen Typisierungsversuche den Entwicklungsgedanken. Den Ausgangspunkt bilden eindeutig slawische Kleinformen, aus denen sich schon seit dem 10. und 11. Jahrhundert

im Anschluß an die Gemeinschaftsidee des deutschen Haufendorfes das Runddorf herauszuentwickeln beginnt. Eine zweite Entwicklungsreihe ist durch die deutsche Kolonisation bedingt, die von verwachsenen Platzdorfformen allmählich zu den Angerdörfern hinüberführt. Das Endziel dieser Entwicklung ist die Ausbildung der großen Rundangerdörfer durch Zusammenlegen von alten kleinen Rundlingen.

Die Ausführungen des Vortr. waren somit ein interessanter Versuch, das Gesamtbild unter einem neuen Gesichtspunkt zu überblicken. —

Am 22. Januar 1940 schilderte Herr PH. v. LUETZELBURG, Berlin, der fast drei Jahrzehnte in Brasilien gelebt hat, auf Grund seiner 1924—1930 durchgeführten Reisen **Das Landschaftsbild Amazoniens**. Die Reisen begannen mit einer Befahrung des östlichen Grenzflusses gegen Französisch-Guayana, die 330 km tief in ein ungeheuer niederschlagsreiches, von üppiger Vegetation bedecktes Land führte. In den imposanten Regenwäldern traf man auf primitive Destillationsanlagen, wo aus Rosenholzstämmen ein ätherisches Öl gewonnen wird. Ein anderer Wirtschaftszweig ist Raubbau auf Guttapercha. Ein dreistufiger Wasserfall verhinderte die Weiterfahrt. Da sich auch der Versuch, zu Fuß weiter zu kommen, als undurchführbar erwies und außerdem fühlbarer Mangel an Nahrungsmitteln auftrat, kehrte man in rascher Fahrt zurück und besuchte das lange Zeit zwischen Brasilien und Französisch-Guayana strittig gewesene Grenzgebiet zum Amazonas hin; man fand hier ein niedriges, inmitten versumpfter Savannen aufragendes Gebirge mit Goldvorkommen, die um 1890/92 ausgebeutet worden sind.

Dann kehrte man nach Paraná zurück und begann die eigentliche Amazonasreise. Es ging in fünftägiger Dampferfahrt flußaufwärts nach Manáos, der Hauptstadt Amazoniens, die auch als Flußhafen eine wichtige Rolle spielt. Sie liegt zwischen ungeheuren Regenwäldern im Norden und einem großen Sumpf- und Seengebiet im Süden; um die wohlgebaute innere Stadt zieht sich ein breiter Gürtel niedriger Palmhütten, die von Gummisuchern bewohnt sind. Von hier führte ein schweres Motorboot die Reisenden zum Rio Negro, den der Vortr. als den schönsten Fluß bezeichnete. Weiterhin wurde der Gipfel des Roroima besucht. Ein ziemlich beschwerlicher Fußmarsch durch teilweise versumpfte Savannengebiete führte an den Fuß des Berges. Der gewaltige Block des Roroima ist rings von einer hohen Steilwand umgeben, die 400 m über den Urwaldsockel emporragt. In einer Schlucht aufwärts steigend wurde das weite Gipfelplateau erreicht, das eine reiche Flora aufweist. Charakteristisch ist plötzlicher Wetterwechsel mit Nebel, Regengüssen und außerordentlichen Temperaturschwankungen.

Dann ging es zum Rio Negro zurück und auf dem Cassiquiare zum Orinoco; bei der Rückfahrt wurden infolge der Strömung sehr hohe Geschwindigkeiten — bis 100 Stundenkilometer — erreicht. Die letzten Fahrten galten der Erforschung der westlichen Nebenflüsse des Rio Negro. Man kam hier in ein rein indianisches Gebiet, erlebte ein großes Maskenfest der Eingeborenen und konnte riesige ethnographische Sammlungen gewinnen. Da inzwischen die Regenzeit eingesetzt hatte, fuhr man über den Rio Negro zum Amazonas zurück. Eine an unverlierbarem Erleben und wissenschaftlichen Ergebnissen reiche Folge von Reisen hatte damit ihr Ende gefunden.

KURT KAEHNE.

N. K. Koltzoff †.

VON N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Berlin-Buch.

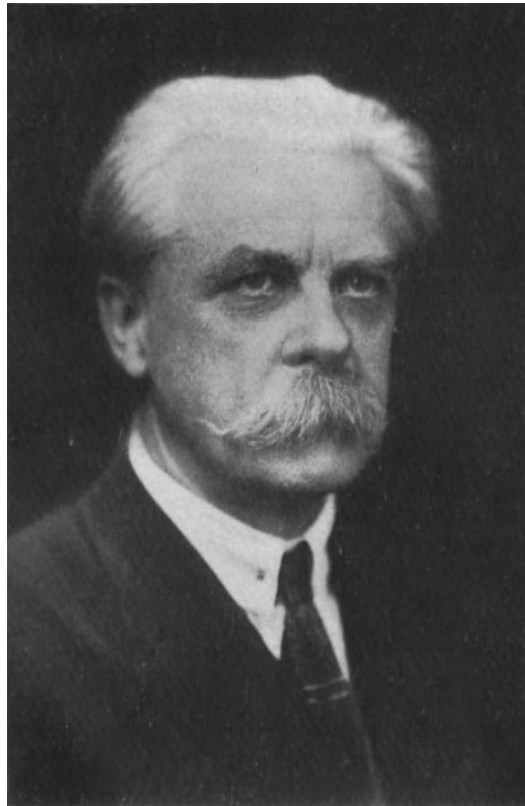
Am 2. Dezember 1940 ist in Leningrad der bekannte Experimentalbiologe, Direktor des Moskauer Forschungsinstitutes für experimentelle Biologie und Professor der allgemeinen Zoologie an der Universität Moskau, NIKOLAI KONSTANTINOVITSCH KOLTZOFF im Alter von fast 70 Jahre gestorben.

Das ganze Forscher- und Lehrerleben von KOLTZOFF, abgesehen von seinen Reisen an verschiedene Zoologische Institute und Stationen in Rußland und Europa, verlief in Moskau. Er studierte an der Physikalisch-Mathematischen Fakultät der Moskauer Universität. Dort hat sich gerade am Anfang der neunziger Jahre um den bekannten Ornithologen, Zoogeographen und vergleichenden Anatomen M. A. MENZBIER im Vergleichend-Anatomischen Institut eine ganze Gruppe von begabten Schülern versammelt, von denen viele später zu bekannten Forschern und Lehrern auf verschiedenen Gebieten der Zoologie geworden sind (wie z. B. N. A. IWANZOFF, KOLTZOFF selbst, W. N. LWOFF, W. M. SCHIMKEWITSCH, A. N. SEWERTZOFF, P. P. SUSCHKIN). Der zoologische Unterricht war an der Moskauer Universität schon damals sehr gut, besonders vorbildlich aber im MENZBIERSchen Institut. Im Zentrum stand die Vergleichende Anatomie und Embryologie der Wirbeltiere, um die herum aber auch andere Spezialkurse und Praktika abgehalten wurden. KOLTZOFF befaßte sich damals vorwiegend mit Vergleichender Anatomie und Histologie und wurde 1894 zum Kandidaten der Naturwissenschaften promoviert, nachdem er für seine gründliche Arbeit „Über die Hinterextremitäten der Wirbeltiere“ die goldene Medaille von der Fakultät erhalten hat. Zur selben Zeit erschien

auch seine Arbeit „Die Entwicklung des Beckens beim Frosch“. In den folgenden Jahren, bis 1897, arbeitete KOLTZOFF im Vergleichend-Anatomischen Institut vorwiegend embryologisch (über die Gonadenentwicklung und die Keimbahn des Frosches) und bereitete sich für das Magisterexamen vor.

Nach Ablegen des Magisterexamens ging er 1897 für 2 Jahre ins Ausland, wo er zunächst einige Monate in Kiel im FLEMINGSchen Institut mit F. MEVES verbrachte und dann an die Zoologischen Stationen in Neapel, Roscoff und Villefranche ging. Zunächst befaßte er sich hauptsächlich mit vergleichender Anatomie; als Ergebnis dieser Studien entstand seine große Arbeit „Entwicklung des Kopfes von Petromyzon. Zur Frage der Metamerie des Wirbeltierkopfes“. Da aber KOLTZOFF ganz richtig erkannt hatte, daß schon damals die wirklich großen neuen und wissenschaftlich aufregenden Probleme der Vergleichenden Anatomie für längere Zeit als vorläufig gelöst und abgeschlossen betrachtet werden mußten, widmete er immer mehr und mehr sein Interesse den experimentell-zoologischen und cytologischen Fragen, die damals erst auftauchten. Außerdem erwarb er durch den Aufenthalt an Zoologischen Meeresstationen und an verschiedenen Zoologischen Instituten Deutschlands

und Frankreichs eine sehr umfassende Kenntnis zoologischer Objekte und des Umganges und Experimentierens mit lebendem Material. Nach seiner Rückkehr nach Moskau im Jahre 1899 wurde er Privatdozent an der Moskauer Universität und begann seine Vorlesungen über allgemeine Zoologie und Cytologie, die er seitdem in Moskau an verschiedenen Hochschulen vier Jahrzehnte lang gehalten hat.



N. K. Koltzoff

1901 verteidigte er öffentlich seine Magisterdissertation („Über den Kopf von Petromyzon“) und machte nachher in den Jahren 1902—1904 eine zweite längere Auslandsreise, bei der er zunächst ein paar Monate in Heidelberg bei BÜTSCHLI und die übrige Zeit wieder hauptsächlich an den Zoologischen Stationen in Neapel und Villefranche verbrachte. In dieser Zeit hat KOLTZOFF sich schon ganz der experimentellen Cytologie gewidmet und seine bekannten „Studien über die Gestalt der Zelle“ begonnen; 1903, noch während seines Auslandsaufenthaltes, erschien auf deutsch seine erste Arbeit aus dieser Serie: „Über formbildende elastische Gebilde der Zellen“. Nach seiner Rückkehr, 1904, nach Moskau setzte er seine Vorlesungen an der Moskauer Universität fort; bald darauf wurde er auch zum Professor der Zoologie an der Moskauer Frauenhochschule (II. Universität) gewählt. Er setzte seine Studien über die Gestalt der Zelle fort, sowohl an der Universität, als auch bei kürzeren Aufenthalten an den Zoologischen Stationen in Sevastopol und Neapel. 1911 verließ er, zusammen mit seinem Lehrer MENZBIER und einigen anderen Professoren und Dozenten, die Moskauer Universität und wurde Professor an der Moskauer Städtischen Universität, wo er ein ganz modern und vorbildlich eingerichtetes experimentell-biologisches Institut organisierte. In den Jahren 1911 bis 1917 lehrte er an der Frauenuniversität und der Moskauer Städtischen Universität, wo sich um ihn eine größere Gruppe junger, vorwiegend experimentell-zoologisch und cytologisch interessierter Schüler bildete. Während des Weltkrieges, im Jahre 1916, wurde das Moskauer experimentell-biologische Forschungsinstitut eröffnet, das von KOLTZOFF organisiert wurde und dessen erster Direktor er geworden ist. Seit 1917 bis zu seinem Tode war KOLTZOFF Direktor des Moskauer Forschungsinstitutes für experimentelle Biologie und Professor für allgemeine Zoologie an der Moskauer Universität. Schon in den ersten Nachkriegsjahren, trotz sehr schwerer Zeiten und Verhältnisse, ist es KOLTZOFF gelungen, im Institut für experimentelle Biologie eine Gruppe von Experimentalzoologen (aus dem Kreise seiner Schüler) zu versammeln, mit deren Hilfe das Institut in verschiedenen Richtungen (Cytologie, Protistologie, Entwicklungsmechanik, Endokrinologie, experimentelle und angewandte Genetik) erweitert und wesentlich ausgebaut werden konnte, so daß es jetzt zu den größten Forschungsorganisationen für experimentelle Biologie gehört.

Das Forscherleben von KOLTZOFF kann in drei Perioden eingeteilt werden. Die erste Periode war vorwiegend der vergleichenden Anatomie gewidmet und verlief im großen und ganzen nach der damaligen Hauptrichtung der MENZBIERSchen Moskauer Zoologischen Schule. Diese Periode, die mit Untersuchungen über die Hinterextremitäten der Wirbeltiere und die Entwicklung des Froschbeckens begonnen hat, wurde mit der großen Monographie über den Kopf von Petromyzon abgeschlossen.

Die zweite Periode war der experimentellen Cytologie gewidmet. Der Anfang dieser Periode liegt noch im letzten Drittel der ersten; schon während seines ersten Aufenthaltes an den Zoologischen Stationen, der eigentlich dem Sammeln und der Bearbeitung vergleichend-anatomischen Materials gewidmet war, wachte in KOLTZOFF das Interesse für eine experimentelle Analyse der Form und Gestalt der Zellen auf. Äußerlich wurde es erweckt durch Betrachtung der Vielgestaltigkeit der marinen Protozoen im Leben und der freien Spermien verschiedener Seetiere. Dabei erkannte KOLTZOFF ganz richtig, daß eine rein morphologische mikroskopische Strukturbeschreibung hier nicht allzuweit führen kann; es mußte experimentiert werden, und zwar nach den damals in den ersten Anfängen stehenden physiko-chemischen und kolloid-chemischen Methoden und Gesichtspunkten. Nachdem KOLTZOFF sich durch eingehendes Studium physiko-chemischer und kolloid-chemischer Originalarbeiten (da es damals auf diesen Gebieten noch keine Lehrbücher oder Zusammenfassungen gab) ein entsprechendes Wissen auf den wichtigsten Nachbargebieten erworben hat, untersuchte er, hauptsächlich an den Spermien der Decapoden (höhere Krebse), die Statik der von der Kugelform abweichenden Zellgestalten. Diese Untersuchungen bildeten den Inhalt der großen Arbeit „Studien über die Gestalt der Zelle. I. Über Spermien der Decapoden in Zusammenhang mit allgemeineren Überlegungen über die Zellenorganisation“, die 1905 in Moskau auf russisch und 1906 im Arch. mikrosk. Anat. auf deutsch erschienen ist; in dieser Arbeit entwickelte KOLTZOFF die Theorie, daß der flüssige oder zähflüssige Inhalt der Zelle eine von einer amöboiden Tropfenform abweichende Gestalt nur durch entsprechende feste bzw. elastische Skelettfibrillen gewinnen kann, und daß geordnete, nichtamöboide Zellenbewegungen ebenfalls nur durch das Vorhandensein eines derartigen Fibrillenskelettes ermöglicht werden. Eine grundsätzliche Bestätigung, Erweiterung und Vertiefung der an Versuchen mit Decapodenspermien gewonnenen Ergebnisse und Ansichten brachten weitere Versuche mit Spermienköpfen verschiedener Tierarten. Die Ergebnisse dieser Versuche wurden 1908 im Arch. Zellforsch. in der Arbeit „Studien über die Gestalt der Zelle. II. Untersuchungen über das Kopfskelett des tierischen Spermiums“ niedergelegt; hier wurde u. a. gezeigt, daß die elastischen Fibrillen vor allem formgebende Skelettelemente bilden und nicht als kontraktile Fasern angesehen werden können; es wurde die Hypothese aufgestellt, daß Fibrillenkontraktion, die als elementare Bewegungseinheit der Zelle aufzufassen ist, immer an ein zweiphasiges System — feste Fibrille und eine sie umhüllende flüssige oder zähflüssige Phase — gebunden sein muß. Diese Hypothese fand ihre Bestätigung und ihren weiteren Ausbau in Versuchen, die am kontraktilen Stiel einiger Infusorien aus der Gruppe der Vorticellinen durchgeführt wurden und den Inhalt

der Arbeit „Studien über die Gestalt der Zelle. III. Untersuchungen über die Kontraktivität von *Zoothamnium alternans*“ bildeten, die 1911 in Moskau auf russisch und im Arch. Zellforsch. auf deutsch erschienen ist. In dieser Arbeit wurde gezeigt, wie durch Änderungen des osmotischen Druckes die Bewegungen in einer zweiphasigen Kontraktionsfaser zustandekommen und von welchen physiko-chemischen Faktoren des Milieus (vor allem verschiedenen Konzentrationen verschiedener Ionen) diese Kontraktionsbewegungen beeinflusst werden. Die letztere Frage wurde weiter ausgebaut in einer Reihe von physiko-chemischen Versuchen an *Zoothamnium* und *Carchesium*, die in den Arbeiten „Über eine physiologische Kationenreihe“ (deutsch in Pflügers Arch. 1912) und „Einfluß der Wasserstoffionen auf die Phagozytose bei Süßwasser-Vorticellinen“ (deutsch in Internat. Z. physik.-chem. Biol. 1914) publiziert wurden. Den letzten Ausläufer dieser zweiten Forschungsperiode bildet eine chronologisch schon weit in der dritten Periode liegende Arbeit aus derselben Reihe („Physiko-chemische Grundlagen der Reizbarkeit von Pigment-, Muskel- und Drüsenzellen“), die 1929 auf französisch in Rev. gén. Sci. pures appl. erschienen ist.

Die dritte Periode der Forschertätigkeit von KOLTZOFF ist vorwiegend dem theoretischen Ausbau seiner allgemeineren Vorstellungen über die Struktur der Zelle und der Synthese zwischen der experimentellen Cytologie und anderen Zweigen der experimentellen Biologie, vor allem der Genetik, gewidmet. Die eigenen experimentellen Arbeiten KOLTZOFFS aus dieser letzten Periode gehören in der Hauptsache zwei Gebieten an: Der experimentellen Genetik und der experimentellen Parthenogenese. Experimentell-genetisch hat KOLTZOFF vor allem über Vererbung der Fellfärbungen beim Meerschweinchen und über Vererbung der chemischen Bluteigenschaften beim Menschen und bei Haustieren gearbeitet. Von besonderer Bedeutung sind aber seine allgemeineren theoretischen Arbeiten aus dieser letzten Periode. Schon 1916 veröffentlichte KOLTZOFF eine Arbeit, in der eine allgemeinere Ansicht über den physiko-chemischen Bau der wesentlichsten Bestandteile der Zellen, unter Betonung der Bedeutung großer eiweißartiger Moleküle und Mizellen und deren Orientierung, entwickelt wurde. Einen weiteren Ausbau erfuhren diese Ideen, unter Heranziehung und Ausnutzung der inzwischen von der Cytologie, Biochemie, Kolloidchemie und Physikochemie neu erbrachten Erfahrungen, in seinem 1927 in der Eröffnungssitzung des allrussischen Zoologen-Kongresses in Leningrad gehaltenen Vortrags über „Die Physiko-Chemischen Grundlagen der Morphologie“, der auch auf deutsch veröffentlicht wurde (Biol. Zbl. 1928). Hier wurden auch die Hypothesen über die Mizellenstruktur der Chromosomen und die Molekularstruktur der Gene entwickelt, die in späteren Arbeiten über „Genetik und Entwicklungsphysiologie“ (1934), „Über erbliche Moleküle“ (1935),

„Die Rolle des Gens in der Entwicklungsphysiologie“ (1935) und „Über die Struktur der Chromosomen und deren Beteiligung am Zellenmetabolismus“ (1938) ausgebaut wurden. 1934 wurde von KOLTZOFF die heute allgemein anerkannte Ansicht über den Bau der Riesenchromosomen der Speicheldrüsenzellen der Dipteren vorgeschlagen. Seit 1931 hat KOLTZOFF viel über künstliche Parthenogenese, besonders beim Seidenspinner, gearbeitet; die ersten Versuchsergebnisse wurden auch auf deutsch in der Arbeit „Über künstliche Parthenogenese beim Seidenspinner“ (Biol. Zbl. 1932) veröffentlicht und die weiteren Versuche wurden hauptsächlich von seinen Schülern publiziert. 1938 erschien seine Arbeit „Untersuchungen über die Reizbarkeit der Effektorchromatophoren“, die noch als Ausläufer seiner zweiten Forscherperiode bezeichnet werden kann, ihrem Inhalt und den Methoden nach aber die zweite und die dritte Periode verbindet.

Aus der eben gegebenen kurzen Übersicht geht hervor, wie vielseitig und reichhaltig die Forschertätigkeit KOLTZOFFS gewesen ist. Neben der Vielseitigkeit der Objekte, Methoden und Spezialfragestellungen ist aber das Ziel und die Grundlinie seiner Forschertätigkeit außerordentlich konsequent und einheitlich geblieben; es handelte sich immer um das Grundproblem der Analyse elementarer Zellstrukturen. KOLTZOFF hat es, wie nur sehr wenige andere, verstanden, auf den ersten Blick ganz verschieden erscheinende Richtungen der experimentellen Biologie auf die Lösung desselben Hauptproblems zu konzentrieren.

Nicht weniger wichtig als seine eigene Forschertätigkeit war die Bedeutung KOLTZOFFS als Lehrer und als Organisator der Wissenschaft. Schon die ersten Vorlesungen KOLTZOFFS als junger Privatdozent waren der Form und dem Inhalt nach hervorragend. Mit Erweiterung seines Lehrbetriebes und der Organisation von zwei eigenen Hochschulinstituten (des Zoologischen Instituts der Frauenhochschule, II. Universität, und des Instituts für experimentelle Biologie der Moskauer Städtischen Universität) hat KOLTZOFF eine vorbildliche Stätte für den zoologischen Unterricht aufgebaut. Seine Vorlesungskurse über systematische und vor allem über allgemeine Zoologie waren formvollendet, meisterhaft im logischen Aufbau und Inhalt und brachten jedes Jahr das Wesentliche aus dem neuesten Stande der Forschung. Sein zweijähriges großes Praktikum der Zoologie der Wirbellosen war ebenfalls glänzend durchdacht und organisiert; neben der üblichen morphologischen Arbeit an Präparaten und dem selbständigen Anfertigen von Präparaten mußten die Großpraktikanten lebendes Material aus den meisten größeren Tiergruppen halten und oft züchten lernen, am lebenden Material mußte eine Reihe von physiologischen und entwicklungsmechanischen Versuchen selbständig durchgeführt werden, und es mußte die wichtigste Originalliteratur über verschiedene Objekte gelesen und referiert werden. Um das große zoologische Praktikum herum baute sich eine Reihe von Spe-

zialisierungen und Praktika auf (wie z. B. Cytologie, Entwicklungsmechanik, Hydrophysiologie, Genetik und Biometrik), die von verschiedenen Assistenten abgehalten wurden. Die Sommerferien wurden von den Großpraktikanten auf den zwei von KOLTZOFF geleiteten biologischen Stationen verbracht. Von besonderer Bedeutung war aber die Tätigkeit KOLTZOFFS als Lehrer im höheren Sinne des Wortes, bei der endgültigen Gestaltung junger Forscher. Hier war die ganze faszinierende und vielseitige Persönlichkeit KOLTZOFFS und seine immerlebendige Forschertätigkeit ausschlaggebend. Dadurch erklärt sich, daß ein großer Teil der heute in Rußland auf verschiedenen Gebieten der experimentellen Zoologie aktiv tätigen Forscher Schüler von KOLTZOFF sind. Außerordentliches hat KOLTZOFF auch auf dem Gebiete der Organisation der Forschung und des Hochschullehrbetriebes in Rußland geleistet. Er selbst hat im Laufe der letzten dreißig Jahre drei größere Hochschul- und Forschungsinstitute neu errichtet und an der Organisation mehrerer anderer aktiv teilgenommen. Vor allem ist er aber in mannigfachster Weise, durch Vorträge, Presseartikel, in Regierungs- und Municipalkommissionen und in jeder Form des persönlichen Einflusses für die dauernde Modernisierung und Auffrischung von Hochschullehrplänen, die Errichtung von Lehrstühlen für neuere Zweige der Biologie, Einführung moderner Zweige der Experi-

mentalbiologie in die angewandte Forschung (Landwirtschaft und Medizin) und die Errichtung neuer biologischer Forschungsstätten mit Erfolg eingetreten. Seine Propaganda für die Modernisierung und Erweiterung der biologischen Forschung und des biologischen Lehrbetriebes konnte u. a. deswegen leicht in die Tat umgesetzt werden, weil er immer eine genügende Anzahl von leistungsfähigen jungen Forschern unter seinen Schülern besaß, die beim Ausbau vorhandener und Errichtung neuer Forschungs- und Lehrstätten verwendet werden konnten.

KOLTZOFF hat ein besonders aktives Leben durchgelebt. Und seine Aktivität hat bis zu seinem Tode nicht nachgelassen. Er hatte auch in den letzten Jahren keine Zeit, sich zur Ruhe zu setzen und auf seine Lebensarbeit zurückzuschauen. Er konnte aber wirklich mit dem Ergebnis seiner Arbeit zufrieden sein. Denn das, was er als Forscher geleistet hat, kam der Wissenschaft zugute; und seiner Tätigkeit als Lehrer und Organisator der Forschung verdankt sein Vaterland das Aufblühen ganzer Zweige moderner Biologie, das Entstehen einer Reihe biologischer Forschungsstätten und die Ausbildung eines reichen Forschernachwuchses auf experimentell-biologischen Gebieten. Seine Schüler und persönlichen Freunde haben in ihm einen selten interessanten, vielseitigen und guten Menschen verloren.

Das kontinuierliche Spektrum und die Farbtemperatur der Sonne im Bereich 3000—7000 Å.

Von H. KIENLE, Potsdam.

Die Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Spektrum der Sonne läßt sich nach den bisherigen Erfahrungen nicht über größere Wellenlängenbereiche durch eine einheitliche Farbtemperatur darstellen (1), da die Form der Energiekurve, wie Fig. 1 zeigt, nicht der eines schwarzen Körpers entspricht. Man kann aus begrenzten Spektralbereichen in der üblichen Weise „schwarze Temperaturen“ T_s (d. i. die Temperatur eines schwarzen Körpers, der in diesem Bereich die gleiche absolute Emission pro Oberflächeneinheit hat wie die Sonne) oder „Farbtemperaturen“ T_c (d. i. die Temperatur eines schwarzen Körpers, der in diesem Bereich die gleiche relative spektrale Energieverteilung aufweist wie die Sonne) ableiten, die beide Funktion der Wellenlänge sein werden, wenn die Sonne nicht wie ein schwarzer Körper strahlt. Fig. 2 veranschaulicht diese Abhängigkeit, die für die schwarze Temperatur wesentlich geringer ist als für die Farbtemperatur. Kennzeichnend ist vor allem der außerordentlich starke Abfall der Farbtemperatur im UV bis auf Werte in der Gegend von 3000° gegenüber etwa 7000° in der Umgebung des Maximums der Energiekurve.

Bei einem Spektrum wie dem der Sonne mit seiner Fülle von Absorptionslinien (vgl. Fig. 5), ist

es schwer, das wahre Kontinuum zwischen den Linien zu erfassen. Namentlich im kurzwelligen Bereich liegt der Verdacht nahe, daß die abgeleiteten Farbtemperaturen durch ungenügende spektrale Auflösung verfälscht sind. MULDER (2) hat versucht, aus einem genauen Studium der Intensitäten der Fraunhofer-Linien in Spektren sehr großer Dispersion Korrekturen abzuleiten, die an die beobachteten, um die „verschmierten“ Intensitäten der Linien verminderten integralen Intensitäten des Sonnenspektrums anzubringen sind, um diese auf „ungestörtes Kontinuum“ zu reduzieren. Das Ergebnis dieser Untersuchungen zeigt an dem Beispiel der drei wichtigsten Beobachtungsreihen von ABBOT, FABRY und PLASKETT die Fig. 3.

Man sieht: der ursprüngliche Abfall der verbesserten Energiekurven im UV wird teilweise kompensiert, so daß im ganzen eine Annäherung der Kurven an solche einheitlicher Farbtemperatur erreicht wird. Aber auch nach der von MULDER vorgenommenen Reduktion bleibt die Farbtemperatur unterhalb λ 4000 mit 4850° (nach MULDER) noch merklich unter der für den Bereich oberhalb λ 4000, die bei etwa 6000° oder noch darüber liegt.

Dieser Befund wird bestätigt durch neue Beobachtungen von PETTIT (3), der mit großer Sorgfalt

und einem erheblichen instrumentellen Aufwand in mehreren Beobachtungsreihen seit 1931 absolute Messungen der Energieverteilung im Sonnenspektrum mit Doppelmonochromator und Vakuumthermoelement unter günstigsten atmosphärischen Bedingungen (Tucson [Arizona] bzw. Mt. Wilson) durchgeführt hat. Die Beobachtungen sind mit konstanter Dispersion bei einer Spaltbreite von 100 \AA gemacht, geben also jeweils die integralen Intensitäten im Sonnenspektrum für Bereiche von 100 \AA Breite. Die „Verschmierung“ der Absorptionslinien ist daher vollständig, und damit ist eindeutig festgelegt, was überhaupt beobachtet ist, im Gegensatz etwa zu photographischen Aufnahmen oder photoelektrischen Registrierungen des Sonnenspektrums mit ungenügender Auflösung, wo immer der Grad der Verschmierung zweifelhaft bleibt (vgl. unten). Die ausgezogenen Kurven der Fig. 4 stellen die zusammengefaßten Ergebnisse der 6 Beobachtungsreihen PETTITS aus den Jahren 1931, 1934, 1937 und 1939 dar, einmal für die mittlere (d. h. über die ganze Scheibe integrierte), das andere Mal für die zentrale (d. i. von der Mitte der Scheibe ausgesandte) Sonnenstrahlung.

Um den Einfluß der Absorptionslinien zu bestimmen, hat PETTIT eigene weitere Beobachtungen angestellt. Das durch ein 6 m-Konkavgitter in der ersten Ordnung entworfene Sonnenspektrum wurde direkt mit Hilfe von Photozellen registriert. Leider fehlen Angaben über Dispersion und spektrale Auflösung. Aber aus den von PETTIT mitgeteilten Beispielen solcher Registrierkurven, die wir in Fig. 5 wiedergeben, darf man schließen, daß das Auflösungsvermögen der Apparatur zwar nicht ausreicht, um alle Fraunhofer-Linien des

Rowland-Atlases zum Vorschein kommen zu lassen, wohl aber doch so groß ist, daß an Stellen, an denen die Linien sich nicht zu sehr häufen,

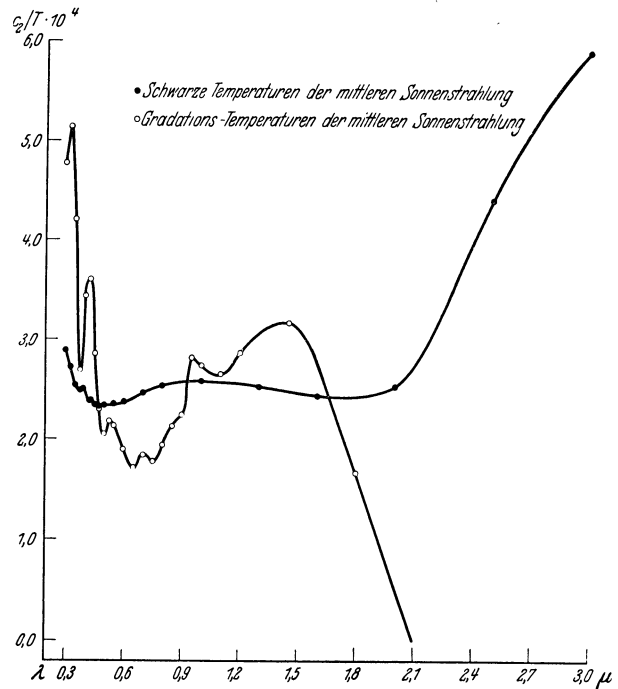


Fig. 2. Schwarze Temperatur und Farbtemperatur der Sonne in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Strahlung (BRILL, Hdb. d. Astrophys. V/1).

das Kontinuum zwischen den Linien erfaßt wird. Die von PETTIT durch die äußersten Spitzen der Registrierkurven gelegte Einhüllende wird daher an einigen Punkten dem wahren Kontinuum nahekommen, im allgemeinen aber noch darunter liegen. Da PETTIT die Korrektur auf ungestörtes Kontinuum als Differenz der durch die Einhüllende und die Registrierkurve gegebenen Integrale (je über 100 \AA Breite) bestimmt, werden seine Korrekturen durchschnittlich zu klein ausfallen.

In Fig. 4 sind (gestrichelt bzw. strichpunktiert) die reduzierten Kurven mit eingezeichnet. Sie sind, da die Messungen ja jeweils Integrale über 100 \AA darstellen, geglättet, weisen aber trotzdem noch starke Einsenkungen auf, die man kaum als Wellen im wahren Kontinuum auffassen darf, sondern auf unzureichende Korrektur wegen Linienabsorption zurückführen muß. Aber auch wenn man sich auf die Maxima der Kurve beschränkt, bleibt ein allgemeiner Abfall im UV bestehen, der den Befund von MULDER'S bestätigt, daß die Farbtemperatur im UV erheblich unter der im Sichtbaren liegt.

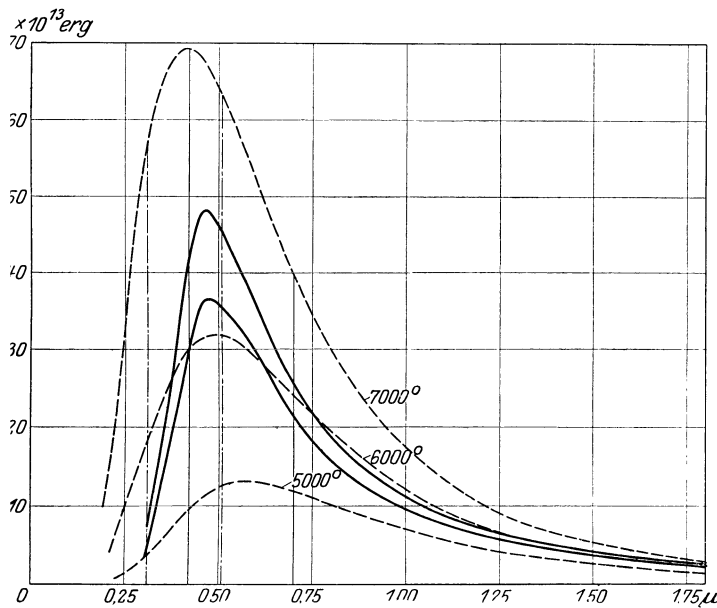


Fig. 1. Energieverteilung der zentralen und der mittleren Sonnenstrahlung, verglichen mit der des schwarzen Körpers (BRILL, Hdb. d. Astrophys. V/1).

Nun haben ARNULF, CHALONGE und DÉJARDIN (4) den Versuch gemacht, die Farbtempe-

ratur im UV unmittelbar absolut zu bestimmen nach der gleichen Methode, nach der sie in einer Reihe von Arbeiten Farbtemperaturen von Sternen bestimmt haben. Zur Verwendung gelangte ein Zweiprismen-Quarzspektrograph, dessen Kollimator ($f = 120$ cm) ohne Zwischenschaltung irgendwelcher abbildenden Optik direkt auf die Sonne gerichtet wurde. In gleicher Weise wie das Spektrum der Sonne und auf die gleiche Platte wurde das kontinuierliche Spektrum eines Wasserstoffrohres aufgenommen, dessen absolute Intensitätsverteilung durch Anschluß an den schwarzen Körper bekannt ist. In die Reduktion der Messungen geht dann nur noch die Extinktion des Lichtes in der Erdatmosphäre ein, die durch zusätzliche Nachtbeobachtungen von Sternen bestimmt wurde. Bei der Stabilität der Sichtverhältnisse auf dem Jungfraujoch, wo diese Beobachtungen durchgeführt wurden, dürfte gerade dieses Reduktionselement mit hinreichender Sicherheit bekannt sein.

Der Spektrograph liefert eine Dispersion von $6-20 \text{ \AA/mm}$ zwischen 3000 und 4500 \AA . Es ist klar, daß man bei diesem Grade der Auflösung nicht erwarten kann, das Kontinuum zwischen den Linien ganz allgemein zu erfassen. Daher suchen ARNULF, CHALONGE und DÉJARDIN (im folgenden abgekürzt A. C. D.) nach dem soeben veröffentlichten Atlas des Sonnenspektrums von MINNAERT, MULDER und HOUTGAST (5) ausgesprochene „Fenster“ in der Sonnenatmosphäre aus, d. h. linien-

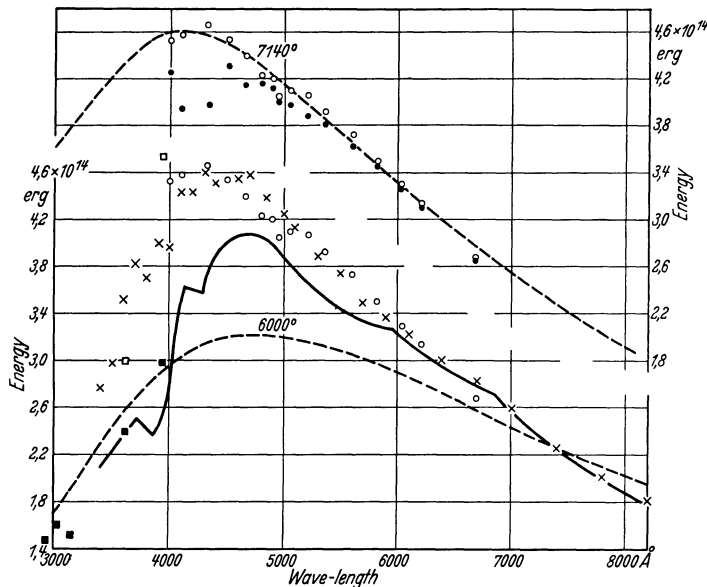


Fig. 3. Bestimmung der Energieverteilung im kontinuierlichen Spektrum der Sonne durch Korrektur verschiedener Meßreihen [MULDERS (2)]. Oberer Teil: ●●● PLASKETTS Originalmessungen; ○○○ wegen des Einflusses der Fraunhofer-Linien korrigierte Werte; --- $0.60 \times$ schwarze Strahlung von 7140° . Unterer Teil: — ABBOTTS Originalmessungen; ××× Werte nach Korrektur wegen Fraunhofer-Linien; ○○○ PLASKETTS korrigierte Werte (wie oben); ■■■ FABRYS Originalmessungen; □□□ Werte nach Korrektur wegen Fraunhofer-Linien; --- schwarze Strahlung von 6000° .

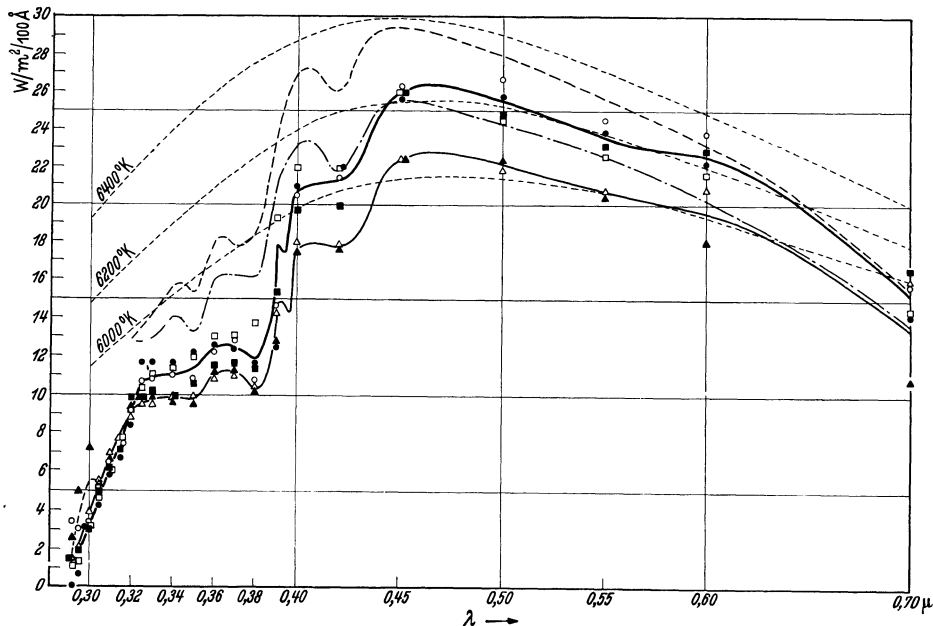


Fig. 4. Energiekurve der Sonne nach PETIT (3). — Integrierte Strahlung 1931 und 1934; — dieselbe, korrigiert wegen Fraunhofer-Linien; - - - zentrale Sonnenstrahlung 1931, 1934, 1937 und 1939; - - - dieselbe, korrigiert wegen Fraunhofer-Linien; - - - - schwarze Strahlung verschiedener Temperaturen.

arme Gebiete im Spektrum, an denen ungestörtes Kontinuum zutage tritt. Unter Beschränkung auf Messungen an diesen wenigen Punkten kommen sie dann zu folgendem Ergebnis:

„Wenn dem kontinuierlichen Sonnenspektrum eine definierte ‚Farbtemperatur‘ zugeordnet werden kann, dann müssen die Punkte, die als Ordinaten die Logarithmen der Intensitätsverhältnisse (Sonne und schwarzer Körper von 7000° K) und als Abszissen die zugehörigen Werte von $1/\lambda$ haben, auf einer Geraden liegen. Das trifft zu für die folgenden Wellenlängen (auf ungefähr $0,5 \text{ \AA}$ genau): $4504, 4477, 4437,5, 4421, 4413, 4365, 4316,5$ und 3301 \AA . Alle anderen Punkte liegen unterhalb der Geraden, aber die den Wellenlängen $4487, 4446, 4087,5, 3785$ und $3400,5$ entsprechenden liegen ihr recht nahe. Die aus der Neigung der Geraden berechnete Farbtemperatur liegt bei etwa 6200° K (Mittel aus den drei besten Platten). Die zahlreichen Fehlerquellen lassen eine Unsicherheit von einigen hundert Grad erwarten, aber das wesentliche Ergebnis scheint nicht zweifelhaft: das mittlere kontinuierliche Spektrum der Sonnenscheibe kann im Bereich $4500-3300 \text{ \AA}$ genähert durch eine einheitliche Farbtemperatur dargestellt werden.“

Leider fehlen die zahlenmäßigen Unterlagen bzw. eine graphische Darstellung nach Art der Fig. 4 und 5, die ein unabhängiges Urteil ermöglichen über den Grad der Annäherung. Aber CHALONGE und DÉJARDIN (6) haben in einer anderen kurzen Note, die sich auf die mit der Sonne nahe verwandten G-Sterne η Bootis und ζ Herculis bezieht, eine Registrierkurve des Spektrums von ζ Herculis wiedergegeben, aus der die Lage der hypothetischen „Fenster“ und die Abweichung des Spektrums von der durch eine einheitliche Farbtemperatur festgelegten Kurve zu ersehen ist (Fig. 6). Diese Sternspektren sind allerdings mit einer 5fach kleineren Dispersion aufgenommen, also auch entsprechend weniger aufgelöst. Aber CHALONGE und DÉJARDIN stellen fest, daß an drei der für das Sonnenspektrum genannten Stellen, nämlich bei $4504, 4087,5$ und 3301 , das ungestörte Kontinuum erreicht wird. Die durch diese 3 Punkte gelegte Kurve (im Koordinatensystem $\log i/i_{7000}$; $1/\lambda$ eine Gerade) führt auf eine Farbtemperatur

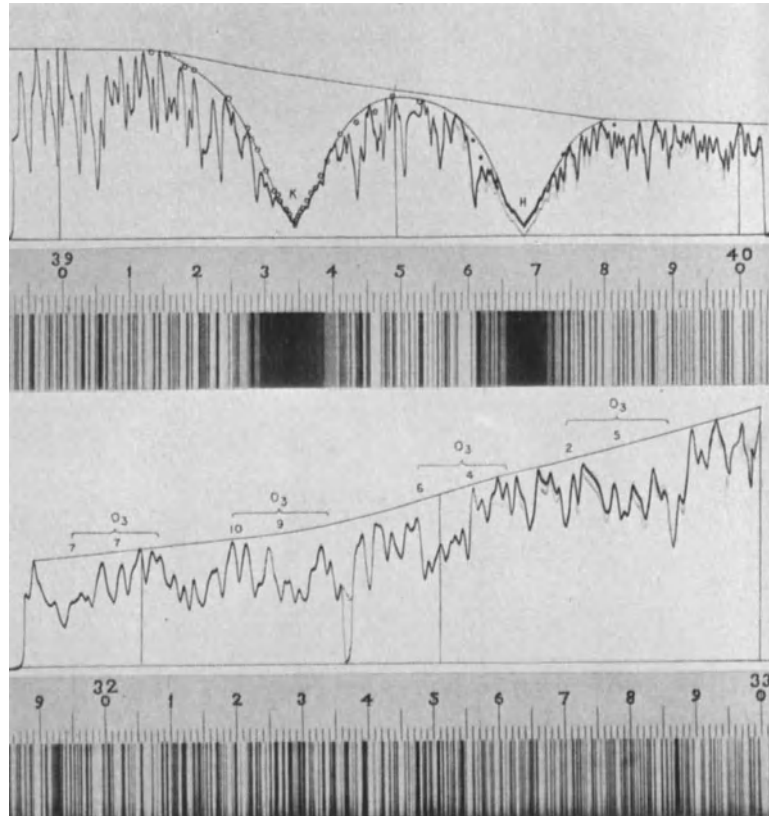


Fig. 5. Photoelektrische Registrierkurven für die Gegend der Linien H und K (oben) und den Bereich $\lambda\lambda 3200-3300$ (unten) nach PETTIT (3), verglichen mit dem Rowlandatlas.

von 5900° im Mittel für die beiden Sterne, also nahe übereinstimmend mit dem für die Sonne gefundenen Wert von 6200° .

Die Gründe, warum PETTIT zu anderen Ergebnissen kommen mußte als A. C. D., werden klar, wenn man die Fig. 5 und 6 einander gegenüberhält. PETTIT gewinnt die an seine Beobachtungen anzubringenden Korrekturen wegen Linienabsorption, indem er jeweils Gebiete von 100 \AA Breite mit großer Dispersion aufnimmt und innerhalb dieser engen Wellenlängenbereiche eine einhüllende Kurve durch die Spitzen der Registrierkurve legt. Er paßt sich also dem allgemeinen Verlauf des durch seinen Gitterspektrographen gegebenen Spektrums weitgehend an. A. C. D. hingegen greifen aus dem ganzen, von PETTIT in 12 Einzelabschnitten ausgeglichenen Bereich nur die 3 alleräußersten Spitzen heraus und überbrücken alles Dazwischenliegende. PETTITS 12 Einhüllende müssen also unter der durch diese 3 Spitzen gelegten Kurve bleiben; in welchem Grad, das zeigt Fig. 7, in der PETTITS Messungen auf zweckmäßige Koordinaten umgerechnet sind.

Aus den von PETTIT für das mittlere Sonnenspektrum angegebenen Intensitäten wurden die

$\log i_{\odot}/i_{r_{200^{\circ}}}$, d. h. die Logarithmen der Intensitätsverhältnisse Sonne : Schwarzer Körper von 6200° , berechnet und als Funktion von $1/\lambda$ aufgetragen.

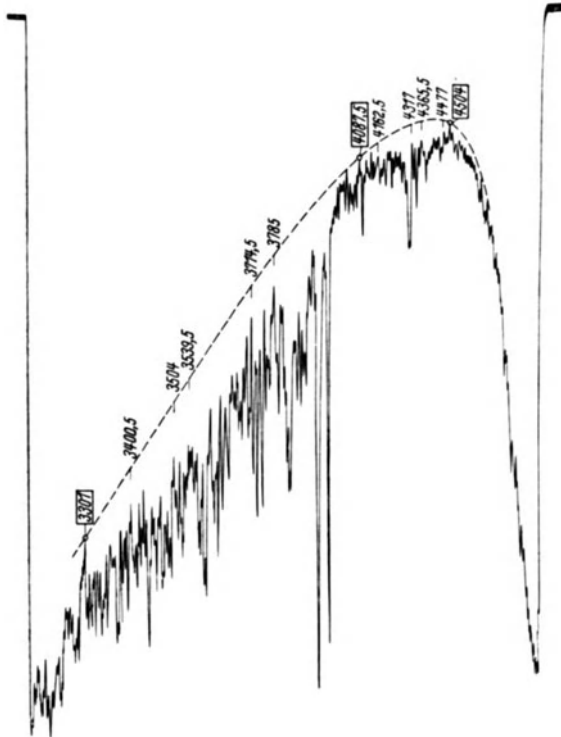


Fig. 6. Registrierkurve des Spektrums von ζ Herculis nach CHALONGE-DÉJARDIN (6). Die mutmaßlichen „Fenster“ sind durch ihre Wellenlängen bezeichnet.

Da PETTIT nur Integrale über 100 \AA Breite gemessen hat, sind die Kurven als Treppenkurven mit den entsprechenden Stufenbreiten ge-

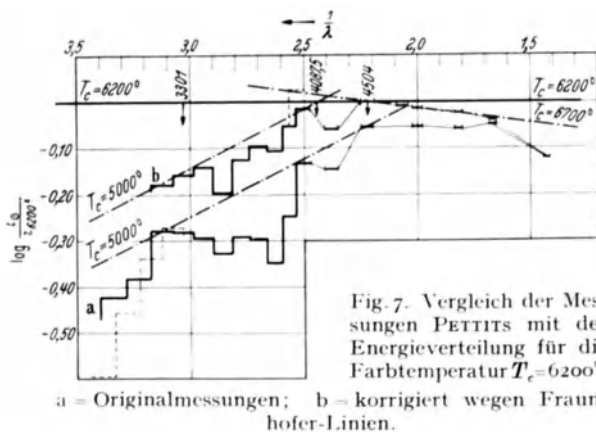


Fig. 7. Vergleich der Messungen PETTITS mit der Energieverteilung für die Farbtemperatur $T_c = 6200^{\circ}$. a = Originalmessungen; b = korrigiert wegen Fraunhofer-Linien.

zeichnet. Am kurzwelligen Ende ist teilweise in Abständen von 50 \AA gemessen, d. h. in übergreifenden Intervallen; die Treppenkurve für die Zwischenpunkte ist in der Fig. 7 punktiert.

Oberhalb $\lambda 4000$ sind die Abstände der Meßpunkte größer als die Intervallbreite. a ist die gemessene Kurve, b die wegen Linienabsorption korrigierte.

Angemerkt sind außerdem die 3 Wellenlängen, durch die bei A. C. D. die Farbtemperatur $T_c = 6200^{\circ}$ festgelegt ist. Man sieht, daß bei PETTIT durch die Korrektur wegen Linienabsorption der Verlauf der Energiekurve im UV sich zwar dem einer Geraden nähert, daß aber die mittlere Neigung dieser Geraden sich nicht ändert, d. h. die Farbtemperatur bleibt im UV mit 5000° merklich unter der im langwelligen Gebiet; der Unterschied beider Farbtemperaturen wird durch die Korrektur sogar noch etwas erhöht.

Ob ein Sprung in der Farbtemperatur bei etwa $\lambda 4500$ vorhanden ist, läßt sich aus den Beobachtungen von A. C. D. allein nicht entscheiden, da diese Beobachtungen nur den kurzwelligen Teil des Spektrums erfassen. Es kommt also ganz darauf an, wie hoch man den *Absolutwert* der von A. C. D. abgeleiteten Farbtemperatur bewertet. Dieser hängt aber ab von dem Gewicht des einen „Fensters“ bei $\lambda 3301$ und von der Sicherheit, mit der bei den Anschlüssen der Sonne an das Wasserstoffrohr der absolute Nullpunkt des Pariser Temperatursystems verwirklicht wurde. Wenn man den französischen Messungen volles Vertrauen schenken darf und $\lambda 3301$ als echtes „Fenster“ anerkennt, dann wären PETTITS (und analog auch die damit im wesentlichen übereinstimmenden MULDER'S) integrierte Intensitäten der Fraunhofer-Linien im Mittel zu quadrieren (die Logarithmen zu verdoppeln), um sie auf das „echte“ Kontinuum zu beziehen.

Die Entscheidung kann nur durch neue Beobachtungen gebracht werden, die mit größter Dispersion und Auflösung den ganzen Bereich des Sonnenspektrums zwischen 3000 und 7000 \AA erfassen, insbesondere die Umgebung der mutmaßlichen (und möglichst noch anderer) „Fenster“. Und diese Entscheidung ist nicht nur wichtig im Hinblick auf die Farbtemperatur der Sonne (und der G-Sterne im allgemeinen), sondern auch für die Definition und Messung dessen, was wir die „Intensität einer Absorptionslinie“ nennen. Denn diese Intensität wird immer festgelegt relativ zu dem „benachbarten Kontinuum“. Ist dieses „benachbarte“ Kontinuum aber gegeben durch das Verfahren von PETTIT (Fig. 4), das das heute allgemein übliche ist, und auch z. B. dem Atlas von MINNAERT, MULDER'S und HOUTGAST zugrunde liegt, oder muß man es ersetzen durch die Überbrückung zwischen weit auseinanderliegenden „Fenstern“ nach dem Vorgang von ARNULF, CHALONGE und DÉJARDIN? Diese Frage bleibt zunächst offen.

Literatur:

- (1) A. BRILL, Die Temperaturen der Fixsterne. Handbuch der Astrophysik V/1 (1932).
- (2) G. F. W. MULDER'S, On the Energy Distribution in the Continuous Spectrum of the Sun. Z. f. Astrophys. **11**, 132

(1935). — (3) E. PETTIT, Spectral Energy-Curve of the Sun in the Ultraviolet. *Ap. J.* **91**, 159 (1940). — (4) A. ARNULF, D. CHALONGE et G. DÉJARDIN, Sur la distribution de l'énergie dans le spectre continu du Soleil entre 4500 et 3300 Å. *C. R. Acad. Sci. Paris* **210**, 325 (1940). — D. CHALONGE et G. DÉJARDIN, Sur la courbe

d'énergie du spetre solaire. *Bull. Soc. franç. Phys.* **1940**, Nr 441. — (5) M. MINNAERT, G. F. W. MULDER, I. HOUTGAST, Photometric Atlas of the Solar Spectrum. Amsterdam 1940. — (6) D. CHALONGE et G. DÉJARDIN, Sur le spectre continu des étoiles du type Go. *C. R. Acad. Sci. Paris* **210**, 558 (1940).

Zur Theorie fester Isolatoren.

Von F. MÖGLICH und R. ROMPE, Berlin.

[Schluß¹⁾.]

Vielfachstöße.

Die Wirksamkeit der Einfachstöße zwischen Elektronen und Schallquanten ist übrigens auf Metalle beschränkt. Dies liegt daran, daß die maximal vom Schallquant auf das Elektron und umgekehrt übertragbare Energie den Betrag $h \cdot \nu_{\max}$ nicht überschreiten kann und dieser Betrag von der Größenordnung $1/20$ eVolt ist. Das Wirksamwerden solcher Stöße ist also an die zusätzliche Bedingung geknüpft, daß immer im Abstand eines zwanzigstel Volt von einem mit einem Elektron besetzten Energieniveau sich mindestens ein freies Energieniveau befindet. Diese Bedingung kann praktisch nur bei einem Metall erfüllt sein, weil bei einem Isolator zwischen dem besetzten Band und dem nächsten freien Band immer eine verbotene Zone liegt, die ein Vielfaches der Energie eines Schallquanten beträgt. Nur im Falle eines „echten“ Halbleiters — eines Isolators mit sehr kleiner Energiedifferenz zwischen besetztem und freiem Band — könnte man noch auf die Wirksamkeit der Einfachstöße rechnen. Da es aber sehr zweifelhaft ist, ob es solche „echten“ Halbleiter, die ganz ohne Störstellenmechanismus arbeiten, überhaupt gibt, wollen wir diese Möglichkeit außer acht lassen.

Bei Berücksichtigung der höheren Näherungen des Blochschen Störungsverfahrens treten, wie wir schon sagten, Prozesse auf, bei denen ein Elektron mehrere Schallquanten erzeugt bzw. absorbiert. Solche Prozesse werden wir sinngemäß als Vielfachstöße bezeichnen. Ihre von dem quantenmechanischen Formalismus behauptete Existenz stellt uns vor ein besonderes Problem insofern, als es nach den vorher erörterten thermodynamisch-statistischen Überlegungen nicht klar ist, ob derartige Prozesse sich überhaupt mit dem durch die PLANCKSche Formel beschriebenen Gleichgewicht in Einklang bringen lassen.

Diese Zweifel lassen sich beheben durch eine Modifikation der vorhin besprochenen EINSTEINschen Überlegung, die nicht nur zeigt, daß solche Vielfachstöße mit der PLANCKSchen Formel verträglich sind, sondern uns darüber hinaus auch gestattet, den Ausdruck für die Häufigkeit eines solchen Prozesses herzuleiten, wenigstens für den Fall, daß die simultan emittierten oder absor-

bierten Schallquanten untereinander alle verschiedene Frequenz haben.

Die Einzelheiten dieser Rechnung¹⁾ sollen hier nicht folgen. Die Überlegung ist vollkommen analog der eben durchgeführten und beweist, daß auch die Existenz der Vielfachstöße mit dem PLANCKSchen Gesetz verträglich ist. Das Ergebnis für die Häufigkeit der Vielfachstoßprozesse ist das folgende:

$$n_i(z_i - n_i) X_{i_s} \cdot \prod_{\sigma=1}^g \left(\varrho_{v_\sigma} + \frac{12\pi h \nu_\sigma^3}{q^2} \right) \text{ Emission,}$$

$$n_i(z_i - n_i) X_{s_i} \prod_{\sigma=1}^g \varrho_{v_\sigma} \text{ Absorption.} \quad (5)$$

Hier haben die Größen n und z die gleiche Bedeutung wie vorher. X_{i_s} und X_{s_i} sind zwei von den Eigenschaften des Elektronengases und von der Wechselwirkungsenergie zwischen diesem und dem Gitter abhängende Größen. Man kann, wie früher auch, schließen, daß $X_{i_s} = X_{s_i}$ sein muß. Endlich ist vorausgesetzt, daß bei dem ins Auge gefaßten Vielfachstoß eine gewisse Anzahl g Schallquanten mitwirken, die die untereinander verschiedenen Frequenzen $\nu_1; \nu_2; \nu_3 \dots \nu_g$ haben. Analog zur Gleichung (3) erhält man eine Beziehung zwischen dem Koeffizienten $A_{i_s}^{(g)}$ der vollständigen spontanen Emission von g Schallquanten und dem X_{i_s} .

$$A_{i_s}^{(g)} = \left(\frac{12\pi h}{q^3} \right)^g \cdot \nu_1^3 \cdot \nu_2^3 \cdot \nu_3^3 \dots \nu_g^3 \cdot X_{i_s}. \quad (6)$$

Eine von den Verfassern durchgeführte quantentheoretische Rechnung führt auf die gleiche Formel für die Abhängigkeit von den Schallquantenenergiedichten. Allerdings läßt sich dabei auch der Fall behandeln, daß mehrere der Lichtquanten zur gleichen Frequenz gehören, und schließlich läßt sich, natürlich prinzipiell, ein Ausdruck für die Größe X_{i_s} angeben, die in der thermodynamischen Herleitung offenbleiben muß.

Die Verfasser haben ferner gezeigt, daß in Gebieten, in denen die Vielfachstöße wirksam werden (etwa ab 500 K), die Größen ϱ , proportional zur abs. Temperatur sind und daß daher die Absorptionswahrscheinlichkeit proportional zu T^g wird. Dasselbe gilt auch für die Emission, da bei hohen Temperaturen ϱ , sehr groß gegen $\frac{12\pi h \nu^3}{q^3}$

¹⁾ Vgl. Heft 8, S. 105.

¹⁾ F. MÖGLICH, R. ROMPE, *Z. Physik*, **117**, 119, 1940

wird und dieser Ausdruck daher gegen q_ν vernachlässigt werden kann.

Es bleibt allerdings gänzlich offen, wie die beiden Energiegebiete ε_i und ε_s zueinander liegen. Diese könnten sowohl in einem Band wie in verschiedenen Bändern zu finden sein, ohne daß an der Überlegung sich etwas ändern würde. Besonders interessant aber sind die Fälle, bei denen aus bestimmten Gründen die Erzeugung von $1, 2, 3 \dots g-1$ Schallquanten unmöglich ist und erst g die Minimalzahl der Quanten ist, die vom Elektronengas emittiert werden kann. Es kann gezeigt werden, daß bei einer Reihenentwicklung des Wechselwirkungspotentials zwischen Elektronen und Gitter auch die für die Simultanemission von sehr vielen Schallquanten gültigen Übergangswahrscheinlichkeiten nicht verschwinden.

Ein solcher Fall liegt immer bei einem Isolator vor, bei dem durch Absorption elektromagnetischer Strahlung oder durch Anregung von Stößen Elektronen aus dem vollbesetzten unteren Band in das freie obere Band gebracht worden sind. Diese Elektronen können im allgemeinen nicht mehr in das untere Band unter Strahlung zurückfallen, weil die Erfüllung des Impulssatzes wegen der geringen Zahl freigewordener Plätze im unteren Band sehr unwahrscheinlich ist. Zwar ist die Zahl der freien Plätze im unteren Band genau so groß wie die Zahl der Elektronen im oberen Band, aber wegen der Schüttelwirkung der Wärmeenergie des Gitters und vor allem der Plasmawechselwirkung wird die Übereinstimmung der reduzierten Ausbreitungsvektoren eines Elektrons oben und eines freien Niveaus unten extrem selten eintreten. Dadurch wird also die Lebensdauer solcher angeregter Zustände um viele Zehnerpotenzen heraufgesetzt.

Die Elektronen, die jetzt praktisch im oberen Band eingesperrt sind, hätten nur noch die Möglichkeit, dadurch ins untere Band zurückzukehren, daß sie ein oder einige Schallquanten im Gitter erzeugen, wobei die Energiedifferenz zwischen dem unteren und oberen Band als Schallquantenenergie auftritt und die Impulse der Schallquanten dazu dienen, die Erfüllung des Impulssatzes zu garantieren.

Da die energetische Breite der verbotenen Zone zwischen den beiden Bändern im allgemeinen unvergleichlich viel größer ist als die Energie $h\nu_{\max}$ eines Schallquanten der maximalen Gitterfrequenz, so ist ein solcher Prozeß gerade dadurch ausgezeichnet, daß er eine Mindestzahl zu erzeugender Schallquanten verlangt. Für die Zahl g ist damit jedenfalls eine untere Grenze gefunden. Denn wenn η die Energiedifferenz zwischen dem unteren Rand des oberen und dem oberen Rand des unteren Bandes bedeutet, so muß g immer größer oder gleich $\eta : h\nu_{\max}$ sein. Ist ferner ΔE die Energiedifferenz zwischen einem von einem Elektron besetzten Niveau des oberen und einem freien Niveau des unteren Bandes, so ist g jedenfalls größer oder gleich $\eta : h\nu_{\max}$, und wir können g dann

gleich $\Delta E : h\bar{\nu}$ setzen, wobei $\bar{\nu}$ einen Mittelwert der bei einem g -fachen Stoß emittierten Frequenzen bedeutet. Ist die Zahl g groß, so wird dieser Mittelwert für die einzelnen Stöße relativ wenig streuen. Da im allgemeinen die Energiebreite der verbotenen Zone von der Größenordnung 50 bis 100 Quanten der Energie $h\nu_{\max}$ ist, so dürfte die Größe $\bar{\nu}$ hinreichend genau bestimmt sein. Da die Dichte der Eigenschwingungen mit steigender Frequenz zunimmt (und zwar wie ν^2), da ferner das Gebiet hoher Frequenzen, d. h. der Teil der ν -Achse, auf dem die Frequenzen der Größenordnung ν_{\max} liegen, 90% des ganzen Gebietes ausmacht, so kann man sagen, daß mit Sicherheit der Wert von $\bar{\nu}$ zwar kleiner, aber doch von der Größenordnung von ν_{\max} ist. Damit dürfte dann die Häufigkeit der Vielfachstöße von Elektronen, die nicht allzuweit vom unteren Rande des oberen Bandes entfernt liegen, proportional zu T^{50} bis T^{100} sein.

Das Leuchten der Selektivstrahler.

Die Vielfachstöße haben demnach die charakteristische Eigenschaft, erst bei bestimmten Temperaturen, dann aber sehr plötzlich in Erscheinung zu treten. Bei welcher Temperatur das stattfindet, läßt sich ohne erheblichen Rechenaufwand nicht sagen. Dazu müßte man den Wert der Größen $X_{i,s}$ kennen. Wie oben gesagt, ist zur Berechnung dieses Koeffizienten für einen Übergang über eine verbotene Zone von der 50fachen Breite von $h\bar{\nu}$ das 50. Glied in der Reihenentwicklung des elektrostatischen Wechselwirkungspotentials zwischen Gitterionen und Elektronen nach steigenden Potenzen der Verrückungskordinaten der Gitterbausteine maßgebend. Alles, was man allgemein von dem Koeffizienten $X_{i,s}$ sagen kann, ist, daß er sicher außerordentlich klein ausfallen wird. Die Folge davon ist, daß der Faktor T^{50} sich trotz der hohen Potenz von T doch erst bei relativ hohen Temperaturen bemerkbar machen kann. Dann allerdings wird die Häufigkeit dieser Prozesse derartig groß, daß alle anderen an sich noch möglichen Prozesse unterdrückt werden.

Mit dem Anwachsen der Häufigkeit dieser Vielfachstöße wächst auch die Wahrscheinlichkeit anderer Prozesse, die als Kombination einfacher Absorptions- bzw. Emissionsvorgänge von Strahlung mit Vielfachstößen angesehen werden können. Z. B. wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß gleichzeitig ein Lichtquant und viele Schallquanten vom Elektronengas absorbiert werden, relativ sehr groß werden, wenn die Wahrscheinlichkeit der Vielfachstöße allein so stark anwächst.

Diese neuen Prozesse haben deswegen eine so außerordentliche Bedeutung, weil durch sie das Elektronengas in die Lage versetzt wird, einer einfallenden Lichtstrahlung Quanten zu entnehmen, die an sich zu klein sind, um allein die Energiedifferenz zwischen den Bändern zu überwinden. Die Restenergie wird dann vom Gitter gedeckt.

Ebenso kann ein Elektron beim Übergang vom oberen ins untere Band die Energie so abgeben, daß ein Teil derselben durch Vielfachstöße ins Gitter übergeht und nur ein anderer Bruchteil als emittierte Strahlung auftritt. Dieser Prozeß macht sich also in einer grundlegenden Veränderung des Emissions- bzw. Absorptionsvermögens des Festkörpers bemerkbar. Nach diesen qualitativen Überlegungen ist daher zu erwarten, daß ein endliches Emissions- bzw. Absorptionsvermögen außerordentlich plötzlich bei einer bestimmten Temperatur in Gebieten auftritt, in denen bei etwas geringerer Temperatur der Körper noch ideal durchlässig war.

Ein solcher Vorgang wird nun auch tatsächlich beobachtet, und zwar bei isolierenden Selektivstrahlern, z. B. an reinem Quarzglas. Es ist bekannt, daß Quarzglas, dessen Durchlässigkeitsgebiet sich bis unter 1800 Å erstreckt, bei etwa 1200 K plötzlich Licht von weißlichgelber Farbe zu emittieren beginnt (Weißglut!). Dies ist ein Zeichen dafür, daß bei 1200 K der Quarz sogar schon im Gelben nicht mehr optisch durchlässig sein kann. Da bei etwa 1000 K das Absorptionsspektrum noch praktisch unverändert zu sein scheint, ist die Verschiebung der Absorptionsgrenze sehr stark, über 16 Å pro Grad!

Diese Erscheinung tritt in ihrer Plötzlichkeit um so klarer hervor, je reiner das Quarzmaterial in optischer und chemischer Hinsicht ist, d. h. je weniger Schlieren und Blasen einerseits, Verunreinigungen und Beimengungen andererseits vorhanden sind.

Enthält der Quarz Beimengungen, so tritt eine Verschiebung der Absorption nach langen Wellen bereits bei tieferen Temperaturen auf, allerdings dann mit nur etwa 1 Å/Grad, um schließlich bei Temperaturen über 1000 K wieder die oben genannten großen Beträge zu erreichen. Im ganzen wirkt sich das so aus, daß die Erscheinung weniger plötzlich einzusetzen scheint. Ähnlich verhalten sich auch Gläser, wo bereits bei niedrigen, weit unter dem Erweichungspunkt liegenden Temperaturen Verschiebungen der Absorptionsgrenze beobachtet werden.

So haben WEIZEL und WOLFF¹⁾ gefunden, daß mit wachsender Betriebsdauer nach dem Einschalten von Entladungsröhren aus Glas die Intensität des langwelligen Ultravioletts schwächer wird. Sie führten dieses Phänomen mit Recht auf eine Verlagerung der Absorptionsgrenze der benutzten Gläser nach langen Wellen unter dem Einfluß der Erwärmung zurück und untersuchten diesen Vorgang systematisch. Ihre Ergebnisse sind in Fig. 4 dargestellt. Es liegen also offenbar der Verschiebung der Absorptionsgrenze zwei verschiedene Mechanismen zugrunde: Der eine bewirkt eine allmähliche, von tiefsten Temperaturen an beginnende, dem Betrag nach kleine Verschie-

bung von etwa 0,1—1 Å/Grad, der andere eine plötzlich bei hohen Temperaturen einsetzende mit etwa 10—100 Å/Grad. Der Erstgenannte ist noch nicht restlos geklärt. Es scheint, daß die langsame Verschiebung durch die Modifikation der Bänder infolge der thermischen Ausdehnung verursacht wird, wodurch ja die Gitterkonstante vergrößert und damit die Aufspaltungsbreite und die Lage der Bänder beeinflusst wird. Damit wird auch das Verhalten des Quarzes bei Anwesenheit von Beimengungen verständlich, da bekanntlich durch solche der Ausdehnungskoeffizient des Quarzglases vergrößert wird (Zwischengläser).

Die starke, plötzlich bei hohen Temperaturen einsetzende Verschiebung haben RIEHL und die Verfasser mit dem Auftreten der Vielfachstöße in Zusammenhang gebracht¹⁾.

Die Vielfachstöße setzen infolge ihrer großen Häufigkeit bei hohen Temperaturen die Lebensdauer der Elektronenzustände im oberen Band sehr stark herab, und dieser Herabsetzung der Lebensdauer muß eine große Unschärfe der Energie der emittierten Strahlung entsprechen. Aus der Unge- nauigkeitsrelation

$$\Delta E \cdot \Delta t \sim \frac{h}{4\pi}$$

$$\text{bzw. } \Delta \nu \cdot \Delta t \sim \frac{1}{4\pi}$$

kann man dann, wenn man die Größe $\Delta \nu$ identifiziert mit dem Betrage, um den die langwellige Absorptionsgrenze ins sichtbare Gebiet vorrückt, die verkürzte Lebensdauer und damit die Stoßhäufigkeit der Vielfachstöße berechnen. Man gelangt so zu einer rohen Abschätzung von 10^{16} Vielfachstößen pro Sekunde, die mit anderen aus der Theorie der Phosphore ermittelten Werten dieser Stoßhäufigkeit ganz gut übereinstimmt.

Kompliziertere Erscheinungen bei Luminophoren.

Die erste und unmittelbarste Evidenz für das Auftreten der Vielfachstöße fanden die Verfasser bei den vielfältigen Erscheinungen der Phosphoreszenz an Zinksulfiden. Hier galt es, eine plausible Erklärung für die Prozesse der Tilgung und der Ausleuchtung zu finden, die das von SCHÖN und RIEHL²⁾ für diese Phosphore ersonnene energetische Modell nicht erklären konnte. Der Aufklärung dieser Punkte wollen wir uns nunmehr zuwenden.

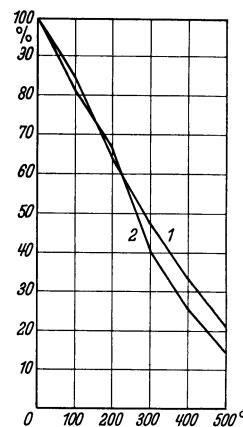


Fig. 4.
Kurve 1: Durchlässigkeit von Supraxglas bei 3150 Å.
Kurve 2: Durchlässigkeit von Abdellachglas bei 3350 Å.

¹⁾ W. WEIZEL, H. W. WOLFF, Z. techn. Physik 11, 368 (1930).

¹⁾ F. MÖGLICH, N. RIEHL, R. ROMPE, l. c.

²⁾ M. SCHÖN, l. c. — N. RIEHL, M. SCHÖN, l. c.

Der Grundgedanke für die Erklärung der Tilgung und der Ausleuchtung wie auch für die Abschätzung der Ausbeute bei Anregung von Phosphoren durch Korpuskularstrahlen ist immer der gleiche. Die Elektronen im oberen Bande des Phosphors, die durch Übergang in die Aktivatorterme Lichtstrahlung emittieren können, haben eine bestimmte, durch den Ausstrahlungsmechanismus gegebene endliche Lebensdauer im oberen Bande. Diese ist, da der Leuchtvorgang durch eine bimolekular verlaufende Rekombination zustande kommt, intensitätsabhängig. Bei mittleren Intensitäten ergeben sich Halbwertszeiten für die Elektronenkonzentration von 10^{-1} bis 10^{-2} sec. Diese durch den Rekombinationsprozeß festgelegte Zeit kann verkürzt werden, wenn es noch andere Prozesse gibt, mit deren Hilfe die Elektronen strahlungslos in die Aktivatorterme gelangen. Wenn die durch diese neuen Prozesse hervorgerufene endliche Lebensdauer wesentlich größer ist als die von der Existenz des Strahlungsfeldes herrührende Lebensdauer, so werden die strahlungslosen Prozesse gegenüber der Wirksamkeit des Strahlungsfeldes nicht in Betracht kommen. Wird aber die Lebensdauer der ohne und mit Strahlung verlaufenden Prozesse von der gleichen Größenordnung, so werden Strahlung und nichtstrahlender Prozeß gleich häufig auftreten, und die Strahlung wird hinsichtlich ihrer Intensität auf etwa den halben Wert herabgesetzt, weil naturgemäß die Hälfte aller zur Strahlung fähigen Atome von der Möglichkeit eines nichtstrahlenden Überganges Gebrauch macht. Wird die Häufigkeit der strahlungslosen Vorgänge um eine Größenordnung größer, so ist die Strahlungsintensität nur noch 10% der ursprünglichen, und wenn die Häufigkeit des mit der Strahlung konkurrierenden Prozesses noch größer wird, so wird die Strahlung praktisch ausgelöscht sein.

Bei den meisten Phosphoren, insbesondere bei den Phosphoren des ZnS-Typs, beobachtet man einen ziemlich plötzlich einsetzenden Rückgang der Quantenausbeute und damit schnelles Verschwinden der Fluoreszenzstrahlung mit wachsender Temperatur. Dieser Prozeß spielt sich in einem relativ engen Temperaturintervall, beim ZnS zwischen 400 und 450° , ab. Oberhalb 450° ist eine Phosphoreszenz nicht zu beobachten, unterhalb von 400° ist die Quantenausbeute (d. h. das Verhältnis der Zahl der absorbierten Quanten zu der Zahl der emittierten Quanten) von der Größenordnung 1. Es muß daher mit wachsender Temperatur sich ein strahlungslos verlaufender Konkurrenzprozeß eingeschaltet haben, der die Lebensdauer der Elektronen im oberen Band ab 450° um 2 Zehnerpotenzen gegenüber der bei 400° verkleinert.

Nach dem oben Angeführten kann darüber kein Zweifel mehr herrschen, welcher strahlungslose Prozeß in Konkurrenz zu den Strahlungsübergängen auftritt. Denn abgesehen von der Schwierigkeit, weitere Prozesse mit großer Übertragener

Energie zu entdecken, zeigt doch die charakteristische Temperaturabhängigkeit dieses Effektes ganz deutlich, daß er auf das Wirken der Vielfachstöße zurückgeführt werden muß. Versucht man quantitativ abzuschätzen, soweit das spärliche Material über diesen Prozeß es zuläßt, wieviel Schallquanten bei der Tilgung beteiligt sein müssen, so findet man ungefähr die Zahl 60, wenn man das Verhältnis der Lebensdauern bei 750 K und bei 700 K zu 10^{-2} annimmt. Hierbei wird die Differenz zwischen dem oberen Band und den Aktivatortermen mit $2,5$ eVolt angesetzt. Es ergeben sich durchaus plausible Verhältnisse, die Vielfachstoßhäufigkeit nimmt also mit T^{60} zu.

Bei einem Phosphor ist die Quantenausbeute ferner eine Funktion der eingestrahlten Frequenz¹⁾. Obgleich zwar das Emissionsspektrum als solches bei einem Phosphor sich wesentlich als unabhängig von der eingestrahlten Frequenz erwiesen hat (wenigstens innerhalb des Gebietes der überhaupt wirksamen Strahlung), ist die Quantenausbeute stark von der Frequenz abhängig (Fig. 5). In der Nähe der langwelligen wirksamen Grenze ist die

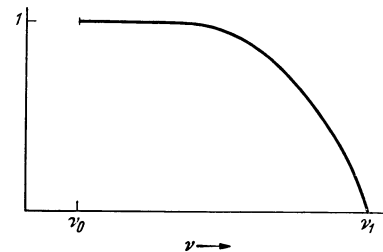


Fig. 5. Abhängigkeit der Quantenausbeute von der Frequenz der einfallenden Strahlung. Auf der Ordinate ist das Verhältnis der Zahl der absorbierten zur Zahl der emittierten Lichtquanten aufgetragen. ν_0 ist die Minimalfrequenz, bei der der Phosphor zu arbeiten beginnt, ν_1 die Grenze vollständiger Auslöschung. $\nu_1 - \nu_0$ ist bei den meisten Phosphoren bei Zimmertemperatur von der Größenordnung 10^{14} .

Quantenausbeute konstant und bei nicht zu hohen Temperaturen praktisch 1 und sinkt mit wachsender Frequenz ziemlich schnell auf kleine Werte ab. Dies bedeutet, daß, obgleich kurzwellige Strahlung absorbiert wird, die Emission der Fluoreszenz trotzdem ausbleibt. Die Frequenz, bei der die Fluoreszenz verschwindet, ist temperaturabhängig, und mit wachsender Temperatur verschiebt sich diese Grenze zu kleineren Frequenzen.

Auch diese Erscheinung wird durch die Vielfachstöße erklärt. Je höher ein Elektron ins obere

¹⁾ Wie von RIEHL gefunden, wächst sie außerdem mit der Intensität: Hier liegt offenbar der umgekehrte Fall vor, wie bei der Temperaturexlöschung. Die Vielfachstoßhäufigkeit ist konstant, und die Lebensdauer der Elektronen im oberen Band verkürzt sich mit wachsender Intensität der absorbierten Strahlung, so daß sich das Verhältnis zugunsten der Ausstrahlung verschiebt.

Band geschoben wird, um so größer ist die Energie, die es an das Gitter abgeben kann. Daher werden bei Elektronen, die durch kurzwellige Strahlung ins obere Band gehoben werden, zum Zwecke des Rücktransportes mehr Schallquanten mitzuwirken haben als bei einem Elektron, das nur in die Nähe des unteren Randes des oberen Bandes gelangt. Daher wird im ersten Falle der Exponent $\Delta E/h\bar{\nu}$ von T größer sein als im zweiten Falle. Zwar ist die relative Häufigkeit der Vielfachstöße auch noch abhängig von den Größen $X_{i,s}$, und wenn sich bei gleichem Endzustand s der Anfangszustand i zu höheren Energien verlagert, wird man im allgemeinen zu erwarten haben, daß $X_{i,s}$ mit wachsendem i kleiner wird. Im allgemeinen aber wird diese Größe als Funktion von E_i (Energie des Zustandes i) sich nur unwesentlich mit wachsendem E_i verändern. Die Veränderung, die das Wachsen der Größe E_i an der Temperaturfunktion hervorbringt, ist aber die Hinzufügung eines

Faktors $T^{-1} \frac{E_i - E_0}{h\bar{\nu}}$, wo E_0 etwa die Energie am unteren Rande des oberen Bandes bedeutet. Das Produkt aus beiden Größen wird daher in jedem Falle, und zwar im allgemeinen stark, mit wachsendem E_i zunehmen. Die Elektronen, die mit großer Energie in das obere Band gehoben werden, kommen daher in Gebiete, in denen die Häufigkeit der Vielfachstöße wesentlich größer ist als am unteren Rande des oberen Bandes. Die Konkurrenz der Vielfachstöße mit den Strahlungsübergängen kann daher für hohe Energien der Elektronen so groß geworden sein, daß praktisch alle Elektronen ohne Strahlung in die Aktivatorterme übergehen, während die vom Rande des oberen Bandes in die Aktivatorterme übergehenden Elektronen noch ausschließlich Strahlung emittieren.

Für den Tilgungsprozeß ist allerdings notwendig, daß die Stoßhäufigkeit wesentlich größer als 10^{10} pro Sekunde ist. Wäre dies nämlich nicht der Fall, so würde die Plasmawechselwirkung dafür sorgen, daß die Elektronen erst strahlungslos an den unteren Rand des oberen Bandes gelangen. Damit würden aber die Elektronen in ein Gebiet hineingeraten, in dem die Vielfachstöße nicht mehr maßgebend sind. Da die Stöße der Elektronen untereinander die Häufigkeit 10^{10} und mehr haben, so wird eine Tilgung praktisch erst in solchen Gebieten auftreten, in denen die Stoßhäufigkeit der Vielfachstöße etwa die Größe 10^{12} hat. Damit hätte man die Möglichkeit einer Abschätzung für die Häufigkeit der Vielfachstöße, wenn man genau angeben könnte, für welche Frequenzen des eingestrahlten Lichtes die Tilgung wirklich vollständig ist. Für diesen Wert der Energie könnte man die Häufigkeit der Vielfachstöße etwa zwei Zehnerpotenzen größer annehmen als die der Stöße der Elektronen untereinander und daraus rückwärts für die übrigen Gebiete die Häufigkeit ausrechnen. Leider aber sind die Angaben, bei welchen Frequenzen die Tilgung beginnt, nur ganz qualitativ. Immer-

hin wollen wir zur Fixierung der Vorstellung angeben, daß, wenn am unteren Rande des oberen Bandes die Häufigkeit der Vielfachstöße bei Zimmertemperatur 10^7 ist, die Grenze der Tilgung nur $1/10$ eVolt höher liegt. Liegt aber — wieder bei Zimmertemperatur — die Tilgungsgrenze um 1 Volt über dem unteren Rande des oberen Bandes, so ist die Häufigkeit der Vielfachstöße am Rande des Bandes 10^{-48} , d. h. es findet dann am unteren Rande des Bandes nur jede 10^{48} ste Sekunde ein einziger Vielfachstoß statt. Diese Zahlen zeigen, wie scharf an sich die Grenze der Tilgung definiert sein muß.

Übrigens kann man auch noch das folgende Zahlenbeispiel angeben. Angenommen ein Phosphor, bei dem die Auslöschung durch Erwärmung bei 700 K beginnt und bei 750 K beendet ist. Für Zimmertemperatur findet man die Häufigkeit der Vielfachstöße am unteren Rande des oberen Bandes zu 10^{-3} . Es liegt dann die Tilgungsgrenze bei Zimmertemperatur $1/5$ eVolt oberhalb des Randes des oberen Bandes. Dieses Zahlenbeispiel dürfte ganz roh für Zinksulfidphosphore zutreffen.

Derselbe Mechanismus setzt natürlich auch ein, wenn die Elektronen aus den Anlagerungsstellen nicht durch langwelliges, sondern durch kurzwelliges Ultrarot in das obere Band befördert werden. Auch dann geraten die Elektronen zu hoch in das unbesetzte Band hinauf und werden von den Vielfachstößen in die Aktivatorterme hinunterbefördert.

Anregung von Leuchtstoffen durch Kathoden- und α -Strahlen¹⁾.

Bekanntlich können Kristallphosphore außer durch Absorption von kurzwelligem Licht auch durch Beschießen mit Elektronen (Kathodenstrahlen) oder auch α -Teilchen zum Leuchten gebracht werden. Die Eigenschaften dieser Emission sind, wie man aus Untersuchungen von KNOLL²⁾ und von RIEHL³⁾ schließen kann, die gleichen wie bei Strahlungsanregung. Die energetische Ausbeute ist bei Elektronenanregung 5—8%, bei Anregung mit α -Teilchen etwa 80%. Die bessere Ausbeute bei Anregung mit schweren Teilchen macht sich bekanntlich schon dadurch bemerkbar, daß nur diese Szintillationen auf Leuchtschirmen hervorbringen, während bei Elektronenbeschuß solche nicht beobachtet werden.

Für das Eindringen von Elektronen in Kristalle ist empirisch eine Abhängigkeit der Eindringtiefe von der 4. Potenz der Geschwindigkeit der auf fallenden Elektronen gefunden worden, also dieselbe, die sich für das Eindringen schneller Elektronen in ein Plasma ergibt [s. Gl. (1)]. Die Verfasser kamen auf Grund dieses Sachverhaltes zu dem

¹⁾ F. MÖGLICH, R. ROMPE, Z. f. techn. Phys. 21, 304, 1940; Phys. Z. 41, 552, 1940.

²⁾ M. KNOLL, Z. Phys. 116, 385, 1940.

³⁾ N. RIEHL, Ann. d. Phys. (5) 11, 103, 1931.

Schluß, daß die Wechselwirkung der in den festen Körper eindringenden Elektronen offenbar erschöpfend durch den Plasma-Relaxationsvorgang beschrieben wird. Die Wechselwirkung muß daher vorwiegend als von den im Festkörper als hinlänglich frei anzusehenden Elektronen herrührend betrachtet werden, während eine Wechselwirkung zwischen dem einfallenden Elektron und dem Gitter vernachlässigt werden kann. Solange die Energie des Primärteilchens groß ist gegen die Breite der verbotenen Zonen, wird man in der Tat die Elektronen als frei ansehen dürfen, d. h. man kann das Elektronengas klassisch behandeln.

Auch für die Wechselwirkung des α -Teilchens ist anzunehmen, daß sie von den Elektronen allein herrührt. Zwar ist die Eindringtiefe für diese Teilchen nur v^2 oder v^3 proportional, doch kann man auf Grund von Untersuchungen von BETHE¹⁾ schließen, daß auch für diesen Fall der größte Teil der Energie an die Elektronen des Festkörpers abgegeben wird.

Auf der anderen Seite besteht experimentell kein Hinweis anzunehmen, daß der eigentliche Leuchtmechanismus in beiden Fällen verschieden ist oder von dem von SCHÖN und RIEHL behandelten Falle der Anregung durch Strahlung wesentlich abweicht.

Somit kann der Unterschied in der Ausbeute nur im Ablauf, nicht aber in der Art der Zwischenprozesse liegen: In beiden Fällen erzeugt das Primärteilchen Sekundärelektronen, diese wieder Tertiärelektronen usw. Zum Schluß müssen, um den Leuchtmechanismus zu betätigen, langsame Elektronen übrigbleiben, welche gemäß unseren Erfahrungen über die Quantenausbeute bei kurzweiliger Einstrahlung eine Energie von etwa $\eta + 1$ eVolt besitzen, wenn η die Breite der verbotenen Zone ist. Elektronen, deren Energie größer

ist als $\eta + 1$ eVolt, gehen, wie wir bereits ausführten, strahlungslos durch Vielfachstöße in die Aktivatorterme bzw. das untere Band hinunter. An derartigen langsamen Elektronen bleiben im Falle der

Kathodenstrahlenanregung etwa $0,1 \cdot \frac{E}{\eta + 1}$, bei α -Teilchen $0,8 \cdot \frac{E}{\eta + 1}$ übrig. Alle anderen werden

durch Vielfachstöße unwirksam gemacht. Wir nehmen der Einfachheit halber an, daß für alle Elektronen, soweit ihre Energie größer als $\eta + 1$ ist, eine konstante „Sterbenswahrscheinlichkeit“ existiert. Dann wird die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Elektrons von seiner Wirkungsdauer im Kristall, d. h. vom Beginn seiner Erzeugung bis zur Abbremsung auf einen Energiebetrag von höchstens $\eta + 1$ eVolt abhängen, also von seiner Relaxationsdauer gemäß Gl. (1), d. h. proportional zur 3. Potenz der Geschwindigkeit sein; sie nimmt also mit der Geschwindigkeit stark zu.

Aus der bekannten Häufigkeit der Vielfachstöße (s. o.) kann man abschätzen, daß die mittlere Stoßzeit für Vielfachstöße bei 10 KV-Elektronen um eine Größenordnung kleiner ist als die Relaxationszeit dieser Elektronen, d. h. daß übereinstimmend mit dem experimentellen Befund die Ausbeute etwa 0,1 ist.

Demgegenüber besitzt die Energieabgabe der α -Teilchen einen wesentlichen Unterschied. Ein α -Teilchen erzeugt Sekundärelektronen von sehr viel kleinerer Energie, nämlich um den Faktor $m : M$ kleinerer, wo m bzw. M die Massen von Elektron bzw. α -Teilchen bedeuten. Die so entstehenden Elektronen haben demgemäß eine um $(m/M)^2$ kleinere Relaxationsdauer, sind also in der Konkurrenz gegen die als konstant angenommene Sterbenswahrscheinlichkeit sehr bevorzugt. Da für Elektronenstoßanregung etwa 10 % Ausbeute sich ergeben, sind für α -Teilchen Ausbeuten von nahezu 100 % plausibel.

¹⁾ H. BETHE, Ann. d. Phys. (5) 325, 1930.

Kurze Originalmitteilung.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Sichtbarmachung einer Gitter-Umklappung.

Reaktionen im festen Zustand, bei denen sich aus einer festen Phase eine andere bildet, also auch Phasenumwandlungen, verlaufen im allgemeinen so, daß im Innern oder an Begrenzungen der alten Phase sich Keime der neuen bilden, von denen aus die neue Phase auf Kosten der alten in diese hineinwächst. Die Phasengrenzlinie, mikroskopisch als „Beckesche Linie“ beobachtbar, wandert dabei mit meßbarer Geschwindigkeit durch das Präparat hindurch. Dieser Ablauf läßt sich thermodynamisch plausibel machen (OSWALD, LANGMUIR) und ist durch verschiedene Beobachtungsmethoden in zahllosen Fällen sichergestellt und auch reaktionskinetisch in allen Folgerungen (Autokatalyse) geprüft worden. Seine Grundlage ist das Vorliegen einer bestimmten statistischen Wahrscheinlichkeit für Gitterbausteine der alten Phase an der Phasengrenze, bei Vorliegen eines bestimmten minimalen Energieinhalts durch Platzwechsel in die der neuen Phase entsprechende Lage überzugehen. Man ist allgemein der Ansicht, daß Gitterumwandlungen immer nach diesem Mechanismus vor sich gehen¹⁾.

Erst in neuerer Zeit hat man sich die Frage gestellt, ob nicht auch Phasenübergänge der Art möglich sind, daß

ein ganzes Gitter gleichzeitig in die neue Form übergeht — „umklappt“. Das ist dann möglich, wenn bestimmte Netzebenen des Gitters in gleicher Besetzung im neuen Gitter wiederkehren, so daß durch Gleitung längs dieser Ebenen in bestimmten Richtungen das neue Gitter entsteht. Statt einzelner Gitterbausteine würden dann ganze Netzebenen springen. Diese Voraussetzungen führen zu Umwandlungsgeschwindigkeiten von der Größenordnung der Schallgeschwindigkeit auch noch bei den tiefsten Temperaturen, so daß ein Abschrecken der metastabilen Phase außerhalb ihres Existenzbereiches durch rasche Abkühlung nicht möglich sein sollte. Hingegen sollten elastische Spannungen, die die Gleitung erschweren, zu Temperaturhysterese führen können.

In der Tat hat man bei einigen durchweg metallischen Systemen, nämlich bei Zr, Co, Ti, Ni-haltigem Fe und bei der Austenit-Martensit-Umwandlung röntgenographisch Umwandlungen festgestellt, bei denen die geforderten kristallographischen Beziehungen beider Phasen und die Unabschreckbarkeit in flüssiger Luft erfüllt sind²⁾. Kinematographische Aufnahmen³⁾ zeigten auch das diskontinuierliche Auftreten von Martensitnadeln im Austenitgefüge.

Es ist uns nun anscheinend im Laufe einer Untersuchungs-

reihe über Umwandlungsvorgänge gelungen, eine solche Umklappung in einem Salzkristall unmittelbar zur bequemeren visuellen Beobachtung zu bringen. Kaliumdichromat $K_2Cr_2O_7$ besitzt einen Umwandlungspunkt bei $236,8^\circ$, wo die gewöhnliche triklinische Form in die monokline Hochtemperaturform übergeht und umgekehrt. Wenn man nun im Polarisationsmikroskop einen triklinischen Kristall dieses Salzes bei gekreuzten Nikols in die Stellung stärkster Auslöschung bringt und ihn dann erwärmt, so tritt beim Umwandlungspunkt oder meist einige Grade darüber *blitzartig* eine Aufhellung des *ganzen* Kristalls auf, der dabei gewöhnlich in mehrere Bruchstücke zerspringt. Eine wandernde Phasengrenze ist dabei niemals zu beobachten. Die entstandenen monoklinen Bruchstücke haben alle dieselbe Orientierung, d. h. sie löschen zwischen gekreuzten Nikols sämtlich in derselben Stellung aus, die von der Auslöschungsstellung des triklinischen Mutterkristalls um etwa 20° nach rechts oder links verschoben ist. Senkt man die Temperatur, so tritt wiederum blitzartig im Umwandlungspunkt oder etwas darunter eine Aufhellung aller Bruchstücke ein, aber nacheinander und unabhängig voneinander. Sie zerfallen dabei meist wiederum in kleinere Stücke. Soweit bei ihnen eine Auslöschungsstellung noch zu beobachten ist, liegt sie bei verschiedenen Stücken stets um 20° rechts oder links von der Auslöschungsstellung der monoklinen Stücke. Das Spiel läßt sich vielfach wiederholen, und jedesmal hat die monokline Form dieselbe Orientierung, die triklinische eine der erwähnten beiden. Wenn die Teilchen eine Größe von etwa $0,03$ mm unterschreiten, so tritt das Umklappen zuweilen auch ohne Zerbrechen des Stückes, aber sonst in gleicher

Weise ein; zuletzt bleibt sie auch ganz aus, d. h. die Temperaturhysterese wird so groß, daß die Umwandlung nicht mehr im Meßbereich auftritt.

Es sprechen alle Anzeichen dafür, daß wir es hier mit einem der besprochenen Umklappvorgänge zu tun haben. Das Zerplatzen bei der Umwandlung hat mit der Erscheinung an sich nichts zu tun; es ist, wenigstens bei der Abkühlung, schon bekannt und wurde von SAHMEN und TAMMANN⁴⁾ durch den sehr großen Dichtesprung bei der Umwandlung erklärt. Die hierher rührende Größe der Schubspannungen erklärt aber die großen Temperaturhysteresen im Sinne der Theorie der Umklappvorgänge. Ebenso liegen die Orientierungsbeziehungen der beiden Phasen im Sinne dieser Theorie.

Es ist uns bisher nicht gelungen, das eindrucksvolle Phänomen bei noch anderen Stoffen zu beobachten.

Piräus (Griechenland), Abteilung für Anorganische, Physikalische und Katalytische Chemie des Instituts für Chemie und Landwirtschaft „Nikolaos Kanelopoulos“, den 22. Januar 1941.

GEORG-MARIA SCHWAB. ELLY SCHWAB-AGALLIDIS.

¹⁾ Siehe z. B. S. LEONHARDT u. W. BORCHERT, Naturwiss. 24, 412 (1936).

²⁾ U. DEHLINGER, Erg. exakt. Naturwiss. 10, 325 (1931) — Z. Metallkde 25, 62 (1933) — Z. Physik 105, 21 (1937). — H. SHOJI, Z. Kristallograph. 77, 381 (1931). — BURGER, Z. Kristallograph. 96, 182 (1937) — Chem. Zbl. 1938 II, 492.

³⁾ H. WIESTER, Z. Metallkde 24, 276 (1932).

⁴⁾ R. SAHMEN u. G. TAMMANN, Z. Kristallograph. 41, 283 (1906).

Besprechungen.

MÜLLER, EUGEN, **Neuere Anschauungen der organischen Chemie.** — Organische Chemie in Einzeldarstellungen, herausgegeben von H. BREDERECK und E. MÜLLER. Band I, X., 391 S. u. 40 Abbild. 16 cm \times 23 cm. Berlin: Julius Springer 1940. Preis geh. RM 27.—, geb. RM 28.80.

„Organische Chemie in Einzeldarstellungen“ nennt sich eine von H. BREDERECK und E. MÜLLER herausgegebene Sammlung, die „in vorausschauender Planung zusammenfassende Darstellungen der verschiedensten Gebiete der organischen Chemie sammeln will, um einer weiteren Zersplitterung des deutschen chemischen Buchwesens vorzubeugen und das Auffinden des einschlägigen Schrifttums zu erleichtern“. Diese Sammlung konnte nicht besser eingeführt werden als durch den vorliegenden I. Band von EUGEN MÜLLER, in dem neuere Anschauungen der organischen Chemie in ebenso meisterhafter wie anregender und kritischer Weise wiedergegeben werden. Fußend auf der „in ihren Grenzen stets von gleichem Wert bleibenden“ Strukturlehre werden Eigenschaften und Reaktionsweisen organischer Verbindungen unter dem Gesichtspunkt der Elektronentheorie gedeutet. Der Inhalt des Buches ist nach dem Bindungszustand des Kohlenstoffs gegliedert. Im leicht lesbaren ersten Kapitel über die einfache Atombindung werden die Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung, die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung, die Kohlenstoff-Halogen-Bindung, die Kohlenstoff-Sauerstoff- und die Kohlenstoff-Schwefel-Bindung und die Kohlenstoff-Stickstoff-Bindung betrachtet, denen sich eine Darstellung der Ammonium- und Sulfonium-Verbindungen und der semipolaren Bindung anschließt. In dem Abschnitt über die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung findet sich eine Darstellung der BAEYERSchen Spannungstheorie in ihrer heute gültigen Form und eine sehr wertvolle Zusammenfassung über das Wesen der optischen Aktivität. Das 2. Kapitel bildet den Schwerpunkt des Buches in der Darstellung der doppelten Atombindung. Bei ihrer elektronischen Deutung wird der Begriff der Mesomerie eingehend erläutert,

der nunmehr in seinen Grundlagen die Betrachtung der Eigenschaften und Reaktionen ungesättigter Verbindungen mit isolierten, kumulierten, konjugierten Doppelbindungen, mit Kohlenstoff-Sauerstoff- und Stickstoff-Stickstoff-Doppelbindungen oder mit aromatischem Bindungssystem beherrscht. Im 3. Kapitel über die dreifache Atombindung bietet besonders der Abschnitt über die Stickstoff-Stickstoff-Dreifachbindung eine große Reihe neuer Gesichtspunkte bei der Betrachtung der Diazoverbindungen und Azide im Sinne der neuen Vorstellungen. Im 4. Kapitel, das den freien Radikalen gewidmet ist, spürt man die entscheidenden Beiträge, die man dem Verfasser selbst in der experimentellen und theoretischen Bearbeitung gerade dieses Gebietes — insbesondere durch das Studium der magnetischen Eigenschaften der Radikale — verdankt. Im 5. und 6. Kapitel werden die in den ersten Abschnitten des Buches gewonnenen Erkenntnisse verwendet, um intramolekulare Änderungen der Struktur und die zwischen Konstitution und Farbe bestehenden Beziehungen zu deuten.

Die Elektronentheorie war im deutschen Schrifttum der organischen Chemie nicht in dem Maße berücksichtigt, wie sie es verdient. Diese Lücke füllt in vorbildlicher Form die Darstellung von EUGEN MÜLLER aus, die entsprechend dem Vorwort des Verfassers mit Recht für sich in Anspruch nehmen darf, nicht etwa um des reinen Theoretisierens willen geschrieben worden zu sein. Die neuen Anschauungen werden durch die Laboratoriumsarbeit des organischen Chemikers, verbunden mit den Ergebnissen des Physikers, allmählich entwickelt; sie müssen heute Allgemeingut werden und werden dann sicher zu mancher neuen Arbeit im Laboratorium anregen. Wir wollen dem Verfasser danken, daß er uns dazu durch die von ihm geleistete, sicher nicht leichte Arbeit den Weg weist und seinem auch äußerlich vorzüglich ausgestatteten Buch weiteste Verbreitung wünschen.

A. BUTENANDT, Berlin-Dahlem.

THOMSON, G. P., und W. COCHRANE, **Theory and Practice of electron diffraction.** London: Macmillan and Co. 1939. XI, 334 S., 109 Abb. und 10 Tafeln. 14 cm × 22 cm. Preis geb. Sh 18/—.

„Wir haben versucht, in diesem Buch eine leidlich vollständige Behandlung des Gegenstandes von der theoretischen und von der praktischen Seite zu geben, aber die Theorie ist unter dem Gesichtspunkt des Experimentalphysikers geschrieben, und wir haben nicht angestrebt, uns vollständig auf die schwierigen Fragen philosophischer Art einzulassen, die mit einer logischen Formulierung der Quantentheorie verknüpft sind. Doch hoffen wir, bei unseren Bemühungen, ein für den praktischen Physiker leicht zu erfassendes Bild zu geben, nichts gesagt zu haben, was uns den Fluch der orthodoxen Schule der Quantenphysiker zuzöge.“

Die Verfasser gehen von dem Eindruck aus, daß trotz der vielen Erfolge der Elektroneninterferenzuntersuchungen und trotz der Verschiedenartigkeit ihrer Anwendungen auf physikalische und chemische Probleme viele, die sie anwenden könnten, noch von der Scheu vor Versuchs- und Deutungsschwierigkeiten zurückgehalten werden. Sie schildern daher eingehend die Versuchstechnik und sehen die Kapitel, in denen Aussehen und Deutung der bei den üblichen Verfahren auftretenden Bilder behandelt wird, als den eigentlichen Kern des Buches an.

Auf drei einführende Abschnitte, die mit den Grundbegriffen der Wellenlehre beginnen, folgt ein eingehenderes Kapitel „Experimenteller Nachweis der Elektronenwellen“, das mit den DAVISSON-GERMERSchen Versuchen von 1927 beginnt, mit den THOMSON-REIDschen von 1927/28 fortfährt und die Prüfung von Debye-Scherrer-Ringen eingehend an Zahlen der THOMSONschen Beobachtungen von 1928 erläutert. Die vier nächsten Kapitel bringen Theorie, das fünfte eine kurze, aber durch bestimmte persönliche Stellungnahme zu grundsätzlichen Fragen belebte Wiedergabe der Grundgedanken zur theoretischen Deutung (Welle, Wahrscheinlichkeit, Kohärenz), das sechste führt das reziproke Gitter ein und geht darin bis zur LAUE-MENZERSchen Behandlung des begrenzten Kristalls, das siebente behandelt Intensitätsfragen (Atom- und Gitterfaktor, Absolutintensität, Eingreifen der unelastischen Stöße), das achte schließlich betrachtet „einige sekundären Vorgänge“, nämlich Brechung, Kikuchilinien, Enveloppen. Nun folgt — man ist an dem eingangs erwähnten „Kern“ des Buches — das neunte Kapitel: „Die Haupttypen des Beugungsbildes und ihre Deutung.“ Zunächst werden systematisch die Einzelheiten aufgezählt, die man im Durchstrahlungsbild und im Reflexionsbild, an poly- und an monokristallinem Material, bei fester Stellung und mittels Rotation des Streukörpers zu sehen bekommen kann. Die nun folgenden Bemerkungen zur Interpretation beschäftigen sich, da die Deutung der Grundzüge schon in den vorangegangenen Abschnitten behandelt wurde, in besonderem Maß mit Einzelheiten und ungewöhnlicheren Zügen und nehmen Stellung dazu, wie sie zu deuten sind. Dies ist natürlich eine der Stellen, an denen sich besonders stark geltend macht, daß Autoren sprechen, die nicht einfach referieren, sondern selbst produktiv auf dem behandelten Gebiet tätig sind und aus einer Erfahrung von ungewöhnlichem Umfang heraus auch zu schwebenden Fragen Stellung nehmen. Anschließend wird die Messung des inneren Potentials behandelt.

Die zweite Hälfte des Buches behandelt zunächst Anwendungen von praktischem Interesse, nämlich

Wachstum (dünne Schichten), Politur, Fette und Schmierung. Nachdem dies durch eine schlagwortartige Übersicht über weitere Anwendungen beendet ist, folgen: Experimentiertechnik, Beugung an Gas-molekülen, Beobachtung mit langsamen Elektronen, eine an BETHE anknüpfende kurze Darstellung der Grundlinien der dynamischen Theorie und ein kurzer Abschnitt über Polarisierung.

Gute Register, brauchbare Reproduktionen, ausgezeichnete Druck, wenig Druckfehler. Man vermißt an den Seitentiteln die Kapitelnummern, nach denen im Text regelmäßig zitiert wird.

An Reichhaltigkeit, Frische der Darstellung, Klarheit der Stellungnahme entspricht das Buch der hohen Erwartung, die man nach den Namen seiner Verfasser hegt.

KOSSEL, Danzig.

RUTTNER, FRANZ, **Grundriß der Limnologie.** Hydrobiologie des Süßwassers. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1940. V, 167 S., 39 Abbild. 15 × 23 cm. Preis: geb. RM 6.—.

RUTTNERs Grundriß der Limnologie ergänzt die bisher vorliegenden Einführungen in die Limnologie in vorzüglicher Weise. Die drei ältesten (THIENEMANN 1925, LENZ 1928, BREHM 1930) sind von Limnologen geschrieben, die von der Zoologie aus zu dieser Wissenschaft kamen; infolgedessen ist bei ihnen das Botanische etwas stiefmütterlich behandelt, ein Mangel, dem, wie schon in STEINECKES kürzlich an dieser Stelle besprochenen Buch „Der Süßwassersee“, nun auch in dem vorliegenden Grundriß abgeholfen wird. In den letzten beiden Jahrzehnten hat die Erforschung der physikalischen und chemischen Verhältnisse der Binnengewässer und ihrer Abhängigkeit von den Lebensvorgängen einen gewaltigen Aufschwung genommen. Daher hat RUTTNER, der an dieser Entwicklung selbst ein großes Verdienst hat, „das Wasser als Lebensraum“ in den Mittelpunkt seiner Darstellung gerückt und ihm die Hälfte des Textes eingeräumt. Von den Lebensgemeinschaften der Binnengewässer wurde das Plankton, als Beispiel, ausführlich behandelt, während die anderen Lebensgemeinschaften nur in großen Zügen dargestellt wurden. Das Buch ist die Frucht der an der Biologischen Station Lunz alljährlich abgehaltenen Lehrgänge; daher sind bei der Wahl der Beispiele die Verhältnisse der Lunzer Gewässer besonders herangezogen worden. Daß auch die reichen wissenschaftlichen Erfahrungen, die RUTTNER während der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition 1928/29 gewonnen hat, in ausgedehntem Maße verwertet wurden, ist selbstverständlich. RUTTNERs Grundriß stellt eine der wertvollsten Neuerscheinungen auf limnologischem Gebiete dar; er ist ein sicherer Führer für den Limnologiestudierenden und bietet eine Fülle von Tatsachen und Anregungen, für die auch der ältere Limnologe dem Verf. zu Dank verpflichtet ist. Das Buch wird bald zum unentbehrlichen Rüstzeug jedes Limnologen gehören. Es wendet sich dabei aber überhaupt an alle, die durch ihre wissenschaftlichen Interessen oder durch ihren Beruf veranlaßt werden, sich mit den Gewässern und den Vorgängen, die sich darin abspielen, näher zu befassen; also nicht nur an Studierende der Biologie und Limnologie, an Vertreter der theoretischen und praktischen Fischereiwirtschaft, sondern auch an Geographen, Geologen und an die Techniker des Wasserbaues, die häufig vor Fragen gestellt werden, die nur bei einer ganzheitlichen, limnologischen Betrachtungsweise einer befriedigenden Lösung zugeführt werden können.

A. THIENEMANN, Plön.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

7. März 1941

Heft 10

Zum 40-jährigen Jubiläum des Wärmestrahlungsgesetzes.

Von M. v. LAUE.

Als eine (etwas verspätete) Erinnerung an den 14. Dezember 1900, an welchem M. PLANCK sein Strahlungsgesetz vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft quantentheoretisch begründete, sei hier der folgende Brief von E. PRINGSHEIM und O. LUMMER an ihn vom 24. Oktober 1900 mitgeteilt. Zum Verständnis muß man sich die folgenden Daten in die Erinnerung rufen:

Am 2. Februar 1900 hatte LUMMER vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft¹⁾, am 18. September 1900 auf der Naturforscherversammlung auf Grund von Messungen von ihm selbst und PRINGSHEIM ein Strahlungsgesetz vorgeschlagen von der Form

$$E = C T^{5-\mu} \lambda^{-\mu} e^{\frac{c}{\lambda T} \nu},$$

¹⁾ O. LUMMER und E. PRINGSHEIM, Verh. dtsch. phys. Ges. 2, 163 (1900).

und zwar mit den Werten

$$\mu = 4, \quad \nu = 1, 3.$$

Am 19. Oktober 1900 hatte PLANCK vor der Deutschen Physikalischen Gesellschaft²⁾ in einer nicht durch die Tagesordnung angekündigten Bemerkung zu einem Vortrage F. KURLBAUMS zum ersten Male sein Strahlungsgesetz mit einer halbempirischen, interpolatorischen Begründung bekannt gegeben. Darauf bezieht sich der Brief. Die Grenzfälle, von denen sein letzter Abschnitt spricht, sind das RAYLEIGHsche und das WIENSche Strahlungsgesetz.

²⁾ M. PLANCK, ebenda 2, 202 (1900).

Physikalisch-Technische
Reichsanstalt

Lang 25 10 00
S. 100

Chrudimburg, den 24. Oktober 1900
March 22

Sehr geehrter Herr Professor!

Ob Sie mir schon in der D. Ph. Ges. mitgeteilt haben, gibt Ihre Formel:

$$E = \frac{C \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T} - 1}}$$

mit den "Wärmestrahlen" Constanten meines La. oberflächigen zugehörigen λ um 11 μ nicht ganz so genau misst. Ihre Abweichungen sind noch größer, wenn man aufhält der Wien'schen der obigen Formel zutritt. den (mit Gleichg. $\lambda = 10$) Werte der Constanten bestimmt.

Vergleichen Sie meine Messungen.

gezeigt, daß folgende Formel:

$$E = \frac{C \lambda^{-5}}{e^{\frac{c}{\lambda T} + e^{-\frac{c}{\lambda T}} - 1}}$$

meinen Versuch vollkommen wiedergibt, aber noch besser als die von mir angegebenen Formel: $\mu = 4, \nu = 1, 3$ (besonders am aufsteigenden Ende).

In der Formel aber die Folge der beiden Grenzfälle aufhält, so mißt sich die experimentellen Versuch von Wien und Wien'schen Versuch, meine Versuch von $\lambda = 10$ bis 18μ mit der Wien'schen Versuch von der Wien'schen Versuch'schen Versuch.

Mit besten Grüßen Ihre
ganz ergebene
E. Pringsheim,
Chrudimburg.

Gerichteter Schall.

Die theoretischen Grundlagen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf Probleme mit Schallausbreitung in freien Medien.

Von F. A. FISCHER, Kiel.

Im folgenden soll ein zusammenfassender Überblick über ein Gebiet der technischen Akustik gegeben werden, das in seinen praktischen Anwendungen in der Navigation und auf militärischem Gebiet, für Signalzwecke und Richtungshören, eine immer größer werdende Bedeutung gewinnt. Es sollen die theoretischen Grundlagen besprochen werden und vor allem die Grundgedanken und Hauptentwicklungslinien aufgezeigt werden. Es wird sich dabei zeigen, daß in vielen praktischen Fällen gerichtete Schallsendung oder -empfang nur unter Verwendung des *Gruppenprinzips* möglich ist. Man versteht hierunter den Ersatz eines einzigen Schallstrahlers durch mehrere einzelne. Die Erregung der zu einer Gruppe zusammengefaßten Sender oder Empfänger muß dabei conphas oder in ganz bestimmten Phasenbeziehungen geschehen. Dies ist mit rein akustisch arbeitenden Apparaten nur in wenigen Einzelfällen möglich. So scheidet für die Verwendung in einer Gruppe alle selbstgesteuerten Apparate, wie Pfeifen, Stentorhörner, Turbosirenen u. dgl., aus, und nur zwangsläufig gesteuerte Apparate, wie Motorsirenen und elektrisch erregte Membransender, sind verwendbar. Erst die Verknüpfung der Akustik mit der Elektrotechnik hat hier, wie auf vielen anderen Gebieten der technischen Akustik, zu technisch brauchbaren Lösungen der meisten praktischen Probleme geführt. Das Teilgebiet, das hier betrachtet werden soll, ist das gerichtete Senden und Empfangen von Schallwellen und seine praktischen Anwendungen auf solche Probleme, bei denen die Schallausbreitung in freien Medien stattfindet. An Anwendungsbeispielen können nur einige wenige typische gebracht werden. Dabei sollen vor allem auch solche ausgewählt werden, die nicht allgemein bekannt zu sein pflegen. Eine ausführliche Darstellung des hier Vorgetragenen findet sich im Handbuch der Experimentalphysik Bd. XVII/2, Kapitel 5.

Gerichtetes Senden und Empfangen von Schallwellen kann prinzipiell auf zwei verschiedene Weisen geschehen. Die erste Möglichkeit ergibt sich in enger Anlehnung an bekannte Anordnungen aus der Optik. Genau wie man mit einem Reflektor Licht gerichtet empfangen oder wie beim Scheinwerfer gerichtet senden kann, so kann man auch den Schall mittels Reflektoren gerichtet senden oder empfangen. Voraussetzung für das richtige Arbeiten dieser Apparate ist natürlich — genau wie in der Optik —, daß man nicht nur außerhalb, sondern auch innerhalb des Apparates überall mit Schallstrahlen rechnen darf. Hierzu ist bekanntlich erforderlich, daß die Ausdehnung dieser Reflektoren groß zur Wellenlänge des Schalles ist.

Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, so gelten nicht mehr die Gesetze der Strahlenoptik bzw. -akustik, sondern es treten Beugungserscheinungen auf, die das Verhalten des betreffenden Gebildes als Sender oder Empfänger stark verändern können.

Geräte mit Reflektoren sind in den letzten Jahren für die Richtungsbestimmung von Flugzeuggeräuschen entwickelt worden. Entsprechend dem oben Gesagten nimmt die Empfindlichkeit bei den tiefen Frequenzen, deren Wellenlänge mit der Ausdehnung des Reflektors vergleichbar ist, stark ab.

Für Frequenzen, deren Wellenlänge klein zum Durchmesser des Reflektors ist, läßt sich durch einfaches Drehen des Reflektors die Richtung durch Feststellung der maximalen Lautstärke bestimmen. Meist unterstützt man aber diese Richtungsbestimmungsmethode noch durch Ausnutzung des sog. Binauraleffektes, der durch das Hören mit beiden Ohren entsteht. Richtungshören in Luft wird ja ohne weiteres von jedem Menschen mittels seiner beiden Ohren ausgeführt, wenn er in beliebiger Lage zu einer Schallquelle die Richtung schätzt, unter der ein Schallstrahl zu ihm gelangt, oder wenn er den Kopf so lange dreht, bis die Schallquelle in seiner Medianebene zu stehen scheint. Die physikalischen Grundlagen dieses natürlichen Richtungshörens sind in den beiden Tatsachen zu suchen, daß die Impulse von beiden Ohren in dem als gemeinsames Anzeigeelement wirkenden Gehirn abhängig von der Richtung des einfallenden Schalles zeitlich nacheinander zur Wirkung kommen und daß jedes Ohr durch den Einbau in den menschlichen Kopf eine Richtcharakteristik hat. Die physiologische Grundlage des Richtungshörens mit beiden Ohren, das sog. binaurale Hören, beruht auf der Tatsache, daß die von den beiden Ohren in einem bestimmten zeitlichen Abstand zum Gehirn gelangenden Schallbilder in diesem Zentralorgan zu einem einzigen Schallbild vereinigt werden und daß dieser Zeitunterschied als Richtung gewertet wird. Die kleinste noch eben beobachtbare Zeitdifferenz tritt bei Abweichung der Schallquelle aus der Medianebene um etwa 3° auf und entspricht dem Wert von 3×10^{-5} sec. Da für die Flugzeugpeilung aber Genauigkeiten von etwa $0,5^\circ$ verlangt werden, so müssen an Stelle der beiden menschlichen Ohren künstliche Schallabnehmer ins Schallfeld gesetzt werden, die hierfür einen Abstand von etwa 1,2 m haben müssen. Um sowohl den Höhen- wie den Seitenwinkel eines Flugzeuges zu finden, muß man zwei getrennte Apparaturen mit zwei verschiedenen Beobachtern vorsehen. Die erste Apparatur

für den Seitenwinkel ist um eine vertikale Achse drehbar und nimmt die zweite Apparatur für den Höhenwinkel, die um eine horizontale Achse drehbar ist, mit, genau so wie die Apparatur für den Höhenwinkel diejenige für den Seitenwinkel, entsprechend dem eingestellten Höhenwinkel, mehr oder weniger neigt. Die Anwendung des Binaural-effekts ist natürlich nicht auf Geräte mit Reflektoren beschränkt.

Wir wenden uns nun der zweiten Möglichkeit, Schall gerichtet zu senden und zu empfangen, zu, indem wir die Voraussetzung der Strahlenakustik fallen lassen und ganz allgemein die Frage aufstellen, wann überhaupt ein schallaufnehmendes bzw. -abgebendes Gebilde eine Richtwirkung hat, d. h. Schall aus einer bestimmten Richtung bevorzugt empfängt, aus anderen dagegen weit weniger oder gar nicht. Sendung und Empfang können dabei von der Theorie gemeinsam behandelt werden, da ausgestrahlte und empfangene Leistung eines beliebig gestalteten Strahlers nach dem gleichen Gesetz von der Richtung abhängen.

Die Abhängigkeit der ausgesandten Schallenergie von der Richtung kommt dadurch zustande, daß die von den einzelnen Teilen eines Strahlers ausgehenden Wellenzüge in einem betrachteten Punkte Phasenverschiebungen aufweisen, die für die verschiedenen Richtungen verschiedene Werte haben. Die Abhängigkeit des Empfanges von der Richtung der ankommenden Welle beruht auf der Tatsache, daß die einzelnen Teile eines Strahlers von der Welle zu verschiedenen Zeiten getroffen werden, also in verschiedener Phase erregt werden.

Es ist hiernach ohne weiteres klar, daß ein Strahler, dessen Ausdehnung klein zur Wellenlänge des auszusendenden oder aufzunehmenden Schalles ist, keine Richteigenschaften hat. Die Aufgabe, Schall gerichtet zu senden oder zu empfangen, läßt sich also mit einem Einzelstrahler nur lösen, wenn dieser groß zur Wellenlänge ist.

Schallaufnehmende oder -abstrahlende Flächen sind z. B. die Öffnung eines Trichters oder die in Fig. 1a gezeichnete große Membran. In dem Schallstrahl, der schräg auf die Membran auftritt, sind die Zustände maximalen Druckes durch ausgezogene Linien, die Zustände niedrigsten Druckes durch gestrichelte Linien dargestellt. Die Wellenlänge sei kleiner als der Durchmesser der Membran. Nehmen wir nun an, die Membran sei nach hinten durch eine luftdichte Kapsel abgeschlossen, in der vor Eintreffen der Schallwelle etwa der gleiche Druck herrscht wie im Außenraum. Wenn dann die Schallwelle auf die Membran auftrifft, so werden diejenigen Luftteilchen, in denen Überdruck herrscht, versuchen, die Membran nach innen einzubeulen, während umgekehrt an denjenigen Stellen der Luft, in denen Unterdruck herrscht (gestrichelte Linien), die Membran von der Innenluft nach außen gedrückt wird. Wenn aber nun, wie in dem gezeichneten Beispiel der Fig. 1a, an den verschiedenen Stellen der Membran nicht derselbe Zustand der Luft herrscht,

sondern teilweise Überdruck, teilweise Unterdruck, so wird im Mittel die Membran überhaupt keine Bewegung ausführen, sondern stillstehen.

Anders ist es, wenn die Schallwelle senkrecht zur Membran auftrifft. Dann wird an allen Stellen der Membran derselbe Zustand der Luft herrschen,

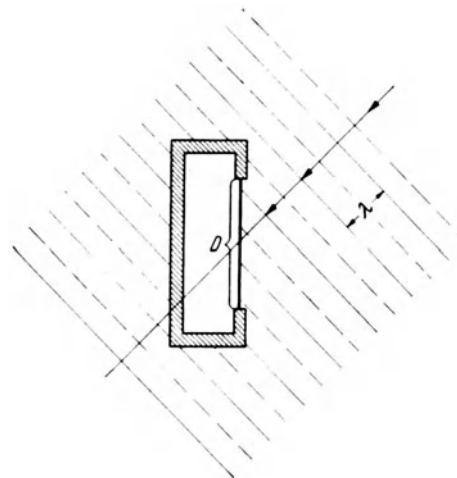


Fig. 1a. Membran groß im Vergleich zur Wellenlänge.

also entweder an allen Stellen Überdruck, der die Membran nach innen biegt, oder an allen Stellen Unterdruck, so daß die Membran nach außen gebogen wird. In diesem Fall wird also die Membran stark auf die Schallschwingungen reagieren. Die betrachtete Membran empfängt also Schall bevorzugt aus der Richtung senkrecht zu ihrer Ausdehnung, dagegen Schall der schräg auf sie trifft, weit weniger oder gar nicht.

Ist dagegen die Membran, wie in Fig. 1b gezeichnet, klein zur Wellenlänge, so herrscht auch bei schräg auftreffendem Schall praktisch an allen Teilchen der Membran derselbe Druckzustand der Luft, so daß diese Membran, die klein zur Wellenlänge ist, von schräg auftreffendem Schall genau so stark zum Ansprechen gebracht wird, wie von senkrecht auftretendem Schall, d. h. sie besitzt keine Richtwirkung.

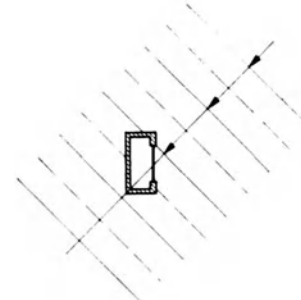


Fig. 1b. Membran klein im Vergleich zur Wellenlänge.

Eine Anwendung dieser Gesetzmäßigkeiten findet man bei den bekannten Trichterhorchgeräten für die Flugzeugpeilung. Ein Trichter ist physikalisch als eine große, durch seine Öffnung gegebene Luftmembran aufzufassen. Der eigentliche Trichter spielt nur die Rolle eines Transformators, um die große Öffnungsfläche an das kleine Ohr anzupassen. Auch bei den Trichterhorch-

geräten wird in derselben Weise wie bei den Reflektorhorchgeräten der Binauraleffekt angewandt.

Will man die Geräusche eines Flugzeuges peilen, so kommt man, da die in Frage kommenden Frequenzen zwischen etwa 200 und 600 Schwingungen pro Sekunde liegen, die Wellenlänge also in der Größenordnung eines Meters liegt, zu verhältnismäßig großen schallaufnehmenden Gebilden. Wenn man nun nach der oben beschriebenen Methode mit diesen Gebilden durch Drehen im Raum Richtungsbestimmung machen will, so kommt man zu verhältnismäßig großen Geräten, die sich in Luft noch bauen lassen, bei Wasserschallapparaten im strömenden Wasser aber zu große Hindernisse bedeuten, schwer zu bewegen sind und stark turbulente Bewegungen des Mediums in der Sender- bzw. Empfängernähe hervorrufen, die das Schallfeld stören können.

Es gibt jedoch die Möglichkeit, solche großen schallaufnehmenden Gebilde zu ersetzen durch

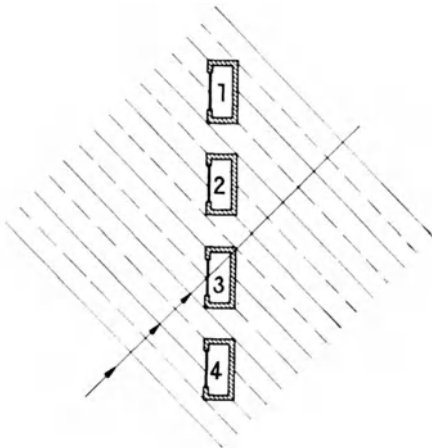


Fig. 2. Lineare Gruppe von Empfängern, die klein zur Wellenlänge sind.

eine *Gruppe* von mehreren kleinen Gebilden. Zu dieser Maßnahme wurde man in der Wasserschalltechnik schon vor vielen Jahren gezwungen, da es ja unmöglich ist, im Wasser vom fahrenden Schiff aus große drehbare Gebilde anzuwenden, zumal im Wasser wegen der etwa 4,5 mal größeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles auch die Wellenlänge und damit die Dimensionen der schallaufnehmenden Gebilde bei den gleichen Richteigenschaften entsprechend größer sind als in der Luft.

Wenn man die schallaufnehmende Fläche der Fig. 1 a durch mehrere kleine, wie in Fig. 2 gezeichnet, ersetzt und diese schallaufnehmenden Gebilde, die elektrischer Natur sein mögen, mit einem gemeinsamen Telefon verbindet, so hat diese Gruppe von Empfangsgebilden genau wie vorhin die große Membran eine Richtwirkung, und zwar ungefähr dieselbe wie die große Membran, wenn nur ihre Gesamtausdehnung groß gegen die Wellenlänge des Schalles ist. Es kommt also hier nicht mehr

darauf an, daß das einzelne schallaufnehmende Gebilde eine Richtwirkung hat, man verwendet im Gegenteil meistens sogar als Einzelement einer Gruppe schallaufnehmende bzw. -abgebende Gebilde, die so klein sind, daß sie selbst gar keine nennenswerte Richtwirkung haben. Die Gesamtheit dieser Elemente, die Gruppe, hat aber — wie oben auseinandergesetzt — für sich als Ganzes eine Richtwirkung, wenn ihre Gesamtausdehnung vergleichbar mit der Wellenlänge des Schalles ist.

Wir wenden uns nun der theoretischen Betrachtung der Richteigenschaften der Strahlergruppen zu. Dabei wird auch das Verständnis der Richteigenschaften der kontinuierlichen Strahlergebilde vertieft werden, da sich deren Richteigenschaften sehr einfach aus den Eigenschaften der Gruppen durch den Grenzübergang zu unendlich vielen Elementen ableiten lassen.

Als einfachstes Beispiel betrachten wir die in Fig. 3 dargestellte Gruppe aus zwei zur Wellenlänge kleinen Strahlern S_1 und S_2 . Für die gezeichnete Sende- bzw. Empfangsrichtung beträgt die Phasen-

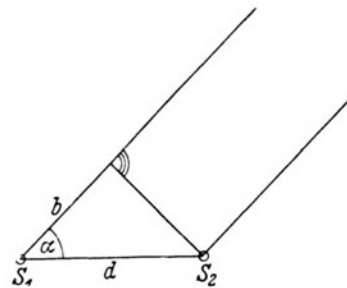


Fig. 3. Die Zweiergruppe.

verschiebung (der beiden ausgesandten Strahlen, wenn es sich um Sender handelt bzw. der beiden Erregungen, wenn es sich um Empfänger handelt),

$$\varphi = \frac{2\pi b}{\lambda} \quad (1)$$

oder, da $b = d \cos \alpha$ ist,

$$\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \alpha. \quad (2)$$

λ ist hierbei die Wellenlänge des Schalles.

Setzt man der Einfachheit halber die Amplitude der beiden Strahler gleich $\frac{1}{2}$, so ist ihre Summe gegeben durch

$$\frac{1}{2} \cos \omega t + \frac{1}{2} \cos(\omega t + \varphi) = \cos \frac{\varphi}{2} \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right), \quad (3)$$

wenn ω die Kreisfrequenz der Strahlung ist.

Die Gesamtamplitude der Zweiergruppe ist also

$$R = \cos \frac{\varphi}{2} = \cos\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \alpha\right). \quad (4)$$

Man nennt diese Formel kurz die Richtcharakteristik der Gruppe. Sie läßt sich graphisch veranschaulichen, indem man vom Mittelpunkt der beiden Strahler für jede Richtung R als Vektor aufträgt. Die Endpunkte dieser Vektoren bilden

eine Fläche, und diese Fläche wird ebenfalls Richtcharakteristik genannt.

Die Betrachtung der Formel bestätigt das bereits aus der Anschauung gewonnene Ergebnis, daß die Richtcharakteristik der Zweiergruppe rotations-symmetrisch um die Verbindungslinie der beiden Strahler ist, und daß die Schnittkurve der Richtcharakteristik mit einer durch die Verbindungslinie der Strahler gehenden Ebene Maxima bei $\alpha = \pm 90^\circ$ hat.

In Fig. 4 ist ein solcher Schnitt durch die Richtcharakteristik für den Strahlerabstand $d = \lambda/2$ gezeichnet.

Aus der Formel (2) für den Phasenunterschied der beiden Strahler sieht man, daß die Richtcharakteristik um so schärfere Maxima besitzen wird, je größer das Verhältnis $d:\lambda$ ist. Für diese Tatsache gibt es einen sehr anschaulichen Satz, der uns bei unseren weiteren Betrachtungen über die Eigenschaften von Strahlergruppen wertvolle Hilfe leisten wird.

Entwickelt man die Formel (4) nach Potenzen der Abweichung ε der Strahlrichtung von der Richtung maximaler Strahlung, so erhält man die Reihe

$$R = 1 - \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \frac{\varepsilon^2}{2} + \dots \quad (5)$$

Ein Maß für die Schärfe unserer Charakteristik erhalten wir, wenn wir nach jenem Winkel ε^* fragen, für den die Amplitude R der Gruppe um einen mit dem Indikator, z. B. dem menschlichen Ohr, feststellbaren Betrag gesunken ist. Da die Schallstärke dem Quadrat der Amplitude proportional ist, bilden wir

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \varepsilon^2 + \dots \quad (6)$$

und finden für ε^* die Beziehung

$$\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2 \varepsilon^{*2} = 0,25. \quad (7)$$

Die Charakteristik ist um so schärfer, je kleiner ε^* ist. Es liegt daher nahe, als Schärfe der Charakteristik (auch Peilschärfe genannt) $1/\varepsilon^*$ zu definieren. Für die Zweiergruppen ist also in erster Annäherung

$$\frac{1}{\varepsilon^*} \approx \frac{\pi d}{\lambda}. \quad (8)$$

Die Peilschärfe ist also dem Verhältnis des Durchmessers der Gruppe zur Wellenlänge direkt proportional.

Ersetzt man nun nach H. STENZEL [Elektr. Nachr.-Techn. 6, 165—181 (1929)] jeden Strahler durch einen Massenpunkt, dessen Masse der Intensität ($= 1/2$) jedes Strahlers proportional ist, so ist das Trägheitsmoment dieses Punktsystems um die durch den Schwerpunkt gehende in der Maximalrichtung verlaufende Achse gegeben durch

$$T = \left(\frac{d}{2}\right)^2. \quad (9)$$

Es ist also

$$\frac{1}{\varepsilon^*} \approx \sqrt{\frac{T}{\lambda}}, \quad (10)$$

und wir erhalten den angekündigten Satz:

Die Peilschärfe ist in erster Annäherung der Quadratwurzel aus dem Trägheitsmoment der Gruppe,

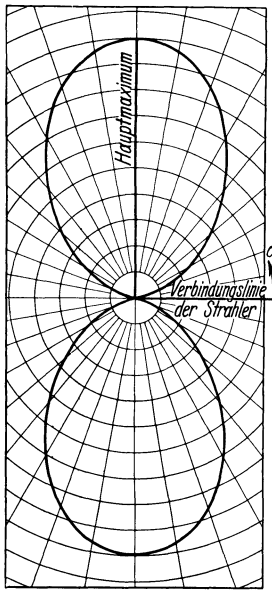


Fig. 4. Richtcharakteristik der Zweiergruppe mit $d/\lambda = 0,5$.

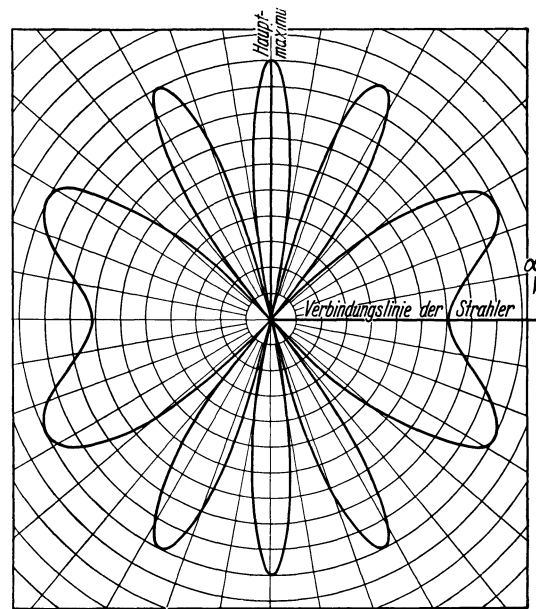


Fig. 5. Richtkennlinie der Zweiergruppe mit $d/\lambda = 2,25$.

um die durch den Schwerpunkt in der Maximalrichtung verlaufende Achse, direkt und der Wellenlänge umgekehrt proportional.

Man kann leicht zeigen, daß dieser Satz auch noch seine Gültigkeit behält, wenn mehrere Strahler in einer Ebene liegen und wenn die Strahler verschiedene Amplituden haben.

Versucht man nun auf Grund dieser Erkenntnis, bei der Zweiergruppe die Peilschärfe durch Vergrößerung des Verhältnisses $d:\lambda$ zu steigern, so erhält man z. B. für $d/\lambda = 2,25$ die in Fig. 5 dargestellte Charakteristik. Man sieht durch Vergleich mit Fig. 4, daß das Hauptmaximum, das senkrecht zur Verbindungslinie liegt, zwar schärfer geworden ist, daß aber noch weitere Maxima entstanden sind, die für die vorliegenden Verwendungszwecke unerwünscht sind. Eine nähere Betrachtung zeigt, daß die Richtung der Hauptmaxima von der Größe des Verhältnisses d/λ unabhängig ist, während die Richtung der Nebenmaxima von dem Verhält-

nis d/λ abhängen. Bei festem Strahlerabstand d zeigen also die zu verschiedenen Wellenlängen gehörenden Nebenmaxima nach verschiedenen Richtungen. Es sei hier auf die analogen Verhältnisse in der Optik hingewiesen. Die abgeleiteten Beziehungen sind die gleichen wie die bei der Beugung des Lichtes durch zwei enge Spalte. Das Hauptmaximum entspricht dem zentralen weißen Lichtfleck, die Nebenmaxima entsprechen den Spektren verschiedener Ordnung.

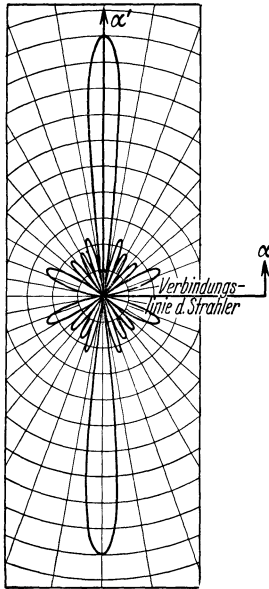


Fig. 6. Richtkennlinie der geraden Gruppe mit $d = \frac{5}{6} \lambda$ und $n = 6$.

Eine solche Anordnung von n Strahlern im gegenseitigen Abstand d hat die Charakteristik

$$R = \frac{\sin\left(n \frac{\pi d}{\lambda} \cos \alpha\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \cos \alpha\right)}, \quad (12)$$

eine aus der Theorie der Beugungsgitter in der Optik wohlbekannte Formel.

Auch hier darf natürlich der Strahlerabstand nicht beliebig groß im Vergleich zur Wellenlänge sein. Aus Formel (12) folgt, daß

$$d \leq \frac{n-1}{n} \lambda \quad (13)$$

sein muß, wenn keine Nebenmaxima von der Größe des Hauptmaximums vorhanden sein sollen.

In Fig. 6 ist die Richtcharakteristik der geraden Gruppe mit $d = \frac{5}{6} \lambda$ und $n = 6$ dargestellt. Die kleinen Nebenmaxima brauchen hier nicht diskutiert zu werden, da ihre Größe stets kleiner, allenfalls gleich $\frac{1}{3}$ der Größe des Hauptmaximums ist, die entsprechende Schallstärke also höchstens nur etwa 11% von der des Hauptmaximums ausmacht.

Da wir uns hier nicht für die Spektren, sondern nur für die zentrale Strahlung interessieren, dürfen wir den Strahlerabstand im Vergleich zur Wellenlänge nur so groß wählen, daß keine Nebenmaxima auftreten.

Formel (4) lehrt, daß dann

$$\frac{d}{\lambda} \leq \frac{1}{2} \quad (11)$$

sein muß. Eine größere Richtschärfe als die in Fig. 4 gezeichnete läßt sich also mit der Zweiergruppe ohne Nebenmaxima nicht erreichen.

Will man größere Peilschärfen ohne sekundäre Maxima erreichen, so muß man mehrere Strahler in einer geraden Linie anordnen.

Die bisher betrachteten Charakteristiken sind in hervorragendem Maße dazu geeignet, Schall in einer Ebene und nur in dieser auszusenden. Sie finden daher im Signalwesen weitgehende Anwendung, wo es sich darum handelt, Schall nur in der Horizontalebene auszusenden. Eine Aussendung auch in andere Richtungen wäre Energieverschwendung, da sich dort keine Empfänger befinden.

Die für navigatorische Zwecke gebräuchliche Wasserschall-Senderanlage besteht im allgemeinen aus zwei vertikal übereinander angeordneten Doppelmembransendern mit vertikal stehenden Membranen, deren Ebenen gekreuzt zueinander angeordnet sind, um den etwa noch vorhandenen Betrag an Richtwirkung auszugleichen. In Fig. 7 ist eine solche Anlage zu sehen. Die beiden Doppelmembransender sind mit 1 und 2 bezeichnet. An Bord von Feuerschiffen wird diese Sendergruppe in einem Schacht an einer Kette mehrere Meter unterhalb des Schiffsbodens hinabgelassen. Der ringförmige Wulst 3 in Fig. 7 dient zur Führung in diesem Schacht. Die Erregung der Sender geschieht nach dem elektromagnetischen Prinzip.

Die Signalsender für Schiffe, die nicht wie die Feuerschiffe zu Anker liegen, sondern fahren und oft — wie Zerstörer und Kreuzer — mit sehr großen Geschwindigkeiten, werden in Geräten untergebracht, die aus dem Schiffsboden nach unten ausgefahren werden und einen stromlinienförmigen Querschnitt haben. Diese Einbauart befreit die Anlage von dem Schatteneinfluß des eigenen Schiffskörpers und gestattet, sich weitgehendst der schallzerstörenden Wirkung des Schraubenwassers beim Signalverkehr in der Kiellinie zu entziehen. Die Anzahl der Senderelemente in einem Ausfahrgerät hängt neben der Frequenz und der gewünschten Form der Richtcharakteristik in hohem Maße von der Frage der Unterbringungsmöglichkeit und der Kosten ab. Je nach Schiffsgröße schwankt die Zahl im allgemeinen zwischen 2 und 6 Elementen. In Fig. 8 ist ein Ausfahrgerät mit 6 Senderelementen abgebildet. Die Senderelemente sind in dieser Figur deutlich am unteren Ende des Trägers 1 erkennbar, der pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch in den im Schiffsinnern befindlichen Teil 2 eingezogen werden kann, wenn das Gerät außer Betrieb ist. Der Schiffsboden befindet sich an der Stelle 3 der Figur.

Die Sender werden zweckmäßig als Doppelmembranapparate gebaut, so daß das aus den Befestigungsflanschen der beiden Membranen gebildete Gehäuse eine natürliche Symmetrie- und Knotenlinie für die Schwingungen bildet. Infolgedessen führt das Gehäuse selbst keine Schwingungen aus, was für den Einbau dieser Sender in ihre Träger von großem Vorteil ist.

Auch für Luftschall wird das Gruppenprinzip mit Vorteil angewandt. Ein einzelner Luftschallsender ist jedoch etwas komplizierter im Bau als ein Wasserschallsender. Einfache Membranen lassen sich nämlich nicht verwenden, da wegen der

geringen Dichte der Luft und der geringeren Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in Luft der dem Produkt dieser beiden Größen proportionale Strahlungswiderstand zu klein ist. Man ist daher gezwungen, die Membran unter Vermittlung von Gebilden an die Luft zu koppeln, die selbst eine große Strahlungsdämpfung haben. Schallantennen dieser Eigenschaft findet man nur in Gebilden, die

störenden Interferenzen, indem man an den Sender einen Schallschirm in Form einer starren Röhre anbaut, die also nur an den Stellen der Ringschlitz, die die Austrittsöffnungen des Schalles sind, unterbrochen ist. Derartige Apparate lassen sich dann leicht zu geraden Gruppen zusammensetzen. Auf diese Weise gelingt es, mit einer Gruppe von Apparaten, deren Größe keineswegs

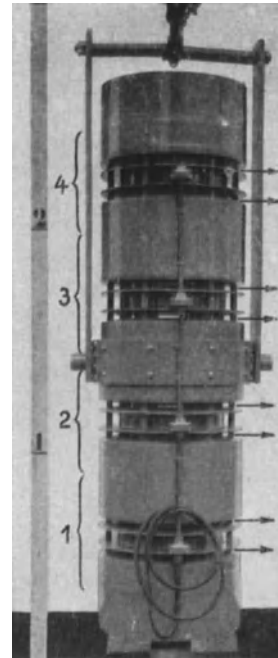
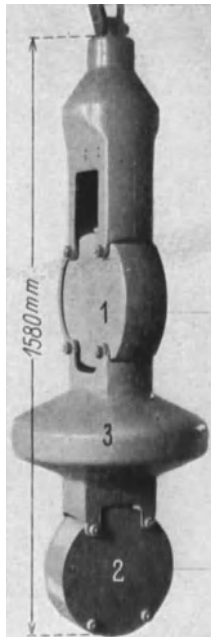


Fig. 7. Wasserschallsender-Zweiergruppe.

Fig. 8. Ausfahrgerät mit 6 Wasserschallsender-Empfängern.

Fig. 9. Luftschallsender-Vierergruppe.

aus keinem anderen Baustoff bestehen, als die schallaufnehmende Luft selbst. Ein solches Gebilde ist z. B. eine offene Pfeife. Diese wird zweckmäßig auf die zu strahlende Frequenz abgestimmt, also im einfachsten Fall ein Viertel Wellenlänge lang gemacht. Dadurch ist es natürlich nicht mehr möglich, den Einzelsender klein zur Wellenlänge zu bauen. Man erreicht aber das Ziel der gleichmäßigen Beschallung des ganzen Horizontes dadurch, daß man ihn zur Vertikalen rotations-symmetrisch baut. Ein einzelner Doppelsender hat also als Schallaustrittsöffnung zwei ringförmige Schlitz im Abstand der Apparatdicke, die klein zur Wellenlänge gehalten werden kann. Der Durchmesser des Senders wird also gleich der halben Wellenlänge. An sich würde, wie aus der Betrachtung der Zweiergruppe (streng einer Kreisgruppe mit unendlich vielen Elementen) gefolgert werden kann, ein solcher Sender hauptsächlich in der Vertikalen und nur wenig in der Horizontalen strahlen, da sich für die horizontalen Richtungen die Strahlungen der einzelnen Öffnungselemente durch Interferenz aufheben. Man vermeidet diese

gegen die Wellenlänge vernachlässigt werden kann, die Aufgabe zu lösen, Schall gleichmäßig im ganzen Umkreis mit dem Maximum der Lautstärke in der Horizontalebene bei praktisch verschwindender Lautstärke in der Vertikalen auszustrahlen.

Die äußere Ansicht eines solchen aus vier Doppelapparaten aufgebauten Gruppensenders ist aus Fig. 9 zu erkennen und nach dem vorher Gesagten ohne weitere Erklärungen verständlich. Auf der linken Seite der Figur sind durch vier Klammern die vier einzelnen Gruppenelemente markiert und auf der rechten Seite durch Pfeile die Schallaustrittsöffnungen. Die Erregung des Apparates geschieht nach dem elektromagnetischen Prinzip.

Der in Fig. 9 dargestellte Gruppensender ist für 500 Perioden gebaut. Die Energieaufnahme jedes Elements ist etwa 800 Watt, die erzeugte Schallleistung jedes Elements etwa 500 Watt, also die Schallleistung der ganzen Gruppe etwa 2000 Watt. Da diese Schallenergie auf etwa ein Viertel des Raumes zusammengefaßt wird, so entspricht die Lautstärke in der Horizontalen derjenigen eines ungerichteten Einzelsenders von 8000 Watt ge-

strahlter Schalleistung. Man ersieht an diesem Beispiel deutlich die große Leistungersparnis, die das gerichtete Senden mit sich bringt.

Man kann auch den Schall in einer einzigen Richtung zusammenfassen. Setzt man alle Strahler in die Eckpunkte eines regelmäßigen Vielecks, so erhält man eine Charakteristik von der in Fig. 10 gezeichneten Form. Sie ist rotationssymmetrisch um die senkrecht zur Kreisebene liegende Maximalrichtung. Diese Gruppen sind von H. STENZEL in seiner bereits oben genannten Arbeit eingehend untersucht. Er hat gefunden, daß keine Nebenmaxima von der Größenordnung des Hauptmaxima auftreten, wenn die Strahlerzahl

$$n \cong \frac{\pi D}{\lambda} + 2 \quad (14)$$

ist, wo D der Durchmesser des Umkreises des Vielecks ist.

Die kleinen dann noch verbleibenden Nebenmaxima sind in ihrer Amplitude kleiner, allenfalls gleich 0,4, machen also nur höchstens 16% der Lautstärke des Hauptmaximums aus und können daher außer Betracht bleiben.

Aus Symmetriegründen hat die Charakteristik zwei Maxima, die einander gegenüber liegen. Man kann aber mit Hilfe eines Kunstgriffes mit derartigen Kreisgruppen auch einseitige Charakteristiken erzeugen. Setzt man zwei Kreisgruppen im Abstand einer viertel Wellenlänge hintereinander

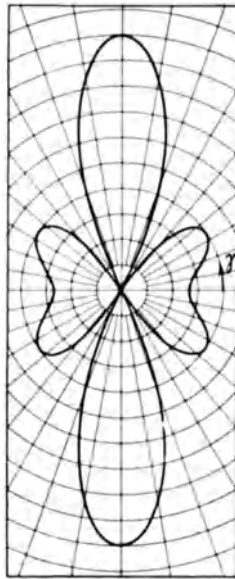


Fig. 10. Die natürliche Richtcharakteristik des Kreises

$$\frac{D}{\lambda} = 1,5$$

$$\text{mit } n \cong \frac{\pi D}{\lambda} + 2.$$

und gibt außerdem der Erregung der einen gegen die andere eine Phasenverschiebung von 90° , so besitzt die Charakteristik der gesamten Anordnung nur ein einziges Maximum, das nach derjenigen Seite zeigt, nach der die in der Phase nach-eilend erregte Kreisgruppe liegt.

Fig. 11 zeigt einen nach diesem Prinzip gebauten Luftschallsender. Er ist um eine vertikale Achse drehbar angeordnet, so daß der Sendestrahl in beliebige Richtungen gedreht werden kann. Derartige Schallstrahlwerfer eignen sich besonders zur Sicherung von Hafeneinfahrten.

Bei dem letzten Gerät haben wir nun schon eine Anordnung kennengelernt, deren Charakteristik nicht nur von der geometrischen Anordnung der einzelnen Sendeelemente abhängt, sondern auch noch von den Phasenverschiebungen der einzelnen Elemente. Von dieser Veränderungsmöglichkeit

der Richtcharakteristik macht man beim Horchwesen weitgehendst Gebrauch. Es gelingt nämlich ganz allgemein, die Richtung, aus der der Schall bevorzugt empfangen wird, im Raume herumzuschwenken, ohne daß die Gruppe selbst im Raum gedreht wird. Das Gruppenprinzip gibt also die Möglichkeit des Richtungsbestimmens mit einer

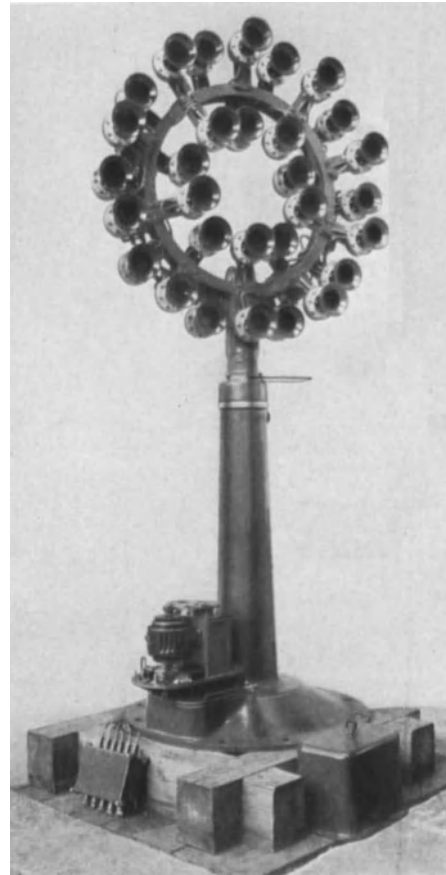


Fig. 11. Luftschallsender mit einseitiger Richtcharakteristik.

fest im Raume stehenden Gruppe von Einzelempfängern. Dieses Ziel erreicht man auf folgende Weise:

Betrachten wir wieder den Fall des schräg zu der Gruppenausdehnung eintreffenden Schallstrahles in Fig. 2. (Die Betrachtungen für das Ausenden von Schall sind ganz analog.) Wenn der Schallstrahl die dort gezeichnete Einfallsrichtung hat, so wird der Empfänger 1 zuerst getroffen, dann der Empfänger 2, dann der Empfänger 3 und schließlich als letzter der Empfänger 4. Die gesamten auf die einzelnen Empfänger eintreffenden Schallimpulse oder bei einer kontinuierlichen Welle die Druck- oder Unterdruckzustände treffen die Empfänger also zu verschiedenen Zeiten oder, wie man auch sagt, die einzelnen Empfänger werden

in verschiedenen Phasen erregt, und es wird im Mittel eine im Vergleich zur Intensität im Zustand der Gleichphasigkeit äußerst geringe Gesamtintensität herauskommen. Will man nun auf künstliche Weise erreichen, daß trotzdem die aus dieser Richtung kommenden Schallimpulse gleichzeitig das schallaufnehmende Ohr erreichen, so macht man das folgendermaßen:

Man schaltet in die Zuleitung vom Empfänger 1 nach dem Ohr ein zeitverzögerndes Element, ebenso in die Zuleitung der Empfänger 2 und 3. Die Länge dieser zeitverzögernden Elemente bemißt man derart, daß sie die einzelnen Empfänger treffenden Impulse jeweils so verzögern, daß sie erst dann das Ohr erreichen, wenn der letzte Empfänger, nämlich der Empfänger 4, von der Schallwelle getroffen wird. Es erhält also der Empfänger 1 die längste Verzögerung, der Empfänger 2 eine weniger lange usw. und schließlich der Empfänger 4 gar keine. Die Verzögerung z. B. des Empfängers 2 entspricht der Laufzeit der Schallwelle vom Empfänger 2 bis zu dem letzten Empfänger 4. Wenn man das gemacht hat, so wird für diese eine Einfallrichtung des Schalles, nämlich für die gezeichnete schräge, eine Addition aller Impulse, d. h. maximale Empfangslautstärke erreicht sein. Natürlich wird jetzt nicht mehr die Richtung senkrecht zu der Gruppe bevorzugt empfangen, sondern eben diese schräge Richtung, für die die Verzögerungswerte richtig eingestellt sind.

Wir sehen also, daß man durch richtige Bemessung dieser Verzögerungswerte die bevorzugte Schallempfangsrichtung im Raum drehen kann, während die Empfängergruppe selbst fest im Raum stehen bleibt.

Als schallverzögernde Mittel kann man bei akustischen Empfängern Schallrohre nehmen. Da das Arbeiten mit diesen Schallrohren sehr umständlich ist und sie zu vielen Störungen und Fehlern Anlaß geben, arbeitet man in der modernen Akustik beim Gruppenprinzip nur noch mit elektrischen Empfängern und verwendet dabei als schallverzögernde Mittel elektrische Kettenleiter. Der Apparat, der die Länge dieser Kettenleiter in Abhängigkeit von der Ankunftsrichtung des Schalles schaltet, heißt Kompensator, weil er nämlich die Aufgabe hat, die Zeitverzögerungen, die die einzelnen Schallempfänger hinsichtlich der Ankunftsrichtung der Schallwelle gegeneinander haben, zu kompensieren.

Für die mit derartigen Gruppen herstellbaren „künstlichen“ Charakteristiken gelten ähnliche Gesetze wie für die zu Anfang dieses Berichtes gebrachten „natürlichen“ (das soll heißen nur von der geometrischen Anordnung abhängigen) Charakteristiken. Für die Peilschärfe gilt auch hier der Satz vom Trägheitsmoment, nur daß jetzt als Achsrichtung die Kompensationsrichtung, in die ja das Maximum fällt, genommen werden muß. Will man also für Schiffe eine Horchanlage bauen, die die ganze Horizontalebene mit gleicher Schärfe nach Schraubengeräuschen anderer Schiffe ab-

sucht, so wird man am besten eine kreisförmige Gruppe von Empfängern nehmen, die in der Hori-



Fig. 12 a. Wasserschallkompensator.

zontalebene liegt, denn der Kreis hat ja von allen hinreichend weit von ihm entfernten Punkten seiner

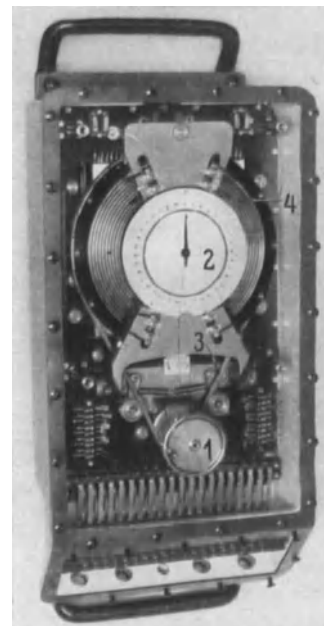


Fig. 12 b. Wasserschallkompensator (Gehäusedeckel abgenommen).

Ebene aus betrachtet dieselbe Ausdehnung. An Bord von Schiffen muß man sich natürlich weitgehendst den Schiffformen anpassen. Aus dem idealen Kreis werden dann im allgemeinen zwei halbellipsenähnliche Figuren von Empfängern, von denen je eine an Backbord und Steuerbord liegt. Man muß aber unbedingt vermeiden, daß die Halbellipsen allzu starken Liniencharakter bekommen, da die Peilschärfe nach dem Satz vom Trägheitsmoment sonst gerade in der militärisch überaus wichtigen Vorausrichtung am ungenauesten wird. Außerdem ist die Peilung mit einer Linie an sich doppeldeutig, da, wie man sich an Hand der Fig. 2 leicht klarmachen kann, die Phasenunterschiede und damit die Kompensatorstellung für alle Richtungen, die mit der Linie den gleichen Winkel einschließen, die gleiche ist.

Als Bedingung für die Besetzung einer Gruppe zur Erzielung der Freiheit von Nebenmaxima erhält man ähnliche Beziehungen wie bei den zu Anfang betrachteten natürlichen Charakteristiken. Nur ist hier infolge der bereits vorhandenen künstlichen Phasenverschiebung nur ein etwa halb so großer Empfängerabstand zulässig wie für die entsprechende natürliche Charakteristik. So tritt an Stelle der Formel (13) die Formel

$$d \leq \frac{n-1}{2n} \lambda \quad (15)$$

und an Stelle der Formel (14) für den Kreis die Formel

$$n \geq \frac{2\pi D}{\lambda} + 2. \quad (16)$$

Die auf dem Gruppenprinzip beruhende Peilmethode mit feststehenden Empfängern im Schallfeld hat den Vorteil, daß die eigentliche Peilapparatur, der Kompensator und der Beobachter selbst räumlich beliebig getrennt und von dem Punkt des Schallfeldes, von dem aus die Peilung genommen werden soll, untergebracht sind.

Es ist gleichgültig, ob die einzelnen Empfänger in verschiedenen Horizontalebene liegen oder nicht, da es bei einer vertikalen Wellenfront nur auf die Horizontalprojektion der Empfänger ankommt.

Fig. 12a—b zeigt einen Wasserschallkompensator. Fig. 12a ist die Außenansicht. Durch Drehen des Handrades 1 läßt sich die Kompensationsrichtung verändern. Die jeweilige Richtung ist an der darüber befindlichen Skala 2 abzulesen.

Betrachten wir rückblickend noch einmal die technischen Lösungen für das gerichtete Senden und Empfangen von Schall, so sehen wir, daß mit ganz wenigen Ausnahmen nur das Gruppenprinzip ohne bzw. mit künstlicher Phasenverschiebung zu technisch brauchbaren Lösungen der verschiedenen von der Nautik oder von militärischer Seite gestellten Probleme geführt hat. Die Anwendung des Gruppenprinzips mit und ohne Kompensation war aber auf rein akustischem Wege kaum in praktisch brauchbarer Form lösbar. Erst die Verknüpfung der Akustik mit der Elektrotechnik hat die Konstruktion technisch brauchbarer Geräte ermöglicht.

Charakterisierung und Mechanismus der Krebs erzeugenden Kohlenwasserstoffe.

VON OTTO SCHMIDT.

„Die Art der Wirkung kanzerogener Stoffe ist eines der grundlegenden Probleme der Krebsforschung“ (1). In keinem anderen Falle erscheint die Aussicht, dieses Problem zu lösen, so groß, wie in dem der krebserzeugenden Kohlenwasserstoffe, die wir im folgenden kurz K.K. nennen. Denn einmal sind die K.K. einfache, wohldefinierte Substanzen, nämlich kondensierte Aromaten — meist Anthracenderivate — von zum Teil höchster Wirksamkeit, andererseits sind insbesondere durch die Arbeiten von KENNAWAY (2), COOK (3), FIESER (4) u. a. eine Fülle von Verbindungen der Anthracen- und Phenanthrengruppe bekannt geworden. Sie sind teils aktiv, in der Mehrzahl aber inaktiv, so daß sich der Einfluß der Konstitution aus diesem Material ableiten läßt. Trotzdem ist bisher eine Charakterisierung der K.K. von anderer Seite nicht gegeben worden, die naturgemäß die Grundlage für die Erkenntnis des Mechanismus der Entstehung des Krebses durch die K.K. ist.

Vor einiger Zeit habe ich die K.K. durch die *Dichteverteilung* bestimmter Valenzelektronen (B-Elektronen) charakterisiert und in der beträchtlichen Dichte der B-Elektronen an bestimmten Stellen das Hauptmerkmal der K.K. gefunden (5). Ich möchte hierüber im Zusammenhang kurz be-

richten und die Überlegungen gleichzeitig fortsetzen.

Wir teilen mit E. HÜCKEL (6) die Valenzelektronen der Aromaten in 2 Gruppen ein: in die in einfachen Bindungen unterzubringenden, die wir A-Elektronen nennen, und die nicht in einfachen Bindungen unterzubringenden, die wir B-Elektronen nennen; von letzteren ist je aromatisches Kohlenstoffatom eines vorhanden, im Benzol sind also deren sechs. Da sie locker gebunden sind, machen wir sie für die chemischen und die meisten physikalischen Eigenschaften der Aromaten wie Farbe (7), diamagnetische Anisotropie (8) und insbesondere die kanzerogenen Eigenschaften der K.K. verantwortlich (5). Daß dies letztere richtig ist, ergibt sich daraus, daß durch Hydrieren mit den B-Elektronen auch die kanzerogenen Eigenschaften verschwinden. Nach COOK besitzt insbesondere das an den beiden Mesokohlenstoffatomen hydrierte 1,2,5,6-Dibenzanthracen nur noch eine sehr geringe kanzerogene Wirkung, während das nichthydrierte Produkt bekanntlich ein kräftig aktiver K.K. ist. Es ist wahrscheinlich, daß dieser geringe Rest von Aktivität auf einer geringfügigen Dehydrierung im Organismus beruht.

Wenn wir die äußeren Bedingungen, wie dies bei der Prüfung der K.K. geschieht, gleich wählen und damit die Variationsmöglichkeiten bei der Adsorption ausschalten (9), dann ist die einzig neue Art der Dichteerhöhung der B-Elektronen die der Substitution des Aromaten durch einen indifferenten Kohlenwasserstoffrest, dessen Raumerfüllung größer ist als die des Wasserstoffatoms. Durch diese Substitution wird der den B-Elektronen zur Verfügung stehende Raum *verkleinert*. Bei genügender Substitution wird der *Schwellenwert des K.K.* erreicht. Die „kritische Dichteerhöhung“, die den unwirksamen Aromaten zum K.K. macht, kommt in den Anthracenderivaten durch Substitution an den Mesokohlenstoffatomen oder in ihrer unmittelbaren Nähe zustande. Einer solchen Substitution ist gleichzusetzen der Ersatz eines äußeren Benzolkerns im Anthracen durch einen Naphthalinkern, da in der aromatischen Reihe die mittlere Dichte der B-Elektronen kontinuierlich ansteigt, im Naphthalin also höher ist als im Benzol, und die Wellen- und damit auch die Dichtefunktionen am Rande eines Kernes nicht verschwinden, so daß sie noch einen Beitrag zur Dichte des Mittelraumes liefern. Die Stellen an den Mesokohlenstoffatomen der Anthracenreihe nennen wir die *aktiven Stellen des K.K.* Sie sind, wie die analogen Stellen bei den Phenanthrenderivaten, dadurch gekennzeichnet, daß eine *Zweiergruppe* von B-Elektronen vorliegt, die auch chemisch durch große Reaktivität ausgezeichnet ist. Ihre Dichte ist bereits im Anthracen beträchtlich.

Mit der Dichteerhöhung geht Hand in Hand die *Steigerung der Nullpunktsenergie*, damit verbunden ist eine *Erniedrigung der Anregungsenergie*, die sich in einer *Verringerung der Aktivierungswärme und in einer Rotverschiebung der Ultraviolettbanden* äußert, wie ich dies an zahlreichen Beispielen nachgewiesen habe (10). Hiernach besitzen die K.K. eine besonders niedrige Anregungsenergie und große Rotverschiebung in ihrer Gruppe (10).

Durch eine vor kurzem erschienene Arbeit von NORMAN JONES über Ultraviolett-Absorptionsspektren der 1,2-Benzanthracenreihe (11), die mit Unterstützung von L. F. FIESER ausgeführt wurde, haben diese Ergebnisse eine experimentelle Bestätigung erfahren. Es zeigte sich, daß ganz entsprechend obigen Überlegungen die typischen K.K., wie Methylcholanthren, 9,10-Dimethyl-1,2-benzanthracen, Benzpyren, von allen untersuchten Derivaten des 1,2-Benzanthracens die stärkste Rotverschiebung aufweisen.

Wenn es somit als feststehend betrachtet werden muß, daß die K.K. entsprechend ihrer erheblichen Rotverschiebung eine niedrigere Anregungsenergie besitzen als die inaktiven Vertreter der gleichen Gruppe, so erscheint es doch auf den ersten Blick kaum möglich, wegen der Kleinheit der in Frage kommenden Energiedifferenzen Schlüsse auf den Reaktionsmechanismus zu ziehen. Diesen Standpunkt nimmt auch NORMAN JONES ein. In der Tat entspricht der stärksten Rot-

verschiebung in der 1,2-Benzanthracenreihe von 95 Å zwischen dem inaktiven 1,2-Benzanthracen und seinem 9,10-Dimethylderivat nur eine Differenz der Anregungsenergien von 3155 cal, was sehr wenig ist. Und doch kann eine solch kleine Differenz bei den Aktivierungswärmen die Reaktionsgeschwindigkeit langsam verlaufender Prozesse in entscheidender Weise beeinflussen. Zu dieser Art von Prozessen gehört auch der Krebsprozeß, insbesondere dann, wenn es sich um die Zufuhr relativ niedrigwertiger Energie handelt. Dies zeigt sich besonders deutlich beim gewöhnlichen Hautkrebs; er entsteht fast nur an den dem Licht ausgesetzten Hautpartien; die Krankheit ist am häufigsten bei den Bevölkerungsgruppen, die berufsmäßig ihre Haut besonders lange und besonders intensiv dem Tageslicht aussetzen, wie dies bei Bauern und Seeleuten der Fall ist. Alle diese Faktoren: Länge der Zeit, Intensität der Strahlung, Ausdehnung der bestrahlten Fläche, erhöhen die Wahrscheinlichkeit der krebsregenden Veränderung; der Krebs tritt hier meist erst nach einer Reihe von Jahren ein. Für normale Menschen unter den üblichen Lebensbedingungen, bei denen die Haut nie lange der intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, ist die Gefahr, durch Tageslicht Hautkrebs zu bekommen, sehr gering.

Diese Erfahrungen übertragen wir nun auf die K.K. Das violette Spektrum des Tageslichts endet bei etwa 3900 Å, also gerade da, wo das Absorptionsspektrum der K.K. beginnt. Dem größten Teil des Wellenbereichs des Tageslichts entspricht also eine wesentlich kleinere Energie. Hierauf ist es wohl zurückzuführen, daß zur Entstehung des Hautkrebses eine erheblich längere Zeit erforderlich ist als zu dem mit Hilfe des K.K. erzeugten Krebses; hier beträgt die Latenzperiode bei Anwendung der aktivsten K.K. 15–20 Wochen gegenüber vielen Jahren im ersten Falle. Man wird die Aktivierungsenergie auf etwa 3 bis 3,5 eV schätzen. Bei den kondensierten Aromaten ist weiter die Möglichkeit vorhanden, daß manche Verbindungen uns bloß deshalb als inaktiv erscheinen, weil die Latenzzeit größer ist als die Lebensdauer der Versuchstiere. Sei z. B. k_1 die Geschwindigkeitskonstante von 1,2-Benzanthracen beim Krebsprozeß, k_2 die seines 9,10-Dimethylderivats, Δ die Differenz der Aktivierungswärmen, die wir der der Anregungsenergien gleichsetzen wollen, und untersuchen wir die Einwirkung bei Bluttemperatur, also bei rund 310° abs., so ist:

$$k_1/k_2 = e^{-\Delta/620} = 1/162.$$

Nehmen wir an — was meistens zutrifft — die Reaktionsgeschwindigkeit ließe sich durch das Schema einer monomolekularen Reaktion wiedergeben:

$$k = 1/t \ln a/(a-x)$$

und wählen wir in beiden Fällen x gleich einem bestimmten Bruchteil von a , so verhalten sich die Geschwindigkeitskonstanten umgekehrt wie die Zeiten, d. h. die Reaktionsgeschwindigkeit ist im

zweiten Falle 162mal größer, so daß zu erwarten ist, daß der Krebs in einer dementsprechend kürzeren Zeit auftritt. Reduzieren wir die Rotverschiebung auf etwa die Hälfte, auf 45 Å, so haben wir im 10-Methyl-1,2-benzanthracen einen recht aktiven K.K., dessen Reaktionsgeschwindigkeit immer noch 12mal größer ist als die des Grundkörpers (12). Das erscheint recht befriedigend.

Nun ist zweifellos die Erniedrigung der Anregungsenergie, die sich in der Rotverschiebung äußert, nicht das einzige Erfordernis für das Zustandekommen eines kanzerogenen Stoffes. Das ergibt sich schon daraus, daß das 10-Isopropyl-1,2-benzanthracen trotz starker Rotverschiebung, weiter das 10-n-Butyl-1,2-benzanthracen, dessen Rotverschiebung nicht gemessen, die aber sicher gleich der der Isopropylverbindung, wenn nicht größer ist, keine kanzerogenen Eigenschaften besitzen, während das 10-Methyl-1,2-benzanthracen ein stark, das 10-Äthyl-1,2-benzanthracen ein mäßig aktiver K.K. ist. Der Grund für diese Erscheinung liegt auf der Hand: es ist die dem Organiker so geläufige *sterische Hinderung*. Wie ich bereits früher hervorhob (13), ist es notwendig, daß die aktiven Stellen des K.K. nahe an die umzuwandelnden Substanzen herankommen, da die zwischenmolekularen Kräfte rasch mit der Entfernung abnehmen; in unserem Falle sind die aktiven Stellen die Mesokohlenstoffatome des Anthracengerüsts. Sperrige Substanzen in der Nähe dieser Stelle verringern oder verhindern daher die kanzerogene Aktivität.

Auf sterische Hinderung ist offenbar auch das Verschwinden der Aktivität von 8,9-Ace-1,2-benzanthracen bei Einführung einer Methylgruppe in die der 8-Stellung benachbarte Stellung 7 zurückzuführen (Fig. 1). Man wird erwarten, daß diese wegen der Nachbarstellung der Acegruppe, die ihrerseits wieder der 1,2-Benzgruppe benachbart ist, aus der Molekülebene herausgedrängt wird.

Die B-Elektronen der K.K. der 1,2-Dibenzanthracenreihe lassen sich, wie die aller anderen K.K., in Zweier-, Sechser- (Benzol-) und Zehner- (Naphthalin-) Gruppen unterbringen. Die Reihenfolge 2, 6, 10 erinnert hierbei an die Schalenbesetzung im periodischen System mit 2, 8, 18 Elektronen. Die Differenz ist auf den ausgesprochen flachen Bau der Aromaten zurückzuführen. Sowohl die Untersuchungen von E. HÜCKEL mit Hilfe der Störungsrechnung (14) wie die meinigen mit Hilfe des Kastenmodells (15) ergeben für die Besetzungszahlen von 2, 6, 10-B-Elektronen abgeschlossene Systeme, die sich offenbar auch im größeren Komplex eines kondensierten Aromaten mehr oder weniger erhalten. Von diesen ist die Zweiergruppe die reaktivste und daher wichtigste. Alle wirksamen K.K. enthalten Zweiergruppen, die ein-

fachen 1,2-Benzanthracene eine, das Benzpyren deren zwei (16). Bei Abwesenheit einer Zweiergruppe fehlt der kanzerogene Charakter. So läßt sich das 1,2,3,4-Dibenzanthracen (Fig. 2a) nur in eine Zehner- und zwei Sechsergruppen aufteilen, es ist inaktiv, während das aus zwei Zehner- und einer Zweiergruppe bestehende 1,2,5,6-Dibenzanthracen (Fig. 2b) ein K.K. mittlerer Aktivität ist.

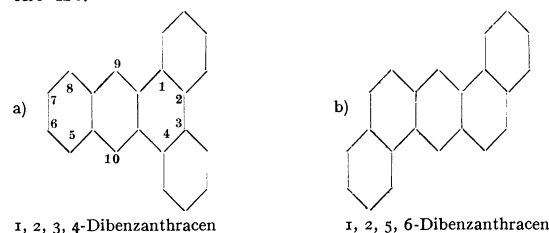


Fig. 2.

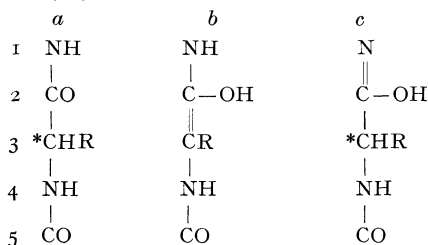
Endlich ist für den K.K. auch eine gewisse Beständigkeit und Diffusionsfähigkeit erforderlich; der K.K. bleibt ja lange Zeit den chemischen Einflüssen der Zelle unterworfen, ehe ihm ein „Treffer“ gelingt; allzu große Reaktivität würde ihn daher vorzeitig, z. B. durch Oxydation, zerstören. Daß auch eine gewisse Diffusionsfähigkeit erforderlich ist, liegt ja schon in seiner Anwendung begründet, denn der K.K. muß ja bei seiner subcutanen Injektion aus der Öl- oder Fettemulsion in das Gewebe wandern. Durch alle diese Bedingungen wird die Zahl der K.K. erheblich eingeschränkt.

Wir charakterisieren also den K.K. im wesentlichen durch seine relativ *leichte Anregbarkeit*. Die niedrigste Energie, die benötigt wird, entspricht einem Wellenbereich um etwa 3900 Å, liegt also um 3,2 eV. Es ist wahrscheinlich, daß diese Anregungsenergie bei der Adsorption an Körpersubstanz noch weiter erniedrigt wird, wie dies O. WARBURG beim Alloxazin gezeigt hat (17). Da im angeregten Zustand ungekoppelte Valenzelektronen vorhanden sind, diese aber, wie KEEVIL in einer Reihe von Arbeiten gezeigt hat (18), Elektronenaffinität besitzen, *so beruht hiernach die Wirksamkeit des K.K. auf der Elektronenaffinität seines relativ leicht herstellbaren angeregten Zustandes, der den Quantensprung im Nachbarmolekül erniedrigt*; ein solches Molekül sei z. B. ein Eiweißmolekül im Zellverband.

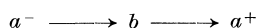
Der niedrigste Quantensprung in einer Eiweißkette ist der eines B-Elektrons einer Doppelbindung; solche sind in der Hauptsache in den CO-Gruppen, also zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff, vorhanden. Der angeregte K.K. überträgt hiernach seine Anregung auf die eines B-Elektrons einer CO-Gruppe einer Eiweißkette.

Nun aber besagt die Spaltungsregel (19), daß die im reagierenden Molekül neben einer mehrfachen Bindung stehende einfache Bindung verstärkt, die darauffolgende Bindung geschwächt wird und daß sich dieser Wechsel von starker und schwacher Bindung mit abnehmender Intensität durch das Molekül fortsetzt. In der Gruppe der

Eiweißkette: $\text{NH}-\overset{1}{\underset{\text{R}}{\text{C}}}-\overset{2}{\text{O}}-\overset{3}{\text{CH}}-\overset{4}{\text{NH}}-\overset{5}{\text{CO}}$ sind nun im Grundzustand eine Reihe von solch schwachen Bindungen vorhanden: die $\overset{3}{\text{C}}-\text{H}$ -, $\overset{1}{\text{N}}-\text{H}$ -, $\overset{3}{\text{C}}-\text{R}$ - und die $\overset{3}{\text{C}}-\overset{4}{\text{N}}$ -Bindung. Ihre Bindungsfestigkeit ist verschieden. Da die Wasserstoffatome besonders leicht beweglich sind, wird an den Bindungen, an denen diese beteiligt sind, zuerst eine Sprengung unter Platzwechsel und Bildung der Gruppierungen *b* und *c* gemäß folgendem Schema eintreten (20):



Im Schema bedeutet das Sternchen in *a* und *c* ein asymmetrisches Kohlenstoffatom. Man sieht, daß in *b* das asymmetrische Kohlenstoffatom verschwunden ist; bei der Rückverwandlung von *b* in *a* kann also der optische Antipode entstehen. Wie KÖGL und ERXLEBEN festgestellt haben (21), sind nun die Aminosäuren der Eiweißkette, die normalerweise der l-Reihe angehören, im Tumorgewebe teilweise racemisiert; dies gilt auch für Tumoren, die mit Hilfe der K.K. entstanden sind (22). Wir haben also die Reaktionsfolge:



Der Übergang $a \longleftrightarrow c$ wird von GRASSMANN und SCHNEIDER (23) bei der Reaktion der Di-peptidase angenommen; zu Racemisierung führt er nicht, da das asymmetrische Kohlenstoffatom unverändert bleibt.

Außer den obigen Umlagerungen, die auf intermediärer Sprengung einer C—H- bzw. einer N—H-Bindung beruhen und besonders leicht eintreten, können aber auch noch andere Bindungen, wie die obengenannten C—R- und C—N-Bindungen, gesprengt werden; weiter ist in Formel *b* (s. o.) die Bindung $\overset{4}{\text{N}}-\overset{5}{\text{C}}$ geschwächt; die Spaltung an dieser Stelle führt zu Aminosäureresten, während der hydrolytische Abbau, die wichtigste biologisch bekannte Reaktion dieser Art, zu den freien Aminosäuren führt. Bei den zahlreichen Umwandlungen, die das Zelleiweiß erleidet, z. B. bei der Bildung der argininreichen Eiweißkörper der Geschlechtsorgane auf Kosten der argininarmen Skelettmuskulatur des Lachses, ist aber der Weg über die radikalischen Reste um mehrere Reaktionsstufen kleiner als der über die freien Aminosäuren.

Bei der Einwirkung der K.K. sind diese und ähnliche Reaktionsfolgen nicht gesteuert, und darin liegt ihre Gefahr für den Organismus. So können

neue virulente krebserzeugende Eiweißverbindungen (Virusarten) entstehen, wie das Virus des Rous-Sarkoms, oder es zerfällt das Zelleiweiß unter Bildung nekrotischen Gewebes. Hierfür sind wohl in erster Linie die Spaltungen von N—C-, C—N- und vielleicht auch C—C-Bindungen verantwortlich zu machen. Dagegen erscheint die Gefährdung des Organismus durch Racemisierung weniger groß. Jedenfalls kann Gefährdung ohne Racemisierung eintreten, denn wie SCHRAMM und MÜLLER gezeigt haben, gehören die Aminosäuren des Tabakmosaikvirus alle der l-Klasse an, sind also normal (24).

Es erscheint daher wahrscheinlich, daß die Bösartigkeit der Krebsgeschwulst in erster Linie auf die Umwandlungen zurückzuführen ist, die das Eiweißmolekül durch die letztgenannten Spaltungen erleidet, die sich auf Grund der Spaltungsregel ergeben. Die hierzu nötige Aktivierungsenergie wird vom angeregten K.K. durch den angegebenen Mechanismus auf das Eiweißmolekül übertragen.

Die Krebskohlenwasserstoffe sind nur eines der vielen Mittel, um Krebs zu erzeugen; von den chemischen sind es freilich die wirksamsten; aber auch die anderen chemisch wirksamen Stoffe, wie Arsenverbindungen, Chlorzink, Alkalien, enthalten elektronenaffine Gruppen, wie die Halogene in dissoziierbarem Zustand, Sauerstoff und wahrscheinlich auch Arsen. Wie alle diese elektronenaffinen Gruppen und Atome Quantensprünge von Valenzelektronen bewirken oder erleichtern, so ist dies auch bei den wichtigsten physikalischen Mitteln, Radium-, Röntgen-, Neutronen-, ultraviolette Strahlen, in manchen Fällen Tageslicht, der Fall. Die Frage, die K. H. BAUER ungefähr folgendermaßen formuliert hat (25): „Wie sind alle diese exogenen Faktoren bei der Geschwulstbildung auf einen Generalnenner zu bringen?“ läßt sich also dahin beantworten, daß sie alle einen angeregten Zustand in der Zelle erzeugen, der ihre Mutation zur Krebszelle erleichtert. Daß dies ein angeregter Zustand eines Eiweißmoleküls ist, erscheint wahrscheinlich und ist in den vorstehenden Ausführungen angenommen worden.

Ein wesentliches Mittel bei der Bekämpfung des Krebses wird daher die Prophylaxe liefern. Man wird sich vor der langdauernden Einwirkung solcher Agenzien zu hüten haben, die wie der Staub arsenhaltiger Mineralien den Lungenkrebs, das Anilin in Dampfform den Blasenkrebs, das Nikotin unter anderem den Zungenkrebs, das 4-Dimethylamidoazobenzol (Buttergelb) den Leberkrebs erzeugen. Die Zahl dieser Substanzen wird sich sicher vermehren lassen, und eine systematische Untersuchung dieser und anderer schädigender Agenzien erscheint geboten, wie dies ja auch an vielen Stellen geschieht. Auch Eugenik spielt wahrscheinlich eine wichtige Rolle, denn wir wissen aus dem Tierversuch, daß einzelne Stämme besonders anfällig sind.

Im vorstehenden Bericht wurde versucht, das Ergebnis von zum Teil umfangreichen Arbeiten

über die Charakterisierung der K.K. und den Mechanismus ihrer Wirkung kurz zusammenzufassen und weiterzuführen. Daß dies nicht lückenlos erreichbar ist, liegt in der Natur der Sache; insbesondere war es nicht möglich, die theoretische Grundlage der ganzen Überlegungen, das *Kastenmodell* und seine wellenmechanische Behandlung näher zu besprechen. Hierüber liegt indes bereits ein zusammenfassender Bericht vor, auf den verwiesen sei (26).

Literatur: (1) W. R. EARLE u. C. VOEGTLIN, J. of Canc. **34**, 373 (1938). — (2) E. L. KENNAWAY u. J. HIEGER, Brit. med. J. **1**, 1044 (1930). — E. L. KENNAWAY u. N. M. KENNAWAY, Acta internat. Union against Canc. **2**, 101 (1937). — (3) J. V. COOK, Zahlreiche Veröffentlichungen, insbesondere Ber. dtsh. chem. Ges. (A) **69**, 38 (1936). — (4) L. F. FIESER, Zahlreiche Veröffentlichungen, insbesondere Amer. J. Canc. **34**, 37 (1938). — (5) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **42**, 83 (1939). — (6) E. HÜCKEL, Z. Physik **70**, 204 (1931) — Z. Elektrochem. **43**, 752, 827 (1937). (7) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **39**, 78ff. (1938); **42**, 94ff. (1939). — (8) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B

47, 1 (1940). — (9) Durch Adsorption tritt Dichteerhöhung ein. — (10) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **47**, 23 (1940); B **42**, 98ff. (1939). — (11) R. NORMAN JONES, J. amer. chem. Soc. **62**, 148 (1940). — (12) Bezgl. der Berechnungen vgl. O. RICE, Free radicals. S. 152 (Faraday Soc. **1933**). — (13) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **42**, 102 (1939). — (14) E. HÜCKEL, l. c. S. 212ff. — (15) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **39**, 78 (1938); **44**, 191 (1939). — Naturwiss. **26**, 444 (1938). — (16) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B **42**, 98 (1939). — (17) O. WARBURG, Erg. Enzymforsch. **7**, 224 (1938). — (18) N. B. KEEVIL, J. amer. chem. Soc. z. B. **59**, 2104 (1938). — (19) O. SCHMIDT, Z. Elektrochem. **43**, 853 (1937). — (20) O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. B. **44**, 194 (1939). — (21) F. KÖGL u. H. ERXLIEBEN, H.-S., Z. physiol. Chem. **258**, H. 2 u. 3 (1939). — (22) F. KÖGL, H. ERXLIEBEN u. H. ERKER, H.-S., Z. physiol. Chem. **263**, 107 (1940). — (23) W. GRASSMANN u. F. SCHNEIDER, Erg. Enzymforsch. **5**, 104 (1936). — (24) G. SCHRAMM u. H. MÜLLER, Naturwiss. **1940**, 223/24. — (25) K. H. BAUER, Mutationstheorie der Geschwulstentstehung 1928, S. 54. — (26) O. SCHMIDT, Ber. dtsh. chem. Ges. **73** (A), 97 (1940).

(Anschrift des Verfassers: Dr. OTTO SCHMIDT, Ziegelhausen bei Heidelberg, Schönauer Str. 16a.)

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Eine neue Aktivitätszone der Sonnenkorona.

Die Beobachtungen der Korona im kontinuierlichen Licht bei Finsternissen zeigten, daß die Koronastrahlen nicht wie die photosphärischen und chromosphärischen Erscheinungen auf bestimmte Breitenzonen beschränkt sind, sondern in allen Breiten (Positionswinkeln) auftreten können. Die Photometrierung von Finsternisaufnahmen zeigt ferner, daß

Tabelle 1. Verteilung monochromatischer Koronastrahlen nach heliographischer Breite.

Heliographische Breite	0 bis	5 bis	10 bis	15 bis	20 bis	25 bis	30 bis	35 bis	40 bis	45 bis	50 bis	55 bis	60 bis	65 bis	70 bis	75 bis	80 bis	85 bis
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Zahl der Koronastrahlen	10	22	16	17	12	8	8	2	3	1	1	2	12	3	1	1	0	0

die Isophoten sehr kreisähnlich sind. Ein wesentlich anderes Verhalten zeigen die monochromatischen Koronastrahlen im Lichte der Emissionslinien, wie sie vom Verfasser ohne Finsternis ausgeführt werden. Schon die ersten Beobachtungen¹⁾ zeigten, daß die Intensität der grünen Koronalinie 5303 Å (die übrigen Emissionslinien verhalten sich ähnlich) ihre Maxima in der Fleckenzone hat, am Äquator und in höheren Breiten gering ist und in der Polarzone verschwindet, also eine ausgesprochene zonale Verteilung besitzt. Eine neuere Untersuchung²⁾ zeigte dann, daß die Linienemissionen (5303 Å und 6374 Å) in 60–65° Breite häufig sekundäre Maxima (Strahlen) zeigen, die allerdings weniger intensiv sind als diejenigen in der Fleckenzone. Seither wurde vom 27. September bis 14. Oktober 1940 weiteres Beobachtungsmaterial erhalten, das die neue Aktivitätszone bei etwa 63° Breite ebenfalls sehr deutlich zeigt, womit die Existenz der neuen Zone gesichert ist. Tabelle 1 zeigt die Breitenverteilung der während der Beobachtungsperiode im Herbst 1940 beobachteten 119 Intensitätsmaxima (Strahlen) der Linie 5303 Å. Die neue Aktivitätszone hat eine Ausdehnung in Breite von nur etwa 5°; ihre mittlere Breite betrug im Herbst 1940 63° und hat sich seit Anfang 1939 nicht merklich geändert. Dagegen betrug die mittlere Breite der Hauptmaxima Anfangs 1939 14,8°, im Herbst 1940 nur noch 12,1°, worin die Wanderung der Hauptzone mit der Fleckenzone zum Ausdruck kommt. Die neue Aktivitätszone bei 63° zeigt sich weder in photosphärischen noch in chromosphärischen Erscheinungen, sondern ist nur der Korona eigen; deshalb wird es auch erst möglich sein, etwas über das Verhalten der 63°-Zone während des 11-jährigen Zyklus aus-

zusagen, wenn sich unsere Beobachtungen über einen vollen Zyklus erstrecken werden.

Arosa (Schweiz), Observatorium der Eidgenössischen Sternwarte Zürich, den 27. Januar 1941.

M. WALDMEIER.

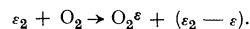
¹⁾ M. WALDMEIER, Z. Astrophys. **19**, 21 (1939).

²⁾ M. WALDMEIER, Z. Astrophys. **20**, 172 (1940).

Phosphoreszenzwandlung durch Sauerstoff.

Sehr viele fluoreszierende, aromatische Verbindungen phosphoreszieren, wenn ihre Moleküle assoziiert und energetisch genügend isoliert sind¹⁾. Besonders günstige Bedingungen hierfür sind in evakuierten Adsorbaten derartiger Verbindungen gegeben. Fügt man einem Adsorbat während des Abklingens seiner Phosphoreszenz Sauerstoff hinzu, so leuchtet es kurz und hell in der Farbe der Fluoreszenz auf. Bezeichnen wir mit ϵ_1 die Energie des fluoreszenzverursachenden, kurzlebigen Anregungszustandes, mit ϵ_2 die des phosphoreszenzverursachenden, langlebigen Zustandes, dann ist gesetzmäßig immer $\epsilon_1 > \epsilon_2$. Ist die Energiedifferenz ($\epsilon_1 - \epsilon_2$) nicht zu groß, so kann die Phosphoreszenz auch thermisch in die Fluoreszenz übergeführt werden.

Besonders rein sind die Versuchsbedingungen bei der Verwendung eines hochvakuierten Adsorbates von Triphenylpyryliumchlorid an Silikagel ($2,5 \cdot 10^{-5}$ Mol auf 10 g Si-Gel) bei tiefer Temperatur (–80 bis –180°). Sauerstoff verwandelt seine gelbgrüne Phosphoreszenz mit hellem Aufblitzen in die blaue Fluoreszenz. Bei dieser Wechselwirkung zwischen Sauerstoff und ϵ_2 -Zuständen wird Sauerstoff nicht meßbar verbraucht; ein auffälliges Verhalten im Vergleich mit anderen Farbstoffen. Das belichtete Triphenylpyryliumchlorid wirkt nur als Sensibilisator für eine Aktivierung des Sauerstoffs²⁾:



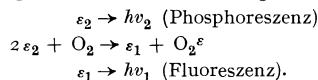
Der aktivierte Sauerstoff kann durch adsorbierte Sauerstoff-acceptoren, wie Schwefelwasserstoff oder Allylthioharnstoff, abgefangen werden, ohne daß dadurch das fluoreszenzgleiche Aufleuchten des Adsorbats beeinflusst wird. Demnach

liefert weder eine Oxydation noch O_2^e die Energie für das Aufleuchten.

Nach dem Inhalt der letzten vier Sätze vermag allein der nach der Wechselwirkung mit Sauerstoff im Farbstoff verbleibende Energiebetrag ($\varepsilon_2 - \varepsilon$) die für das Aufleuchten nötige Energie zu geben. Seine Wirkung kann die sein, einen noch unberührten ε_2 -Zustand auf einen ε_1 -Zustand zu erhöhen. Das ist möglich, wenn

$$(\varepsilon_2 - \varepsilon) \cong (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \text{ ist.}$$

Diese Bedingung scheint den Ergebnissen nach bei den meisten Stoffen erfüllt zu sein. Im Hinblick darauf, daß Sauerstoff in Wechselwirkung mit ε_2 -Zuständen aktiviert wird und damit gleichzeitig weitere ε_2 -Zustände in fluoreszenz-emittierende ε_1 -Zustände übergehen, also mindestens zwei oder mehrere ε_2 -Zustände an dem Leuchtmechanismus beteiligt sind, formulieren wir, ohne ins einzelne zu gehen oder eine genaue Energiebilanz aufzustellen, die Phosphoreszenz-umwandlung in einfachster Form folgendermaßen:



Nachdem der aktive Sauerstoff O_2^e keine Energie dem Emissionsort mitteilt, kann der zur Fluoreszenz führende Energieaustausch nur zwischen Farbstoffmolekülen innerhalb der Grenzfläche stattfinden. Zwischen diffus adsorbierten, fixierten Molekülen ist ein solcher Austausch nicht möglich. Es müssen irgendwie zusammenhängende Bereiche adsorbierter Farbstoffmoleküle vorhanden sein, innerhalb welcher sich die Lumineszenz-umwandlung abspielt.

Solche Bereiche können voraussichtlich nur oberhalb einer gewissen begrenzenden Mindest-Konzentration adsorbierter Moleküle auftreten, und die Wahrscheinlichkeit, gleichzeitig mehrere ε_2 -Zustände in einem Bereich vorzufinden, wird von der Intensität und Dauer der Phosphoreszenzerregung abhängen.

Die Versuche bestätigen diese Voraussicht: Erregt man die Phosphoreszenz normaler Adsorbate mit sehr geringen Lichtintensitäten oder Adsorbate sehr geringer Farbstoffkonzentration mit hohen Lichtintensitäten, so wirkt in beiden Fällen Sauerstoff nur auslöschend auf die abklingende Phosphoreszenz, ohne ihre Umwandlung in das fluoreszenzfarbige Aufleuchten zu verursachen. Unter den gleichen Bedingungen gelingt aber die Phosphoreszenz-umwandlung noch sehr schön bei Zuführung äußerer Energie durch plötzliches Erwärmen der phosphoreszierenden Adsorbate. Dieser Prozeß ist in bezug auf die ε_2 -Zustände eben nur einquantig.

Die Phosphoreszenz-umwandlung durch Sauerstoff ist eine beinahe ebenso häufige Erscheinung, wie die Phosphoreszenz aromatischer Verbindungen selbst. In ihrer Art und Auswirkung sind die hier in Erscheinung tretenden Bereiche polar adsorbierter, assoziierter Moleküle grundverschieden von den besonders eigenartigen SCHEIBESCHEN lockeren Farbstoffkomplexen³⁾ der Polymethinfarbstoffe.

Leipzig, Chemisches Laboratorium der Universität, den 19. Februar 1941. H. KAUTSKY. G. MÜLLER.

¹⁾ H. KAUTSKY u. H. MERKEL, Naturwiss. 27, 195 (1939) — Diss. H. MERKEL, Leipzig 1940.

²⁾ H. KAUTSKY, Biochem. Z. 291, 271 (1937).

³⁾ G. SCHEIBE, Angew. Chem. 52, 631 (1939).

Besprechungen.

Handbuch der analytischen Chemie. Herausgegeben von R. FRESENIUS und G. JANDER. III. Teil: **Quantitative Bestimmungs- und Trennungsmethoden.** Band Ia. Elemente der ersten Hauptgruppe (einschl. Ammonium). Lithium, Natrium, Kalium, Ammonium, Rubidium, Caesium. Bearbeitet von E. BRENECKE, F. BUSCH, L. FRESENIUS, R. FRESENIUS. XV, 404 S. u. 31 Abbild. Band II a. Elemente der zweiten Hauptgruppe. Beryllium, Magnesium, Calcium, Strontium, Barium, Radium und Isotope. Bearbeitet von F. BUSCH, O. ERBACHER, K. LANG, A. SCHLEICHER, G. SIEBEL, F. STRASSMANN, M. STRASSMANN-HECKTER, K. E. STUMPF, C. TANNE, B. WANDROWSKY. XI, 446 S. mit 13 Abbild. 17 cm × 25 cm. Berlin: Julius Springer 1940. Preis: Bd. Ia geh. RM 51.—, geb. RM 54.—; Bd. II a geh. RM 57.—, geb. RM 60.—.

Das Erscheinen eines Handbuchs der analytischen Chemie muß das Interesse eines jeden anorganischen Chemikers erwecken. Man begrüßt es in der Erwartung, endlich eine willkommene Ergänzung des unentbehrlichen Gmelin zu erhalten.

Jeder forschende Chemiker, der im Laufe seiner Untersuchungen Analysen ausführen mußte, die aus dem Rahmen der üblichen Wald- und Wiesenanalysen herausfielen, wird gleich mir bisher einen solchen Helfer in der Not, wie es ein wirklich erschöpfendes Handbuch der analytischen Chemie sein soll, schwer vermißt haben. Darunter verstehe ich in voller Übereinstimmung mit den Herausgebern ein Werk, das nicht nur die zahllosen Ergebnisse analytischer Forschung bis zur Gegenwart sammelt, sondern dieselben auch kritisch wertet und damit dem Leser Arbeit spart. Es ist ein großer Vorteil eines Handbuchs, das ein Produkt vieler Mitarbeiter ist, daß diese wohl zumeist Spezialisten auf dem von ihnen bearbeiteten Gebiete sind und daher auch berechtigterweise ihr Teilgebiet kritisch behandeln können. Möglichste Vollständigkeit des behandelten Materials bei verständnisvoller, d. h. sachverständiger Sichtung und Anord-

nung desselben, das sind die Hauptforderungen, die man an ein solches Handbuch stellen muß.

In dem vorliegenden Werk scheinen diese Forderungen erfüllt zu werden, dafür bürgen auch schon die Namen der sehr sachverständigen Herausgeber, R. FRESENIUS und G. JANDER, die zahlreiche Fachvertreter als Mitarbeiter um sich gesammelt haben.

Das sehr groß angelegte Werk ist in vier Teile gegliedert, von denen der 1. die allgemeine Methodik, der 2. die qualitative Analyse, der 3. die quantitativen Bestimmungs- und Trennungsmethoden und der 4. spezielle Verfahren behandeln wird. Jeder Teil soll den sachlichen Erfordernissen entsprechend mehrere Bände umfassen. Erschienen sind bisher 2 Bände des III. Teils, welche die quantitative Analyse der Elemente der I. bzw. der II. Hauptgruppe enthalten entsprechend dem Grundsatz, daß die einzelnen Elemente in der Reihenfolge des periodischen Systems behandelt werden sollen.

Die Durchsicht dieser beiden Bände hinterläßt einen durchaus günstigen Eindruck und berechtigt zu der Hoffnung, daß hier ein Standardwerk im Entstehen begriffen ist, das berufen scheint, eine schmerzlich empfundene Lücke unserer chemischen Literatur in dankenswerter Weise auszufüllen.

Die Behandlung des Stoffes ist so eingeteilt, daß bei jedem Element in einer Einleitung zunächst sämtliche Bestimmungsmöglichkeiten nach den verschiedenen quantitativen Methoden, die Gewichtsanalyse, Maßanalyse und die diversen physikalisch-chemischen Methoden umfassen, aufgezählt werden, worauf die Eignung der wichtigsten Verfahren gewertet und schließlich die Auflösung des Analysenmaterials besprochen wird. Dann folgt die ausführliche Besprechung der einzelnen Verfahren in sehr übersichtlicher und ausführlicher Weise, so daß man, abgesehen von besonderen Fällen, zumeist die Originalliteratur wird entbehren können.

Das Werk ist, wie alle Handbücher dieses Verlages, ausgezeichnet ausgestattet, sehr schön gedruckt, die im Text verstreuten Zeichnungen mit aller Sorgfalt

sauber und präzise ausgeführt und, was ein besonderer Vorzug ist, fachmännisch richtig, so daß mancher liebe Leser aus den Abbildungen lernen kann, daß ein zweckmäßig gebauter Apparat auch gefällig aussehen kann. Die einzelnen Bände sind auf einen Umfang von etwa 400 Seiten beschränkt und dadurch sehr handlich, ein nicht zu unterschätzender Vorteil gegenüber den unhandlichen Wälzern anderer Handbücher.

Es wäre nur zu wünschen, daß wenigstens die jüngere Generation der jetzt tätigen Analytiker die Vollendung dieses verdienstvollen Unternehmens erlebt und daß demselben das Schicksal so mancher neuerer Handbücher der anorganischen Chemie, die unvollendet veralten, erspart bleiben möge. Junge Kräfte sind am Werk und haben dabei die Führung, und deshalb wage ich es, ihm ein günstiges Prognostikon zu stellen. O. HÖNIGSCHMID.

Annual Review of Biochemistry, Volume VIII. Herausgegeben von J. M. LUCK und J. H. C. SMITH. IX. 676 S. und 2 Abbild. 15 cm × 23 cm. Stanford University Press 1939, California. Preis \$ 5.—.

Der 8. Band der Sammlung „Annual Review of Biochemistry“ wurde mit derselben Freude begrüßt wie seine Vorgänger, die überall unentbehrlich geworden sind. Da es immer schwerer wird, alle in einem Berichtsjahr erschienenen Veröffentlichungen auf dem Gebiet der ständig wachsenden biologischen Chemie zu erfassen und kritisch zu verarbeiten, tritt im vorliegenden Band stärker als in den letzten das Bestreben hervor, Übersichten über bestimmte Gebiete und Themen zu geben, in denen unter dem vom Verfasser vertretenen Gesichtspunkt die wichtigsten Ergebnisse, Probleme und Arbeitsziele kritisch dargeboten werden. Dem Referenten scheint darin ein begrüßenswerter Fortschritt zu liegen, denn mit der früher in manchen Beiträgen zutage getretenen kurzen Aufzählung von Publikationsergebnissen ohne irgendeine kritische Würdigung ist dem Leser meist nicht ausreichend gedient, und an Referatenorganen solcherart fehlt es nicht. Dem 8. Band des „Annual Review of Biochemistry“ steht erstmalig ein ähnliches Unternehmen auf dem Gebiet der Physiologie zur Seite. Durch die Möglichkeit, im „Annual Review of Physiology“ einige Gebiete unterzubringen, die bisher im biochemischen Teil erschienen, ist eine erfreuliche Konzentration auf diejenigen Themen erzielt worden, deren Schwerpunkt im Gebiet der Chemie liegt. Beide Unternehmungen ergänzen sich vorzüglich.

Von den Beiträgen im vorliegenden Band sind besonders die Übersichten hervorzuheben, die einen ausgezeichneten Einblick in die Fragen der modernen Eiweißchemie bieten: „The Chemistry of Proteins and Amino Acids“ von A. TISELIUS, „Proteolytic Enzymes“ von K. LINDERSTRÖM-LANG, „X-Ray Studies of the Structure of Compounds of Biological Interest“ von W. T. ASTBURY, und „Immunochemistry“ von M. W. CHASE und K. LANDSTEINER. Der Abschnitt „Biological Oxidations and Reductions“ von M. DIXON läßt die großen Fortschritte erkennen, die in der Charakterisierung der hier angreifenden Enzyme in den letzten Jahren erzielt wurden; er wird aufs beste ergänzt durch die Betrachtung über „Nonproteolytic Enzymes“ von K. MYRBÄCK. Erfreulichen Aufschwung haben — besonders durch die Verwendung von Isotopen und radioaktiven Elementen als Bausteine physiologisch wichtiger Verbindungen — unsere Kenntnisse vom Stoffwechsel erfahren; davon geben mehrere Abschnitte über den tierischen Stoffwechsel Kenntnis. Der Lipidstoffwechsel wurde von W. M. SPERRY, der Eiweiß-

stoffwechsel von R. W. JACKSON und J. P. CHANDLER, der Kohlehydratstoffwechsel von I. L. CHAIKOFF und A. KAPLAN behandelt, ihre Darstellungen finden eine Ergänzung durch die Übersichten „The Chemistry and Metabolism of the Compounds of Sulfur“ von G. MEDES und „Mineral Metabolism: Calcium, Magnesium and Phosphorus“ von D. M. GREENBERG, und besondere Erwähnung verdient der Aufsatz „Metabolism of Brain and Nerve“ von J. H. QUASTEL. H. R. MARSTON hat einen begrüßenswerten Beitrag zur Ernährung der Wiederkäuer geliefert, dessen Gegenstand erstmalig behandelt wurde und der besonders durch die Betrachtung der für die Ernährung mancher Wiederkäuer notwendigen Elemente (z. B. Kobalt oder Kupfer) Interesse verdient. Selbstverständlich fehlen nicht die allgemeinen Übersichten über Hormone (von J. FREUD, E. LAQUEUR und O. MÜHLBOCK), wasserlösliche Vitamine (von C. G. KING) und fettlösliche Vitamine (von E. M. NELSON und C. D. TOLLE). Der Pflanzenchemie sind die Aufsätze „Mineral Nutrition of Plants“ von J. W. SHIVE und W. R. ROBBINS und „Growth Hormones in the Higher Plants“ von F. W. WENT gewidmet. Spezielle Fragestellungen behandeln die Kapitel „Choline as a Dietary Factor“ von C. H. BEST und J. H. RIDOUT und „Chemical Aspects of Photosynthesis“ von H. GAFFRON, letzterer besonders wichtig und lesenswert durch die Kennzeichnung der gegenwärtig auf diesem Gebiet auftretenden Problemstellungen. Einige physiologisch wichtige Stoffklassen finden ihre Behandlung in folgenden Beiträgen: „Polysaccharides and Lignin“ von K. FREUDENBERG, „The Chemistry of the Acyclic Constituents of Natural Fats and Oils“ von R. J. ANDERSON und L. F. SALISBURY, „The Alkaloids“ von L. SMALL und „Animal Poisons“ von C. H. KELLAWAY. A. BUTENANDT, Berlin-Dahlem.

SOÓ V. BERE, R., **Vergangenheit und Gegenwart der pannonischen Flora und Vegetation.** [Nova Acta Leopoldina, N. F. 9, Nr 56 (1940).] Halle: Verlag der Deutschen Akademie der Naturforscher 1940. 49 S., 3 Textfig., 10 Taf. 19 cm × 25 cm. Preis: brosch. RM 7.—.

Pflanzengeographisch nimmt Ungarn eine besondere Stellung ein, ist die von den Karpathen umrahmte Ebene doch oft zum Pontischen Steppengebiet gerechnet worden. Dies lehnt Verf. ab. Die von ihm gebotene Entwicklungsgeschichte der pannonischen Vegetation beginnt mit dem Ausgang der Tertiärzeit, als deren Relikt u. a. das berühmte Vorkommen von *Nymphaea lotus* gedeutet wird. Reste von eiszeitlichen und zwischeneiszeitlichen Floren liegen vor, noch besser läßt sich dann die Florenfolge der Nacheiszeit übersehen. Das Alföld (die Tiefebene) war zunächst eine klimatische Steppe, die nach der Steinzeit zum Wald-Moorgebiet und dann zur Waldsteppe wurde. Erst die seit der Bronzezeit wirkenden Kulturinflüsse haben dann die heutige Kultursteppe geschaffen, auch die floristisch so eigenartigen Sand- und Alkalisteppe. Das Gebiet gehört dem mitteleuropäischen Florenbezirk an, wenngleich auch pontische, sarmatische und andere Elemente nicht fehlen, und zeigt eine im einzelnen recht wechselnde Vegetation. Im Raume von Rumpf-Ungarn lassen sich etwa 90 Assoziationen in 38 Verbänden unterscheiden, die am Schluß zusammengestellt sind und durch eine Reihe recht guter Bilder erläutert werden. So bekommt auch der mit den Einzelformen weniger Vertraute einen Einblick in die großen, hier auf kleinem Raum veringerten Gegensätze. R. KRÄUSEL.

Heinrich Kayser zum Gedächtnis.

Von R. FRERICHS, Berlin.

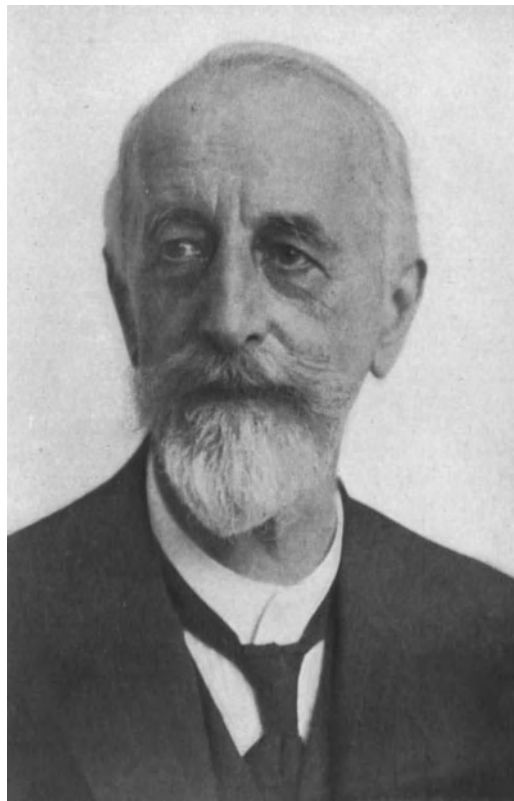
Im hohen Alter von 87 Jahren verstarb am 14. Oktober 1940 in Bonn HEINRICH KAYSER. Mit ihm ist der Altmeister der deutschen Spektroskopie dahingegangen, ein Forscher und Gelehrter, dessen Leben und Wirken für die Wissenschaft weit über die Grenzen seines Vaterlandes reicht und in den Kreisen der Spektroskopiker der ganzen Welt Verehrung und dankbare Anerkennung gefunden hat. Es soll hier nicht sein Lebenslauf geschildert werden, ein Festheft der Annalen der Physik zum 70. Geburtstag, zahlreiche Glückwünsche der Freunde und Fachgenossen zu den weiteren Meilensteinen seines Lebens schildern seinen Werdegang, seine wissenschaftlichen Erfolge und die Ehrungen und Auszeichnungen, die sie gefunden haben.

Wir wollen hier versuchen, ein Bild zu zeichnen, wie sich das wissenschaftliche Leben und Wirken HEINRICH KAYSERS der nach dem Kriege aufgewachsenen Physikergeneration offenbart, die KAYSER selbst nicht mehr so sehr als Lehrer und Forscher kennenlernen durfte. Im Jahre 1920 hatte er sich aus seinem Amt als Ordinarius und Direktor des Physikalischen Instituts der Rheinischen Friedrich Wilhelms-Universität zurückgezogen. Aber wer damals und in der Folgezeit von dem magischen Bann der aufwärts strebenden Spektroskopie angezogen, sich dieser Wissenschaft verschrieb, der mußte Schritt um Schritt auf KAYSERS *Wirken* stoßen. Sein Bonner Institut war von ihm auf das reichste mit spektroskopischen Apparaten großer Leistungsfähigkeit ausgestattet worden. Wohl als eine Folge der nahen Beziehungen, die die Spektroskopie mit der Astrophysik verknüpfen

und die KAYSER stets besonders am Herzen lagen, waren die 6-Meter-Gitter nach den Grundsätzen astronomischer Instrumente fest aufgebaut. Sie ermöglichten daher langdauernde Aufnahmen auch der schwächsten Lichtquellen, wie sie die von ihm in Angriff genommene systematische

Durchmusterung der Spektren des gesamten periodischen Systems erforderte. Die ganze Tradition des Instituts atmete KAYSERS Geist. So geschah auch die Sichtung und Messung der Spektralaufnahmen mit den von ihm angegebenen Meßmaschinen und Rechenmethoden, und jeder an diesen Untersuchungen Beteiligte fühlte sich verpflichtet, an die Genauigkeit der Messungen den strengen Maßstab zu legen, der KAYSERS eigene spektroskopische Arbeiten auszeichnete.

Aber auch wer nicht unmittelbar mit den Einrichtungen des Bonner Instituts in Berührung kam, fand in dem KAYSERSchen *Handbuch* den Hort der experimentellen Ergebnisse und Erfahrungen dieses großen Sondergebietes der Physik. In acht umfangreichen Bänden hat KAYSER in den Jahren 1900—1932 alles zusammengetragen, was, angefangen mit NEWTON, über die Spektroskopie veröffentlicht worden ist. Die allgemeinen physikalischen Grundlagen der Spektren und der zu ihrer Untersuchung dienenden Apparate und Methoden sind in den ersten vier Bänden des Werkes enthalten. Die Bände 5—8, von denen die späteren von KAYSER und KONEN gemeinsam unter Hilfe bewährter Mitarbeiter herausgegeben wurden, bringen die gesamte Literatur aller bis zum Jahre 1932 bekannt gewordenen Spektren. KAYSER selbst schrieb in der Einleitung: „Ich übergebe



Prof. H. Kayser

hiermit den Fachgenossen den ersten Band eines Werkes, zu dessen Bearbeitung ich einen großen Teil meiner Zeit in den letzten zehn Jahren verwandt habe. Das Bedürfnis nach einer zusammenhängenden und möglichst vollständigen Übersicht über unsere spektroskopischen Kenntnisse wird niemand bezweifeln, der auf diesem Gebiet arbeitet oder zu arbeiten beginnt, und so meinte ich der Wissenschaft mehr nützen zu können, indem ich diese Darstellung unternahm, als wenn ich die Zeit auf eigene Untersuchungen verwandte. Eine Hauptbedingung für ein derartiges Werk ist mögliche Vollständigkeit, und ich habe keine Mühe gescheut, mich ihr zu nähern.“ KAYSER wußte es wohl, und er hat es auch ausgesprochen, daß ein solches Werk dennoch unvollständig bleiben muß. So hätte er gerne die astrophysikalische Literatur mit in das Handbuch hineingenommen, aber er wußte sich weise zu beschränken. „Wenn ich die vorliegende astrophysikalische Literatur übersehe, so ist mir klar, daß der dafür beabsichtigte eine Band nicht annähernd ausreicht, es würden wohl drei Bände dazu erforderlich werden, und ich würde wohl eine Zeit von acht Jahren gebrauchen. Aber ich bin keinen Augenblick darüber im Zweifel, daß ich inzwischen zu alt geworden bin, um ein solches neues Werk zu unternehmen.“ In den letzten Jahren ist nun die Zahl und der Umfang der jährlich erscheinenden spektroskopischen Arbeiten langsam zurückgegangen, der Nachwuchs der Physiker fühlt sich mehr und mehr zur Kernphysik hingezogen, die in ihrem beispiellosen Aufschwung die Physik der äußeren Elektronenhüllen der Atome und Moleküle abgelöst hat. So ist es wohl zu hoffen, daß die Fortsetzung dieses gewaltigen Lebenswerkes KAYSERS auch in Zukunft möglich sein wird.

KAYSER hatte stets ein offenes Auge für die Erfordernisse der praktischen Spektroskopie. Im Jahre 1926 gab er seine ältere Tabelle der Hauptlinien aller Elemente ergänzt und berichtigt heraus, um den praktisch arbeitenden Spektroskopikern eine Hilfe z. B. bei der Ausmerzung der Linien von Verunreinigungen, zu geben. Diese Tabelle wurde 1939 von R. RITSCHL in 2. Auflage weiter vervollständigt und ist als unentbehrliches Hilfsmittel bei allen spektroskopischen Arbeiten anzusehen.

Seine Freunde versichern, daß der Entschluß, sich ganz von den eigenen experimentellen Arbeiten zurückziehen und sich vollständig der Arbeit am Handbuch zu widmen, KAYSER sicherlich nicht leicht gefallen ist. Wer möchte dies auch bezweifeln, wenn er die klassischen Untersuchungen liest, die KAYSER, zusammen mit RUNGE, in den Jahren 88–93 über die Spektren der Elemente veröffentlicht hat. Über das weitreichende Ziel, das die beiden Forscher sich gesetzt hatten, heißt es dort: „Als wir im Jahre 1887 unsere spektralanalytischen Untersuchungen begannen, geschah dies in der Absicht, Beziehungen zwischen den Wellenlängen jedes Spektrums aufzufinden,

wie sie durch BALMER für Wasserstoff gegeben waren, ferner auch Beziehungen zwischen den Spektren verschiedener Elemente zu ermitteln, deren Vorhandensein uns unzweifelhaft erschien. Zudem glaubten wir, daß nur die äußerste mit den heutigen Mitteln erreichbare Genauigkeit in der Berechnung der Wellenlängen wirklich befriedigenden Aufschluß geben und die Anwendbarkeit der Formeln klar hervortreten lassen könne sowie gestatten würde, Schlüsse aus den Konstanten zu ziehen. So mußten wir uns entschließen, die Spektren zunächst neu zu bestimmen, wobei wir als erstrebenswerte Fehlergrenze 0,1 ANGSTROMScher Einheit festsetzten, da dies zur sicheren Charakterisierung jeder Linie hinreichend erscheint.“ Bei dieser Arbeit lag KAYSER der experimentelle Teil besonders am Herzen, als Schüler von KUNDT und HELMHOLTZ war ihm Exaktheit in der Behandlung aller wissenschaftlichen Fragen oberstes Gesetz. Der heutige Physiker vergißt allzu leicht, wie gering damals die sicheren Voraussetzungen bei einer derartigen Arbeit waren, es gewährt daher einen besonderen Genuß, diese Arbeiten durchzublättern und zu sehen, wie KAYSER und RUNGE die Aufgabe an der Wurzel anpackten und Schritt für Schritt die Schwierigkeiten niederkämpften. KAYSER war hierbei vorwiegend der Experimentator, ihn interessierte in erster Linie die Genauigkeit der Messungen, RUNGE dagegen diskutierte die Messungen und vor allem auch die Gesetzmäßigkeiten. Es wurde zunächst ein großes Konkavgitter beschafft und im Physikalischen Institut der Hochschule in Hannover aufgestellt. Zur Gewinnung eines Systems von Normalen wurde das Eisenbogenspektrum photographiert und an die ROWLANDSchen Normalen angeschlossen. In aller Ausführlichkeit wurden die Meßmethoden, die Rechenverfahren geschildert und diskutiert; KAYSER, dem die Photographie eine Lieblingsbeschäftigung war, ließ es sich nicht nehmen, dieser Arbeit eine Reihe von wundervollen Tafeln des Eisenpektrums hinzuzufügen, die auch heute noch zu den schönsten derartigen Spektralaufnahmen gehört. Das Interesse an der Gewinnung dieser *Normallinien*, vergleichbar der Bestimmung der Orte ausgewählter Bezugsterne, hat KAYSER nie wieder verlassen. In eigenen Arbeiten, in Untersuchungen seiner Schüler, in seinem Handbuch und in seiner tätigen Mitarbeit an Kongressen hat KAYSER immer wieder auf die Wichtigkeit dieser Frage hingewiesen, und wenn wir heute zahlreiche Linien mit einer Genauigkeit von $\frac{1}{1000}$ Angströmeinheit kennen, so ist dies nicht zuletzt KAYSERS Verdienst. Die beiden Forscher erkannten bald, daß zur Lösung der gestellten Aufgabe die absolut sichere Identifizierung der Elemente von größter Bedeutung war. So wurden in weiteren Untersuchungen die Linien der hauptsächlichsten Verunreinigungen, vor allem der Bandenspektren der Kohlenstoffverbindungen, photographiert und ausgemessen. Ja selbst die uns

heute selbstverständlich erscheinende Korrektur der Wellenlängen auf den leeren Raum wurde von KAYSER und RUNGE einer genauen Messung und Diskussion unterzogen. Mit einer neuen Methode, bei der ein mit Luft gefülltes bzw. evakuiertes Glasprisma in den Strahlengang des Konkavgitters eingeschaltet war, wurde die Dispersion der Luft bestimmt. Nach diesen Vorarbeiten wurden in den folgenden Untersuchungen die Spektren der Alkalien, der Erdalkalien und der Elemente Zink, Kadmium und Quecksilber gemessen und in Spektralserien eingeordnet. KAYSER und RUNGE versuchten damals aus der BALMERschen Formel durch Entwicklung in eine Potenzreihe für alle Elemente gültige Serienformeln aufzustellen. Die weitere Entwicklung der Spektroskopie hat gezeigt, daß diese Interpolationsformeln zugunsten der von RYDBERG aufgestellten physikalisch deutbaren und damit für die weitere Entwicklung so viel wichtigeren Serienformeln verlassen wurden. RYDBERG hatte diese Serienformeln in genialer Intuition auf Grund von verhältnismäßig schlechten Messungen erkannt. Die exakten Zahlenwerte von KAYSER und RUNGE und ihre Darstellbarkeit durch ihre sehr genau erfüllten Formeln haben sicherlich dazu beigetragen, daß den RYDBERGSchen Arbeiten daraufhin das Vertrauen entgegengebracht wurde, das sie zum Ausgangspunkt der ganzen Serienforschung werden ließ.

Wer das Glück hatte, KAYSER, als er schon im Ruhestand lebte, gelegentlich in seiner Studierstube aufsuchen zu dürfen, der wurde von den weit gespannten Interessen überrascht, die ihn, der auch in diesem Sinne ein HELMHOLTZ-Schüler war, erfüllten. Seine künstlerischen Neigungen kamen in seinen zahlreichen Reisen zu den Kunstschätzen Italiens und Griechenlands und den wundervollen Aufnahmen zum Ausdruck, die er, ein Liebhaber der Photographie seit jeher, dort anfertigte. Er liebte in gleicher Weise die japanische Kunst und die klassische Archäologie. Seine Freunde berichten von seinen meisterhaften Übersetzungen persischer und griechischer Schriften. Er selbst bekannte einmal in den schweren Nachkriegsjahren dieses Hingezogensein zu Kunst und Natur bei der Herausgabe der italienischen und

der spanischen Reisebriefe CARL JUSTIS. „Die Lektüre (der Briefe) wurde mir ein hoher Genuß, und da meinte ich, daß es vielen ebenso gehen werde wie mir. Gerade in der jetzigen Zeit, wo die Gegenwart so viel Leid und Elend zeigt, wo die Zukunft trübe vor uns liegt, da rettet man sich gern in die Welt der Schönheit in Kunst und Natur, man taucht in den Jungbrunnen des unvergänglichen Edlen, aus dem man neue Kraft schöpft, die Gegenwart zu tragen und für die Zukunft zu hoffen.“

Rastlos bis in seine hohen Jahre war er für die Wissenschaft tätig, obwohl ein schweres Augenleiden ihn später sehr behinderte. Nachdem er bereits das siebente Jahrzehnt weit überschritten hatte, gab er 1925 seine eigenhändig in mühevoller Arbeit berechnete „Tabelle der Schwingungszahlen der auf das Vakuum reduzierten Wellenlängen zwischen 2000 und 10000 AE.“ heraus. Er wollte damit den jüngeren Spektroskopikern die Arbeit der Reduktion der Wellenlängenmessungen vereinfachen. „Da eine große und fortwährend wachsende Zahl von Forschern sich mit dieser Aufgabe beschäftigt, so ergibt sich, daß eine enorme Arbeitszeit verschwendet wird. So erschien es mir im Interesse der Wissenschaft zu liegen, wenn ich die freie Zeit meiner alten Tage benutze, um eine Tafel auszurechnen, aus der jeder die Reziproken aller Wellenlängen ablesen kann.“

In diesen Worten wird noch einmal offenbar, wie KAYSER sein ganzes Leben als einen selbstlosen Dienst an der von ihm gewählten Wissenschaft ansah. Wohl hatte er selbst in seinen klassisch zu nennenden Arbeiten die spektroskopische Forschung um grundlegende Erkenntnisse bereichert. Allein es entsprach seinem innersten Wesen vielleicht doch noch mehr, von dieser hohen Warte aus die Ergebnisse der Wissenschaft, die ihm, der Autorität auf dem Gebiete der Spektroskopie, von allen Seiten zuströmten, zu sammeln, zu sichten und kritisch in seinem Handbuch zu ordnen. So erstreckt sich sein Wirken über alle neueren spektroskopischen Arbeiten, vor allem in seinem Vaterland, und die jetzige Physikergeneration wird stets seiner in Ehrfurcht gedenken und in Dankbarkeit dafür, daß er ihr in wahrhaft umfassender Art die Wege zu eigener Forschung gebnet hat.

Die Vorzugstemperaturen bei Landtieren¹⁾.

VON KONRAD HERTER, Berlin.

Die alltägliche Beobachtung lehrt, daß viele Landtiere sich an solchen Stellen zur Ruhe zu legen pflegen, die durch die Sonne oder künstlich besonders erwärmt sind. Jeder kennt die „sich sonnende“ Eidechse, den Hund, der sich an dem geheizten Ofen zum Schlaf hinlegt, und das

Heimchen am Herd. Die Tiere müssen also „das Bedürfnis“ haben, Temperaturen zum Ruhen aufzusuchen, die erheblich über der gewöhnlichen Umgebungstemperatur liegen. *Warum* haben die Tiere dieses Bedürfnis? *Gibt es physiologische Gründe dafür, daß viele Tiere sich zum Ruhen an besonders erwärmte Plätze begeben?* Es ist von vornherein zu erwarten, daß die Antwort auf diese Frage für gleichwarme Tiere, die durch besondere Stoffwechseleinrichtungen ihre Körpertempera-

¹⁾ Über die Vorzugstemperaturen von Wassertieren wissen wir nur wenig, so daß eine zusammenfassende Betrachtung für sie noch verfrüht ist.

turen annähernd konstant erhalten, etwas anders ausfallen muß als für wechselwarme, deren Körpertemperaturen — wenigstens in der Ruhe — ungefähr dieselben Wärmegrade haben wie die Umgebung.

Zunächst ist festzustellen, ob die Wärmegrade, die von den Tieren aufgesucht werden, bei demselben Individuum stets die gleichen sind. Wenn dies zutrifft, ist zu ermitteln, ob verschiedene Individuen derselben Population, Rasse oder Art gleich hohe Vorzugstemperaturen haben und wie hoch diese sind. *Sind die Vorzugstemperaturen konstant?* Bevor ich auf die experimentelle Beantwortung dieser Frage eingehe, muß ich eindeutig definieren, was ich unter der Vorzugstemperatur (VT.) eines Landtieres verstehe. Ein Tier, das etwa auf einem besonnten Stein auf einer Wiese liegt, befindet sich durchaus nicht in gleichmäßigen und konstanten Temperaturverhältnissen. Sein Körper unterliegt dem Einfluß der von dem Stein ausgestrahlten und abgeleiteten Wärme, der Lufttemperatur und der Strahlungswärme der Sonne, die wiederum durch den Wind beeinflusst werden können. Mißt man eine oder einige dieser Komponenten, so kann man daraus nur wenig über die Höhe der VT. des Tieres ermitteln. Wir müssen mit einfachen Laboratoriumsbedingungen arbeiten. Man bringt das Tier in einen Glaskäfig mit einem Boden aus gut wärmeleitendem Metall — etwa Aluminium —, der an einer Seite erwärmt, an der anderen abgekühlt wird. Durch Thermometer, deren Quecksilberreservoir in dem Metallboden liegen, wird an bestimmten Stellen die Bodentemperatur, die natürlich ein Gefälle von der erwärmten zur abgekühlten Seite bildet, gemessen. Da der Boden durch ein Liniensystem in kleine Felder eingeteilt ist, läßt sich in dem praktisch geradlinigen Wärmegefälle durch Interpolation die Temperatur jeder Bodenstelle ermitteln. Fast jedes gesättigte normale Tier, das in eine solche *Temperaturorgel* (HERTER 1934) gebracht wird, kommt nach einiger Zeit in einer bestimmten Temperaturzone zur Ruhe, zu der es wieder zurückkehrt, wenn es sie „freiwillig“ oder gezwungen verlassen hat, und der es folgt, wenn sie auf dem Boden wandert. In den meisten Fällen scheint die Orientierung hierbei thermophobotaktisch¹⁾ zu erfolgen. Die Mitte dieser Temperaturzone bezeichne ich als VT. und charakterisiere sie durch den variationsstatistisch aus einer größeren Anzahl (mindestens etwa 50) von Einzelmessungen errechneten Mittelwert ($M \pm 3 m$) und durch eine Frequenzkurve, deren Abszisse die Bodentemperaturen und deren Ordinate die Anzahl der Besuche der einzelnen Bodentemperaturen in Prozent darstellt (s. Fig. 2 und 5). Unter der VT. eines Tieres verstehe ich also die *Bodentemperatur*, d. h. die Temperatur des Substrates, bei der es zur Ruhe

¹⁾ Das heißt durch Zurückschrecken oder Ausweichen vor Temperaturen, die über oder unter dieser Zone liegen.

kommt¹⁾. Selbstverständlich kann und wird auch in vielen Fällen die Temperatur der das Tier umgebenden Luft die Höhe der VT. beeinflussen. Dies spielt aber wohl — wie Kontrollversuche zeigten — für die meisten Tiere, die sich eng dem Boden auflegen, keine oder nur eine untergeordnete Rolle. Vor allem ist aber dieser Einfluß der Lufttemperatur sehr schwer messend zu erfassen, während sich die Bodentemperatur recht genau ermitteln läßt und die in verschiedenen Organen von verschiedenen Untersuchern gewonnenen Werte ohne weiteres zu vergleichen sind.

Bei demselben Individuum ist im gleichen Entwicklungsstand und unter denselben Bedingungen die Höhe der VT. — natürlich innerhalb gewisser Streuzenzen — *konstant*. Das thermotaktische Verhalten verschiedener Entwicklungszustände und Altersklassen ist nicht einheitlich. Bei einigen Insekten haben die Larven und die Imagines oder die Larvenstadien untereinander dieselben VT.-Höhen (z. B. bei *Pyrrhocoris apterus*, *Liogryllus campestris*, *Tettigonia viridissima*, *Decticus verrucivorus*, *Haematopinus suis*), während bei anderen — zum Teil mit den vorigen verwandten — Unterschiede festgestellt wurden. Die älteren Larven und die frisch geschlüpften Imagines der Wanderheuschrecke (*Schistocerca gregaria*) haben bedeutend höhere VT.-Werte als die frisch geschlüpften Larven und die älteren (eierlegenden) Imagines (BODENHEIMER 1929). Bei den Larven der Stubenfliege (*Musca domestica*) sinkt mit zunehmendem Alter die VT. von +37 auf +15°, und zwar so regelmäßig, daß man nach der VT.-Höhe das Larvenstadium bestimmen kann (THOMSEN 1937). Bei den geschlüpften Fliegen liegt die VT. zwischen +40 und 41°. Unter den Wirbeltieren findet sich ein grundsätzlicher Unterschied zwischen Poikilothermen („Kaltblütern“) und Homoiothermen („Warmblütern“). Frisch geschlüpfte oder neugeborene Eidechsen haben relativ niedrige VT.-Werte, die erst in einigen Wochen auf die Höhe der erwachsenen ansteigen (LUTFI 1936; HERTER 1940a), während es bei Nagetieren gerade umgekehrt ist (HERTER 1936). Dem entspricht es, daß bei trächtigen Eidechsen die individuelle VT. erniedrigt, bei trächtigen Nagern aber erhöht ist. Auch der Einfluß der Umgebung auf die VT.-Höhe des Individuums ist artlich verschieden. Unter den Insekten gibt es Formen, bei denen der Feuchtigkeitsgehalt der Luft oder die Höhe der Umgebungstemperatur vor oder während der Versuche die VT. nach oben oder nach unten verschiebt, und solche, bei denen dies nicht der Fall ist. Ähnlich ist es in bezug auf Belichtung und Verdunklung während der Versuche. Beispiele für

¹⁾ Manche Tiere — z. B. einige Laubheuschrecken — kommen auf dem Boden nicht zur Ruhe, sondern streben stets nach oben. Man kann für sie eine „hängende Temperaturorgel“ benutzen, bei der der Tierkäfig sich *unter* der Metallplatte mit dem Temperaturgefälle befindet. In diesen Fällen handelt es sich also um die „Deckentemperatur“.

diese noch wenig geklärten Verschiedenheiten im thermotaktischen Verhalten der Insekten habe ich kürzlich an anderer Stelle zusammengestellt (HERTER 1939). Bei Reptilien kann durch schlechte Haltung, Hunger, große Feuchtigkeit oder Trockenheit die individuelle VT. verschoben werden (LUTFI 1936). Monatelanger Aufenthalt bei sehr hohen — aber nicht schädigenden — Wärme-

günstig beeinflussen, die individuelle VT. nicht zu verändern. Anders ist es bei (weißen und grauen) Hausmäusen. Bei ihnen wird die VT. durch längeren (wochen- oder monatelangen) Aufenthalt in sehr warmer oder sehr kalter Umgebung verändert, und zwar bei Wärmeaufenthalt erniedrigt, bei Kälteaufenthalt erhöht. Nach Zurückbringung in Zimmertemperatur steigt oder sinkt sie wieder auf ihr „normales“ Niveau (Fig. 1). Die Deutung dieses Verhaltens wird später gegeben. Die Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, daß die VT. zwar durch äußere und innere Faktoren innerhalb einer gewissen Reaktionsnorm verändert werden kann, beim erwachsenen Tierindividuum in seinem „normalen“ physiologischen Zustand aber konstant ist.

Bei gleichartigen Individuen einer Population sind im allgemeinen die VT. gleich, wie Tabelle 1 an 3 Beispielen — die sich leicht vermehren ließen — zeigt.

Daß zwischen Populationen derselben Art die VT. nicht gleich zu sein braucht, lehren die Ei-

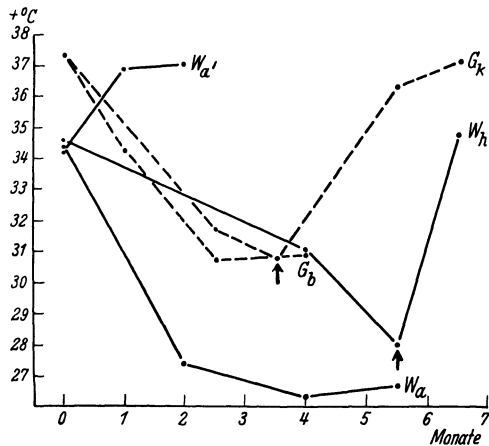


Fig. 1. Veränderungen der VT.-Höhen von Mäusen in hohen und tiefen Umgebungstemperaturen. Absz.: Dauer des Aufenthaltes. Ordin.: Höhe der VT. G_b : graue Hausmaus, die 4 Mon. in „Wärme“ lebte; G_k : graue Hausmaus, die nach $3\frac{1}{2}$ monatigem „Wärmeaufenthalt“ (bei Pfeil) in Zimmertemperatur zurückkam; W_a : weiße Hausmaus, die $5\frac{1}{2}$ Mon. in „Wärme“ lebte; W_h : weiße Hausmaus, die nach $5\frac{1}{2}$ monatigem „Wärmeaufenthalt“ (bei Pfeil) in Zimmertemperatur zurückkam; W_a' : weiße Hausmaus, die 2 Mon. in „Kälte“ lebte. Nach HERTER 1938.

Tabelle 1.

Tier Nr.	<i>Oedipoda coerulescens</i> Feldheuschrecken aus Rehbrücke bei Berlin	<i>Lacerta erhardii</i> Eidechsen von den agäischen Inseln	
		Naxos	Santorin
1	45,00 ± 0,30	42,72 ± 0,72	39,74 ± 0,42
2	44,92 ± 0,58	42,42 ± 0,55	39,72 ± 0,42
3 V.T.	44,96 ± 0,46	42,20 ± 0,57	39,82 ± 0,39
4 $M \pm 3 m$	44,72 ± 0,37	42,36 ± 0,54	39,60 ± 0,38
5 = + °C	44,40 ± 0,47	42,04 ± 0,58	40,04 ± 0,54
6	44,70 ± 0,31	42,00 ± 0,58	39,84 ± 0,42
7	44,42 ± 0,25		
Mittel:	44,73 ± 0,15	42,29 ± 0,24	39,79 ± 0,18

Tabelle 2.

Tierart	Fundort	V.T. $M \pm 3 m = + °C$
Reptilien		
<i>Agama stellio</i> (Schleuderschwanz)	Ägypten	45,59 ± 0,33
	Insel Naxos	45,06 ± 0,28
<i>Anguis fragilis</i> (Blindschleiche)	Stockholm	28,38 ± 0,28
	Berlin	28,38 ± 0,29
<i>Chalcides ocellatus</i> (Walzenechse)	Ägypten	40,30 ± 0,27
	Kap Sunion (Griechenland) . .	40,37 ± 0,21
<i>Natrix natrix</i> (Ringelnatter)	Berlin	34,28 ± 0,21
	Dalmatien	34,34 ± 0,48
Säugetiere		
<i>Plecotus auritus</i> (Ohrfledermaus)	Berlin	39,62 ± 0,57
	Budapest	39,16 ± 0,48
<i>Eliomys quercinus</i> (Gartenschläfer)	Kreuznach	39,02 ± 0,67
	Jugoslawien	39,80 ± 0,42
<i>Muscardinus avellanarius</i> (Haselmaus)	Wien	38,45 ± 0,29
	Neapel	38,40 ± 0,41
<i>Mus spicilegus</i> (Ährenmaus)	Helgoland	35,72 ± 0,21
	Lyck (Ostpreußen)	35,32 ± 0,31
<i>Apodemus agrarius</i> (Brandmaus)	Berlin	36,30 ± 0,40
	Reichenberg (Böhmen)	36,00 ± 0,23

graden verändert bei Eidechsen (*Lacerta agilis* und *vivipara*) die VT.-Höhen jedoch nicht. Das Klima und sonstige Umwelteinflüsse scheinen hier, soweit sie den Gesundheitszustand des Tieres nicht un-

dechsenbeispiele der Tabelle, die ich gewählt habe, weil sie eine Ausnahme einer sonst ziemlich allgemeingültigen Regel sind. Aus dem bisher vorliegenden vergleichbaren Material von Reptilien

und Säugetieren geht hervor, daß in den meisten Fällen Tiere derselben Art von geographisch weit auseinander liegenden Fundorten die gleiche TV. haben (Tabelle 2). *Es gibt also artliche TV.*

Bekanntlich sind die Merkmale, die man zur Charakteristik einer Art verwendet, durchaus nicht ganz feststehend. Innerhalb der meisten — wenn nicht aller — Tierarten gibt es Abweichungen von dem, was wir als „Norm“ bezeichnen. Körpergröße, Körperform, Färbung und Zeichnung können durch direkte Umweltbeeinflussung oder aus uns meist unbekannt inneren Ursachen bei einzelnen Individuen oder bei ganzen Populationen gegenüber der „Stammform“ verändert sein. Wir beobachten in bezug auf körperliche Merkmale allenthalben Modifikationen, Mutationen und Rassen. Ganz Entsprechendes gilt für die physiologischen und psychischen Eigenschaften der Tiere. Wenn unsere Kenntnisse hier auch noch lückenhaft sind, so wissen wir doch, daß bei vielen Tieren die Lebensäußerungen, wie Wachstum, Vitalität, Widerstand gegen Schädigungen, Instinkte usw., in ähnlicher Weise innerhalb der Arten veränderlich sind. Wenn die VT. für die Art typisch ist, also wie körperliche Eigenschaften als Artmerkmal angesehen werden kann, so darf man auch erwarten, daß ihre Höhe entsprechend wie diese schwanken kann. Es gibt hierfür Beispiele, von denen wir eines in Tabelle 1 schon kennenlernten. Bei dem Laufkäfer *Carabus nemoralis* nimmt die VT.-Höhe innerhalb des Verbreitungsgebietes von Nordosten nach Südwesten zu. Käfer aus Dresden hatten wesentlich tiefere Werte als solche aus Südfrankreich. Parallel damit gehen andere physiologische und morphologische Veränderungen (Zunahme der Neigung zum Tagleben und der Augenwölbung), so daß KRUMBIEGEL (1932) von „Rassen“ spricht, die gleitend ineinander übergehen. Verschiedene Unterarten der Körnerameise *Messor semirufus* in Palästina, die an denselben Örtlichkeiten gefunden werden, sollen voneinander abweichende VT.-Höhen haben (BODENHEIMER und KLEIN 1930). Von Reptilien liegen einige Beispiele vor, die zeigen, daß die Höhe der VT. innerhalb des Artareals an verschiedenen Orten einerseits gleich, andererseits aber auch recht abweichend sein kann. Sehr deutlich ist dies bei der italienischen Ruineneidechse *Lacerta sicula* (Tabelle 3).

Die Eidechsen von Bologna, Rovigno, Neapel, Sorrent und Capri haben dieselben VT.-Höhen, obgleich die Fundorte zum Teil sehr weit auseinander liegen und die Tiere aus Nord- und Süditalien von der Systematik als verschiedene Rassen gewertet werden. Die VT.-Höhen der Echsen von den beiden kleinen Inseln Figarola Grande und Bagnole weichen von denen der Tiere des benachbarten istrianischen Festlandes und voneinander ab (die Unterschiede sind statistisch gesichert). Die systematisch nicht voneinander unterschiedenen Echsen aus Neapel und von den hochgelegenen Fundorten auf dem unweit gelegenen Vesuv und Monte Faito haben verschiedene VT.-Werte. Die wegen ihrer dunkelblauen Färbung von der grünen „Stammform“ systematisch abgetrennten Eidechsen der kleinen, dicht bei Capri im Meere liegenden Faraglioni-Klippen haben eine bedeutend höhere VT. als die grüne Form. Im Falle der Eidechsen ergibt sich, daß Populationen von Inseln — besonders von kleinen Inseln — und solche aus größeren Höhenlagen oft andere (meist höhere) VT.-Werte haben als die „Stammformen“ des Festlandes oder der Ebene (HERTER 1940a). Kürzlich hat KALABUCHOV (1939) an einem großen Material die Frage der Gleichheit und Verschiedenheit der VT.-Höhen an verschiedenen Fundorten bei den beiden nah miteinander verwandten Waldmausarten *Apodemus sylvaticus* und *flavicollis* untersucht. Seine Ergebnisse bestätigen die von mir 1936 festgestellte Tatsache, daß die Feld-Waldmaus (*A. sylvaticus*) eine höhere artliche VT. hat als die Wald-Waldmaus (*A. flavicollis*), wenn auch unsere Zahlenwerte in ihren absoluten Höhen recht erheblich voneinander abweichen, was zum Teil in Verschiedenheiten der Apparaturen liegen mag. Ich fand bei beiden Arten zwischen Mäusen von verschiedenen deutschen Fundorten keine Abweichungen. KALABUCHOV'S Feld-Waldmäuse aus der Provinz Moskau, Rostow und dem Bezirk Berdjansk verhielten sich ebenfalls untereinander gleich; dagegen waren die VT.-Werte bei Tieren vom Vorkaukasus höher und bei solchen aus Isiumsk aus der Provinz Charkow tiefer als bei den vorigen. Wald-Waldmäuse aus Leningrad, Kursk und Charkow hatten dieselben VT.-Höhen. Als letztes Beispiel für abweichende VT.-Höhen innerhalb der Arten nenne ich die Albinos von

Tabelle 3.

<i>Lacerta sicula</i>	Fundort	V.T. M \pm 3 m = + °C
<i>L. s. campestris</i> (BETTA)	Bologna	40,03 \pm 0,37
	Rovigno (Istrien)	40,29 \pm 0,28
	Insel Figarola Grande bei Rovigno	39,68 \pm 0,19
<i>L. s. bagnolensis</i> (MERTENS)	Insel Bagnole bei Rovigno	40,90 \pm 0,21
	<i>L. s. sicula</i> (RAFINESQUE)	Neapel
Vesuv (770 m hoch)		41,08 \pm 0,26
Monte Faito bei Neapel (1000 m hoch)		41,54 \pm 0,26
Sorrent		40,63 \pm 0,13
Insel Capri		40,58 \pm 0,12
<i>L. s. coerulea</i> (EIMER)	Faraglioni-Insel bei Capri	42,82 \pm 0,30

Hausmaus und Wanderratte, die beide tiefere Werte haben als ihre wildfarbigen grauen Stammformen (s. später).

Die VT.-Höhe ist demnach als Artmerkmal anzusehen, ähnlich wie die Färbung. Sie kann innerhalb der Art — wie ja auch die Färbung — in manchen Populationen von der Norm abweichen. Sie kann bei Populationen, die von der Systematik als Rassen angesehen werden, anders als bei der Stammform sein, muß dies aber nicht. Andererseits können Populationen, die in den sonstigen erfaßbaren Merkmalen einander gleichen, verschiedene VT.-Höhen haben. Das Vorkommen von der Norm abweichender VT.-Höhen bei Reptilien von kleinen Inseln und aus dem Gebirge läßt sich mit dem Insel- und Gebirgsmelanismus — der gerade auch bei Reptilien häufig zu beobachten ist — vergleichen. Vielleicht beruhen beide Erscheinungen auf ähnlichen Ursachen, nämlich auf Mutationshäufung in relativ isolierten Populationen. Einer erhöhten VT. im Gebirge kann vielleicht auch positiver Selektionswert zukommen, da damit stärkere Erwärmung des Tieres in dem kurzen Sommer, also bessere Ausnutzung der Wärme und dadurch schnelleres Wachstum, verbunden ist. Dies könnte die Mutationshäufung begünstigen (HERTER 1940a).

Das bisher Gesagte macht es wahrscheinlich, daß die Höhe der artlichen oder rassischen VT. ein erbliches Merkmal ist. Experimentelle Untersuchungen über diese Frage liegen bis jetzt nur an Mäusen vor (HERTER 1936; HERTER und SGONINA 1938). Die VT.-Höhe weißer Laboratoriumsmäuse (*W*) war im Mittel $+34,61 \pm 0,07$, die der grauen wilden Stammform (*G*) $+37,34 \pm 0,06$ und die von in Deutschland gezüchteten japanischen Tanzmäusen (*T*) $+33,85 \pm 0,13$. Die 3 Mäuseformen sind in jeder Kombination leicht unbegrenzt kreuzbar. Bei der Kreuzung zwischen *W* und *G* ergaben sich in der F_1 -Generation graue Mäuse mit einheitlichen VT.-Werten von $+34,61 \pm 0,06$. Von den F_2 -Bastarden hatten 12 den Mittelwert $+34,62 \pm 0,11$ und 7 den Mittelwert $+37,16 \pm 0,15$. Die Fellfärbungen spalteten auf, aber ganz unabhängig von den VT.-Höhen. Die verschieden gefärbten Rückkreuzungsbastarde zwischen F_1 und *W* hatten einheitliche Werte von im Mittel $+34,93 \pm 0,10$. Bei den Rückkreuzungsbastarden mit *G*, die alle grau waren, ergaben sich 16 Mäuse mit einer mittleren VT. von $+34,80 \pm 0,19$ und 12 mit einer solchen von $+37,32 \pm 0,12$ (Fig. 2). Es zeigt sich also, daß die VT.-Höhe vererbt wird, und zwar ist die der weißen Hausmaus dominant über die der grauen, umgekehrt wie die Fellfärbung, die mit Dominanz von Grau vererbt wird. Entsprechende Versuche mit anderen Kreuzungskombinationen ergaben, daß die VT.-Höhe der Tanzmaus sowohl über die der grauen als auch über die der weißen Hausmaus dominiert. Die VT.-Höhe ist demnach — wenigstens bei den untersuchten Mäusen — ein erbliches Art- oder Rassemerkmal, das sich genetisch wie

manche Färbungsmerkmale verhält. Bei anderen Tieren wird wohl Ähnliches vorkommen.

Die VT. ist die Bodentemperatur, die von den Tieren zum Ruhen aufgesucht wird, also wahrscheinlich diejenige, bei der sie „sich am meisten wohlfühlen“. Es ist schlecht vorstellbar, daß die Empfindung für die absolute Temperaturhöhe, bei der das Tier „sich am meisten wohlfühlt“, als solche vererbt werden kann. Man muß annehmen, daß das, was vererbt wird, die morphologischen oder physiologischen Faktoren sind, die die ab-

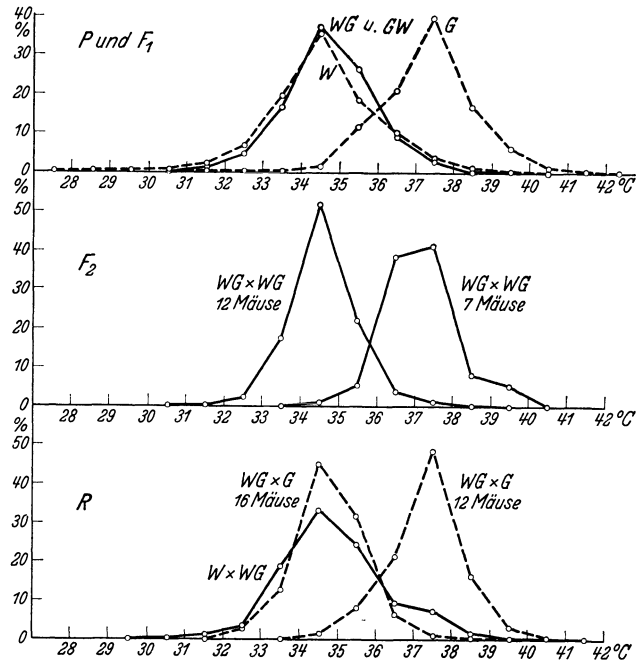


Fig. 2. Frequenzkurven der VT.-Werte der Bastarde zwischen grauen und weißen Hausmäusen. Absz.: Bodentemperaturen. Ordin.: Anzahl der Besuche der einzelnen Bodentemperaturen in Prozenten. *G*: graue Hausmause; *W*: weiße Hausmause; *WG* und *GW*: F_1 -Bastarde zwischen *G* und *W*; *WG* × *WG*: F_2 -Bastarde; *WG* × *G* und *W* × *WG*: Rückkreuzungsbastarde. Nach HERTER 1936.

absolute Temperaturhöhe dieser Empfindung bestimmen. Bei den Homiothermen ist die konstante Körpertemperatur indirekt der Maßstab für die Höhe der VT. Von ihr hängt die Höhe der Hauttemperatur ab, und zwar maßgeblich der morphologischen und physiologischen Einrichtungen der peripheren Wärmeregulation. Die Thermorezeptoren liegen unter der Epidermis. Ihre Temperatur wird von dem Tier perzipiert, und eine bestimmte Höhe dieser Temperatur wird als die „angenehmste“ empfunden. Die Temperaturhöhe der Thermorezeptoren wird reguliert von der Körpertemperatur und durch die Wärmeaufnahme und -abgabe durch die äußeren Körperschichten; bei Säugetieren also durch Epidermis und Behaarung. Die wärmeregulatorischen Eigenschaften dieser Schichten bestimmen demnach die

VT.-Höhe mit. Bei 2 Säugetieren, für die die „angenehmste“ Reiztemperatur an den Rezeptoren gleich hoch ist, muß dasjenige, dessen Epidermis und Behaarung weniger Wärme hindurchlassen, eine höhere VT. haben als das andere, bzw. muß bei ein und demselben Tier, wenn sich die wärmeisolierenden Eigenschaften des Felles verändern, auch die Höhe der VT. verschieben. Daß dies so ist, lehren die schon erwähnten Versuche mit Mäusen, bei denen sich bei längerem Aufenthalt in sehr warmer Umgebung die VT. nach unten und in sehr kühler Umgebung nach oben verschiebt (s. Fig. 1). Die histologische Untersuchung zeigt nämlich, daß bei dem Wärmeaufenthalt (als Schutz gegen Überhitzung) die Epidermis — und zwar hauptsächlich das Stratum germinativum — verdünnt, bei Kälteaufenthalt (zum Schutz gegen Erfrieren) — besonders im Stratum corneum — verdickt wird. Im ersten Falle, in dem die wärmeisolierende Schicht zwischen den Rezeptoren und dem Boden vermindert ist, erreichen die Rezeptoren die „angenehmste“ Temperatur demnach schon bei tieferen Bodentemperaturen als bei normaler Epidermisdicke, im zweiten — in dem die Isolierschicht verstärkt ist — erst bei höheren. Weiße Hausmäuse haben auf der Bauchseite eine dickere Epidermis und eine weniger dichte Behaarung als graue. Aus Versuchen mit Mäusen, bei denen durch künstliche Enthaarung und Veränderung der Epidermisdicke durch Warmhaltung die Hautverhältnisse bei beiden Formen einander angeglichen wurden, ergibt sich, daß wahrscheinlich die „angenehmste“ Reiztemperatur für die Rezeptoren bei beiden dieselbe ist und daß die höhere VT. der grauen Maus hauptsächlich durch die dichtere Bauchbehaarung bedingt wird.

Die strukturelle Hautbeschaffenheit der beiden Mäuseformen verhält sich genetisch wie die VT. D. h. die F_1 -Bastarde haben alle die Epidermisdicke und Haardichte der weißen und deren VT. Bei 18 Rückkreuzungsbastarden zwischen F_1 und grauer Maus lag bei 10 Tieren die Haaranzahl pro Flächeneinheit des Bauches in der Größenordnung der weißen Mäuse und ebenso ihre VT. Bei den übrigen 8 entsprachen Haardichte und VT. etwa den Verhältnissen der grauen Mäuse. Die Epidermismessungen hatten etwas unklare Ergebnisse. Haardichte und Epidermisdicke der weißen Maus sind im Erbgange dominant über die entsprechenden Merkmale der grauen. Da sie die Höhe der VT. bestimmen, wird auch diese dominant „vererbt“ (HERTER und SGONINA 1938). Über entsprechende Verhältnisse bei anderen Tieren wissen wir bisher noch nichts.

Die VT. ist die Temperatur des Bodens, bei der sich das Tier „am meisten wohlfühlt“. Es ist wahrscheinlich, daß die Umstände, bei denen ein Tier sich „am meisten wohlfühlt“, und die es deswegen anstrebt, ihm einen Vorteil bringen. *Welchen Vorteil hat das Tier durch den Aufenthalt bei seiner Vorzugstemperatur?* Es liegt nahe, diesen Vorteil auf stoffwechselphysiologischem Gebiet zu

suchen. Ein relativ leicht messend zu beobachtendes Kennzeichen für die Intensität des Stoffwechsels ist bei vielen Tieren die Atemhäufigkeit in der Zeiteinheit. Da die Stoffwechselintensität temperaturabhängig ist, verändert sich die Atemfrequenz mit der Temperatur. Es finden sich hierbei grundsätzliche Unterschiede zwischen Poikilo-

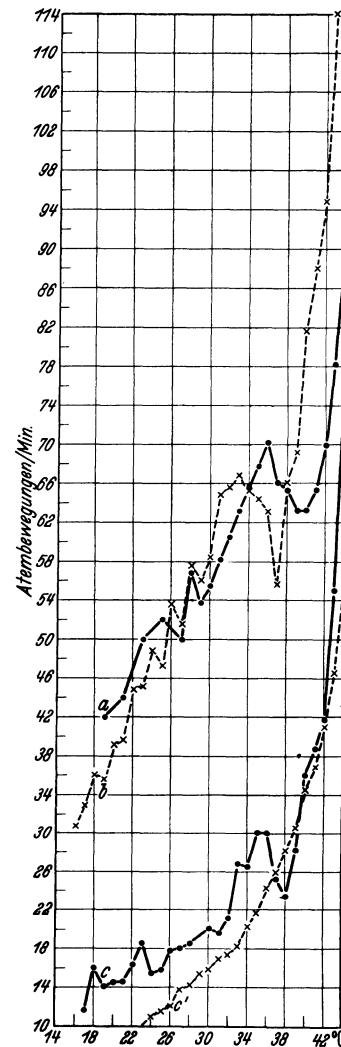


Fig. 3. Beziehungen der Atemfrequenz (Ordin.) zu den Bodentemperaturen (Absz.) bei ruhenden Eidechsen a: *Lacerta melisellensis* (VT. = $+40,50 \pm 0,16^\circ$); b: *Lacerta vivipara* (VT. = $37,37 \pm 0,16^\circ$); c: *Lacerta agilis* (VT. = $+38,57 \pm 0,22^\circ$); c': *Lacerta agilis* ohne Vorderhirn.

thermen und Homoiothermen. Bei wechselwarmen Tieren, deren Körpertemperatur mit der Umgebungstemperatur mitgeht, erhöht sich der Stoffwechsel und damit die Atemfrequenz mit steigender Wärme. Eine normale Eidechse, die auf einer sich langsam erwärmenden Unterlage ruht, erwärmt sich durch Strahlung und Leitung aus dem Boden; dementsprechend steigt ihre Atemfrequenz.

Dies geschieht aber nicht gleichmäßig; denn — wie Fig. 3 zeigt — nimmt die Beschleunigung der Atmung bis zu einem Maximum zu, um darauf ziemlich schnell zu einem Minimum abzufallen, von dem aus dann ein sehr steiler Anstieg erfolgt. Der Vergleich verschiedener Echsenarten untereinander zeigt, daß diese Minima der Atemfrequenzen bei Bodentemperaturen auftreten, die in den VT.-Gebieten liegen (s. Fig. 3). Man könnte daraus schließen, daß in dem VT.-Gebiet im Stoffwechsel Besonderheiten auftreten, durch die die Atemfrequenz vermindert wird. Daß dies aber nicht der Fall ist, geht aus Versuchen mit narkotisierten oder vorderhirnlosen Eidechsen hervor. Bei ihnen fehlt der typische Knick in der Atemfrequenz-Temperaturkurve (s. Fig. 3). Durch die Narkose oder den Verlust des Vorderhirns werden die höheren nervösen Zentren ausgeschaltet, der Stoffwechsel wird jedoch dadurch nicht wesentlich beeinflusst. Die Verminderung der Atemfrequenz im VT.-Gebiet wird demnach vom Zentralnervensystem, und zwar speziell vom Vorderhirn aus, verursacht, ist also eine psychische Funktion. Dem Zentralnervensystem der Eidechsen muß man die Fähigkeit zusprechen, ohne den Maßstab der eigenen konstanten Körpertemperatur absolute Temperaturen „erkennen“ zu können.

Bei dem Aufsuchen der VT. handelt es sich bei den Eidechsen um ein typisches Appetenzverhalten im Sinne LORENZ' (1937), und zwar um den Sonderfall des Anstrebens eines „triebbedingten Ruhezustandes“ (HOLZAPFEL 1940). Das Tier sucht aktiv nach einer Reizsituation, in der es sich zur Ruhe legen kann. Dieses „Suchen“ ist mit gesteigerter psychischer Erregung verbunden, die sich durch Erhöhung der Atemfrequenz bei Annäherung an das VT.-Gebiet äußert. Nach Erreichung der VT.-Zone und Befriedigung der Appetenz tritt psychische Beruhigung ein, was Senkung der Atemfrequenz zur Folge hat. Übersteigt die Bodentemperatur das VT.-Gebiet, so wird die Erregung und damit die Atemfrequenz sehr gesteigert.

Bei den homoiothermen Säugetieren ist es anders als bei den poikilothermen Reptilien. Eine Maus, die auf einer relativ kühlen Unterlage ruht, muß ihre Stoffwechselintensität vergrößern, um den durch Leitung und Strahlung in den kühlen Boden entstehenden Wärmeverlust auszugleichen und die Körpertemperatur auf ihrer normalen konstanten Höhe zu erhalten. Die Maus hat eine bestimmte Atemfrequenz, die dieser Stoffwechselintensität entspricht. Steigt die Bodentemperatur, so verringert sich die Differenz zwischen ihr und der Körpertemperatur, also der Wärmeverlust und damit die Atemfrequenz. Ist die Bodentemperatur so weit gestiegen, daß dem Körper durch die Unterlage keine Wärme mehr entzogen wird, so erreicht die Atemfrequenz ein Minimum, da jetzt keine Energie zum Ausgleich des Wärmeverlustes durch die Unterlage mehr aufgewendet werden braucht. Bei weiterer Erhöhung der Bodentemperatur wird

dem Körper mehr Wärme zugeführt, als er zur Konstanterhaltung der Eigentemperatur nötig hat; er muß nun Energie aufbringen, um einer Überhitzung entgegenzuarbeiten. Er schaltet seine Regulationsmechanismen gegen Erwärmung ein, was Steigerung des Stoffwechsels und somit der Atemfrequenz bedingt (Fig. 4). Die Temperatur-Atemfrequenzkurven von Nagetieren zeigen, daß das Minimum der Frequenz bei Bodentemperaturen auftritt, die in der Nähe der VT. liegen. Wir können daraus ableiten, daß bei Nagetieren die VT. die Temperatur ist, bei der der Wärmeausgleich zwischen Tierkörper und Boden gerade so groß ist, daß das Tier mit dem geringsten Energieverbrauch seine Körpertemperatur konstant erhalten kann. Im Gegensatz zu den poikilothermen Eidechsen verändert sich die Temperatur-Atemfrequenzkurve der Mäuse in Urethannarkose nicht wesentlich (s. Fig. 4). Die sicher auch bei den homoiothermen Nagern vorhandene Appetenz zum Aufsuchen der VT. drückt sich nicht in Veränderungen der Atemfrequenz aus (HERTER 1940b).

Wie aus den bisher angeführten Beispielen schon ersichtlich, sind die artlichen oder rassischen VT.-Höhen der Tiere recht verschieden. Das regt die Frage an, womit die absolute Höhe der VT. bei den einzelnen Tierformen zusammenhängt. Es sind eine ganze Reihe von Faktorenkomplexen, die hier in Betracht kommen: die geographische Verbreitung, der Biotop, die Lebensweise, die Körpergröße und die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Verwandtschaftsgruppe. Da alle diese Faktoren — und wohl noch manche andere — die VT.-Höhe bedingen oder beeinflussen können, ist es nicht immer leicht, die Beziehungen klar zu erkennen. Bei den bisher untersuchten Reptilien fällt es auf, daß die VT.-Werte der Schlangen im Verhältnis zu denen der Echsen niedrig sind. Bei norddeutschen Exemplaren wurden folgende VT.-Höhen ermittelt: Kreuzotter (*Vipera berus*): + 32,96 ± 1,04, Ringelnatter (*Natrix natrix*): + 34,28 ± 0,21 und Glattnatter (*Coronella austriaca*): + 34,96 ± 0,70°. Bei Eidechsen dagegen: Wieseneidechse (*Lacerta vivipara*): + 37,37 ± 0,16 und Zauneidechse (*Lacerta*

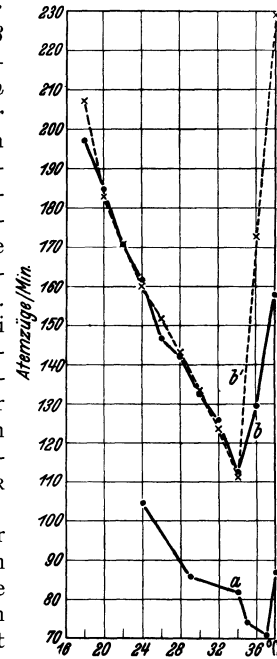


Fig. 4. Beziehungen der Atemfrequenz (Ordin.) zu den Bodentemperaturen (Absz.) bei ruhenden Mäusen.

- a: graue Hausmaus (VT. = + 37,34 ± 0,06°);
- b: weiße Hausmaus (VT. = + 34,61 ± 0,07°);
- b': narkotisierte weiße Hausmaus.

agilis): $38,57 \pm 0,22^\circ$. Kreuzotter und Wiesen-
eidechse leben in denselben Biotopen (in Mooren,
Brüchen und Heidegelände) und ebenso die Glatt-
natter und ihr Hauptnahrungstier, die Zaun-
eidechse (auf trockenen sonnigen Hängen). Eine
Ausnahme macht die Blindschleiche (*Anguis*
fragilis), deren VT. nur $+ 28,38 \pm 0,29^\circ$ betrug.
Sie ist ein ausgesprochenes Waldtier, bevorzugt
also einen relativ kühlen und feuchten Biotop.
Recht deutlich ist der Zusammenhang zwischen
der geographischen Verbreitung und der VT.-Höhe

Dies liegt wohl sicher an der nächtlichen Lebens-
weise dieser Tiere, die, wenn sie sich auch gelegent-
lich sonnen, tagsüber meist in Mauerspalt, Fels-
ritzen u. dgl. ruhen und in den kühleren Nächten
aktiv sind. Der einzige untersuchte Taggecko,
Gymnodactylus kotschyi, von der Kykladeninsel
Santorin, der sich auf oder unter von der südlichen
Sonne erwärmten Steinen aufhält, hatte aber eine
VT. von $+ 42,36 \pm 0,24^\circ$. Die höchsten VT.-
Werte sind von Wüstentieren zu erwarten; jedoch
gibt es auch bei ihnen Unterschiede, die sich zum

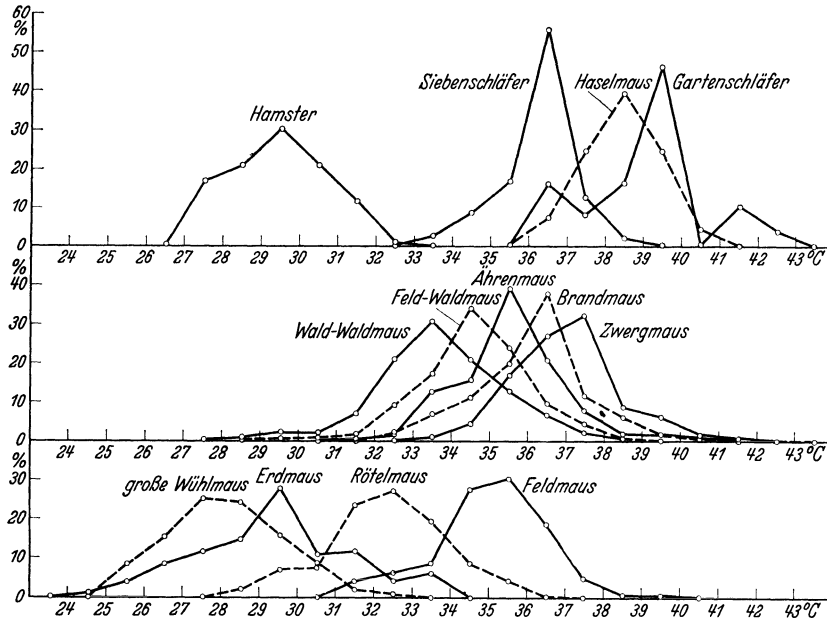


Fig. 5. Frequenzkurven der VT.-Werte wildlebender Nagetier. Absz.: Boden-
temperaturen; Ordin.: Anzahl der Besuche der einzelnen Bodentemperaturen in
Prozenten. Nach HERTER 1936.

bei einigen europäischen Schlangen und Eidechsen.
Von den Schlangen geht die Kreuzotter am weite-
sten nach Norden, dann folgt die Ringelnatter und
zuletzt die Glattnatter. Unter den Eidechsen
bewohnt die Wiesen-
eidechse noch ganz Skandi-
navien, die Zauneidechse dringt nur noch bis
Südschweden vor, und die Smaragdeidechse (*La-*
certa viridis) mit der recht hohen VT. von über
 $+ 41^\circ$ ist eine südeuropäische Form, die nur
einige „Ausläufer“ in ein paar besonders warme
Gebiete Nordeuropas schickt. Innerhalb derselben
Verwandtschaftsgruppe gehen also die Formen mit
den tieferen VT.-Werten weiter nach Norden als
die mit den höheren. Auch hier bildet die Blind-
schleiche eine Ausnahme; sie ist trotz ihrer tiefen
VT. nicht so weit nach Norden verbreitet wie die
Wiesen-
eidechse, wohl weil ihr in Nordskandinavien
ihr Biotop, der Wald, nicht in geeigneter Weise
zur Verfügung steht. Die Geckonen sind eine
südliche Echsengruppe. Bei 5 südeuropäischen
und nordafrikanischen Arten lagen die VT.-Werte
zwischen $+ 34,7$ und $38,8^\circ$, also im Vergleich zu
den nordeuropäischen *Lacerta*-Arten recht tief.

Teil durch die speziellen
Lebensweisen deuten las-
sen. Der Hardun der
Araber, der Schleuder-
schwanz (*Agama stellio*),
der auf den sonnendurch-
glühten Steinen der Sa-
hara zu sitzen pflegt, hat
die höchste bisher über-
haupt festgestellte VT.
von über $+ 45^\circ$ (vgl.
Tabelle 2). Der Fransen-
finger (*Acanthodactylus*
boskianus), eine Wüsten-
eidechse, die nur am Rande
der Sandstreifen lebt und
sich zeitweise unter Wur-
zelwerk und in Sand-
löchern verbirgt, ergab
nur $+ 39,47 \pm 0,33^\circ$. Im
Sande der Sahara halten
sich Wühlchsen der Gat-
tung *Chalcides* auf, von
denen die eine, die Walzen-
eidechse (*Ch. ocellatus*), eine
VT. von $+ 40,30 \pm 0,27$,
die andere, die Keil-
schleiche (*Ch. sepioides*),
jedoch eine solche von nur
 $+ 37,37 \pm 0,14^\circ$ hat.
Dieser Unterschied erklärt
sich wohl so, daß die erste
in den oberen, stark von
der Sonne durchwärmten,
die zweite in den tieferen,
kühleren Sand-
schichten lebt.

Interessante Beziehungen
zwischen den VT.-
Höhen und den obenge-
nannten verschiedenen Fak-
toren ergaben die bisher
geprüften Kleinsäuger.
Bei den wildlebenden Na-
getieren liegen die art-
lichen VT.-Höhen zwischen
etwa $+ 28$ und 39° . Die
höchsten Werte findet man
bei den Schläfern (*Mus-*
cardinidae), einer Nager-
gruppe, die nicht sehr weit
nach Norden verbreitet ist.
Die niedrigsten bei den
Wühlmäusen (*Microtinae*)
und dem ihnen verwandts-
chaftlich nahestehenden
Hamster, die in einigen
Vertretern nördlich über
den Polarkreis hinausgehen
und im Gebirge viel höher
hinaufsteigen als die echten
Mäuse. Die echten Mäuse
(*Murinae*) stehen, sowohl
in bezug auf ihr Vordringen
nach Norden als auch in
Hinblick auf ihre VT.-Höhen,
zwischen diesen beiden
Gruppen (Fig. 5). Innerhalb
dieser Verwandtschafts-
gruppen zeigen sich Bezie-
hungen, von denen

nur einige Beispiele erwähnt seien: Feldmaus (*Microtus arvalis*), Rötelmaus (*Evotomys glareolus*) und kurzohrige Erdmaus (*Pitymys savi*) sind etwa gleich groß (Rumpf + Kopf: 100–110 mm lang), leben jedoch in verschiedenen Biotopen. Die Feldmaus mit der höchsten VT. auf Feldern und Wiesen, die Rötelmaus, deren VT. bedeutend tiefer liegt, im Walde und die Erdmaus mit den noch viel niedrigeren Werten in der Erde. Die große Wühlmaus oder „Wasserratte“ (*Arvicola terrestris*), deren VT. den tiefsten bisher für Säugetiere ermittelten Wert ($+ 28,15 \pm 0,45^\circ$) hat, lebt ebenfalls unterirdisch, zum Teil in der unmittelbaren Nähe von Wasser, also in einem sehr kühlen und feuchten Biotop. Außerdem ist sie etwa doppelt so groß wie die anderen Wühlmäuse, was auch mit der geringen Höhe ihrer VT. in Beziehung stehen mag, da nach dem „Oberflächengesetz“ die größeren Homiothermen mit der relativ kleineren Oberfläche ein geringeres Wärmebedürfnis haben können als die kleineren. Von den echten Mäusen hat die kleinste Art, die Zwergmaus (*Micromys minutus*), die höchste, die größte, die Wald-Waldmaus oder Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*), die niedrigste VT. Zwergmaus und Brandmaus (*Apodemus agrarius*) bewohnen etwa die gleichen Biotop. Die Brandmaus hat die tiefere VT., sie ist die größere Art. Die Fledermäuse haben alle sehr hohe VT.-Werte (bei 11 Arten schwanken sie zwischen etwa $+ 39$ und $42\frac{1}{2}^\circ$). Da alle Fledermäuse ein nächtliches Leben führen, mag dies zunächst befremden (vgl. die Geckonen). Die VT. ist jedoch die Temperatur, die die Tiere zum Ruhen aufsuchen, bei den Fledermäusen also die, die sie für den Tagesschlaf bevorzugen. Die Tagesverstecke der Fledermäuse sind meist an sehr warmen Orten: auf Dachböden, unter Kirchendächern, an Schornsteinen, hinter besonnten Fensterläden, unter Baumrinde usw. Im einzelnen lassen sich noch mancherlei Beziehungen — ähnlich wie bei den Nagern — finden, worauf hier aber nicht eingegangen werden kann (s. HERTER 1934).

Einige vorläufige Ergebnisse an Heuschrecken und Grillen aus der Umgebung Berlins, Insekten, die im allgemeinen ziemlich eng an bestimmte Biotop gebunden sind und die im großen und ganzen recht „wärmeliebend“ sind, seien mitgeteilt. Wie schon gezeigt (Tabelle 1), hat die Feldheuschrecke *Oedipoda coerulea* eine sehr hohe VT., die mit über $44\frac{1}{2}^\circ$ die des Hardun aus der Sahara fast erreicht. Das Tier lebt auf öden, vegetationsarmen, steppenartigen Geländestrichen mit freien Sandflächen, auf denen es in der prallen Sonne zu sitzen pflegt. Es bewohnt also einen sehr warmen und trockenen Biotop. Nicht ganz so heiß ist der Lebensraum einer anderen Feldheuschrecke, der rotflügeligen Schnarrheuschrecke *Psophus stridulus*, die auf sehr trockenen Wiesen und an Waldrändern fliegt. Ihre VT. beträgt $+ 43,83 \pm 0,25^\circ$. *Mecosthetus grossus* hat eine bedeutend tiefere VT. ($+ 42,05 \pm 0,12^\circ$), er lebt auf feuchten Wiesen. Unter den Laubheuschrecken

ist das große grüne Heupferd (*Tettigonia viridissima*) ziemlich eurytop, es findet sich in Laubwäldern, an Waldrändern, auf Schneisen, auf Wiesen und auch in Getreide- und Kartoffelfeldern, und zwar vorwiegend auf niederen Pflanzen, Sträuchern und Bäumen, die weniger warme Biotope sind als der windgeschützte Boden. Als VT. wurden $+ 41,22 \pm 0,17^\circ$ ermittelt. Die VT. des Warzenbeißers (*Decticus verrucivorus*), der am Boden auf trockenerem Gelände lebt, wurde (allerdings nur an einem Tier) mit $+ 42,32 \pm 0,35^\circ$ festgestellt. Auch die Larven von *Decticus* haben eine höhere VT. als die von *Tettigonia viridissima* (NIELSEN 1938). Als stenotop anzusehen ist die kleine grüne Laubheuschrecke (*Conocephalus dorsalis*), die im Röhrich der Uferzone von Gewässern, an Wiesenrändern und an Gräsern und anderen Pflanzen auf Sumpfwiesen vorkommt. Entsprechend dem relativ kühlen Biotop ist ihre VT. nur $+ 39,39 \pm 0,22^\circ$. Ein zum Teil unterirdisches Leben führen die Feldgrillen (*Liogryllus campestris*), die auf nicht zu feuchten Wiesen, aber auch in der „Steppe“ ihre Wohnröhren bauen, an deren Eingängen sie oft in der Sonne sitzen. Obgleich sie zum Teil in recht warmen Biotopen leben, ist ihre VT. nur $+ 37,01 \pm 0,18^\circ$, was wahrscheinlich mit dem Aufenthalt in den relativ kühlen Höhlen zusammenhängt. Noch tiefer ist die VT. der Hausgrille, des Heimchens (*Liogryllus domesticus*), sie beträgt im diffusen Tageslicht $+ 35,98 \pm 0,62$ und im Dunkeln sogar nur $+ 32,58 \pm 0,74^\circ$. Das Heimchen kommt in Nordeuropa fast nur in menschlichen Behausungen vor, und zwar in künstlich erwärmten Räumen, wie Backstuben, Zentralheizungen, Tierhäusern zoologischer Gärten usw., wo es sich meist in der Nähe der Heizkörper aufhält. Daß seine VT. gegenüber der der freilebenden Verwandten niedrig ist, liegt wohl daran, daß in geheizten Räumen die Differenz zwischen der Bodentemperatur und der Lufttemperatur viel geringer ist als im Freien. Daher ist das Tier an einer Bodenstelle von bestimmter Temperatur in einer wärmeren Umgebung als auf einer gleichwarmen Bodenstelle im Freien, wo die Luft über dem durch Sonnenbestrahlung erwärmten Boden meist erheblich kühler ist als dieser. Es ist infolgedessen darauf eingestellt, sich nach einer relativ niedrigen Bodentemperatur zu richten.

Die Beziehungen zwischen der VT. und der speziellen Lebensweise sind auch bei manchen anderen Insekten sehr augenfällig. Ich erwähnte schon, daß die jungen Larven der Stubenfliege hohe, die alten tiefe VT.-Werte haben. Die jungen fressenden Maden leben in den tiefen Dungschichten des Misthaufens, in denen sehr hohe Temperaturen herrschen. Mit zunehmendem Alter wandern sie immer mehr zu der kühleren Oberfläche des Haufens, an der sie sich verpuppen (THOMSEN 1937). Nach NORDBERG (1936) ist die Höhe der VT. ein wichtiger Faktor für die Verteilung der sog. nidikolen Insekten in Vogelnestern. Das Nest wird von innen durch die sehr warmen

Vogelkörper geheizt, und die Wärme fließt nach außen ab, so daß in der Wand ein Temperaturgefälle entsteht. Ein bewohntes Vogelneest ist gewissermaßen als eine natürliche Temperaturorgel anzusehen. Die in der künstlichen Temperaturorgel ermittelten Daten für die einzelnen in den Nestern in regionaler Verteilung vorkommenden Insektenarten lassen erkennen, daß die Vogelparasiten, die in der am meisten erwärmten Nestmulde leben, die höchsten, die sich in den äußersten Schichten aufhaltenden Arten die tiefste VT. haben. Die VT.-Werte der Arten aus den Mittelschichten liegen dazwischen. KROGERUS (1937) untersuchte Insekten von den mikroklimatisch verschiedenen Ufern eines finnischen Sees. Die auf dem „wärmeren“ Nordufer gefundenen Arten hatten höhere VT.-Werte als die von dem „kühleren“ Südufer. Hier zeigt sich die Bedeutung der VT. für die geographische Verteilung von Tierarten.

Bei ektoparasitischen Insekten von Homoiothermen scheint die Höhe der VT. der Hauttemperatur der Wirte zu entsprechen. Ich erwähne die Kleiderläuse (*Pediculus vestimenti*), die nach MARTINI (1918) etwa + 29° bevorzugen, eine Temperatur, die etwa der zwischen Haut und Hemd des Menschen im gemäßigten Klima gleichkommt. Die Temperatur der Schweinehaut soll im Mittel + 27,94° betragen. Die VT. der Schweinelaus (*Haematopinus suis*) ermittelte WEBER (1929) in der Temperaturorgel mit + 28,6°. Die VT. des Igelhohes (*Archaeopsylla erinacei*) liegt zwischen + 33 und 35° (SGONINA 1935). Die Temperaturen auf der behaarten Bauchfläche des Igels schwanken im Sommer im Tagesrhythmus zwischen + 33½ und 35½°.

Die kurze Zusammenstellung eines Teiles unseres Wissens über die VT. der Tiere hat es wohl deutlich gemacht, daß mit dem sinnesphysiologischen Begriff der VT. viele Fragen zusammenhängen, die weit über die Grenzen der reinen Sinnesphysiologie hinausgehen. Ausgehend von der messenden Feststellung der VT.-Höhen kommen wir auf Beziehungen zu Problemen der Stoffwechselphysiologie, der Tierpsychologie, der Genetik, der Stammesgeschichte, der Tiergeographie

und der Ökologie. Es begegnen uns auf Schritt und Tritt Tatsachen und Fragen, die geeignet sind, Brücken zwischen den verschiedensten Zweigen der Zoologie zu schlagen. Mit der Erweiterung und Vertiefung unserer Kenntnisse über die VT. der Tiere werden diese Brücken zahlreicher und fester werden.

Literatur: F. S. BODENHEIMER, Studien zur Epidemiologie, Ökologie und Physiologie der afrikanischen Wanderheuschrecke (*Schistocerca gregaria* Forsk.). Z. angew. Entomol. 15 (1929). — F. S. BODENHEIMER u. H. J. KLEIN, Über die Temperaturabhängigkeit von Insekten 2. Z. vergl. Physiol. 11 (1930). — K. HERTER, Eine verbesserte Temperaturorgel und ihre Anwendung auf Insekten und Säugetiere. Biol. Zbl. 54 (1934) — Das thermotaktische Optimum bei Nagetieren, ein mendelndes Art- und Rassenmerkmal. Z. vergl. Physiol. 23 (1936) — Die Beziehungen zwischen Vorzugstemperatur und Hautbeschaffenheit bei Mäusen. Verh. dtsch. zool. Ges. 1938 — Über den Temperatursinn der Insekten. 7. internat. Kongr. Entomol. 2 (1939) — a) Über Vorzugstemperaturen von Reptilien. Z. vergl. Physiol. 28 (1940) — b) Über das Wesen der Vorzugstemperatur bei Echsen und Nagern. Z. vergl. Physiol. 28, (1940). — K. HERTER u. K. SGONINA, Vorzugstemperatur und Hautbeschaffenheit bei Mäusen. Z. vergl. Physiol. 26 (1938) — M. HOLZAPFEL, Triebbedingte Ruhezustände als Ziel von Appetenzhandlungen. Naturwiss. 28 (1940). — N. KALABUCHOV, On ecological characters of closely related species of rodents 3. (Russisch.) Zool. J. 18 (1939). — R. KROGERUS, Mikroklima und Artverteilung. Acta Soc. pro Fauna et Flora Fenn. 60 (1937). — I. KRUMBIEGEL, Untersuchungen über physiologische Rassenbildung. Zool. Jb. (System.) 63 (1932). — K. LORENZ, Über den Begriff der Instinkthandlung. Fol. biotheoret. 2 (1937). — M. LUTFI, Das thermotaktische Verhalten einiger Reptilien. Diss. Berlin 1936. — E. MARTINI, Zur Kenntnis des Verhaltens der Läuse gegenüber Wärme. Z. angew. Entomol. 4 (1918). — E. T. NIELSEN, Zur Ökologie der Laubheuschrecken. Saertryk af Ent. Medd. 20 (1938). — S. NORDBERG, Biologisch-ökologische Untersuchungen über die Vogelnicocolen. Acta zool. fenn. 21 (1936). — K. SGONINA, Die Reizphysiologie des Igelhohes (*Archaeopsylla erinacei* Bouché) und seiner Larve. Z. Parasitenkunde 7 (1935). — E. u. M. THOMSEN, Über das Thermopräferendum der Larven einiger Fliegenarten. Z. vergl. Physiol. 24 (1937). — H. WEBER, Biologische Untersuchungen an der Schweinelaus (*Haematopinus suis*). Z. vergl. Physiol. 9 (1929).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Elektrischer und thermischer Übergangswiderstand von Metallkontakten.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit¹⁾ habe ich den thermischen Übergangswiderstand von gewissen Metallkontakten theoretisch untersucht. Es wurden dabei nur solche Metallkontakte betrachtet, bei denen reine Elektronenleitung vorliegt und bei denen der Elektronenübergang von einem Kontaktmetall zum anderen nur durch den sog. Tunneleffekt ermöglicht wird. Bei vielen vorkommenden Metallkontakten hat man es mit Kontakten mit leitender Zwischenschicht zu tun. Diese bleiben außer Betracht. Häufig treten aber auch Kontakte der von uns betrachteten Art auf. Es sind dies Kontakte mit sehr dünnen, nichtleitenden Fremdschichten, wie sie von HOLM und MEISSNER²⁾

eingehend experimentell auf ihr elektrisches Verhalten untersucht wurden. Diese Metallkontakte sind zwar gut gereinigt, aber noch nicht sehr stark im Vakuum ausgeglüht. Solche Kontakte besitzen einen elektrischen Übergangswiderstand, der auf eine sehr dünne, wahrscheinlich einmolekulare, Fremdschicht zurückzuführen ist. Diese dünnen Fremdschichten lassen sich nach HOLM und MEISSNER nur sehr schwer entfernen, und zwar durch Ausglühen im Vakuum bei sehr hohen Temperaturen. Dabei wird nicht nur der elektrische Übergangswiderstand beseitigt, sondern auch die Reibung der Kontaktglieder gegeneinander erhöht. Bringt man dann einen solchen ausgeglühten Kontakt minuten- bis stundenlang mit Luft in Berührung, so kehrt der elektrische Übergangswiderstand zurück, und die Reibung der Kontaktglieder gegeneinander nimmt wieder ab.

Es ist wahrscheinlich, daß es sich bei der Fremdschicht um eine adsorbierte, dünne Gashaut handelt. Die von HOLM und MEISSNER gefundenen Gesetzmäßigkeiten für den elektrischen Übergangswiderstand lassen sich nach HOLM und KIRSCHSTEIN³⁾ im Rahmen der modernen Elektronentheorie der Metalle deuten, indem man die Annahme macht, daß die Fremdschicht selbst keine nennenswerte Leitfähigkeit besitzt, sondern nur einen Kontaktabstand festlegt. Die große Leitfähigkeit des Kontaktes kommt nur durch den Tunneleffekt zustande, der den Elektronen den Durchtritt durch die Fremdschicht erlaubt. Der elektrische Übergangswiderstand läßt sich dann in Abhängigkeit von der Dicke der Fremdschicht und der Austrittsarbeit der Elektronen berechnen.

In der eingangs erwähnten eigenen Arbeit habe ich den interessanten Fall untersucht, daß sich die beiden Kontaktmetalle auf verschiedenen absoluten Temperaturen T und $T + \Delta T$ befinden. Es läßt sich der elektrische Strom und der Wärmestrom durch den Kontakt in Abhängigkeit von der am Kontakt liegenden elektrischen Spannungsdifferenz und dem Temperaturunterschied ΔT angeben. Dabei ist erstens vorausgesetzt, daß das Elektronengas fast vollständig entartet ist und zweitens, daß der Durchlässigkeitskoeffizient klein gegen 1 ist für diejenigen Elektronen, deren Energie kleiner oder gleich der FERMISCHEN Grenzenergie ist. Die erste Voraussetzung ist für die meisten Metalle in nicht zu hohen Temperaturen erfüllt, während die zweite eine untere Grenze für die Dicke der Fremdschicht festlegt. Außerdem ist die Annahme freier Elektronen gemacht, so daß sich die Ergebnisse quantitativ nur auf einwertige Metalle anwenden lassen. Ist Q_x die Dichte des Wärmestromes durch den Kontakt, so läßt sich durch das Verhältnis $-Q_x/\Delta T$ eine thermische Kontaktleitfähigkeit pro Flächeneinheit festlegen. Es ergeben sich folgende Gesetzmäßigkeiten:

1. Die thermische Kontaktleitfähigkeit ist proportional zur Fläche eines Kontaktes, der thermische Übergangswiderstand also umgekehrt proportional zur Berührungsfläche.

2. Die thermische Kontaktleitfähigkeit ist temperaturabhängig, und zwar im ganzen Temperaturbereich, in dem unsere Voraussetzungen erfüllt sind, ist sie proportional zu T . Der thermische Kontaktwiderstand ist also proportional zu T^{-1} , und nimmt daher mit sinkender Temperatur zu.

3. Der Kontaktwiderstand pro Flächeneinheit läßt sich bei bekanntem Durchlässigkeitskoeffizienten in Abhängigkeit von der Austrittsarbeit und der Dicke des Kontaktes zahlenmäßig berechnen.

4. Für den elektrischen und thermischen Kontaktwiderstand gilt das WIEDEMANN-FRANZsche Gesetz mit genau demselben Zahlwert, der sich für die Widerstände des homogenen Materials in höheren Temperaturen ergibt.

Bei vorgegebener Temperaturdifferenz am Kontakt hat man einen Wärmestrom durch den Kontakt. Ist umgekehrt der Wärmestrom durch den Kontakt vorgegeben, so tritt an der Kontaktstelle eine Temperaturdifferenz auf, die mit sinkender Temperatur größer wird, da $-\Delta T = w \cdot Q_x$, und w proportional zu T^{-1} ist. *Besonders in tiefen und tiefsten Temperaturen ist es daher im Allgemeinen nicht erlaubt anzunehmen, daß zwei sich berührende wärmedurchflossene Metalle in der Berührungsfläche dieselbe Temperatur besitzen.* Grundlegend ist das Auftreten dieser Temperaturunstetigkeit an der Berührungsstelle zweier Metalle auch für die Theorie der Thermokräfte. Die Existenz dieses Temperatursprunges führt nämlich dort zur Existenz von neuartigen Thermokräften, den sog. „*Kontaktthermokräften*“, die in ¹⁾ näher untersucht sind.

Es hat sich herausgestellt, daß über den thermischen Kontaktwiderstand von Metallen schon experimentelle Untersuchungen vorliegen, deren Kenntnis ich E. JUSTI verdanke. Die ersten Beobachtungen über den schlechten Wärmeübergang durch Metallkontakte in tiefen Temperaturen scheint (nach unveröffentlichten Beobachtungen) JUSTI im Jahre 1931⁴⁾ gemacht zu haben. Ähnliche Feststellungen haben später KEESOM und KOK⁵⁾ bei ihren Messungen der spezifischen Wärme von Zink und Silber in tiefen Temperaturen gemacht. Die eingehendsten Untersuchungen stammen von R. B. JACOBS und C. STARR⁶⁾. Diese Autoren untersuchen den thermischen Übergangswiderstand von gereinigten Metallkontakten im Hochvakuum bei Zimmertemperatur (25°) und bei -195°, in Abhängig-

keit vom Druck, mit dem die Kontakte gegeneinander gepreßt werden. Mit zunehmendem Druck nimmt bei konstant gehaltener Temperatur der Kontaktwiderstand ab, wie es auf Grund der Theorie sein muß, da mit zunehmendem Druck die Berührungsfläche größer wird. Wichtiger ist die Folgerung, daß der Kontaktwiderstand mit abnehmender Temperatur zunimmt. Bei Cu-Kontakten z. B. ist der thermische Kontaktwiderstand bei -195° etwa 4mal so groß wie bei Zimmertemperatur. Dies ist in guter Übereinstimmung mit unseren theoretischen Ergebnissen. Die Kontaktwiderstände sollten sich nämlich umgekehrt verhalten wie die absoluten Temperaturen. Daraus ergibt sich für das Verhältnis der Kontaktwiderstände ebenfalls ungefähr der Wert 4.

Die besprochenen Ergebnisse über den thermischen Kontaktwiderstand sind auch von Bedeutung für das Verhalten des thermischen Widerstandes homogener Metalle in tiefen Temperaturen. Es ist nämlich wahrscheinlich, daß zwischen einzelnen Kristallkörnern im allgemeinen ebenfalls thermische Übergangswiderstände der besprochenen Art auftreten. Diese liefern einen zusätzlichen thermischen Widerstand, der proportional zu T^{-1} sein muß. Im übrigen ergeben auch die durch Einlagerung von Fremdatomen hervorgerufenen Störungen der Gitterperiodizität einen zusätzlichen thermischen Widerstand proportional zu T^{-1} . Tatsächlich beobachtet man in tiefen Temperaturen auch, daß der thermische Widerstand reiner Metalle proportional zu $1/T$ wird, wie dies Fig. 1 zeigt, in der das Produkt aus thermischem Widerstand (w) in die absolute Temperatur T in Abhängigkeit von T nach Messungen von W. J. DE HAAS und H. BREMMER⁷⁾ (Pb, Sn und In), eingetragen ist. In tiefen Temperaturen sieht man eindeutig, daß die Kurven die Tendenz zeigen, zur Abszissenachse parallel zu verlaufen.

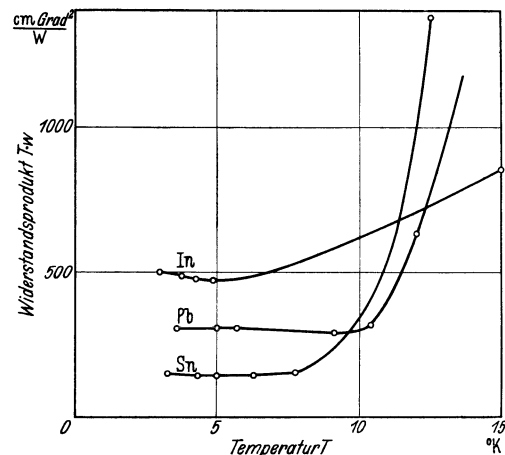


Fig. 1. Das Widerstandsprodukt $w \cdot T$ in Abhängigkeit von der absoluten Temperatur T nach Messungen von DE HAAS und BREMMER an In, Pb, Sn.

Berlin, I. Institut für Theoretische Physik der Universität, den 17. Februar 1941. MAX KOHLER.

¹⁾ M. KOHLER, Ann. Physik 38, 542 (1940).

²⁾ R. HOLM u. W. MEISSNER, Z. Physik 74, 715, 736 (1932); 86, 787 (1933).

³⁾ R. HOLM u. B. KIRSCHSTEIN, Z. techn. Physik 16, 488 (1935).

⁴⁾ Nach einer mündlichen Mitteilung.

⁵⁾ W. H. KEESOM u. J. A. KOK, Communications Leiden Nr 232 d (1933).

⁶⁾ R. B. JACOBS u. C. STARR, Rev. of Scient. Instr. 10, 140 (1939).

⁷⁾ W. J. DE HAAS u. H. BREMMER, Communications Leiden Nr 214 a u. 214 d (1931).

Mittelwellige UV.-Strahlung als Klimafaktor für Hochgebirgspflanzen.

Versuche in den Klimakammern des Institutes¹⁾ hatten u. a. ergeben²⁾, daß mittelwellige UV.-Strahlung einen geradezu verheerenden Einfluß ausübt: die meisten der

untersuchten Pflanzen gingen nach wenigen Tagen zugrunde, wenn sie zusätzlich zu einer Beleuchtung mit Nitralampen der Strahlung einer HgQ S 500³) ausgesetzt wurden. Nur einige Arten, vor allem Hochalpenpflanzen (*Epilobium alpinum*, *Arenaria Marschlinii*, *Silene inflata*) hielten durch, sie wurden zwar im Wachstum offensichtlich gehemmt, entwickelten sich aber weiter und gelangten sogar bis zur Blüten- und Fruchtbildung (Fig. 10 bei PIRSCHLE und WETTSTEIN²). Diese vorläufigen Beobachtungen wurden in weiteren Klimakammerversuchen an einer größeren Zahl alpiner Oekotypen⁴) bestätigt. Unter sonst gleichen und konstanten Bedingungen (Temperatur 18—19°, Luftfeuchtigkeit 60—70%, täglich 14stündige Beleuchtung mit 4 × 500-Watt-Nitralampen, etwa 7000—9000 Lux) wurde die Entwicklung der Pflanzen verglichen unter *Nitralicht allein* und mit einer zusätzlichen HgQ S 300³), die neben wenig sichtbarer Strahlung langwelliges und auch *mittelwelliges UV.* aussendet [Intensitäten einer HgQ S 500 vgl. PIRSCHLE und WETTSTEIN²], S. 636]. Wie die in der Tabelle

Tabelle. Sproßlänge, Frischgewicht und Trockensubstanz (in Prozenten vom Frischgewicht) der Pflanzen unter *mittelwelligem UV.* (Kursiv-Ziffern) bzw. langwelligem UV. (Zahlen in Klammern) in Prozenten von den entsprechenden Werten der Parallelkulturen unter Nitralicht allein. Die durchstrichenen Nullen (ø) bedeuten kein Wachstum.

	Sproßlänge	Frischgewicht	Trockensubstanz
<i>Stellaria media</i> , Dahlem (40 m)	ø (89)	ø (107)	ø (100)
<i>Epilobium collinum</i> , Seiseralm (2100 m)	62 (79)	24 (100)	83 (102)
<i>Epilobium alpinum</i> , Zufallhütte (2200 m)	50 (72)	8 (90)	95 (100)
<i>Epilobium alpinum</i> , Trins (2300 m)	67 (70)	41 (86)	91 (127)
<i>Arenaria serpyllifolia</i> , Dahlem (40 m)	ø (62)	ø (59)	ø (107)
<i>Arenaria serpyllifolia</i> , Klein-Wanzl. (100 m)	ø (89)	ø (111)	ø (98)
<i>Arenaria serpyllifolia</i> , Prat (900 m)	ø (87)	ø (101)	ø (99)
<i>Arenaria serpyllifolia</i> , Runkelstein (270 m)	ø (65)	ø (81)	ø (98)
<i>Silene inflata</i> , Waidbruck (400 m)	27 (91)	7 (99)	84 (105)
<i>Silene inflata</i> , Trins (1200 m)	21 (86)	6 (82)	75 (118)
<i>Silene inflata</i> , Traul (2400 m)	44 (78)	23 (69)	72 (105)
<i>Silene alpina</i> , Piz alv (2850 m)	21 (78)	5 (110)	105 (115)
<i>Silene maritima</i> , Åsa (Meeresküste)	ø (77)	ø (107)	ø (104)

zusammengestellten Ergebnisse erkennen lassen, ist der Einfluß der *langwelligem UV.-Strahlung* (Zahlen in Klammern) gering. Die Sproßlänge erscheint durchweg etwas verkürzt (fast überall statistisch gut gesichert), das Gewicht je Pflanze und die Trockensubstanz in Prozenten vom Frischgewicht weicht nur wenig ab (die Unterschiede liegen fast überall innerhalb der Fehlergrenzen). Unter dem Einfluß der *mittelwelligem UV.-Strahlung* (Kursiv-Ziffern) gingen dagegen einzelne der untersuchten Formen wieder nach kurzer Zeit zugrunde (in der Tabelle mit ø bezeichnet); Blätter und Stengel wurden braun und dürr und starben samt den Vegetationspunkten innerhalb weniger Tage ab. Andere Formen (*Epilobium collinum*, *Epilobium alpinum*, *Silene inflata*, *Silene alpina*) hielten dagegen durch. Zwar wurde ihre Entwicklung durch das mittelwellige UV. stark gehemmt, wie aus den Zahlen der Tabelle zu ersehen ist, die Produktion an Pflanzenmasse (Frisch- und Trockengewichte) durchweg und in den meisten Fällen noch sehr viel stärker als das gleichfalls gehemmte Längenwachstum; doch starben die Vegetationspunkte nicht ab, die Pflanzen blieben grün und wuchsen weiter. Diese gegen mittelwelliges UV. resistenten Formen stammen durchweg — ausgenommen

Silene inflata Waidbruck — von *hochalpinen Standorten*; jene Typen, welche mittelwelliges UV. nicht vertragen, sind *Tieflandformen* (*Stellaria media*, *Arenaria serpyllifolia*, *Silene maritima*). — Ein flüchtiger Blick auf die Tabelle könnte den Anschein erwecken, als ob es sich nur um artgebundene Eigentümlichkeiten handelt (kein Wachstum bei *Stellaria* und *Arenaria* gegenüber *Epilobium* und *Silene*). Dem widerspricht, daß, abgesehen von der großen Empfindlichkeit der Strandform *Silene maritima*, *Silene inflata* von hochalpinen Almwiesen (bei Traul) erheblich widerstandsfähiger war als aus tiefer gelegenen Tälern (Waidbruck, Trins), und eine (in der Tabelle nicht aufgeführte) hochalpine *Arenaria Marschlinii* wuchs im Gegensatz zu den anderen Arenarien unter mittelwelligem UV. ausgezeichnet. Leider machten andere für diesen Versuch vorgesehene Oekotypen, die das Bild abgerundet hätten, bei der Keimung Schwierigkeiten. Die Frage der *Artspezifität* wird, schon im Hinblick auf die früheren Beobachtungen²) an *Zea*, *Triticum* und *Xanthium*, noch sorgfältig zu prüfen sein und ebenso andere Faktoren, denn der Zusammenhang zwischen der Resistenz gegen mittelwelliges UV. und der *Höhe des Standorts* ist im Rahmen des vorliegenden Materials zwar sehr auffällig, aber noch nicht schlechthin und ausnahmslos entscheidend. *Silene alpina* (Kalkform von *Silene inflata*) vom höchsten Standort (Piz alv) wurde auffallend stark geschädigt, zahlenmäßig eher noch stärker als der Waidbrucker Stamm aus sehr viel geringerer Höhe; und die beiden *Epilobium alpinum* von der Zufallhütte (Ortler) und aus der Bockgrube (vom Abhang der Hammerspitze bei Trins) aus etwa gleicher Höhe verhielten sich, besonders was die Produktion an Pflanzenmasse anbelangt, keineswegs identisch. — Es ist klar, daß Schlußfolgerungen gerade bei ökologischen Betrachtungen erst auf Grund eines *sehr* umfangreichen und vielseitigen Materials gezogen werden können. Unverkennbar hebt sich aber hinsichtlich des Lichtklimas schon jetzt aus der langen Skala der UV.-Strahlung der *mittelwellige* Anteil (Dornobereich) heraus, also jene Wellen, die auch in der physiologischen Chemie (Vitamin D-Bildung aus Ergosterin) und in der Humanphysiologie (Erythembildung) eine besondere Rolle spielen. Die langwelligem UV.-Strahlen [$>3200 \text{ \AA}$, vgl. PIRSCHLE und WETTSTEIN²], S. 636 und 656] wirken allenfalls etwas stauchend auf den Gesamthabitus der Pflanzen, tiefer gehende physiologische oder gar selektive Wirkungen waren nicht festzustellen. Ausführlicher wird darüber an anderer Stelle (Biol. Zbl.) berichtet werden, zusammen mit den Erfahrungen, die bei dieser Gelegenheit über das Verhalten künstlicher und natürlicher *Polyplöidformen* gemacht wurden.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, den 21. Februar 1941. KARL PIRSCHLE.

¹) F. VON WETTSTEIN u. K. PIRSCHLE, Klimakammern mit konstanten Bedingungen für die Kultur höherer Pflanzen. Naturwiss. 28, 537—543 (1940).

²) K. PIRSCHLE u. F. VON WETTSTEIN, Einige vorläufige Beobachtungen über die Wirkung verschiedener Lichtintensitäten und -qualitäten auf höhere Pflanzen unter konstanten Bedingungen. Biol. Zbl. 60, 626—658 (1940).

³) Diese als Serienfabrikat nicht hergestellte Quecksilberdampfampe mit Blauglas- (Vitalux-) Kolben läßt auch mittelwelliges UV. von 2700—3200 Å (Dorno-Bereich) durch; der Firma Osram GmbH. — und insbesondere Herrn Dipl.-Ing. E. SUMMERER — sei für die Herstellung und Überlassung solcher Lampen auch an dieser Stelle bestens gedankt.

⁴) Sämtliche untersuchten Pflanzen stammten aus den Kulturen von Herrn Prof. VON WETTSTEIN, auf dessen Anregung auch ihre Prüfung in diesem Versuch erfolgte.

Bestimmung der Eisenverteilung in Erzdünnschliffen mit Röntgenstrahlen.

Bei Untersuchungen an deutschen Eisenerzen, die den Einfluß ihres Feinbaues auf die Aufbereitbarkeit klären sollten, stellte es sich häufig als ein Mangel heraus, daß sich auf Grund des Dünnschliff- oder Anschließbildes nur recht unsichere Angaben über die Verteilung des Eisens auf die einzelnen Gefügebestandteile machen lassen. Nur in wenigen Fällen läßt sich aus dem Grade der Durchsichtigkeit ein Schluß auf die Höhe des Eisengehaltes ziehen. Über den Eisengehalt von Karbonaten und Silikaten in oolithischen

Erzen sowie über den Grad der Anreicherung des Eisens in den Brauneisenooiden selbst läßt sich dagegen meist wenig aussagen. Umwandelungsvorgänge in der Lagerstätte haben oft zu opaken Eisenoxydausscheidungen geführt, die eine Anreicherung des Eisens vortäuschen, während andererseits die Gegenwart von Eisenkarbonat in den Ooiden zu einer Unterschätzung ihres Eisengehalts führen kann.

Die Schwierigkeiten bei der optischen Untersuchung der Erze führten auf die Frage, ob nicht auf anderem Wege eindeutige Kennzeichen für die Verteilung des Eisens in den Erzen gewonnen werden könnten. Zu diesem Zweck wurde die Durchstrahlung der Erzschliffe mit Röntgenstrahlen versucht. Die meisten Erze enthalten außer Eisen neben Sauerstoff fast ausschließlich die Leichtmetalle Aluminium, Silizium, Kalzium und Magnesium. Für die Absorption der Röntgenstrahlung ist es nur von geringem Einfluß, in welchen Verbindungen und Mengenanteilen diese Atomarten vorliegen; die Absorption hängt wesentlich nur von dem Eisengehalt der einzelnen Verbindungen ab. Infolgedessen muß die Schwärzung der Filmschicht einen brauchbaren Maßstab für die Verteilung des Eisens auf die einzelnen Gefügebestandteile ergeben.

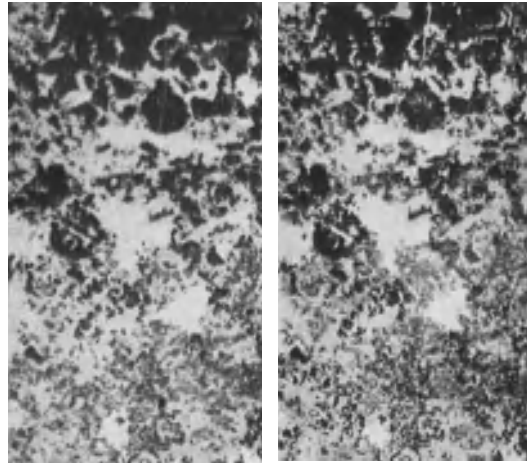
Nachdem die Richtigkeit dieser Überlegung durch Vorversuche bestätigt war, wurde nach Überwindung einiger Schwierigkeiten folgendes Verfahren zur Herstellung von Röntgenbildern von Erzdünnschliffen entwickelt. Verwendet werden Schliffe normaler Dicke (etwa 30 bis 40 μ), die jedoch nicht auf einem Objektträger, sondern auf einem Deckglas montiert sein müssen und nicht eingedeckt werden dürfen. Da Dünnschliffe in dieser Form mechanisch sehr empfindlich sind, werden sie mit dem Deckglas auf einen Objektträger, der eine Bohrung von 8—10 mm besitzt, so aufgebracht, daß der mit Röntgenstrahlen zu untersuchende Teil des Schliffes über der Bohrung liegt. Für die Röntgenaufnahme wird der Schliff mit der nicht eingedeckten Seite unter Zwischenschaltung eines Tageslichtschutzes auf die Schichtseite eines Feinkornfilms gelegt und mit Röntgenstrahlen beleuchtet. Infolge der sehr geringen Schliffdicke und der flachen Gradation des Feinkornfilms werden die Aufnahmen bei Verwendung normaler Durchstrahlungsröhren mit Wolframanode zu flau. Zur Erhöhung des Kontrastes erscheint theoretisch die Verwendung von Nickel-Eigenstrahlung wegen der Lage der Absorptionskante des Nickels besonders günstig; da jedoch eine Röhre mit Nickelanode nicht zur Verfügung stand, wurde die nur wenig ungünstigere Kupferstrahlung einer normalen Feinstrukturrohre mit Strichfokus gewählt. Die Röhre wurde mit Gleichspannung (10 kV, 30 mA) betrieben. Bei 65 cm Abstand des Brennflecks vom Film liegen die vom Objekt noch abhängigen Belichtungszeiten in der Größenordnung von 1 Minute. Das Deckglas, auf dem der Schliff montiert ist, und die dünne Kollolithschicht zwischen Glas und Schliff beeinträchtigen den Kontrast nicht wesentlich.

Die belichteten Filme können zur weiteren Erhöhung des Kontrastes mit einem hart arbeitenden Entwickler entwickelt werden. Dadurch tritt gegenüber der Feinkornentwicklung zwar eine gewisse Kornvergrößerung ein, die jedoch meistens in Kauf genommen werden kann. Die Röntgennegative können unmittelbar unter dem Mikroskop ausgewertet werden; zweckmäßig werden jedoch vergrößerte Papierbilder von ihnen hergestellt. Die Vergrößerung soll im allgemeinen nicht mehr als zehnfach sein, da sonst das Filmkorn zu sehr stört. Bei Verwendung einer Feinfokusröhre ist es vielleicht möglich, einen Teil der Vergrößerung schon bei der Röntgenaufnahme vorzunehmen. Es bleibt zu prüfen, ob sich so merklich höhere Gesamtvergrößerungen erzielen lassen; im allgemeinen genügt die zehnfache Vergrößerung vollkommen, um die wichtigen Einzelheiten zu erkennen.

Die Kontraste im Film würden sich erhöhen lassen, wenn von vornherein eine größere Schliffdicke (z. B. 100 μ) gewählt würde. Derart dicke Schliffe ergeben aber bei normaler mikroskopischer Auswertung keine brauchbaren Bilder mehr, während es gerade wesentlich ist, mikroskopisches und röntgenographisches Bild bei jedem Schliff zu vergleichen. Nur so läßt sich feststellen, welche mikroskopischen Beobachtungen berichtigt werden müssen.

In den Fällen, in denen die mehr oder weniger große Durchsichtigkeit einzelner Gefügebestandteile tatsächlich vom Eisengehalt abhängt, stimmen mikroskopisches Bild und Röntgenbild fast völlig überein. Fig. 1 zeigt, daß dies

z. B. bei den kieseligen Roteisenerzen des Lahngebietes der Fall ist. Bemerkenswert erscheint neben der guten Übereinstimmung der beiden Aufnahmen vor allem das hohe Auf-

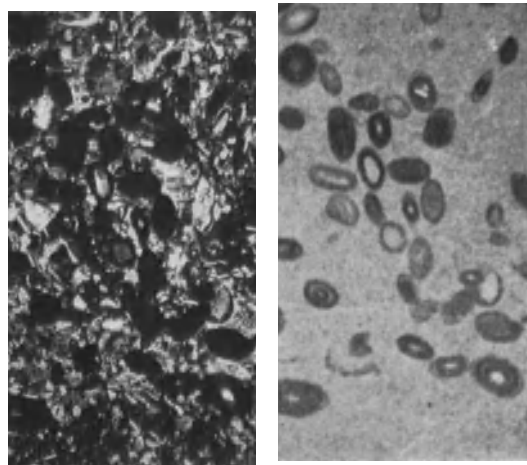


Lichtmikroskopisch 10mal, röntgenographisch 10mal nachvergrößert.

Fig. 1. Dünnschliff von kieseligem Roteisenstein (Lahngebiet).

lösungsvermögen für die Wiedergabe feiner Einzelheiten, das auch in der Röntgenaufnahme erreicht ist. Die geringe, vom Filmkorn herrührende Unschärfe beeinträchtigt die Beurteilung nicht.

Im Gegensatz hierzu unterscheiden sich bei vielen anderen Eisenerzen, insbesondere denen sedimentärer Ent-



Lichtmikroskopisch 10mal, röntgenographisch 10mal nachvergrößert.

Fig. 2. Dünnschliff von oolithischem Liaserz (Nordwestdeutschland).

stehung, die beiden Bilder sehr erheblich, und aus der Röntgenaufnahme ergibt sich eine andere Eisenverteilung, als man auf Grund des lichtmikroskopischen Bildes angenommen hat. Wie groß diese Abweichungen sein können, geht aus Fig. 2 hervor, das den Dünnschliff eines nordwestdeutschen oolithischen Liaserzes zeigt. Während man nach der Mikroaufnahme eine sehr unregelmäßige Eisenverteilung in der Grundmasse des Erzes erwarten sollte, zeigt das Röntgenbild, daß diese Grundmasse einen fast gleichmäßigen Eisengehalt aufweist und daß nur einzelne Ooide als reichere Eisenträger hervortreten. Weiter erkennt man, daß auch diese Ooide durchaus nicht homogen sind, sondern meist aus schalig ausgebildeten eisenreicheren und eisenärmeren Anteilen be-

stehen. Auch die Durchschnittseisengehalte der Ooide sind nicht gleich.

Die besprochenen Beispiele lassen erkennen, daß die Röntgendurchstrahlung ein wertvolles Hilfsmittel zur Beurteilung des Eisengehaltes und der Eisenverteilung darstellt. Grundsätzlich erscheint auch eine quantitative Auswertung

durchaus möglich. Hierfür ist die einwandfreie Bestimmung der Schlicke eine wesentliche Voraussetzung. Untersuchungen zur quantitativen Ausgestaltung des Verfahrens sind zur Zeit noch im Gange.

Düsseldorf, Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung, den 24. Februar 1941. H. KIRCHBERG. H. MÖLLER.

Besprechungen.

Lehrbuch der drahtlosen Nachrichtentechnik. Herausgegeben von N. v. KORSHENEWSKY und W. T. RUNGE. Berlin: Julius Springer 1940. Band I: Grundlagen und mathematische Hilfsmittel der Hochfrequenztechnik, von H. G. MÖLLER. XVI, 293 S. u. 353 Textabb. 17,5 cm × 25 cm. Preis RM 27.—, geb. RM 28,80. Band II: Ausstrahlung, Ausbreitung und Aufnahme elektromagnetischer Wellen, von L. BERGMANN u. H. LASSEN. VIII, 284 S. u. 285 Textabb. Preis RM 24.—, geb. RM 25,80.

Diese beiden Bände sind die ersten von insgesamt 6 Bänden eines neuen Lehrbuches. Ihnen sollen Bände über Elektronenröhren, Verstärker und Empfänger, Sender und über die Fernstechnik folgen.

Der erste Band gibt nach einer ausgezeichneten, ganz knappen Darstellung der Geschichte des Gebietes, die zugleich in seine Probleme einführt, in drei Abschnitten eine Einführung in die Theorie des Schwingungskreises, in die Theorie der Elektronenröhren und in die Theorie der Wellenausbreitung in Lecherleitungen und längs der Erdoberfläche. Dabei werden nicht nur die Formeln, ausgehend von den physikalischen Grundlagen, abgeleitet, sondern auch die in der modernen Nachrichtentechnik gebräuchlichen Schaltungen in großer Zahl besprochen und an Zahlenbeispielen erläutert.

Ein ausführlicher Anhang gibt dann in 3 Abschnitten eine Einführung in die Mathematik der Vektorenrechnung, in die Physik der Elektrizität und in die Technik der komplexen Rechnung.

Der zweite Band enthält im ersten Teil eine sehr ausführliche und gründliche Theorie der Sende- und Empfangsantennen. Zunächst werden die ungerichteten, dann die gerichteten Antennen und Antennensysteme erläutert. Der Naturwissenschaftler wird im zweiten Teil eine ganz hervorragende Zusammenstellung der Theorien und Beobachtungen der Wellenausbreitung finden. Die sich ergänzenden Theorien von ZENNECK, SOMMERFELD, VAN DER POL und BREMER sind bis zu den in vielen Kurventafeln dargestellten Ergebnissen ausführlich abgeleitet. Ihnen folgt eine gleich ausführliche Zusammenstellung der Theorie der Ionosphäre und ihres Einflusses auf die Wellenausbreitung. Darauf folgen die Verfahren und Ergebnisse der Beobachtungen, wobei das physikalisch Wichtige und das nachrichtentechnisch Wichtige mit gleicher Liebe behandelt ist. Viele Abbildungen von Registrierstreifen und Kurven gemessener Werte beleben die sehr anschauliche Darstellung.

Wir hoffen, daß es den Herausgebern bald möglich ist, diesen beiden vom Verlag sorgfältig ausgestatteten Bänden die übrigen vier folgen zu lassen, und empfehlen den 1. Band vor allem den Studierenden, den 2. Band den Ingenieuren und Forschern der drahtlosen Nachrichtentechnik. FELDTKELLER, Stuttgart.

BRAUN, GUSTAV, **Die Formenwelt des deutschen Bodens.** (Deutscher Boden: Bd. VII.) Berlin: Gebrüder Borntraeger 1939. IV u. 152 S., 28 Textabbild. 14 cm × 22 cm. Preis: geb. RM 4,80.

Das vorliegende Werk des vor kurzem verstorbenen Verfassers zeichnet sich vor anderen Behandlungen

der Oberflächengestaltung Deutschlands dadurch aus daß es nicht nur der Fachwelt, sondern auch einem weiteren Kreise Einblick in die Formenwelt des deutschen Landes und ihre Entstehung gewähren will. Tatsächlich erfüllt es diese Aufgabe ganz, ohne daß Zugeständnisse an das wissenschaftliche Niveau gemacht würden. Darin liegt das große Verdienst des Buches. Kennzeichnend ist die starke Berücksichtigung der Großformung im Sinne der Morphogenese. Jedem Hauptabschnitt ist die wichtigste Literatur vorangestellt. Ein Blick auf den Gang der Forschung leitet ihn jeweils ein und ist besonders anregend durch die starke eigene Mitarbeit des Verfassers an der Aufrollung der Probleme.

In einer übersichtlichen Betrachtung werden zuerst die Grundbegriffe der Orographie und Geomorphologie behandelt. Dieser Abschnitt dient gewiß in erster Linie zur Einführung für den Laien; in wissenschaftlicher Hinsicht ist aber aus den gedrängt gebotenen Darlegungen vor allem die klare Stellungnahme zu den schwierigen Fragen der Großformung der Landschaft hervorzuheben. Die Darstellung der Formgemeinschaften Deutschlands folgt dann den natürlichen Einheiten. Bei der Schilderung des norddeutschen Flachlandes findet naturgemäß die mit den verschiedenen Eiszeitstadien im Zusammenhang stehende Oberflächengestaltung stärkste Beachtung. Kennzeichnend ist schon hier die weitgehende Rücksichtnahme auf die Fragen nach dem Bau des tieferen Grundes und seinen Auswirkungen auf die heutige Formung des Landes. Anregende Gedankengänge über einzelne greifbare Probleme (Flußdurchbrüche, Küstenbildung) sind daneben eingeschaltet. Gründliche und problemreiche Darstellung finden die deutschen Mittelgebirge. Hier ist auf die Deutung der weithin verbreiteten Abtragungsfächen starkes Gewicht gelegt. Besonders lassen die Kapitel über den böhmischen Block, die sudetische und mitteldeutsche Scholle den Zusammenhang zwischen dem Bau des Untergrundes und der Formenwelt der Oberfläche mit zum Teil neuen Gesichtspunkten hervortreten. Die großen tektonischen Tendenzen bestimmen das Aussehen der Räume. Bezeichnend für das Rheinische Schiefergebirge ist die Neubelebung alter Strukturen zu Großfalten. In Südwestdeutschland können die Schwierigkeiten, die dadurch entstehen, daß das Gewässernetz dem Schichtstufenbau nicht völlig entspricht, mit Hilfe der Annahme von Aufwölbungen der Landoberfläche beseitigt werden. Untersuchungen der Bauanlage und Fragen der Großformung treten auch bei der Besprechung der deutschen Alpen in den Vordergrund. Die Erscheinungen der Gipfelflur, des älteren Stockwerkbaues und der jugendlichen Großfaltungen werden zu erläutern versucht. Der Einwirkung der diluvialen und heutigen Vergletscherung auf das Aussehen der Alpen wird bei der Behandlung der Modellierung des Raumes Rechnung getragen. Eine Skizze der deutschen Ströme, die die nach Aufbau und Formen so verschiedenen Landschaften zu einer Einheit verbinden, gibt eine besonders wünschenswerte Ergänzung.

JOSEF WERDECKER, Prag.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

21. März 1941

Heft 12

Oskar Heinroth zum 70. Geburtstage.

Von O. KOEHLER, Königsberg i. Pr.

Gern folge ich der Aufforderung des Herausgebers, unserem allverehrten Jubilar die Glückwünsche der „Naturwissenschaften“, wenn auch verspätet, darzubringen. Wer sein selten fruchtbares Forscherleben überblickt, fängt zugleich ein Stück Wissenschaftsgeschichte ein, dessen Betrachtung uns Wesentliches lehrt.

Am 1. März 1871 wurde OSKAR als Sohn des Dr. A. HEINROTH zu Castell bei Mainz geboren. „Ich selbst bin von niemandem unterwiesen worden und habe schon als kleines Kind jede Henne persönlich an der Stimme erkannt.“ Der 12jährige unterscheidet angeborene und erlernte Vogelrufe, zieht heimlich kleine Singvögel in der Kommodenschublade groß. Er sieht seine jungen Singdrosseln, fern von jedem elterlichen Einfluß, bald kleine Kiesel, bald Gehäuseschnecken an ganz bestimmte Steine schlagen und schließt: sie wissen nicht, daß man das genießbare Innere der Schnecke auf diesem Wege erbeuten kann, sondern der Trieb zum Aufschlagen kleiner Dinge auf Steine ist ihnen angeboren. — Als 7jähriger hält er sich Gänse und beobachtet ihre verschiedene Fußstellung im Fluge und beim Landen; als Primaner ist er so völlig in die Enten vernarrt, daß er ihrer Beobachtung jede freie Stunde widmet.

Überblicke ich, im Vergleich zu solcher Jugend, die große Anzahl meiner Kameraden, die 20 Jahr jünger als HEINROTH im lieben alten Münchner Institut Zoologie studierten, so war mit einer einzigen Ausnahme kein dermaßen „geborener“ Zoologe darunter. Wir lernten dort vergleichende Anatomie, Histologie, Reiz- und Entwicklungsphysiologie, Chromosomen- und Erblehre und waren stolz, uns Instituts- oder Experimentalzoologen zu nennen; über Systematik fühlten wir uns erhaben, aus dem bequemen Grunde, daß wir keine Tiere kannten. Zwischen dem Institut und der Sammlung war eine schwere Eisentür, die mir als Student immer als Symbol erschien. Sie öffnete sich selten. Wohl führte uns F. DORLEIN trefflich auf Exkursionen, auch hielt er einen Bestimmungskurs; aber die Objekte blieben tot, nicht minder die langen Bestimmungstabellen, und draußen schreckte uns die Fülle von ernstem Zugreifen ab. Erst als ich selbst Lehrer war, habe ich versucht, auch mit der Systematik wenigstens an einigen Punkten Ernst zu machen und bin dankbar wie ein Kind für all die Bereicherung, die mir daraus erwächst. Es ist ja glücklicherweise nie zu spät, Versäumtes nachzuholen; der Vorsprung der geborenen Systematiker ist allerdings unerreichbar.

HEINROTH hingegen, der geborene Systematiker, studierte *Medizin* in Halle, Leipzig und Kiel, wo er mit einer Untersuchung über den Fischharn zum Dr. med. promovierte. Er hat seine Wahl nie bereut; man merkt seiner späteren Forschungsarbeit überall die gründliche anatomisch-physiologische Schulung am bestbekanntesten Säugetier genauestens an. Noch heute sollte man jedem Zoologen im Hauptfach raten, zumindest das Physikum zu machen. Nach dem Abschluß aber setzte sich erwartungsgemäß HEINROTHS angeborene Neigung durch. 1896 kam er nach Berlin, um ausgiebig in den Naturwissenschaften, besonders der Zoologie, aufzuholen und halbtägig im Zoologischen Garten zu arbeiten. 1900/01 nahm er an der ersten deutschen Südsee-Expedition teil, und viele weite Reisen sollten später folgen. Von 1902 an war er im Zoologischen Garten tätig und baute 1911 bis 1913 das Berliner Aquarium auf, das er heute noch leitet. Es ist auch heute noch das beste und artenreichste Deutschlands.

Dieser Mann kennt wirklich und buchstäblich *alle* mit bloßem Auge sichtbaren Tiere, die der Berliner Zoo und sein Aquarium je beherbergten, und dazu wie viele weitere noch, und wie kennt er sie! Nicht nur die Namen ihrer Leichen, sondern ihrer aller Bau und Leistung, jeden Ton und jede Bewegung, die ihnen eignet. Und immer fließt ihm sein Wissen aus Freilandbeobachtungen in aller Herren Länder und zugleich aus eigener Tierhaltung, in der er schlechthin unbestrittener Meister ist.

Wenn ANTON DOHRN, gewiß einer der weit-sichtigsten Morphologen seiner Zeit, 1883 in einem Brief an DUBOIS REYMOND seinen Plan der Erweiterung der Neapeler Station um eine physiologische Abteilung mit den Worten begründete: „Wir bewegen uns noch immer zu ausschließlich in den Bahnen der vergleichenden Anatomie und Embryologie; die vergleichende Physiologie und das Studium der Lebensweise harren einer kräftigen Initiative“, so konnte er selbst in dieser Richtung noch entscheidendes Organisatorisches, doch keine eigene Forschungsarbeit mehr leisten. Einer der ganz wenigen aber, die schon damals überhaupt, und dazu in geradezu unerhörter Breite und Tiefe zugleich, tierischen Bau und tierisches *Verhalten* in eines zusammensahen, war O. HEINROTH. Physiologisches Denken liegt ihm im Blut; nie könnte er Formen ohne Hinblick auf ihre Leistung betrachten. Das Einzigartige aber an ihm ist jener angeborene Blick für *Bewegungsformen* seiner Tiere, die er in seiner untrüglichen Erinnerung wohlgeordnet bewahrt und stets ver-

füßbar hält. Die große uns heute noch gestellte Aufgabe, all diese Fülle der Bewegungsformen in einem riesigen Filmarchiv zusammenzubringen, ist in seinem Kopfe bereits praktisch gelöst. Man braucht ihn nur zu fragen, wie dieser Vogel fliegt, balzt, ruft, singt, wie jene Schlange frißt, ihr Opfer erbeutet, wie der Frosch oder die Kröte springt, kriecht und gräbt, wie der und der Fisch balzt, die Jungen betreut usw. für alle seine Arten, man wird nie vergebens fragen und hundert Auskünfte über die Frage hinaus erhalten. Und wenn man ihn bittet, er möchte diesen einzigartigen Schatz von Wissen doch in allen Einzelheiten genau bekanntgeben, so antwortet er nur: „Aber das alles weiß man doch!“ Ach wenn er nur wüßte, wie wenige das alles wissen.

So konnte HEINROTH mit einzigartiger Rüstung an die Arbeit gehen. Seine angeborene Gabe des Bewegungseidetikers und die ihm zugleich eigene des vollendeten Abhörers widerlegt im Einzelfalle schlagend die bekannte Einteilung in „Augen-“ und „Ohrenmenschen“. Der angeborene systematische Blick, die angeborene glückliche Hand des Tierhalters, die einzigartige Beobachtungsgabe, sie treffen zusammen mit der seinerzeit bestmöglichen naturwissenschaftlich-medizinischen Vollschulung.

Der literarische Niederschlag seiner Lebensarbeit ist schon dem Umfang nach nur schwer zu überblicken. In kaum einem Jahrgang des Journals für Ornithologie, der Sitzungsberichte der Gesellschaft naturforschender Freunde, des Zoologischen Gartens sowie der Aquarienzeitschriften fehlt sein Name. Überall finden wir Systematik, Anatomie, Physiologie und vor allem immer wieder *das Verhalten* gleicherweise gemeistert. Und trotz aller Fülle der Veröffentlichungen und ihrer Gegenstände, wie wenig ist es z. B. im Vergleich zu der Unzahl eigener Ideen und Anschauungen über systematische Ordnung aller der Klassen und Ordnungen, die er voll übersieht, und ihrer Begründung durch gemeinsamen Besitz übereinstimmender angeborener Verhaltensweisen! Hier können wir uns nur an wenige seiner Arbeiten halten.

O. HEINROTH war es, der 1909 jenen halbseitenzwitterigen Gimpel fand und beschrieb, der auch heute noch der Experimentalzoologie eine gewichtige Zukunftsaufgabe stellt. — Wer HEINROTH so recht kennenlernen will, lese seinen im gleichen Jahre erschienenen Bericht über zwei voll erfolgreiche, ineinandergeschachtelte Bruten des *Ziegenmelkers* auf dem Pecarifell in einem Wohnzimmer, mit der Instinktbewegung des Eirollens, dem Katalog der nacheinander beim Jungen auftretenden Triebhandlungen. Weder vor noch nach ihm hat das jemals jemand fertiggebracht. Und schon hier setzt er seiner ersten Frau MAGDALENA, ohne deren einfühlsame, hingebende Pflege das nie gelungen wäre, ein schönes Denkmal. Wahre Gipfelpunkte jahrzehntelanger täglicher Beobachtungsarbeit sind vor allem „*Die Brautente*“ und

die „*Beiträge zur Biologie, Ethologie und Psychologie der Anatiden*“, beide 1910, sowie die kleine und doch grundlegende Schrift „*Über bestimmte Bewegungsweisen der Wirbeltiere*“ (1930), in der er z. B. auf die eine Form des Sichkratzens hinweist, die sehr viele Vogelarten mit den Reptilien teilen.

Der einzige Versuch, den HEINROTH immer wieder machte, wohlgemerkt aber gerade der entscheidende, war die *Aufzucht dem elterlichen Einfluß entzogener Jungvögel*. Er hat ihn gemeinsam mit seiner Frau durchgeführt an fast sämtlichen deutschen Vogelarten, und aus solcher 28jähriger Arbeit erwuchs das vierbändige Meisterwerk „*Die Vögel Mitteleuropas*“, das in Lieferungen von 1924 bis 1931 erschien. In seiner völlig fremdwortfreien Sprache, die sich von jedem Theoretisieren fernhält, in der knappen Beschränkung auf das Wesentliche, in den unübertrefflichen Bildern, die, jedes ein Naturdokument, dem Kenner alle wesentlichen Haltungen vom frischgeschlüpften Küken bis zum erwachsenen Zustand, sämtliche Kleider endgültig festlegen, faßt es bisher nahezu unbeachtete Tatbestände zusammen und stellt die vergleichende postembryonale Entwicklungsgeschichte und Entwicklungspsychologie einer Tierklasse dar, wie sie so noch niemals geboten wurde. Nicht minder begrüßen wir die beiden kurzen Zusammenfassungen, die dem Hauptwerk folgten, die „*Gefiederten Meistersänger*“, d. h. den Begleittext zu den 3 Schallplatten mit Vogelstimmen, die HEINROTH aus einem Riesenmaterial von Naturaufnahmen zusammenschneidet, und in der Sammlung „*Verständliche Wissenschaft*“ das Bändchen „*Aus dem Leben der Vögel*“ (1939), in dem wir die nicht mehr zu übertreffende letzte Kondensationsstufe von HEINROTHS Lebensarbeit an Vögeln erblicken.

Es mag dem Menschenpsychologen alter Schule unbegreiflich erscheinen, wenn wir, d. h. der Kreis der um HEINROTH gescharten Tierpsychologen, diese Bücher als ein Hauptfundament unserer gegenwärtigen Arbeit werten. Hielt man bisher Tierpsychologie entweder für eine *contradictio in adiecto*, oder sah man in ihr lediglich eine reine Lernpsychologie, z. B. amerikanischer Labyrinth-Dresseure — HEINROTH selbst hat wohl niemals irgendein Tier dressiert —, so wird ein solcher Beurteiler meinen, HEINROTHS „*problemlose*“ Beobachtung natürlicher Lebensabläufe habe mit der Experimentalforschung des Tierpsychologen nichts zu schaffen. In Wahrheit hat er den Grund gelegt zu dem Neuen, das jetzt in der Forschung an erste Stelle rückt. Sein Grundversuch hat die *Entwicklungspsychologie*, die bisher völlig vernachlässigte, ins Tierreich eingeführt. Seine von Kind auf jeder tierischen Handlung gegenüber immer wiederholte Frage, *ob angeboren oder erworben*, ist ein Grundpfeiler modernen Forschens. Die Vorteile seiner *Tierhaltung* liegen auf der Hand: im Freien könnte man nie z. B. die Jungenfütterung des Ziegenmelkers beobachten, denn sie liegt

vorwiegend in der Nacht; im Zimmer ist sie zwar auch noch schwer genug zu sehen, aber immerhin leichter als draußen. Die Nachteile der Haltung aber, die Gefahren des Instinktzerfalls im Gefolge selbst leichter Störungen des inkretorischen Gleichgewichts, weiß der Erfahrene zu überwinden, zumal wenn er das Freilandverhalten so genau kennt wie HEINROTH.

Wenn er etwa den Satz hinwirft: „Ein Vogel hat keine Elternpflichten, sondern Elternfreuden, und tut nur das, was ihm gewissermaßen Spaß macht. Scherzweise kann man sagen: Vögel sind Gefühlswesen schlimmsten Grades mit wenig Verstand“, so scheint uns solche Aussage mehr wirkliche tierpsychologische Substanz zu enthalten als ein ganzes Zeitschriftenheft voll Erörterungen über die Frage, ob und auf welchen Wegen Tierpsychologie möglich sei.

KONRAD LORENZ' Instinktanalyse wäre ohne HEINROTHS Pionierarbeit nie möglich gewesen. Die moderne *Vergleichende Psychologie* — den Zusatz „des Menschen und der Tiere“ dürfen wir bereits als selbstverständlich weglassen¹⁾ — steht ganz auf seinen Schultern. Sie tut das, was er sein Leben lang uns vorgemacht hat. Sie erblickt ihre erste Aufgabe darin, die angeborenen Instinkthandlungen als die Grundelemente, man möchte fast sagen die Atome, herauszuheben, aus denen in Verschränkung mit den anderen angeborenen Elementen (Taxien, Auslöser) und allem Erfahrenen das Gesamthandeln sich aufbaut²⁾, und gleichzeitig aus dem *Vergleich* der angeborenen Instinkthandlungen bei nächstverwandten Arten, darüber hinaus bei Gattungen und immer höheren systematischen Einheiten genau so auf die Stammesgeschichte und Stammesverwandtschaft zu schließen, wie es in der vergleichenden Anatomie geschieht. Ihr letztes Ziel ist und bleibt der Mensch, der auch seinen Instinktschatz von den tierischen Ahnen übernahm, der die Grundelemente seiner Soziologie ersichtlich mit ihnen teilt und in dessen Geistesleistungen tierische vorsprachliche Urvermögen eingegangen sein müssen. Tier- und Menschenpsychologie sind nie wieder voneinander zu trennen.

Von HEINROTH haben wir es gelernt, z. B. die Gruppe der Singvögel nicht lediglich nach anatomischen Merkmalen, etwa des Syrinx, abzugrenzen, sondern ebensogut nach allen gemeinsamen Verhaltensweisen, etwa danach, daß sie „gebündelt zu Nester tragen“. Wie sie sich kratzen, sich baden, sich strecken, wie sie trinken usw. usw., das alles hat nicht weniger taxonomische Bedeu-

¹⁾ Soeben wurde im Rahmen der Philosophischen Fakultät Königsberg das Institut für Philosophie amtlich bestätigt: Abt. I. Philosophisches Seminar, Leiter: E. BAUMGARTEN; Abt. II. Institut für vergleichende Psychologie, Leiter: K. LORENZ. Die Aquarien sind schon voll, die Altenberger Enten und Gänse gedeihen in Königsberg prächtig.

²⁾ Näheres siehe *Naturwiss.* 1939, 181 u. f.

tung als die Beschreibung des Laufes oder die Gestaltung der Blinddärme. Und wer sich unter solchen Zielen wirklich in eine Gruppe ganz hineinlebt, so wie HEINROTH und ihm folgend K. LORENZ in ihre Enten, der sieht die Korrelationen zwischen rein anatomischen Dingen, wie etwa den Auswüchsen der Luftröhre, und andererseits den Zwangshaltungen beim Balzruf, und es scheint ihm unbegreiflich, daß man sich so lange die nächstliegenden Merkmale, eben die angeborenen Verhaltensformen, entgehen ließ.

In solcher Form werden Systematik und Stammesgeschichte, denen die Experimentalzoologie inzwischen völlig den Rang abgelaufen zu haben schien, wieder aufleben, der Experimentalforschung neue Aufgaben stellen und sich mit ihr auf höherer Ebene vereinen. Gewiß bleibt das Mikroskop auch dem heutigen Biologen ganz unentbehrlich, doch ist es nicht mehr das einzige Beobachtungswerkzeug, Feldstecher und bloßes Auge kommen auch wieder zu Ehren. Jene Eisentür hat uns O. HEINROTH weit aufgestoßen. Die frische Zugluft, die nun hinüber- und herüberweht, soll uns tüchtig durcheinanderwirbeln. Wir danken O. HEINROTH für alles, was er uns gab, wir wünschen uns, er möchte, gemeinsam mit seiner zweiten Frau KÄTHE, uns noch manche neue Arbeit schenken und uns noch oft durch sein Aquarium führen, noch lange in alter Frische die unzähligen Fragen, die wir nur ihm gesprächsweise stellen dürfen, stets so sicher und erschöpfend beantworten. Wir begrüßen ihn an seinem Ehrentage als den Vater der deutschen Vergleichenden Psychologie.

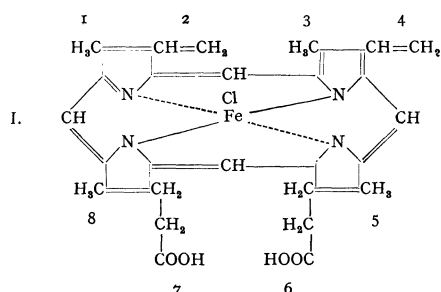
Literatur.

O. HEINROTH, Beobachtungen bei der Zucht des Ziegenmelkers. *J. Ornithologie* 57, 56—83 (1909) — Über einen Zwitter von *Pyrrhula europaea*. *J. Ornithologie* 57, 503/4 (1909) — Die Brautente. *J. Ornithologie* 1910, H. 1, auch gesondert erschienen bei J. Neumann, Neudamm, 1910 — Beiträge zur Biologie, namentlich Ethologie und Psychologie der Anatiden. *Verh. 5. internat. Ornithologenkongreß Berlin 1910* — Beziehungen zwischen Vogelgewicht, Eigewicht, Gelegegewicht und Brutdauer. *J. Ornithologie* 1922, 172—285 — Lautäußerungen der Vögel. *J. Ornithologie* 72 (1924) — Führer durch das Aquarium, Terrarium und Insektarium im Zoologischen Garten zu Berlin. *Akt. Verein des Zool. Gartens Berlin 1925*, 47 S. — Vgl. Betrachtungen über die Lebenserscheinungen der Vögel und Kriechtiere. *J. Ornithologie* 70, 23—39 (1927) — Ehigkeit oder Keinehigkeit, oder gibt es Vielehe unter den Vögeln? *Beitr. Fortpflanzungsbiol. d. Vögel* 4 (1928) — Die Vögel Mitteleuropas, von O. u. M. HEINROTH, 4 Bände. Großlichterfelde: Verlag Bermühler — Gefiederte Meistersänger, mit 3 Schallplatten. Großlichterfelde: Verlag Bermühler — Über bestimmte Bewegungsweisen der Wirbeltiere. *Sitzgsber. Ges. Natf. Fr. Berlin 1930*, 333—342 — Die Lebensweise der Pinguine. *Sitzgsber. Ges. Natf. Fr. Berlin 1931*, 1/2. — Erfahrungen aus der Seewasserabteilung des Berliner Aquariums. *Zool. Garten* 9, 278—285 (1937) — Das Familienleben der Haustaube. *J. Ornithologie* 87, 180—181 (1939).

Über eisenhaltige Fermente.

Von K. ZEILE, Göttingen.

Man verdankt O. WARBURG die experimentell begründete Erkenntnis, daß das Eisen im Leben der atmenden Zelle wichtige katalytische Funktionen zu erfüllen hat. Aus seiner früheren Vorstellung eines „Atmungsfermentes“ als „Summe aller katalytisch wirksamen Eisenverbindungen, die in der Zelle vorkommen“, hat sich auf Grund der Arbeiten seiner Schule die Kenntnis eines durch sein Absorptionsspektrum und seine Wirkungsweise gut umschriebenen Oxydationsfermentes entwickelt, das als „sauerstoffübertragendes Ferment der Atmung“ bezeichnet wird. Daneben sind als weitere Komponenten des Zelleisensystems das Cytochrom, die Katalase und die Peroxydase bekannt und zum Teil weitgehend aufgeklärt worden. Die Wirkgruppen aller genannten Fermente sind Häminderivate, d. h. ihr katalytisch wirksames Eisen befindet sich in einer Komplexbindung, die von den 4 Stickstoffatomen eines Porphingerüsts ausgeht, wie es nachstehende Formel I des Blutfarbstoffhämins zeigt¹⁾. Die chemisch-konstitutive Erforschung der Porphinderivate verdankt man vor allem HANS FISCHER und seiner Schule.



Die zum Teil ausgesprochen selektiven Absorptionen, die den Häminabkömmlingen als Farbstoffe eigen sind, haben ihre Auffindung in

¹⁾ Formel I gibt die Chlor-ferriverbindung, den eigentlichen Hämintyp wieder, wie er nach der Abtrennung der Farbkomponente aus dem Hämoglobin mit Eisessig-Kochsalz in kristallisiertem Zustand erhalten wird. Ist das Cl-Atom durch OH ersetzt, so spricht man von „Hämatin“. Im Blutfarbstoff selbst liegt die prosthetische Gruppe als „Häm“ mit 2-wertigem Eisen (ohne Cl) vor. Die Verbindungen vermögen noch N-haltige Basen zu addieren; besonders charakteristisch sind die Hämochromogene, die durch lockere Anlagerung von 2 Mol Base an ein Häm entstehen. In ihnen sind alle 6 Koordinationsstellen des Eisens durch N-Atome besetzt.

Natürliches Bluthämin, häufig als Hämin schlechweg bezeichnet, wird als Eisenkomplexsalz des Protoporphyrins auch Protohämin genannt. Unter den 15 Isomeren, die sich aus der verschiedenen Anordnungsmöglichkeit der 8 Seitenketten am Porphinring ergeben, hat das natürliche die Ziffer IX erhalten (H. FISCHER). Ohne Rücksicht auf die Seitenketten im Porphinring und den Zustand des Eisens nennt man häufig Porphyrineisenkomplexsalze allgemein Hämine.

den geringen Konzentrationen in der Zelle wesentlich erleichtert. Es ist deshalb kein Zufall, daß die eisenhaltigen Fermente die ersten sind, von denen die Natur der prosthetischen Gruppe bekannt geworden ist. Freilich ist damit noch nicht die letzte entscheidende Ursache für ihre hohe und spezifische enzymatische Leistung aufgedeckt; diese ist offenbar in der besonderen Bindung an die Trägersubstanz zu suchen. Auch gewöhnliches Hämin hat oxydatische, katalatische und peroxydatische Eigenschaften, aber in den Enzymen sind die katalytischen Fähigkeiten um mehrere Zehnerpotenzen gesteigert¹⁾. Wenn aber überhaupt Voraussetzungen für die Aufklärung der Enzymwirkung bestehen, so dürften sie bei den eisenhaltigen Fermenten als verhältnismäßig günstig zu bezeichnen sein.

Im folgenden soll versucht werden, über die Entwicklung der Kenntnisse von den eisenhaltigen Fermenten in den letzten Jahren und über den gegenwärtigen Stand der Probleme einen Überblick zu geben.

I. Das sauerstoffübertragende Ferment der Atmung.

Im Jahre 1932 war über das sauerstoffübertragende Ferment der Atmung etwa folgendes bekannt: Es ist ein Oxydationsferment, das an die Zellstruktur verankert ist. Die Wirkgruppe ist ein Häminderivat, dessen Eisen durch Substrat zum zweiwertigen Zustand reduziert, durch molekularen Sauerstoff zum dreiwertigen oxydiert wird. Blausäure und Schwefelwasserstoff hemmen in sehr kleinen Konzentrationen das Ferment und damit die Zellatmung durch Blockierung der Ferristufe, Kohlenoxyd bildet mit der Ferrostufe eine im Licht dissoziierende, katalytisch unwirksame Verbindung. Das Ausmaß der Dissoziation dieser Verbindung, für das der Atmungsanstieg kohlenoxydvergifteter Zellen bei Bestrahlung mit verschiedenen Wellenlängen eine experimentell bestimmbare Größe bildet, gibt ein Maß für die Extinktionswerte der CO-Verbindung bei den entsprechenden Wellenlängen, ermöglicht also die Aufnahme des Absorptionsspektrums als „photochemisches Wirkungsspektrum“. Bei stark atmenden Bakterien ließen sich später Atmungsfermentbanden auch direkt spektroskopisch sichtbar machen. Aus dem Verhalten gegen Kohlenoxyd und aus dem Typus des Absorptionsspektrums ergibt sich die Häminatur der Wirkgruppe; die Lage der Absorptionsbanden läßt auf eine Konstitution schließen, die

¹⁾ Katalytische Umsätze an H₂O₂ (Möle) durch Eisen (g-Atome) pro sec.

Katalase-Fe	6 · 10 ⁴ —2 · 10 ⁵
Peroxydase-Fe	etwa 10 ⁻⁴
Hämin-Fe (peroxydat. u. katalat.)	etwa 10 ⁻²
Fe ⁺⁺⁺	etwa 10 ⁻⁵

zwischen Blut- und Blattfarbstoffabkömmlingen steht (Phäohämintypus).

Die genaue Konstitution der Wirkgruppe des Atmungsfermentes ist noch unbekannt. Ihrer Aufklärung steht noch immer die Unmöglichkeit einer Abtrennung des Ferments aus der Zelle entgegen. Der Vergleich mit anderen Häminen auf Grund der Lage der Absorptionsbanden kann nur ungefähre Anhaltspunkte bieten, zumal bei dem zellgebundenen Fermenthämin und den in Lösung zum Vergleich verwendeten Häminderivaten keine Gewähr für einen gleichartigen Verteilungszustand gegeben ist.

Genaue Messungen des Absorptionsspektrums liegen vom Atmungsferment der Hefe (*Torula utilis*) und der Essigbakterien (*Bact. pasteurianum*) vor. Sie stimmen weitgehend überein, ebenso lassen die für einige Wellenlängen ermittelten Extinktionswerte des Atmungsfermentes der Netzhaut nur eine geringe Abweichung in der Lage der Hauptabsorptionsbande erkennen. An anderen Objekten (verschiedenen Mikroorganismen, Leber- und Chorionpräparaten) wurde ebenfalls die lichtempfindliche CO-Hemmung der Atmung festgestellt.

Daraus und aus der weitverbreiteten spezifischen Blausäureempfindlichkeit der Zellatmung wird von WARBURG auf eine allgemeine Verbreitung des sauerstoffübertragenden Ferments der Atmung in aeroben Zellen geschlossen.

Mehrfach ist versucht worden, aus der Größe der Atmungshemmung durch Blausäure einen Schluß auf den Umfang des eisenkatalysierten Atmungsanteils einer Zellart zu ziehen. Eine vollständige Hemmung der Atmung durch etwa 10^{-3} mol HCN würde bedeuten, daß die gesamte Atmung über das Oxydasesystem abläuft, ein verbleibender Atmungsrest würde daneben noch auf einen anderen Atmungsweg schließen lassen. WARBURG hat seine Beobachtungen über die Vollständigkeit der Blausäurehemmung verallgemeinert, und Beobachtungen, die einen HCN-unempfindlichen Atmungsrest ergaben, auf ungeeignete Versuchsbedingungen (Schädigung des Enzymsystems, mangelnde Sättigung durch Substrat) zurückgeführt. Doch lassen sich die Befunde anderer Autoren über HCN-unempfindliche Atmungsanteile an verschiedenen Gewebsarten nicht alle befriedigend mit solchen Annahmen erklären. KIRSCH fand z. B. die Retinaatmung völlig durch HCN hemmbar, während sich in Herzpräparaten die Atmung durch $\frac{1}{200}$ HCN nur zu 50% hemmbar erwies. Es ist also durchaus mit einem nicht hämingesteuerten Atmungstypus zu rechnen, für den man in erster Linie die Beteiligung von Flavinsystemen in Betracht ziehen muß. Z. B. haben sich bei Rattenorganen, wie Niere, Herz, Leber, nach GOURÉVITCH zwischen dem HCN-unempfindlichen Atmungsanteil, der sich zwischen 10 und 20% der Gesamtatmung bewegt, und dem Flavinhalt quantitativ befriedigend übereinstimmende Beziehungen ergeben. Im Falle der untersuchten

Bäckerhefe hat das Flavinsystem nach WARBURG jedoch nur mit 0,5%, bei Essigbakterien mit 0,1% Anteil an der Gesamtatmung.

Im allgemeinen wird es zutreffen, daß in Zellen mit ausgeprägtem Häminsystem der Hauptteil der Atmung durch dessen Eisen katalysiert wird.

Da es sich bei der sauerstoffübertragenden Wirkung des eisenhaltigen Fermentes um die Funktion einer Oxydase handelt, waren Vergleiche der Ergebnisse der WARBURGSchen Untersuchungsmethodik, die sich auf der lichtempfindlichen CO-Hemmung der Atmung aufbaut, mit anderen für Oxydasen üblichen enzymchemischen Untersuchungsmethoden von Interesse. KEILIN fand schon 1929, daß die Reaktion des Ferroeisens der Cytochromkomponente *c* mit Luftsauerstoff durch ein Enzym vermittelt wird, das andererseits schon lange als Katalysator der Oxydation des p-Phenylendiamins zu Indophenolblau bekannt war und das nach dieser Wirkung Indophenoloxydase benannt worden war. Dieses sehr weitverbreitete Ferment ist spezifisch gegen Blausäure und Schwefelwasserstoff empfindlich, ferner konnte wie beim WARBURGSchen Atmungsferment eine lichtempfindliche CO-Hemmbarkeit, und zwar sowohl bei der Indophenolbildung als auch bei der Cytochrom-*c*-Oxydation, beobachtet werden. Deshalb wird angenommen, daß die Indophenol- oder Cytochromoxydase und das sauerstoffübertragende Ferment identisch seien. Ein strenger Beweis hierfür wäre darin zu erblicken, wenn die CO-Hemmbarkeit, für die die Konstante (K_d)¹⁾ der Verteilung des Ferments zwischen O₂ und CO ein Maß bildet, und ihre Lichtempfindlichkeit auch quantitativ übereinstimmend gefunden würden. Das ist bis jetzt, solange kein systematisches Vergleichsmaterial vorliegt, nur in grober Annäherung der Fall²⁾. Auch ist die Lichtempfindlichkeit der CO-Hemmung in isolierten Fermentpräparaten in Abhängigkeit von der Lichtwellenlänge noch nicht quantitativ untersucht worden.

Die Gründe für die Abweichungen können in leicht erklärlichen äußeren Umständen liegen. Nach der WARBURGSchen Methodik kommt das Ferment in der intakten Zelle zur Untersuchung, hingegen setzt die Untersuchung *in vitro* nach KEILIN die Anwendung des Ferments als Gewebssuspension voraus, bei deren Bereitung ohne weiteres Veränderungen des empfindlichen Stoffes

¹⁾ $K_d = \frac{n_d}{1 - n_d} \cdot \frac{CO}{O_2}$. In dieser Gleichung bedeutet n_d den Atmungsrest der Zelle nach unbelichteter CO-Vergiftung, CO und O₂ die Konzentrationen im Gasraum.

²⁾ Z. B. schwankten die von KEILIN bei der Indophenolbildung für das Hefeferment ermittelten K_d -Werte zwischen 9 und 24 (16–37°), die Herzmuskeloxydase erwies sich leichter durch CO hemmbar, entsprechend einem kleineren K_d -Wert: 3–9 (17–19°). K_d für *Torula utilis* ergab sich z. B. in WARBURGS Versuchen zu 6,6 (10°).

möglich erscheinen. Unter Berücksichtigung der Spezifität der lichtempfindlichen CO-Hemmbarkeit, die bislang bei keiner anderen Oxydase beobachtet worden ist, wird man sich vorläufig mit der angedeuteten qualitativen Identifizierung begnügen müssen; indessen wäre eine Verbreiterung der experimentellen Basis erwünscht.

In letzter Zeit hat sich nun herausgestellt, daß die Indophenolbildung, die bislang als eine spezifische Reaktion der betreffenden Oxydase betrachtet wurde, eine Sekundärreaktion ist, die nur unter Vermittlung des Cytochroms *c* zustande kommt. In den Fermentpräparaten ließen sich kleine Mengen von Cytochrom *c* nachweisen, die schwer abzutrennen sind und die für die Oxydation des p-Phenylendiamins und anderer Chromogene verantwortlich zu machen sind. Das Cytochrom *c* erwies sich also als eigenliche Substrat des Ferments, deswegen ist die Bezeichnung Indophenoloxydase in Cytochromoxydase zu ändern.

KEILIN versuchte das Ferment auf andere Weise zu charakterisieren als WARBURG, nämlich durch seine Anreicherung in Suspensionen und spektroskopisches Studium. Auf die Ergebnisse und Schwierigkeiten, die sich dabei aus der Überlagerung des Spektrums mit dem des Cytochromsystems ergeben, wird unten im Abschnitt über Cytochrom eingegangen werden.

Von KEILIN ist auch die Frage gestellt worden, ob es sich bei der Oxydase überhaupt um ein Hämderivat handle oder ob sie z. B. als Träger unbekannter Konstitution erst bei der Vereinigung mit dem Cytochrom die prosthetische Gruppe erhalte, die das typische Verhalten gegen Kohlenoxyd zeigt. Eine solche Deutung läßt sich gegenwärtig nicht ausreichend experimentell prüfen. Auch die erwogene Zuordnung der Oxydase zu Kupferproteiden ist nicht zu begründen, obwohl bekannt ist, daß für den Aufbau der Oxydase in der Zelle Kupferspuren nötig sind, und obwohl verwandte Polyphenoloxydasen, die kohlenoxydhemmbar sind, einwandfrei als Kupferproteide charakterisiert worden sind. Jedoch ist diese Kohlenoxydhemmung lichtunempfindlich und das uncharakteristische Absorptionsspektrum völlig von dem des eisenhaltigen Ferments abweichend.

2. Katalase.

Dieses Ferment, das einen ähnlichen weiten Verbreitungsbereich in aeroben Zellen besitzt wie das eisenhaltige Atmungsferment, ist auf Grund seiner Fähigkeit, H_2O_2 zu zerlegen, schon lange bekannt. Auch wurde bereits von HENNICHS 1926 an gereinigten Präparaten nach einem Zusammenhang zwischen Eisengehalt und katalatischer Wirksamkeit gesucht, allerdings ließ sich ein solcher nicht erkennen, solange das gesamte elementaranalytisch gefundene Eisen in Betracht gezogen wurde. Erst mit der Auffindung von Hämin in hochgereinigten Katalasepräparaten konnte die enzymatische Aktivität auf das komplex gebundene Eisen zurückgeführt werden. ZEILE beobachtete

nach Entfernung des begleitenden Hämoglobins in Katalasepräparaten aus Pferdeleber ein charakteristisches methämoglobinähnliches Absorptionsspektrum:

I. 650...646—620...610; II. 550—530...520...510—490m μ ,
629 540 500

das sich auf Grund der im folgenden angeführten Tatsachen dem Ferment zugehörig erwies. Aus dem Ferment läßt sich leicht bei alkalischer Reaktion Hämin abspalten und als Hämochromogen mit seiner stark selektiven Absorption bei 557 m μ der spektrophotometrischen Bestimmung zugänglich machen. Nach verschiedenen Absorptionsbehandlungen und in verschiedenen Reinheitsstufen ergab sich eine strenge Proportionalität zwischen dem Hämingehalt und der enzymatischen Wirksamkeit. Ferner ließ sich die als spezifisch und reversibel bekannte Blausäurehemmung des Ferments als Bildung einer dissoziierbaren inaktiven Verbindung von 1 Mol Enzym mit 1 Mol Blausäure direkt spektroskopisch sichtbar machen. Die aus reaktionskinetischen Daten ermittelte Dissoziationskonstante der Enzym-HCN-Verbindung ($8,6 \cdot 10^{-7}$) stimmte mit den optischen Beobachtungen überein. Dasselbe Absorptionsspektrum, das am Ferment aus Leber beobachtet worden war, zeigte auch Katalase aus Kürbiskeimlingen, einem besonders katalasereichen pflanzlichen Material. Damit ist die Häminnatur des Ferments in phylogenetisch sehr verschiedenen Zellen erwiesen.

Diese Befunde sind in letzter Zeit mehrfach bestätigt worden (STERN, KEILIN); ebenso hat sich die auf Grund der übereinstimmenden Lage der Hämochromogenbanden sehr wahrscheinlich gewordene Identität des Fermenthämins mit dem Hämin aus Blutfarbstoff durch Kristallisation bestätigt (STERN). Als weitere Katalaseverbindungen wurden solche mit HF, NO, NH_2OH , N_3H , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OOH}$ spektrometrisch charakterisiert (STERN, KEILIN); die Monoäthylperoxydverbindung erwies sich als instabil, ihr Zerfall konnte optisch verfolgt werden.

Längere Zeit galten die von EULER und JOSEPHSON dargestellten Katalasepräparate mit einem Kat.f.-Wert¹⁾ von 43 000 als die reinsten. Inzwischen ist eine weitere Reinigung der Pferdeleberkatalase von AGNER bis zu einem Kat.f. von 63 000 vorgenommen worden. SUMMNER und DOUNCE gelang zuerst die Kristallisation der Ochsenleberkatalase, die jedoch nur ein Kat.f. von 30 000 aufwies. Schließlich wurde von DOUNCE und FRAMP- TON auch die Pferdeleberkatalase mit einem Kat.f. von 50—55 000 kristallisiert erhalten. Diese Fermentpräparate erwiesen sich bei der Ultrazentrifugierung und bei der Kataphorese als einheitlich. Der Hämingehalt der Pferdeleberkatalase wurde zu

¹⁾ Kat.f., ein Maß für die Reinheit des Enzyms ist definiert als $\frac{k}{g \text{ Enzym in } 50 \text{ ccm}}$, worin *k* die Konstante der monomolekularen Reaktion (*t* = min) bedeutet.

1 % gefunden (AGNER), der der Ochsenleberkatalase zu 0,5 %, woraus unter Berücksichtigung der Kat.f.-Werte hervorgeht, daß in beiden Fällen die katalatische Leistung des Eisens dieselbe ist. Sie steht übrigens in vollkommener Übereinstimmung mit der früher von ZEILE ermittelten, auf die Hämin-Eisenmenge bezogenen Wirksamkeit, für die der Ausdruck $\frac{k}{\text{Fe}_p} = 2500^1$ gefunden wurde.

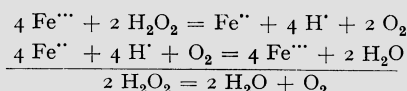
Das Molekulargewicht ist mit der Ultrazentrifuge zuerst von STERN und WYCKOFF an nicht ganz reinen Präparaten zu 250—300000, später von SUMMNER und GRALEN an kristallisierter Ochsenleberkatalase zu 248000 und von AGNER an Pferdeleberkatalase zu 225000 bestimmt worden. Unter Berücksichtigung des Hämingehaltes ergibt sich für Pferdeleberkatalase die Anwesenheit von 4 Molen, bei Ochsenleberkatalase von 2 Molen Hämin im Fermentmolekül.

Neuerdings ist nach einer Mitteilung von LEMBERG aus kristallisierter Ochsenleberkatalase bei der sauren Zerlegung auch Biliverdin in kristallisiertem Zustand abgeschieden worden. Die gefundene Biliverdinmenge steht zur Häminmenge im Verhältnis 1 : 3. Bei der alkalischen Enzymzerlegung wurde Biliverdin nicht beobachtet. Es ist nicht bekannt, ob es für die Enzymfunktion eine Bedeutung hat.

Das Eisen des Katalaseferments liegt in der Ferriform vor. Das geht aus der Übereinstimmung des Absorptionstyps mit dem des Methämoglobins hervor, auch die Hemmung des Ferments durch Blausäure und Schwefelwasserstoff, deren Neigung zur Bildung von Anlagerungsverbindungen mit dreiwertigem Hämineisen typisch ist, spricht im selben Sinn, ebenso die Stabilität gegen K_3FeCN_6 , das Häminferroverbindungen durchweg leicht oxydiert. Besonders auffallend ist andererseits die Unmöglichkeit einer Reduktion zur Ferrostufe durch die verschiedensten Reduktionsmittel. Na-Hydrosulfit, das Ferrihäminverbindungen leicht reduziert, ist ohne Einfluß, ebenso katalytisch erregter Wasserstoff oder das biologische Reduktionsmilieu der Trockenhefe. Diese Behinderung im Valenzwechsel des Eisens stellt das schwierigste Rätsel bei der Erklärung des Mechanismus der enzymatisch-katalatischen Reaktion dar.

Aus Modellversuchen sollte man schließen, daß die katalatische Reaktion sich unter einem Wertigkeitswechsel des Eisens vollzieht. So konnte MANCHOT zeigen, daß unter gewissen Bedingungen H_2O_2 selbst die Reduktion des Fe^{+++} zu Fe^{++} bewirkt, ferner ließ sich nach Befunden von KUHN durch eine Reduktion von Ferrisalz an Kohleoberflächen, besonders an Graphit, eine beträchtliche Steigerung der katalatischen Aktivität erzielen. Am Katalaseenzym selbst lassen sich aus dem Absorptionsspektrum während der Reaktion wegen der außerordentlich hohen Umsatzgeschwindigkeit keine Aufschlüsse über das

Verhalten des Eisens gewinnen. Doch deuten KEILIN und HARTREE die Spektraländerungen, die sich an Katalase, die mit Na-azid und Hydroxylamin vergiftet ist, mit H_2O_2 in geeigneter Dosierung erzielen lassen, als eine Reduktion des Ferrieisens. Dieselben Erscheinungen werden auch beobachtet, wenn Na-hydrosulfit und Stokes Reagens (Alkal. Ferrosulfat und Tartrat) in Gegenwart von Luftsauerstoff einwirken, wobei angenommen wird, daß H_2O_2 bei der Autoxydation der Reduktionsmittel entsteht. Als Kennzeichen des Ferrozustandes der Katalasederivate werden die Spektraländerungen gewertet, die mit CO als typischem Ferrokomblexbildner und mit molekularem Sauerstoff auftreten. Daraus wird die grundsätzliche Möglichkeit der Reduktion des Fermenteisens durch H_2O_2 abgeleitet. Weiter berichten die Autoren über eine Hemmung der enzymatisch-katalatischen Reaktion durch Entfernung des Sauerstoffs aus dem Reaktionsmedium, was experimentell durch Einhaltung kleiner Umsätze und Schütteln angestrebt wurde. Aus diesen Befunden wird auf einen Mechanismus im folgenden Sinn geschlossen:



Es bedarf noch weiterer Experimente zur Sicherung dieser Auffassung, da die spezifische Reduktionswirkung eines Peroxyds auf einen Stoff, der der Einwirkung typischer Reduktionsmittel widersteht, ohne Analogie ist.

Neuerdings wurde von ZEILE auch die Möglichkeit der Reduktion der Katalase in Gegenwart von H_2S beobachtet. Die H_2S -Verbindung der Katalase ändert mit Na-Hydrosulfit ihr Spektrum völlig, aus der reduzierten Verbindung läßt sich der Schwefelwasserstoff ohne weitere Spektraländerung austreiben, durch Autoxydation läßt sich das ursprüngliche Spektrum des Katalaseferments wieder herstellen. Bis jetzt ließ sich der Schwefelwasserstoff nicht durch andere Sulfhydrylverbindungen ersetzen. Dieses Verhalten der Katalase in vitro nach Art eines Redoxsystems rückt die schon früher häufig gestellte Frage wieder näher, ob die Katalase im Organismus vielleicht doch andere Funktionen zu erfüllen hat als die H_2O_2 -Zersetzung. Tatsächlich hat man keine Gewähr dafür, daß das aus der Zelle präparierte Katalaseferment nicht nur ein Bruchstück eines komplizierteren Fermentsystems ist, das möglicherweise die Funktion eines Redoxsystems zu erfüllen hat. Darüber, daß die Katalase bei Oxydationsvorgängen in der Zelle eine Rolle spielt, bestand wohl nie ein Zweifel, allerdings ließen sich die gelegentlich geäußerten Ansichten, die der Katalase als solcher die Funktion eines Atmungsferments mit Oxydaseeigenschaften zuschreiben wollten, nicht halten. Nimmt man die H_2O_2 -Zersetzung als alleinige zellkatalytische Reaktion des Enzyms an, so ist es auch heute noch am nächstliegenden, die Aufgabe des Ferments in einem Schutz gegen das Zellgift H_2O_2 zu suchen. Nach den vorliegenden Erfahrungen ist mit dem Auftreten von H_2O_2 bei der Tätigkeit aerober Dehydrogenasen zu rechnen, im tierischen Organismus

¹⁾ k ist die Reaktionskonstante der monomolekularen Reaktion in der unverdünnt gedachten Lösung; Fe_p bedeutet Milligramm Porphyrineisen im Liter.

wäre H_2O_2 als erstes Reaktionsprodukt der nicht häminkatalysierten, quantitativ allerdings zurücktretenden Atmung zu erwarten. Die Schutzwirkung der Katalase gegenüber dem oxydativen Abbau des Blutfarbstoffs betont besonders BINGOLD. Andererseits hat schon früher THUNBERG auf die Möglichkeit einer Sauerstoffersparnis bzw. einer Regulierung des Sauerstoffhaushaltes in der Zelle durch die Freisetzung von Sauerstoff aus H_2O_2 in der katalatischen Reaktion hingewiesen. Alle diese Vorstellungen von der zellphysiologischen Bedeutung des Ferments sind experimentell schwer zu beweisen, auch die Beteiligung der Katalase an der Assimilation der Kohlensäure in der O_2 liefernden BLACKMANNschen Reaktion ist noch nicht als gesichert zu betrachten (GAFFRON).

3. Peroxydase.

Die in vitro beobachtete enzymatische Reaktion der Peroxydase besteht in einer Übertragung des aus der H_2O_2 -Molekel stammenden Peroxydsauerstoffs auf verschiedene Chromogene, insbesondere Polyphenole, deren bekanntestes das Pyrogallol ist. Die Peroxydase ist eines der ersten Fermente, bei denen eine wirksame Reinigung erzielt wurde. WILLSTÄTTER reicherte die Enzymaktivität der Meerrettichperoxydase auf das 12000fache an; die reinsten Präparate zeigten keine Reaktionen einer bekannten Körperklasse. Dieser negative Befund steht bislang in einem bemerkenswerten Gegensatz zu den Erfahrungen, die an anderen hochgereinigten und auch kristallisierten Enzymen gemacht wurden, deren Wirksamkeit sich nicht vom Eiweiß trennen ließ. Seitdem sind unsere Kenntnisse über die Enzymsubstanz der Peroxydase nicht weiter gefördert worden. Indessen darf heute die Kennzeichnung der prosthetischen Gruppe als Häminderivat als gesichert gelten. Wie bei der Katalase, war auch der schon von WILLSTÄTTER aufgefundene Eisengehalt nicht in eine Beziehung zur Enzymaktivität zu bringen, solange keine Unterscheidung zwischen Gesamteisen und enzymatisch wirksamem Eisen gemacht werden konnte. Die Verhältnisse lagen hier besonders verwickelt, weil auch das in Peroxydasepräparaten gefundene Hämineisen nicht schlechthin als Enzymeisen gelten konnte. 1931 haben KUHN, HAND und FLORKIN nach der bei der Katalase entwickelten Methodik auch an Peroxydasepräparaten eine Parallelität zwischen Hämineisengehalt und katalytischer Wirkung festgestellt. ELLIOT und KEILIN konnten diese Befunde nicht bestätigen; sie fanden den Hämineisengehalt bei derselben Aktivität wesentlich (bis 40 mal) höher. Bei allen diesen Versuchen war das Gesamthämineisen nach Überführung in den Hämochromogenzustand unter Zerstörung des Ferments spektrophotometrisch erfaßt worden. Als 1937 KEILIN und MANN das Problem von neuem aufgriffen, konnten sie bei ausschließlicher Berücksichtigung des Spektrums des intakten Ferments, insbesondere seiner charakteristischen Rot-

bande, bei 645 $m\mu$ eine Proportionalität zwischen der Extinktion und Fermentwirkung feststellen. Diese Proportionalität wird von der Anwesenheit mäßiger Mengen anderer Zelhämине, deren völlige Entfernung nicht erreicht werden konnte, nicht berührt.

Das Fermentspektrum ist deutlich von dem der Katalase verschieden. Die Absorptionen liegen bei: I. 645, (II. 583), III. 548, IV. 498 $m\mu$. Eine Reihe von Umsetzungen des Ferments mit chemischen Reagenzien ließen sich spektrometrisch kennzeichnen, was ebenfalls für die Häminnatur der prosthetischen Gruppe spricht. U. a. ließ sich die spezifische Blockierung des Ferments durch H_2S und HCN , die nach WIELAND in einer Hemmung auf ein Sechstel bzw. die Hälfte durch $\frac{m}{200000}$ der Reagenzien besteht, spektroskopisch verfolgen, ebenso die Bildung zweier verschiedener H_2O_2 -Verbindungen, deren eine mit 1 Mol H_2O_2 , die andere mit einem Überschuß von H_2O_2 entsteht. Eine Blockierung der Peroxydase-Reaktion durch überschüssiges H_2O_2 hat sich andererseits schon früher aus reaktionskinetischen Daten ergeben. In der Fluoridverbindung erweist sich die Rotbande nach 615 $m\mu$ verschoben und verstärkt, was für die Sichtbarmachung des Ferments in geringen Konzentrationen von praktischem Interesse ist. Im Gegensatz zur Katalase erwies sich das Eisen der Peroxydase mit N-Hydrosulfit reduzierbar, im reduzierten Zustand reagiert es mit CO .

Alle diese Untersuchungen wurden mit Meerrettichperoxydase ausgeführt, für die die Reinigungsverfahren am besten erprobt sind. In tierischen Zellen ist der einwandfreie Nachweis des Peroxydaseferments wegen der peroxydatischen Wirkung aller vorkommenden Häminderivate (Hämoglobin, Hämatin, Cytochrom) sehr erschwert. Sicher ist das Ferment nur in der Milch nachgewiesen, aber auch hier fehlen noch befriedigende Reinigungserfolge.

Abgesehen vom optischen Nachweis zweier verschiedener H_2O_2 -Fermentkomplexverbindungen lassen sich über den Mechanismus der Peroxydase-Reaktion, soweit er das Fermenteisen und insbesondere einen Valenzwechsel des letzteren betrifft, bislang keine experimentell ausreichend begründeten Vorstellungen entwickeln. Auch die Stellung und Funktion der Peroxydase im Eisenfermentensystem ist nur annähernd gekennzeichnet. Man sieht ihre Aufgabe, wie bei der Katalase, in einem Schutz gegen H_2O_2 und in einer Weiterverwertung des Peroxydasierstoffs zur Oxydation, nach SZENTGYÖRGYI insbesondere bei der pflanzlichen Oxydation der Polyphenole und der Ascorbinsäure.

4. Cytochrom.

Das Cytochrom in der Zelle.

Unter den Häminfermenten ist das Cytochrom wegen seiner selektiven Absorptionen am leichtesten zu erkennen; schon in der intakten Zelle

ist sein vierbandiges Absorptionsspektrum mit dem Taschenspektroskop wahrzunehmen. Spektroskopisch wurde es auch 1925 von KEILIN wieder untersucht, nachdem frühere Beobachtungen von MACMUNN (1886) wieder in Vergessenheit geraten waren.

Das Mehrbandenspektrum kommt durch Überlagerung der Absorptionsspektren dreier Häminkomponenten zustande, die man als Komponenten *a*, *b* und *c* bezeichnet. Die Komponenten *b* und *c* sind Hämochromogensysteme, d. h. Redoxsysteme, deren Ferrostufe im Sichtbaren durch ein charakteristisches zweibandiges Absorptionsspektrum ausgezeichnet ist. Die Ferri- (oder Parahämatin-) Stufe besitzt ein viel weniger selektives Spektrum.

In dem untenstehenden Schema des Cytochromspektrums (Fig. 1) bedeuten in der Bezeichnungsweise KEILINS b_α und c_α die Hauptabsorptionen der entsprechenden Komponenten *b* und *c* im Hämochromogenzustand, b_β und c_β die entsprechenden Nebenabsorptionen. Die Bande a_α gehört zur Komponente *a*. KEILIN schreibt ihr

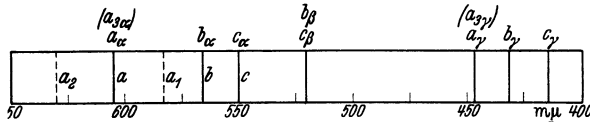


Fig. 1. Schema des Cytochromspektrums.

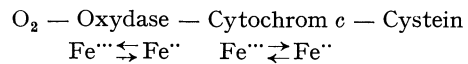
ebenfalls Hämochromogencharakter zu; wahrscheinlich handelt es sich aber um einen anderen, offenbar noch unbekanntem Typ von Häminverbindung, denn Hämochromogene mit ähnlich weit im Rot liegenden Absorptionsbanden sind bis jetzt nicht bekannt, auch ist bis jetzt eine zweite Bande (a_β) nicht gefunden worden. Alle 3 Komponenten besitzen, wie WARBURG zuerst beobachtet hat, im nahen Violett noch eine für Hämin-derivate charakteristische, besonders hohe Absorptionsbande, die sog. Soretbande, die auch insbesondere zur Charakterisierung des eisenhaltigen Atmungsferments von WARBURG herangezogen wurde. Das Cytochrom ist in praktisch allen atmenden Zellen vorhanden; besonders gut ist es in Flügelmuskeln von Insekten oder in stark atmender Bäckerhefe zu beobachten. In manchen Mikroorganismen sind Abweichungen von dem oben wiedergegebenen Normaltypus beobachtet worden, die sich hauptsächlich auf die Lage der *a*-Bande beziehen. Meist handelt es sich um eine Verschiebung der *a*-Bande in die Gegend von 580 mμ oder von 630 mμ. Bei Varianten der erstgenannten Art wird von KEILIN die Bande als a_1 , im anderen Fall als a_2 bezeichnet¹⁾.

Schließlich machten KEILIN und HARTREE die Existenz einer weiteren Komponente wahrschein-

¹⁾ WARBURG lehnt eine Einbeziehung dieser Absorptionsbanden in die Nomenklatur des Cytochromsystems ab, da sie sich in ihrem Verhalten gegen O₂, HCN und CO von den übrigen Cytochromkomponenten unterscheiden.

lich, die als a_3 bezeichnet wird und deren α -Absorption bei 605 mμ mit der Komponente *a* zusammenfallen soll. Die γ -Absorptionen *a* und a_3 fallen ebenfalls zusammen, verhalten sich jedoch insofern verschieden, als *a* nicht autoxydabel ist und nicht mit CO und HCN reagiert, während a_3 autoxydabel ist und mit beiden Reagenzien sich umsetzt. Die Absorptionsbanden der CO-Verbindung von a_3 stimmen mit den von WARBURG am eisenhaltigen Ferment ermittelten überein, daraus schließt KEILIN auf eine mögliche Identität von a_3 mit dem WARBURGSCHEN Ferment bzw. der Cytochromoxydase. Es bleiben aber noch Zweifel offen, da sich u. a. in vitro die zu erwartende Reaktion der Oxydase mit Cytochrom *c* sowie die Lichtempfindlichkeit der CO-Verbindung nicht demonstrieren ließen.

Welche Funktionen hat das Cytochromsystem in der Zelle? Am weitesten sind die Verhältnisse bei der Komponente *c* geklärt, und zwar deswegen, weil sich diese Komponente im Gegensatz zu den anderen unversehrt aus der Zelle abtrennen und für in-vitro-Versuche verwenden läßt. Schon 1930 stellte KEILIN in einem nach dem untenstehenden Schema rekonstruierten Atmungssystem die Vermittlerrolle des Cytochroms zwischen dem als Substrat verwendeten Cystein und der Oxydase fest, wobei das Eisen des Cytochroms *c* durch Cystein zur Ferrostufe reduziert, durch das dreiwertige Eisen der Oxydase wieder zur Ferristufe oxydiert wird:



Auffallend daran ist, daß eine direkte Oxydation des Cysteins durch die Oxydase trotz des offenbar höheren Oxydationspotentials nicht eintritt, und weiter, daß das Cytochrom *c* im Gegensatz zu allen bisher künstlich zugänglichen Hämochromogensystemen nicht autoxydabel ist, sondern nur unter Vermittlung der Oxydase mit Luftsauerstoff reagieren kann. Daß die Oxydase streng spezifisch auf das Cytochrom *c* eingestellt ist, ergab sich dann — wie oben erwähnt — später, als gefunden wurde, daß Cytochrom *c* auch die Oxydation von p-Phenylendiamin, Hydrochinon u. dgl. vermittelt (KEILIN, STOLTZ u. Mitarb.).

An Stelle des zuerst verwendeten Cysteins sind in der Folgezeit eine Reihe von anderen zellvertrauten Substraten, z. B. Triose und Triosephosphat, Milchsäure, Äpfelsäure, Bernsteinsäure, auf ihre Reaktionsfähigkeit mit Cytochrom *c* oder dem Gesamtytochrom untersucht worden. Dabei ergab sich, daß in der Regel das Substrat nur über eine Reihe von Zwischenfermenten mit dem Cytochrom in Reaktion treten kann. Nötig ist dazu die spezifisch auf das Substrat eingestellte Dehydrase, die gegebenenfalls durch die entsprechende Codehydrase komplettiert sein muß. Die Codehydrase ist aber nur in der Lage, unter Vermittlung eines weiteren Ferments, der Diaphorase

(EULER; von GREEN als Coenzymfaktor bezeichnet), mit dem Cytochrom zu reagieren. Die Diaphorase ist als Flavoprotein mit Alloxazin-Adenin-dinucleotid als prosthetischer Gruppe (STRAUB) erkannt worden, sie ist auf Cozymase = Codehydrase I eingestellt; für die Codehydrase II, die Dehydrierungen an Hexosemonophosphat katalysiert, hat man ebenfalls spezifische Stoffe mit Diaphorasewirkung gefunden (HAAS, EULER). Soweit man sieht, bedürfen alle durch Cozymase komplettierten Systeme der Diaphorase, indessen auch die Bernsteinsäuredehydrase (EULER), die ohne Coferment wirkt. Die Diaphorase ist also in diesen Fällen das unmittelbare Substrat des Cytochroms. Ein vollständiges Reaktionsschema wäre demnach folgendermaßen zu formulieren:



Da einerseits die C_3 -Körper, die aus dem Kohlehydratabbau stammen (Glycerinaldehyd, Dioxyceton und phosphorylierte Folgeprodukte), die wesentlichsten Energielieferanten der Zelloxydation sind, andererseits nach SZENT-GYÖRGYI im tierischen Organismus ihre Verbrennung unter Vermittlung des sog. C_4 -Säuresystems (Bernsteinsäure — Fumarsäure — Äpfelsäure — Oxalessigsäure) erfolgt, dürfte als ein Hauptweg der Oxydase-Cytochromatmung die durch Diaphorase vermittelte Bernsteinsäuredehydrierung zu betrachten sein. Man hat in diesem Falle Anhaltspunkte dafür, daß die Reaktionsgeschwindigkeit des ganzen Cytochromsystems größer ist als die der Komponente c allein (EULER). Nach GREENS Beobachtungen scheint auch der Wirkungsbereich des Gesamtcytochromsystems größer zu sein als der der Komponente c allein.

Über das Zusammenwirken der 3 Cytochromkomponenten ist man allerdings noch nicht sicher orientiert. Im Fall der Bäckerhefe konnte von HAAS experimentell gezeigt werden, daß die Gesamtatmung über das Cytochrom c abläuft. Das ergab sich aus der Übereinstimmung des aus der Geschwindigkeit der Cytochromreduktion errechneten Sauerstoffumsatzes mit dem manometrisch gemessenen. Daraus folgt, daß keine der beiden anderen Cytochromkomponenten der Komponente c parallel geschaltet sein kann. Die Redoxpotentiale der Komponenten

$$E'_{0a} = + 0,29 \text{ V}$$

$$E'_{0c} = + 0,26 \text{ V}$$

$$E'_{0b} = + 0,04 \text{ V}$$

lassen eine Hintereinanderschaltung der Komponenten mit fallendem Redoxpotential nahe liegend erscheinen, doch ist in Anbetracht der nahe beieinanderliegenden Potentialwerte für die Komponenten a und c eine Anordnung: $c \rightarrow a \rightarrow b$ nicht ausgeschlossen. Eine Entscheidung ist mit dem vorliegenden Versuchsmaterial nicht zu treffen, doch scheint tatsächlich die Komponente b

mit ihrem niedrigsten Potential den Dehydrasen am nächsten zu stehen.

Für die Beurteilung der quantitativen Zusammenhänge zwischen den absoluten aeroben Leistungen verschiedener Zellarten und dem Oxydase-Cytochromsystem ist eine Kenntnis der Konzentrationen seiner Komponenten im Gewebe nötig. Bislang waren außer qualitativen Beobachtungen nur vereinzelte quantitative Angaben darüber vorhanden. ZEILE fand Cytochrom c in Hefe in einer Konzentration zwischen $1-3 \cdot 10^{-7}$ g Fe pro Gramm Frischhefe¹⁾. FINK gab das Verhältnis der Cytochrom- c -Konzentration in Bäckerhefe und in Brauereihefe zu 2 an, EULER in Ober- und Unterhefe zu 3,45, das der a -Komponente zu 6. Aus den bei der präparativen Gewinnung des Cytochroms c nach KEILIN erreichten Ausbeuten ergibt sich ein Mindestwert von $9 \cdot 10^{-7}$ g Fe pro Gramm Substanz (= 26 mg% Cytochrom c ; vgl. Tabelle 1 und 2) im Pferdeherzmuskel.

Tabelle 1. Cytochrom- c -Konzentration in verschiedenen Geweben nach FUJITA u. Mitarb.

		mg%
Leber	Rind	0,96
Niere (Rinde)	„	1,44
Milz	„	fast 0
Plazenta	Mensch	fast 0
Roter Brustmuskel	Taube	69,90
DunkelroterMuskel	„Katsuo“	83,00
	(japan. Fischart)	
	{ Rind	21,5
Herzmuskel	{ Pferd	31,8
	{ Taube	54,6
Uterusmyom	Mensch	fast 0
Rous-Sarkom	Huhn	0,72
Bushford-Krebs	Maus	2,24
Brown-Pearce-Tumor	Kaninchen	2,69

Tabelle 2. Cytochrom- c -Konzentration in Geweben der Ratte nach STOTZ.

	mg%
Leber	6,8
Niere	33
Milz	4,8
Herz	53
Tumor R-256	0,3
R-39	0,5
Spontantumor	0,2

Vor kurzem hat nun FUJITA eine allgemein verwendbare Methode zur Cytochrom- c -Bestimmung angegeben, die auf geeigneter Extraktion und Abscheidung des Farbstoffs und der spektrophotometrischen Bestimmung seiner Hauptabsorptionsbande bei $550 \text{ m}\mu$ beruht. Ein Teil seiner Ergebnisse ist in Tabelle 1 zusammengestellt. STOTZ entwickelte andererseits eine manometrische Methode der Cytochrom- c -Bestim-

¹⁾ Für Trockenhefe ergibt sich etwa viermal soviel, das ist $4-12 \cdot 10^{-7}$ g Fe/g Subst. Demgegenüber konnte WARBURG die Konzentration des Atmungsfermentes in Kokken zwischen $4 \cdot 10^{-7}$ und $3 \cdot 10^{-8}$ eingrenzen.

mung: Zu einer Mischung von Cytochromoxydase, die weitgehend von Cytochrom *c* befreit ist, und Hydrochinon als Substrat wird das zu bestimmende Cytochrom *c* als Reaktionsvermittler gegeben; aus der Größe des nunmehr einsetzenden Sauerstoffverbrauchs erhält man ein Maß für die Cytochrom-*c*-menge.

Es wird von Interesse sein, die Zuverlässigkeit der beiden Methoden unter vergleichbaren Bedingungen zu prüfen. Zum Teil ergeben sich für die nach den beiden Methoden untersuchten Organarten größenordnungsmäßige Unterschiede, bei denen vorläufig nicht zu entscheiden ist, ob sie auf die Verschiedenheit der verwendeten Tierart oder auf methodische Ursachen zurückzuführen sind. Gleichzeitig verwendet STORZ das Prinzip seiner Methode, um über die Konzentration der Cytochromoxydase, wenigstens in relativen Einheiten, Aufschluß zu bekommen. Umgekehrt wie oben, wird in Mischungen aus Hydrochinon und überschüssigem Cytochrom *c* der O₂-Verbrauch nach Zusatz des zu untersuchenden Oxydasepräparates gemessen. Es ergab sich dabei in normalen Geweben eine fast durchgängige Parallelität in den Oxydase- und Cytochromwerten, die eine mengenmäßige Abstimmung und damit wohl deutlich auch eine funktionelle Verknüpfung der Komponenten erkennen läßt.

In diesem Zusammenhang interessieren Vergleiche mit dem Cytochromvorkommen in entartetem Gewebe. Geht man von den WARBURG'schen Ergebnissen aus, daß in Tumoren der oxydative Stoffwechsel vermindert ist und die aerobe Glykolyse in den Vordergrund tritt, so ist es naheliegend, die Zurückdrängung der Atmung in einer Schädigung bzw. Degeneration des Oxydase-Cytochromsystems zu suchen. Tatsächlich ergeben sich in einigen Fällen Anhaltspunkte für eine solche Auffassung. EULER stellte einen sehr geringen Cytochrom-*c*-Gehalt des Jensen-sarkoms fest, auch die Diaphorase als unmittelbares Substrat des Cytochroms *c* ist vermindert; man wird also darin die Ursachen einer verminderten Atmungsleistung suchen müssen. Auffallend ist auch, trotz verhältnismäßig hohen Oxydasegehalts, der geringe Cytochrom-*c*-Gehalt in den von STORZ untersuchten Rattentumoren; es ist denkbar, daß durch dieses Mißverhältnis die optimale Ausnutzung der Oxydase verhindert wird. Andererseits sind jedoch Tumoren mit verhältnismäßig hohem Cytochromgehalt beschrieben (vgl. Tabelle 1). Bei dieser Gelegenheit ist auch an die älteren Untersuchungen zahlreicher Tumoren durch BIERICH zu erinnern, in denen sich für eine schätzungsweise Verminderung des Cytochromgehalts gegenüber dem Normalgewebe keine Anhaltspunkte ergeben haben. Auch aus den auf spektrographischen Aufnahmen am Gewebe beruhenden Schätzungen von NODA läßt sich außer der gelegentlichen Feststellung vom Fehlen des Cytochroms *a* bei Tumoren kein entscheidender Einfluß des Cytochromgehalts entnehmen. Daß

in Substanz zugesetztes Cytochrom *c* bei Embryonal- und Tumorgewebe ohne Einfluß auf den Stoffwechsel ist (SILVA-LAFRENZ), ist allerdings nicht überraschend, da eine Wirkung nur innerhalb der Zelle zu erwarten ist und eine Durchlässigkeit der Zellwand für Cytochrom *c* unwahrscheinlich ist.

Man kann also nach dem bis jetzt vorliegenden experimentellen Material den Stoffwechsel entarteten Gewebes nicht einfach auf eine Unterfunktion des Oxydase-Cytochromsystems zurückführen, doch sind weitere systematische und quantitative Untersuchungen in dieser Richtung von großem Interesse. Mit den Fortschritten in der Methodik der quantitativen Bestimmung sind günstige Voraussetzungen hierfür geschaffen.

Über die chemische Konstitution der Cytochromkomponenten.

Cytochrom a. Da bis jetzt keine zuverlässige Möglichkeit besteht, die *a*-Komponenten unverändert aus der Zelle abzutrennen, ist man über die chemische Konstitution nur mangelhaft orientiert. Auf die Zweifel an der Hämochromogenatur der Komponente *a* wurde schon oben hingewiesen, dagegen ist der Hämochromogencharakter der Komponente *a*₁ (Abs. Max. 587 mμ) durchaus wahrscheinlich. NEGELEIN beschrieb die Abtrennung eines kristallisierten (jedoch nicht protohämochromogenfreien) „Hämochromogens“ aus Pferdeherz mit einer Absorption bei 587 mμ; zum üblichen Typus eines Hämochromogens fehlt aber die Nebenbande. ROCHE konnte bei Präparaten, die nach etwas abgeänderter Methodik erhalten waren, eine solche Nebenbande bei 530 mμ beobachten, doch ist hier die Einheitlichkeit der Substanz nicht überzeugend dargetan. Inwieweit Beziehungen zwischen den Komponenten *a* und *a*₁ bestehen — ROCHE hält *a*₁ für ein Umwandlungsprodukt von *a* —, ist völlig ungeklärt. Zur Konstitutionsfrage der Komponente *a*₂ ist zu bemerken, daß auf Grund übereinstimmender Absorptionsdaten LEMBERG eine Identität mit Biliverdinhämochromogen (einem Gallenfarbstoffderivat) diskutiert hat.

Cytochrom b. Die Hauptabsorptionsbande des Cytochroms *b* variiert in verschiedenen Zellarten zwischen 566 und 557 mμ, was zunächst einmal die Identität der verschieden absorbierenden Substanzen in Frage stellt. Die Hauptabsorptionsbande 557 mμ kommt übrigens dem Protohämochromogen zu, so daß es sich, immer dann, wenn diese Absorption beobachtet wird, um Protohämochromogen handeln dürfte. Das trifft insbesondere für das „Cytochrom *b*“ zu, das ROCHE in besonders hoher Konzentration in Seeanemonen beobachtet hat. Gelegentlich beschriebene isolierte Cytochrom-*b*-Präparate bieten keine Gewähr für Einheitlichkeit. Wahrscheinlich ist die prosthetische Gruppe des Cytochroms *b* überhaupt nur Protohäm; die in der Zelle beobachteten Abweichungen vom Maximum des Protohämochromo-

gens können auf verschiedenen Verteilungszustand oder die Verschiedenheit der hämochromogenbildenden Base zurückzuführen sein. Für die letztere Möglichkeit sprechen Beobachtungen von YAKUSHIJI, nach denen das Hämochromogen aus Protohäm und gelbem Ferment eine mit Cytochrom *b* übereinstimmende Absorption bei $564 \text{ m}\mu$ zeigt.

Cytochrom *c*. Bei der Komponente *c* liegen die Voraussetzungen für eine Konstitutionsermittlung viel günstiger als bei den anderen Komponenten, weil sie wesentlich stabiler ist und in praktisch reiner Form aus der Zelle abgetrennt werden kann. Die ersten Versuche wurden mit Hefe als Ausgangsmaterial vorgenommen; die erhaltenen Produkte waren noch ziemlich unrein, doch konnte ZEILE an Hefepreparaten, die durch Adsorption vorgereinigt waren, durch Wägung die bei der Adsorption auf das Cytochrom *c* entfallende Substanzmenge ermitteln, die einem Chromoprotein mit einem Eiweißträger vom Molgewicht etwa 16000 pro Mol Hämatin entsprach. Damit war gleichzeitig die erreichbare Reinheitsgrenze angegeben, die in präparativen Absorptionsversuchen zunächst bis auf 92% erreicht wurde.

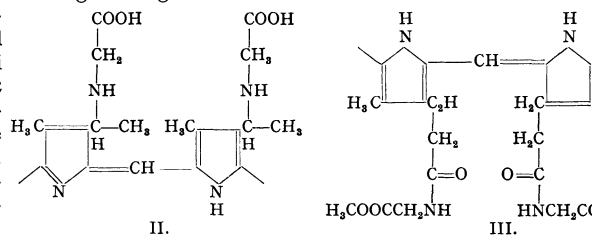
Später beschrieben THEORELL und KEILIN die Gewinnung von Cytochrom *c* aus Rinder- bzw. Pferdeherzmuskel nach einfachen Methoden in größerem Maßstab. Mit einem Eisengehalt von 0,34% entsprach der Reinheitsgrad der von ZEILE für Hefecytochrom ermittelten Reinheitsgrenze. Da Elektrophorese und Adsorptionsverfahren keine weitere Reinigung ergaben, wurden solche Präparate als „reines Cytochrom *c*“ betrachtet. Neuerdings gibt THEORELL an, daß unter besonderen Bedingungen durch Elektrophorese noch ein farbloser Anteil abtrennbar sei, so daß ein Chromoprotein mit dem Molgewicht von etwa 13000 resultiere.

Reines Cytochrom ist ein wasserlösliches braunrotes Pulver, das in salzreicher Lösung anscheinend ohne Veränderung auf 100° erhitzt werden kann. Es besitzt in reduziertem Zustand ein typisches Hämochromogenspektrum mit zwei Banden im Sichtbaren bei 550 und $520 \text{ m}\mu$; die Violettblende liegt bei $415 \text{ m}\mu$. Das Spektrum des oxydierten Cytochroms *c* ist weniger selektiv und mit dem p_H variabel, THEORELL unterscheidet vier Spektraltypen in verschiedenen p_H -Bereichen. Innerhalb des physiologischen p_H -Bereichs (p_H 4–13) ist reduziertes Cytochrom *c* praktisch nicht autoxydabel, es reagiert nicht mit CO, dagegen unterhalb p_H 4 und oberhalb p_H 11,5. Das Redoxpotential liegt nach Messungen verschiedener Autoren bei $+0,26 \text{ V}$. Der isoelektrische Punkt wurde von ZEILE bei p_H 8,2 (Hefe) und von THEORELL bei 9,8 (Herzmuskel) gefunden. Dieser weit im Alkalischen liegende Wert ist auffallend, ebenso die zwischen p_H 7 und 9,3 liegende Zone, in der sich nach THEORELL die Ionenbeweglichkeit des Cytochroms *c* nicht ändert; das bedeutet, daß in diesem Gebiet keine basischen und sauren Dissoziationsstufen liegen. Die Diffusionskonstante wurde zu 11 bzw. $10 \cdot 10^{-11}$ bestimmt (THEORELL, POLSON). Die Ultrazentrifugierung hat ein Molekulargewicht von 15600 ergeben (ANDERSON und PEDERSEN); das Molekül enthält also 1 Atom Eisen.

Schon aus den ersten Beobachtungen von KEILIN war zu entnehmen, daß im Cytochrom *c* der Hämkern verhältnismäßig fest am Eiweißträger verankert sein muß. In erster Linie war an eine Verknüpfung über Seitenketten durch Hauptvalenzen zu denken, während im Gegensatz hierzu, z. B. beim Hämoglobin, nur eine lockere Bindung des Häms an das Globin durch Vermittlung des Eisenatoms vorliegt, die schon durch sehr milde chemische Eingriffe gelöst und durch einfaches Zusammenmischen von Häm und nativem Globin hergestellt werden kann. Andererseits läßt sich aus dem Hämochromogencharakter des Cytochroms *c* nach den Kenntnissen vom Bau der Hämochromogene ableiten, daß, abgesehen von der Seitenkettenbindung an das Eiweiß, das Hämin durch sein Fe-Atom mit 2 N-haltigen Basenresten in koordinativer Bindung stehen muß. Das Konstitutionsproblem des Cytochroms *c* gliedert sich demnach wie folgt:

1. Anordnung und Art der Seitenketten der prosthetischen Gruppe, insbesondere derjenigen, die die Verknüpfung mit dem Eiweiß vermitteln.
2. Natur der mit dem Eisen koordinativ verknüpften hämochromogenbildenden Base; ist sie für sich abgegrenzt und nur durch Koordinationsbindung mit dem Fe-Atom verknüpft, oder ist der Eiweißträger selbst gleichzeitig die hämochromogenbildende Substanz?
3. Bau des Eiweißträgers.

Beim Abbau des Hefecytochroms mit HBr-Eisessig, der nach KEILINs Beobachtungen die Abspaltung von Hämatoporphyrin wahrscheinlich machte, isolierte ZEILE Hämatoporphyrin, das nach HJ-Reduktion in Mesoporphyrin übergeführt und mit Mesoporphyrin IX-Ester aus Bluthämin identifiziert werden konnte. Damit war die Konstitution der prosthetischen Gruppe in bezug auf die Anordnung der Seitenketten auf die des natürlichen Blutfarbstoffs zurückgeführt. Beim schonenden Abbau des Cytochroms *c* mit wässrigen Mineralsäuren entsteht ein ausgesprochen hydrophiles Porphyrin, von dem anzunehmen war, daß ihm noch Bruchstücke des Eiweißträgers anhaften. Als Modelle solcher Porphyrine wurden von ZEILE Porphyrine synthetisiert, die in den Seitenketten Aminosäuren oder Peptide in folgenden Anordnungen tragen:

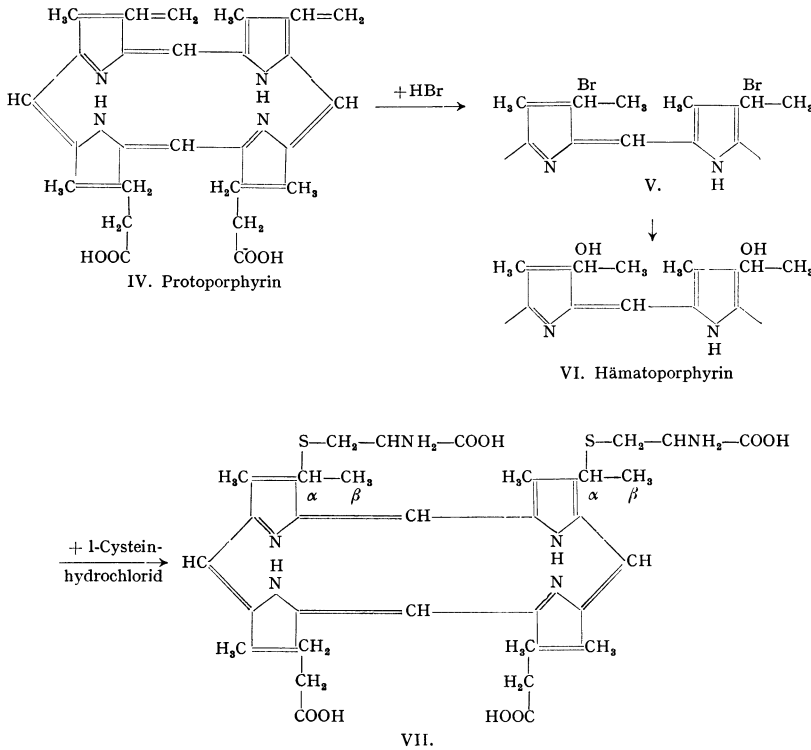


Solche Porphyrine zeigen namentlich in bezug auf die hydrophilen Eigenschaften, die des Typs III, auch hinsichtlich der Lage der Absorptionsbanden weitgehende Übereinstimmung mit dem Abbau-porphyrin des Cytochroms *c*.

Zur endgültigen Aufklärung der Seitenketten kam es beim Abbau des Naturprodukts zunächst darauf an, den Eiweißträger möglichst vollständig, jedoch unter Schonung des der prosthetischen Gruppe unmittelbar angegliederten Bruchstücks zu entfernen. Solche Versuche THEORELLS hatten zu schwefelhaltigen Porphyrinprodukten geführt, aus denen er l-Cystein isolierte. Auf Grund dessen

einem nach nebenstehendem Formelschema (IV bis VII) synthetisch erzeugten Porphyrin an Hand der Verteilungscharakteristik in Äther-Phosphatpuffersystemen erwies sich das Porphyrin als ein Dicystein-Protoporphyrinaddukt. Offen bleibt zunächst noch, ob die Angliederung der Cysteinreste in α - oder β -Stellung der Seitenketten erfolgt. Die Verknüpfung im Sinne der Formel VII, die zwei asymmetrische C-Atome bedingt, sowie die asymmetrischen C-Atome im Cystein lassen optische Isomere voraussehen; das natürliche Porphyrin zeigt eine spez. Drehung $[\alpha]_{\text{weißes Licht}}^{17} = -172^\circ$, für das synthetische ist $[\alpha] + 27^\circ$.

Die Untersuchungen über die hämochromogenbildende Base haben ergeben, daß ihre Rolle der Eiweißträger selbst übernimmt. Schon an den Eisenkomplexsalzen des analytischen wie auch des synthetischen Cysteinporphyrins, die als einfache Modelle gelten können, ließ sich die Möglichkeit einer Hämochromogenbildung durch die an das Häm angebaute Seitenkette zeigen: Die NH_2 -Gruppen der Cysteinseitenketten können dem Fe-Atom die noch zur Auffüllung der Koordinationszahl 6 benötigten N-Atome zur Verfügung stellen. Dagegen ist das nicht bei den Seitenketten der oben angeführten Aminosäureporphyrine (II und III) der Fall. Mit dem festen Einbau der hämochromogenbildenden Gruppen im Cytochrom *c* hängt zweifellos die im Vergleich mit anderen Hämochromogenen auffallende Beständigkeit des Cytochrom-*c*-Hämochromogens gegen Dissoziationseinflüsse zusammen. Sie gibt auch eine anschauliche Vorstellung von der Beständigkeit des reduzierten Cytochroms *c* gegen molekularen Sauerstoff, die es von allen anderen bisher künstlich erzeugten Hämochromogensystemen unterscheidet und die für die Steuerung der Cytochrom-*c*-Oxydation durch die Oxydase eine entscheidende zellphysiologische Bedeutung hat. Die Analyse des Eiweißträgers selbst, über die einige Angaben von KEILIN vorliegen, läßt keine Besonderheiten seiner Zusammensetzung erkennen. Seine Konstitutionsaufklärung findet ihre Grenze naturgemäß dort, wo sie heute für die Eiweißchemie noch allgemein liegen.



gab er dem „Porphyrin c“ eine Formel, in der 2 Cysteinreste über das Schwefelatom mit den Seitenketten 2 und 4 des Protoporphyrins verbunden sind. Es stellte sich indes heraus, daß die von THEORELL untersuchten Abbauprodukte nicht das unveränderte Cytochromporphyrin waren, sondern das Ergebnis einer Resynthese aus Proto- bzw. Hämatorporphyrin und aus dem Eiweiß stammendem Cystein, so daß die Konstitution des Cytochromporphyrins zunächst offen blieb.

Der Nachweis, daß tatsächlich auch im Porphyrin des Cytochroms *c* 2 Cysteinreste über die Schwefelatome an die Seitenketten gebunden sind, wurde von ZEILE und MEYER erbracht. Unter Bedingungen, die eine Resynthese ausschlossen, und nach Veresterung des Abbauporphyrins, die durch Abschwächung des hydrophilen Charakters die vielfach bewährte fraktionierte Verteilung des Porphyrins zwischen Äther und wäßrigem Medium ermöglichte, ließen sich analysenreine Präparate des Cytochrom-*c*-Porphyrins gewinnen. Auf Grund der Analysenresultate und durch Vergleich mit

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Identität von Lorenzenit und Ramsayit.

Lorenzenit $\text{Na}_2(\text{Ti}, \text{Zr})_2\text{Si}_2\text{O}_9$ von Narsarsuk in Grönland wurde zuerst von G. FLINK¹⁾, *Ramsayit* $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ von Kola wurde etwa 22 Jahre später zuerst von E. KOSTYLEVA²⁾ beschrieben. Wegen des großen Unterschieds in der Ausbildung der beiden rhombisch kristallisierenden Mineralien — Ramsayit bildet gedrungene, mehrere Zentimeter große prismatische Kristalle, während Lorenzenit nur in etwa 1 mm langen, sehr dünnen Nadelchen vorkommt — schienen zunächst zwei verschiedene Mineralarten vorzuliegen. Nach neueren Untersuchungen von T. BARTH und H. BERMAN³⁾ stimmen beide Mineralien optisch und kristallographisch weitgehend überein. In Klockmanns „Lehrbuch der Mineralogie“ wird Ramsayit als „dem Lorenzenit ähnlich, aber zirkonfrei“ bezeichnet.

Die endgültige Aufklärung über die Beziehungen beider Mineralien vermag die röntgenographische Untersuchung zu geben; die Identität würde durch die Gleichheit der Gitterkonstanten bzw. der Elementarzelle erwiesen sein.

Bestimmung der Gitterkonstanten.

1. *Ramsayit*. Für die Untersuchung stand ein etwa $1\frac{1}{2}$ cm großes Kristallbruchstück mit der Formenkombination $\{100\}$, $\{210\}$, $\{111\}$, $\{211\}$ zur Verfügung; die Flächen (001) und (010) wurden zur Erzielung möglichst guter Drehspektrogramme angeschliffen. Es wurde $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung verwendet; der Kameraradius betrug 57,3 mm.

Aus Schichtlinienmessungen sowie aus den Reflexionen der Pinakoide auf dem Äquator errechneten sich die Gitterkonstanten $a = 14,51 \text{ \AA}$, $b = 8,73 \text{ \AA}$, $c = 5,22 \text{ \AA}$. Die Zone der a -Achse ist pseudohexagonal mit ganz ähnlichen Dimensionen wie bei den Pyroxenen, woraus sich die beobachteten orientierten Verwachsungen mit Ägirin erklären lassen. Zur Festlegung der Translationsgruppe wurden die Gitterkonstanten in den Richtungen $[110]$, $[101]$ und $[011]$ bestimmt. Die aus den Schichtlinienabständen gemessenen Längen ergeben zusammen mit der Indizesstatistik eindeutig, daß ein einfacher rhombischer Elementarkörper vorliegt. Die Prüfung auf Piezoelektrizität nach dem Verfahren von GIEBE-SCHIEBE-HETTICH verlief negativ; die Kristalle sind auch in Übereinstimmung mit der beobachteten Formenkombination der rhombisch-dipyramidalen Klasse zuzuordnen.

Beobachtete Auslöschungsgesetze:

hko: $h+k$ normal, h halbiert, k normal;

hol: $h+l$ normal, h normal, l halbiert;

okl: $k+l$ wahrscheinlich gerade, k normal, l normal.

Als wahrscheinlichste Raumgruppe ergibt sich D_{2h}^4 —Pbcn.

Der Elementarkörper enthält 4 Moleküle der Zusammensetzung $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$.

2. Für die Untersuchung des Lorenzenits konnten wir trotz mehrfacher Bemühungen kein Material beibringen. Die im folgenden mitgeteilten Gitterkonstanten (aus einer Drehkristall- und einer Weissenberg-Aufnahme ermittelt) verdanken wir der Freundlichkeit von Herrn Professor MACHATSCHKI, Tübingen; für die Überlassung einiger Kriställchen sei an dieser Stelle Herrn Professor BÖGGILD, Oslo, besonders gedankt. Gitterkonstanten von Lorenzenit (in Ramsayitaufstellung): $a = 14,51 \text{ \AA}$, $b = 8,76 \text{ \AA}$, $c = 5,23 \text{ \AA}$. Die auftretenden Reflexionen fügen sich den bei Ramsayit beobachteten Auslöschungsgesetzen ein.

Aus der ermittelten Gleichheit der Elementarzellen ergibt sich: Lorenzenit und Ramsayit sind trotz ihrer auffälligen Verschiedenheit in Tracht und Habitus identische Mineralien. Ramsayit ist zwar fast zirkonfrei, während im Gitter des Lorenzenits etwa $\frac{1}{3}$ des Titans durch Zirkon isomorph ersetzt ist, doch wird hierdurch kein meßbarer Unterschied in den Gitterkonstanten hervorgerufen. Es ist nicht wahrscheinlich, daß dieser Ersatz als Ursache für die Bildung verschiedener Kristallarten anzusehen ist. Wesentlicher für diesen Unterschied sind wohl die beträcht-

lich verschiedenen äußeren Bedingungen, unter denen die Kristallisation des Stoffes $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ erfolgt ist.

München, Mineralogisches Institut der Universität, den 3. März 1941. O. KRAUS. F. MUSSGÜNG.

Versuche mit radioaktivem Arsen an Mäusen.

Da die künstlich radioaktiven Isotope auch bei stärksten Aktivitäten in durchaus unwägbarer Menge vorliegen, geben Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiven Indikatoren die Möglichkeit, Verbleib und Speicherung auch solcher Elemente zu prüfen, die in äußerst kleinen Konzentrationen im gesunden Organismus vorliegen und deren Verbindungen schon in sehr kleinen Mengen zugeführt schwere Vergiftungserscheinungen hervorrufen. Die Klärung der Verteilung und der Bedeutung solcher Spurenelemente für den Organismus ist nicht nur allgemein-physiologisch interessant. Sie ist vielmehr neben anderen Faktoren die Grundlage einer genauen Untersuchung der direkten chemischen Mutationsauslösung; denn gerade Elemente, die gewöhnlich nur spurenweise im Organismus auftreten, könnten bei Zufuhr eher als andere mutationsauslösend wirken, falls sie überhaupt in die Gonaden eindringen.

Wir haben aus diesen Gründen, im Zusammenhang mit unseren Stoffwechseluntersuchungen mit radioaktiven Indikatoren^{1, 2)} versucht, uns einen Überblick zu verschaffen über die Verteilung von Arsen, das in sehr kleiner Menge Mäusen zugeführt wurde. Zur Gewinnung des Radioarsens wurde Natriumkakodylat mit langsamen Neutronen bestrahlt und das radioaktive Arsen nach einer von K. STARKE³⁾ angegebenen Methode abgetrennt. Das Radioarsen haben wir dann den Mäusen in Form einer wäßrigen Lösung von As_2O_3 teils durch Fütterung, teils durch subkutane Injektion zugeführt. Der Gehalt an Arsen betrug je Versuch etwa 0,05 mg. Die Mäuse wurden nach verschiedenen Zeiten getötet und sezirt. Die Organe und Gewebestücke wurden entnommen, zerrieben und ein gewogener Teil in dünner Schicht getrocknet, um auf diese Weise die Absorption der β -Strahlen auf ein Minimum zu reduzieren. Die Blutproben wurden mit einer Spritze aus dem Herzen entnommen, das venöse aus dem rechten Vorhof, das arterielle aus dem linken Ventrikel; da keine gesicherten Unterschiede festzustellen waren, haben wir vorläufig die Ergebnisse an beiden Proben zusammengefaßt. Die Urinproben wurden folgendermaßen gewonnen: Die behandelten Mäuse wurden in bestimmten Zeitabständen durch Schreckreaktion (Hochheben am Schwanz) zur Urinabgabe auf Filterpapier veranlaßt. Der Gehalt der Organ-, Blut- und Urinproben an Radioarsen wurde mit einer Zählrohrapparatur gemessen. Das Ergebnis solcher Messungen ist in den Tabellen 1 und 2 und den Fig. 1 und 2 dargestellt.

Tabelle 1. Radioarsengehalt der Organe von Mäusen, die verschiedene Zeit nach Verabreichung von Arsen getötet wurden.

Organe	Mittelwert der Aktivität pro 100 mg Organgewicht in Prozenten der verabreichten Gesamtaktivität			
	Zeit nach Verabreichung in Stunden			
	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{2}$	3	6
Blut	1,42	1,57	0,84	0,5
Lunge	0,6	0,97	0,66	0,38
Leber	0,62	0,69	0,57	0,23
Niere	—	3,39	2,43	0,69
Milz	0,74	0,45	0,53	0,24
Speicheldrüse	0,26	0,64	0,37	0,13
Geschlechtsorgane	0,03	0,12	0,23	0,17
Hirn	0,03	0,08	0,07	0,06

Die Tabelle 1 und die Fig. 1 zeigen, daß nach subkutaner Injektion der maximale Gehalt der verschiedenen Gewebe im allgemeinen nach $1\frac{1}{2}$ Stunden erreicht ist. In einheitlicher Weise nehmen die Werte dann ab.

Durch besonders hohe Gehalte zeichnet sich die Niere aus. Das hängt wohl mit ihrer Funktion als Ausscheidungsorgan

¹⁾ Medd. om Grönland 24, 130 (1899).

²⁾ N. Jb. f. Min. 1926 II, 185 (Ref.).

³⁾ Chemie d. Erde 5, 40 (1930).

zusammen. Den Gang der Ausscheidung gibt die Fig. 2 wieder, in der der Radioarsengehalt von zu verschiedenen Zeiten gewonnenen Urinproben aufgezeichnet ist.

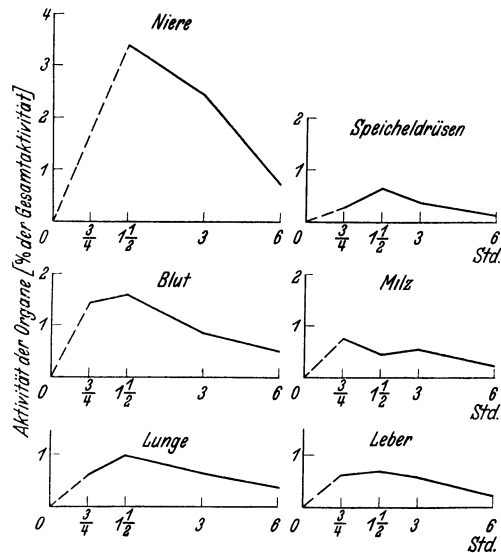


Fig. 1. Radioarsengehalt der Organe von Mäusen, die verschiedene Zeit nach Verabreichung von Arsen getötet wurden.

Tabelle 2. Relative Aktivität von Hirn und Geschlechtsorganen in Prozenten der Summe der in Tabelle 1 angegebenen Aktivitäten.

Organe	Zeit nach Verabreichung in Stunden			
	3/4	1 1/2	3	6
Hirn	0,31	1,52	4,03	7,03
Geschlechtsorgane . . .	0,31	1,02	1,23	2,68

Abweichend scheinen sich Gehirn und Geschlechtsorgane zu verhalten (Tabelle 2). Ein ausgeprägtes Maximum tritt hier nicht auf, die Ergebnisse lassen vielmehr an die Möglichkeit einer Speicherung oder doch verlangsamt Ausscheidung denken. Wichtig erscheint, daß in den Geschlechtsorganen der Gehalt recht hoch ist. Diese Erscheinung soll durch weitere Versuche geklärt werden, bei denen Arsen längere Zeit hindurch zugeführt werden soll.

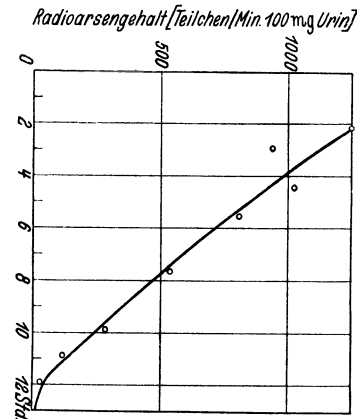


Fig. 2. Radioarsengehalt des Urins von Mäusen verschiedene Zeit nach subkutaner Injektion von Radioarsen.

Berlin, Wissenschaftliches Laboratorium der Auergesellschaft und Berlin-Buch, Genetische Abteilung am Kaiser Wilhelm-Institut, im März 1941.

H. J. BORN. HELENE TIMOFÉEFF-RESSOVSKY.

¹⁾ H. J. BORN u. H. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Naturwiss. 28, 253 (1940).
²⁾ H. J. BORN, Naturwiss. 28, 476 (1940).
³⁾ K. STARKE, Naturwiss. 28, 631 (1940).

Besprechungen.

von ARDENNE, MANFRED, **Elektronen-Übermikroskopie**. Physik. Technik. Ergebnisse. Berlin: Julius Springer 1940. XVI, 396 S., 1 Titelbild, 1 photogr. Tafel und 404 Abbild. 17 cm x 25 cm. Preis brosch. RM 54.—, geb. RM 57.60.

Die Problemstellung und Bedeutung des „Übermikroskops“ braucht heute dem Naturforscher nicht in Erinnerung gerufen zu werden, die erste umfassende Darstellung des Gebietes der Elektronenmikroskopie braucht keine Empfehlung auf ihren Weg, zumal wenn der Verfasser zu denen gehört, welche durch eigene Arbeit in erfolgreichster Weise das Gebiet förderten. Der Referent kann sich daher auf eine kurze Charakterisierung der ARDENNESchen Darstellung beschränken. Der Verfasser hat sich zu ihr entschlossen aus der Überzeugung, daß eine wirksame Teilnahme weiterer Kreise an der aktiven Forschungsarbeit nur möglich ist, wenn das im *Laufe der Entwicklungsarbeiten erworbene Spezialwissen* zusammenhängend dargestellt wird. Daß solche Arbeiten erhebliche Mittel verlangen, machte es mit sich, daß die Entwicklung ohne Anteilnahme industrieller Werke nicht zu einem praktisch erreichbaren Ziel führte. Dies hat den Nachteil im Gefolge, daß ein großer Teil der Arbeit sich hinter den Kulissen der physikalischen Bühne abspielt. So kann ARDENNE auch nur da in alle Einzelheiten gehen, wo ihm dies die vorliegenden Veröffentlichungen gestatten oder wenn er seine eigene Entwicklungsarbeit behan-

delt: hier tut er es aber auch mit voller Hingabe an seine Aufgabe.

Gut disponiert und klar dargestellt sind die physikalischen Grundlagen und ihre Ausnützung in den verschiedenen Elektronenmikroskopen (elektrische, magnetische Systeme, Sonden-, Schatten- und Rastermikroskope), wichtige Daten für die Dimensionierung der Mikroskope und ihren Betrieb, die technische Gestaltung der verschiedenen Systeme, die neue „Präpariertechnik“ besonders für biologische Präparate und schließlich auf rund 100 Seiten eine Auswahl aus den wunderbaren Ergebnissen in Physik, Biologie, Chemie, Kolloidforschung, Medizin, also dem gesamten Gebiet der Naturforschung. Die Zeichnungen, auch die graphischen Darstellungen von Versuchsergebnissen und die photographischen Abbildungen der Geräte sowie die der übermikroskopischen Aufnahmen — besonders sei die ausreichende Beschriftung der Abbildungen anerkannt —, werden allen Ansprüchen gerecht. Das Schwergewicht liegt durchweg auf dem Experimentellen und Technischen, die Ergebnisse der Theorie werden als Fakta benützt. Nicht nur für das besondere Spezialgebiet — auch für viele andere Probleme der Elektronen-, Hochspannungs- und Hochvakuumphysik wird hier der Physiker neue Konstruktionen, Gedanken und Ausführungen finden, ein besonderes Faktum für den Wert des Buches. Erfreulicherweise wird der aufmerksame Leser auch

nicht durch unnötige und für ihn uninteressante Anmerkungen über Prioritätsstreitigkeiten abgelenkt.

WALTHER GERLACH.

WINTERGERST, ERICH, **Die technische Physik des Kraftwagens.** (Technische Physik in Einzeldarstellungen. Bd. 2.) Berlin: Julius Springer 1940. VII, 152 S. und 174 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 14.70, geb. RM 16.50.

Wohl an kein anderes Landfahrzeug stellt man so verschiedenartige Anforderungen wie an das Automobil. Es soll auf Wegen der verschiedensten Qualitäten, in der Ebene wie im Hochgebirge, bei trockenem, feuchtem, warmem und winterlichem Wetter, bei Geschwindigkeiten, die fast im Verhältnis 1:10 variieren, gleichmäßig sicher und dabei auch einigermaßen ökonomisch fahren; es soll möglichst kein Geräusch verursachen und im Dunklen den Weg in einer für den Fahrer genügenden, andere Menschen aber nicht blendenden Weise beleuchten. Die Fülle der technisch-physikalischen Fragen, welche bei der Befriedigung solcher Ansprüche auftauchen, will das Buch in eine einheitliche Darstellung bringen. Es ordnet sie nach ihrer Herkunft, ob aus der Wärmelehre, der Mechanik, der Elektrotechnik, der Akustik oder der Optik. Dem entspricht die Einteilung in Kapitel.

Unter den wärmetechnischen Problemen steht obenan die Erzeugung der Motorleistung. Kurz wird die Thermodynamik des Verbrennungsmotors behandelt, dann die Eigenschaften der Kraftstoffe und die Konstruktion der Vergaser. Die Rollen der Haupt-, der Neben- und der Leerlaufdüse werden an einer lehrreichen Abbildung auseinandergesetzt. Es folgt die Kühlung des Motors sowie die Erwärmung der Luftreifen und der Bremsen. Es ist den meisten Autofahrern wohl neu, daß bei Geschwindigkeiten von 100 Stundenkilometern nach Messungen W. BRUNNERS die Erwärmung an den höchstbeanspruchten Stellen der Reifen bis über 100° steigen kann, und daß eine solche Erwärmung eine Leistung von 6 PS in Anspruch nimmt (S. 28/29).

Am längsten ist, wie man leicht versteht, das zweite, das mechanische Kapitel. Die Schwingungserscheinungen am Motor werden hier zuerst behandelt, sowie die Fragen, wie man sie durch elastische Lagerung des Motors am Übergreifen auf den Wagen selbst verhindert. Es folgt die Übertragung der Motorleistung auf die Räder durch Getriebe und Kupplung, wobei der Verfasser besonders der Vorzüge gedenkt, welche die Einführung von Strömungsgetrieben brächte, bei denen rotierende Pumpen durch Flüssigkeitsströmung auf Turbinenräder wirken. Der Leser vermißt hier freilich das Differentialgetriebe, auf das kurz einzugehen sich doch wohl lohnte hätte. Es folgt die Hydrodynamik der Schmierung, die Eigenschaften der Öle usw. Sehr ausführlich geht der Verfasser auf die Federung ein, kürzer auf die Geometrie der Lenkung, sowie auf die Lenkungsschwingungen, eine der schlimmsten Gefahrenquellen. In die neueste Aerodynamik führt der Abschnitt über den Luftwiderstand, seine Verringerung durch passende Form der Karosserie, sowie die mit ihm zusammenhängenden Auftriebs- und Seitenkräfte; hier verdient die große Zahl der vortrefflichen Abbildungen Hervorhebung, welche diesen Abschnitt erläutern. Im letzten Abschnitt „Kraftübertragung zwischen Reifen und Fahrbahn“ erfährt der Leser u. a., daß es ein hydrodynamisches Problem ist, ob bei nasser Bahn der Reifen die feste Unterlage überhaupt berührt oder ob er auf einer Wasserschicht

schwimmt. Die Ausführungen über die bei einem Blockieren von Rädern auf den Wagen wirkenden Kräfte sind für jeden Fahrer lehrreich, der mit seinem Fahrzeug nicht gern ins Schleudern gerät.

Das Elektrizitätswerk, welches der Kraftwagen mit seinem Motor antreibt, soll bei allen vorkommenden Umlaufgeschwindigkeiten dieselbe, zeitlich unveränderliche Spannung liefern. Wie die Lichtmaschine dieser großen Anforderung angepaßt ist, wie ihr Zusammenspiel mit der Batterie vor sich geht, wie die Funken an den Zündkerzen zustande kommen, wie der Anlasser, wie das elektrische Horn arbeitet, das bildet den Inhalt des 3. Kapitels. Im 4. handelt es sich um die Entstehung und die Verringerung des Auspuffgeräusches, beim 5. um Scheinwerfer und Rückstrahler.

Die Ausführungen sind ganz überwiegend wissenschaftlich gehalten; der Autor scheut erfreulicherweise auch vor längeren mathematischen Ableitungen nicht zurück, wo sie sachlich geboten sind. Er richtet es aber so ein, daß ein Überspringen einer solchen Deduktion den Leser nicht aus dem Zusammenhang bringt. Auch die chemische Erklärung des „Klopfens“ des Motors, das auf Kettenreaktionen im verbrennenden Kraftstoff beruht, findet sich hier. Daß daneben eine so roh empirische Methode erwähnt wird, wie die Bestimmung der „Klopfestigkeit“ durch die „Oktanzahl“, ist nicht zu umgehen und außerdem von Wert für den Fahrer, dem Kraftstoffe mit bestimmten Oktanzahlen angediesen werden.

Vor einigen Jahren äußerte ein Experimentalphysiker nach seiner ersten Reise im eigenen Auto mir gegenüber sein Erstaunen, daß ein Verbrennungsmotor so regelmäßig zünde. Im Laboratorium wäre eine Funkenstrecke Quelle dauernden Kammers, und im Auto sprängen auf 100 km rund 10⁶ Funken in ununterbrochener, regelmäßiger Folge störungslos über. Er hätte sich auch sonst noch über manche Leistungen eines normalen Autos wundern dürfen, die zu planen nicht allzu schwer ist, die aber bis zu der erforderlichen Sicherheit durchzukonstruieren viel Scharfsinn und technisches Können erfordert. Wie das zustande kommt, darüber gibt dieses Buch Auskunft, das infolgedessen allen, die ein Auto nicht nur fahren, sondern auch verstehen wollen, warm empfohlen sei.

M. v. LAUE, Berlin-Zehlendorf.

KUHN, OSKAR, **Paläozoologie in Tabellen.** Jena: G. Fischer 1940. 50 S., 1 Taf. 14 cm × 22 cm. Preis brosch. RM 2.50.

Geistige Beherrschung eines Stoffes erstet aus Ordnung und Übersicht. Dazu verhilft Tabellenform. Zu ANDRÉES „Geologie in Tabellen“ tritt hier die organische Zwillingschwester Paläontologie. Es handelt sich lediglich um die zoologische Hälfte und um die systematische Gliederung. Geeignete Druckform verhilft zur Bewertung der Gruppen. Das Schrifttum erweist hinlänglich, daß auch in Einzelheiten abweichende Gruppierungen und Bewertungen möglich sind. Dennoch mag manchem im Labyrinth des Formenreichtums solch Ariadne-Faden willkommen sein.

Die HEINTZsche Stammbaum-Tafel¹⁾ ist eine besonders wertvolle Ergänzung von der optischen Seite her. Kurze Diagnosen und die zeitliche Ausbreitung der aufgeführten Kategorien sind überall beigelegt. Ein schlichtes Nachschlagewerkchen. E. HENNIG.

¹⁾ Dieselbe, die auch in Naturwiss. 27, 225 (1939) veröffentlicht worden ist. Die Redaktion.

Die Physik der Gegenwart und das physikalische Weltbild.

Von C. F. v. WEIZSÄCKER, Berlin-Dahlem.

1. *Die gestellte Frage.* Vor einigen Jahrzehnten besaß die Physik ein geschlossenes Weltbild. Es bot einen Rahmen, in den alle bekannten physikalischen Erscheinungen paßten. Es übte als Vorbild eines wissenschaftlichen Weltbildes einen entscheidenden Einfluß auf alle anderen Wissenschaften aus. Bis in die großen Fragen der Weltanschauung hinein erstreckten sich seine Wirkungen und halfen, das geistige Gesicht der Zeit zu prägen.

Heute besteht dieses Weltbild nicht mehr. Es wurde gleichzeitig von innen und von außen zerstört. Die Physik selbst hat Entdeckungen gemacht, die in ihm keinen Platz fanden. Und die Nachbarwissenschaften haben wieder klarer erkannt, wodurch sich ihr Gegenstand vom Gegenstand der Physik unterscheidet. Nicht angetastet wurde selbstverständlich durch diese Entdeckungen der wissenschaftliche Wert der Tatsachen, von denen das alte physikalische Weltbild ausging. Als falsch wurde aber erkannt, daß in ihm eine Denkweise, die für einen bestimmten Bereich unserer Erfahrung angemessen ist, auf andere Bereiche vorschnell verallgemeinert worden war.

Der heutige Zustand ist also reicher an positiven Kenntnissen als der frühere. Er erscheint aber ärmer an innerer Einheit. Früher schien die Einheit des physikalischen Weltbildes die Einheit der Wirklichkeit selbst faßlich zu machen. Heute findet der Physiker hinter dem Bereich der unmittelbaren Erfahrung, der von der sog. klassischen Physik beherrscht wird, den Bereich der nicht direkt wahrnehmbaren Atome vor, die neuartigen Gesetzmäßigkeiten genügen. Durch die Atomtheorie werden zwar alle Wissenschaften vom Anorganischen, vor allem Physik und Chemie, grundsätzlich zu einer höheren Einheit zusammengeschlossen. Aber die Wurzel dieser Einheit, die Mechanik der Atome, entspricht nicht den vertrauten Vorstellungen, die wir uns von physischen Gegenständen machen, und die abstrakt mathematische Form, in welche sie sich kleidet, befriedigt nach der Meinung mancher Physiker unser Bedürfnis nach einem wirklichen Verständnis der Natur nicht. Ferner verbindet kein gemeinsames Weltbild mehr die großen Wissenschaftsgruppen. Jenseits der Wissenschaften, die sich um Physik und Chemie gruppieren, findet der Physiker eine eigengesetzliche Biologie. Dahinter ahnt er die Geisteswissenschaften, deren innere Gliederung ihm meist schon gar nicht mehr begreiflich ist. Eine Philosophie, die alle Fächer zusammenhielte, ist nicht mehr zu erkennen.

Unser Geist sucht aber die Einheit. Auch ihre Aufgabe dem Leben gegenüber kann die Wissen-

schaft nicht erfüllen, wenn sie die Orientierung im eigenen Gebiet verliert. Was ist in dieser Lage zu tun?

Unser Ziel muß sein, ein neues, richtigeres und lebendigeres Weltbild aufzustellen. Ob wir dieses Ziel erreichen, das hängt freilich nicht von unserer Willkür ab. Von uns aber hängt es ab, ob wir danach suchen. Und diese Arbeit des Suchens ist notwendig, gleichgültig, ob sie schon heute oder erst morgen von Erfolg gekrönt wird. Denn selbst wenn heute einer käme, der die Antwort auf alle ungelösten Fragen wüßte, so würden wir ihn nicht verstehen, wenn wir uns die Fragen, die er beantwortet, nicht schon aus eigener Not gestellt hätten. Wo eine Not nicht einmal empfunden wird, da kommt keine Hilfe.

Wir wollen daher versuchen, diese Fragen zu stellen. Unser Ziel kann es dabei nicht sein, ungelöste Probleme aufzuzählen. Wir wollen vielmehr unser Denken in diejenige Bewegung bringen, in der sich, wenn sie nur einmal begonnen hat, von selber Frage an Frage reiht und auch manche Antwort sich nach einer gewissen Wegstrecke von selbst ergibt. Wir haben daher zunächst kein systematisches Ziel. Um aber zu wissen, wovon wir reden, wählen wir als Leitfaden die viel diskutierte Begriffe der Ganzheit und der Anschaulichkeit, und betrachten ihre Rolle in der physikalischen Denkweise. Daß sie die Ganzheit im Lebensvorgang nicht erfaßt habe, wirft die neuere Biologie der physikalischen Denkweise vor. Daß sie die Anschaulichkeit des klassischen, physikalischen Weltbildes aufgegeben habe, ist umgekehrt der Vorwurf mancher Naturwissenschaftler gegen die moderne theoretische Physik. Wir wollen prüfen, wie weit beide Vorwürfe berechtigt sind, und wo wir auf eine Behebung der Notstände hoffen dürfen. Dabei beginnen wir mit der Frage der Ganzheit, welche das alte physikalische Bild von der Wirklichkeit ebenso wie das neuere betrifft, und schreiten nachher zu den inneren Umstellungen des physikalischen Denkens in der Gegenwart fort, die durch den Verzicht auf anschauliche Modelle der Natur gekennzeichnet sind.

A. Ganzheit.

2. *Ein Beispiel für das physikalische Bild von der Wirklichkeit.* Was weiß die Physik von der Wirklichkeit? Wir wollen nicht als Antwort das abstrakte System der Physik vor uns aufbauen, sondern lieber einen konkreten Gegenstand anschauen und uns fragen, was die Physik über ihn lehrt, und was sie verschweigt.

Es soll kein durch Menschenhand geformtes Gebilde sein, sondern ein Gegenstand, so wie wir

ihn in der Natur wirklich vorfinden. Ich suche in meiner Wohnung nach solchen Gegenständen. Alle Gebrauchsgegenstände erfüllen meine Bedingung nicht. Aber ich finde ein Bruchstück eines isländischen Kalkspatkristalls, das ich seit meiner Schulzeit besitze. Ich nehme es in die Hand, schaue es an. Welche Eigenschaften hat dieser Kristall eigentlich, und was weiß die Physik über diese Eigenschaften zu sagen? Ich vergesse die mühsamen einzelnen Schritte der Messung und Berechnung und halte mich an das Ergebnis, das in der heutigen Theorie vom Bau der Materie vorliegt.

Der Kristall ist schwer, fest, regelmäßig gebaut, durchsichtig. Ich beginne aber mit einer noch elementarerem Eigenschaft, welche die Philosophen als kennzeichnend für alle Materie ansehen: der Raumerfüllung. In der Tat, er ist ausgedehnt. Er ist auch undurchdringlich: wo er ist, da kann ich keinen anderen Körper hinbringen, ohne ihn dadurch wegzuschieben oder zu zertrümmern.

Zertrümmern freilich kann ich ihn. Seine Teile sind dann wiederum Kalkspatkristalle. Aber, wie die Physik lehrt, nicht unbegrenzt. Der Kristall besteht aus Atomen. Zwar kann das Gebilde, das die Chemiker Atom genannt haben, physikalisch noch zerlegt werden in Elektronen und den Atomkern, und letzterer wieder in Protonen und Neutronen. Aber erstens vermuten wir nicht ohne Grund, diese letzten Einheiten seien nun wirklich physisch unzerlegbar, und zweitens ist jedenfalls das im Kalkspatkristall enthaltene Atom selbst weder „Kalkspat“ noch „Kristall“, sondern eben „ein Kalzium-Atom“ bzw. „ein Kohlenstoff- oder Sauerstoff-Atom“. Die Physik hat mit der Feststellung der Gesetze begonnen, denen die unmittelbar sinnlich wahrnehmbaren Vorgänge genügen; jetzt ist es aber gerade ihr Ziel, die sinnlich nicht mehr wahrnehmbare atomare Welt zu erforschen, und auf die Gesetze des atomaren Geschehens alle anderen Gesetzmäßigkeiten und Eigenschaften der Materie zurückzuführen. So wird die Atomvorstellung zur Grundlage der Einheit des physikalischen Weltbildes. Wir werden bei jeder weiteren Eigenschaft erkennen, wie nahe die Physik diesem Ziel schon gekommen ist.

Das Volumen des Kristalls fassen wir also auf als die Summe seiner Atomvolumina. Daß die Atome selbst praktisch undurchdringlich sind, können wir heute aus der Wellenmechanik deduktiv ableiten. Die Frage, was das bedeutet, würde hier aber zu weit führen. Wir fragen nun nach den anderen Eigenschaften.

Der Kristall hat ein bestimmtes Gewicht: es ist die Summe der Gewichte seiner Atome, und zwar im wesentlichen der Atomkerne.

Er ist ein fester Körper. Seine Atome werden also durch gewisse Kräfte aneinander festgehalten. Diese Kräfte kennen wir heute und können sie — zwar nicht für ein so kompliziertes Ding wie diesen Kristall, aber für den grundsätzlich analogen Fall einfacher Moleküle — quantitativ berechnen.

Sie sind elektrischer Natur: die elektrische Ladung ist neben dem Gewicht eine der elementaren Eigenschaften der Atombausteine.

Er ist chemisch zerlegbar nach der Formel CaCO_3 . Diese Formel gibt das Mischungsverhältnis der drei ihn aufbauenden Atomsorten an. Hier sind wir am Ausgangspunkt der ganzen Atomvorstellung: dem chemischen Gesetz der konstanten Proportionen.

Er zeigt die regelmäßige Form des Kristalls. Seine Atome sind regelmäßig im Raume angeordnet, und diejenige Anordnung, welche die stärkste Bindung der Atome aneinander bei den verfügbaren Kräften ergibt, bestimmt die Symmetriefform des ganzen Gebildes.

Er ist zwar durchsichtig, aber doppelbrechend: ein einfacher Strich, durch ihn hindurch betrachtet, erscheint doppelt. Auf diese Eigenschaft hat HUYGENS seinerzeit den entscheidenden Beweis für die Wellennatur des Lichtes gegründet. Die einfallende — wie wir heute wissen: elektromagnetische — Schwingung, welche von unserem Auge als Licht empfunden wird, versetzt die einzelnen Kristallatome in Mitschwingung. Die von ihnen ausgehenden „Sekundärwellen“ löschen sich gegenseitig in allen Richtungen aus, ausgenommen die eine Richtung, in welcher die Lichtwelle sich fortpflanzt. So ist es bei normaler Lichtausbreitung; die regelmäßige Atomanordnung im Kristall, die gewisse Raumrichtungen auszeichnet, erlaubt dagegen noch eine zweite Fortpflanzungsrichtung und führt damit zur Doppelbrechung.

Er leitet, wie ein Versuch zeigt, den elektrischen Strom nicht. Das hängt atomphysikalisch mit der Durchsichtigkeit zusammen. In guten (d. h. metallischen) Leitern sind die Elektronen frei beweglich und werden daher von der einfallenden elektrischen Welle in sehr starke Schwingung versetzt. So setzt sich die Lichtenergie in sehr kurzer Zeit in Bewegungsenergie der Elektronen um und das Metall ist undurchlässig für Licht. Warum gerade in unserem Kristall die Elektronen nicht frei beweglich sind, das erklärt allerdings erst das feinere Atommodell der Quantentheorie.

Den optischen Beobachtungen schließen wir die Wahrnehmungen der übrigen Sinnesorgane an, deren physische Ursache alle bis auf atomare Vorgänge zurückverfolgt werden können: Schall auf Schwingungen der Luftmoleküle, Geruch und Geschmack auf chemische Umsetzungen, also auf Umlagerungen von Atomen, Tastvorgänge auf mechanischen Druck der undurchdringlichen Materie, Kalt-Warm-Empfindungen auf die ungeordnete Bewegung der Atome, die wir Wärme nennen.

Wir wollen uns nicht in Einzelheiten verlieren. Erscheint nicht schon nach den angegebenen Beispielen ein System wie die Atomtheorie als der angemessene Ausdruck der Einheit der Natur als Ganzes? Trotzdem beschränkt sich die Physik schon diesem Kalkspat gegenüber in bedenklicher Weise auf einen Ausschnitt aus der Wirklichkeit.

3. *Was fehlt im physikalischen Bild?* Auch die Gegenrechnung der von der Physik fortgelassenen Eigenschaften des Gegenstandes wollen und können wir nicht vollständig aufstellen. Wir wollen uns zunächst durch einige Beispiele auf die Gefahr hinweisen lassen, denen das physikalische Weltbild leicht verfällt. Im nachfolgenden Abschnitt betrachten wir dann als Sonderbeispiel die biologischen Fragen etwas genauer, um schließlich einige allgemeine Folgerungen zu ziehen.

Als ich den Kristall aus seinem Schubfach holte, dachte ich zuerst an keine der aufgezählten Eigenschaften, sondern an etwas ganz anderes, ihm gleichwohl zukommendes: seine persönliche Beziehung zu mir. Ein Lehrer, den ich gern hatte, hat ihn mir von einer Islandreise mitgebracht. Der Kristall spricht durch diese Erinnerung mein Gefühl an. Wäre ich nicht Physiker, so würde ich vielleicht vergessen, nach anderem als dieser Erinnerung überhaupt zu fragen.

Diese Gefühlswerte enthält das physikalische Weltbild nicht. Der reine Physiker wird sagen: selbstverständlich nicht, denn sie sind ja keine objektiven Eigenschaften der Dinge, sondern subjektive Vorgänge „in mir“, die kein zweiter Experimentator „reproduzieren“ kann. Das ist richtig, aber wer sagt, daß diese subjektiven Realitäten minder wichtig seien für einen Menschen, der sich ein wahres Bild von der Welt machen will? Was berechtigt mich, das allen Zugängliche für realer zu halten als das nur mir zugängliche? Gerade die Physik kann diese Frage nicht entscheiden, denn es ist ihr methodischer Ausgangspunkt, daß sie nur nach den allen zugänglichen Phänomenen fragt und daher auch nur über diese eine Antwort erhält. Welche Selbstbeschränkung liegt schon in diesem Ausgangspunkt!

Es gibt eine etwas bequeme Art, die hier aufgeworfene Frage abzutun, indem man sagt, es gebe eben zwei gleichberechtigte „Aspekte“, unter denen die Natur betrachtet werden könne, den objektiven und den subjektiven. Das Problem liegt aber gerade darin, daß beide Aspekte miteinander in innigem Zusammenhang stehen. Woher weiß ich überhaupt, daß meine seelische Beziehung zu diesem Kristall ihm nicht auch als objektive, d. h. für andere Menschen spürbare Eigenschaft zukommt? Haben wir nicht vielleicht nur ein unentwickeltes Sensorium für die objektiven, aber unbewußten Beziehungen zwischen Physischem und Psychischem? Gibt es in diesen Beziehungen vielleicht objektiv festliegende Grundstrukturen, zu denen sich unsere bewußten subjektiven Gefühle nur verhalten wie die individuellen Eigenschaften dieses einen Kristallbruchstücks zu seiner allgemeinen Eigenschaft, Kalkspatkristall zu sein? Daß es sich hier nicht nur um vage Phantasien handelt, sei durch ein Beispiel belegt.

Wohl alle Zeiten und Völker, ausgenommen das rationalistische Europa der Neuzeit, glauben an die magische Wirkung von Edelsteinen. Darin liegt eine objektive Beziehung des Kristalls zur

Seele. Man mag sie für Aberglauben halten. Gewiß ist aber gerade das physikalische Weltbild nicht kompetent, über die Frage zu urteilen. Denn wenn solche Wirkungen in ihm nicht vorkommen, so rührt das nur daher, daß es von ihnen von vornherein bewußt abgesehen hat. Daß die Voraussetzungen, auf denen es sich heute aufbaut, vollständig seien, können wir aber nicht a priori beweisen. Vielmehr handelt es sich offenbar um eine empirische Frage; und welcher anständige Physiker würde wohl die Realität dieser Wirkungen leugnen, wenn sie ihm praktisch vorgeführt würden? Wir müssen also sagen, daß das physikalische Weltbild, wenn es ohne Übertreibung angewandt wird, grundsätzlich auch für solche Wirkungen Raum läßt.

Die besondere Struktur der physikalischen Methode zeigt sich vielleicht noch deutlicher als an diesen für unser wissenschaftliches Bewußtsein immerhin problematischen Beispielen an Fällen, die im Rahmen des heute allgemein anerkannten physikalischen Weltbildes bleiben, etwa an der Untersuchung historischer Fragen.

Mein Kristall stammt aus Island. Für den Mineralogen trägt er in gewissen Eigenschaften, auf die ich vorher nicht geachtet habe, etwa seiner Größe und dem Grad seiner Reinheit, die eindeutigen Merkmale seiner Herkunft. Woher rühren diese besonderen Eigenschaften? Sie sind die Spuren des geologischen Schicksals dieses Stückes Materie. Vorher waren sie mir nicht besonders aufgefallen; jetzt sind sie gerade das Ziel meines Interesses, denn sie verraten objektive Vorgänge der Vergangenheit, etwa die Änderungen der Temperatur, des Druckes und der chemischen Bedingungen an der Stelle und zu der Zeit der Bildung dieses Kristalls. Offenbar werden dadurch die Grenzen des physikalischen Weltbildes nicht gesprengt, denn auch in der Erdgeschichte ist es nach Naturgesetzen zugegangen; es ist gerade eine der Aufgaben der Forschung, das Zusammenspiel der Einmaligkeit des Weltlaufs und der Allgemeingültigkeit der Naturgesetze zu erkennen. Aber es ist zweierlei, ob das Weltbild Raum läßt für einen Wirklichkeitsbereich, und ob wir bewußt diesen Raum ausfüllen.

Dies erinnert uns schließlich an die allgemeine Wahrheit, daß das physikalische Weltbild teilhaft an der Unvollendbarkeit der Erfahrung. Tausend mögen einen Kalkspatkristall in der Hand gehabt haben, ohne zu sehen, daß er doppelbrechend ist. Tausende haben seine Doppelbrechung gekannt und in ihr nichts als eine Kuriosität unter anderen gesehen, bis schließlich der eine HUYGENS sie als Beweis der Wellennatur des Lichtes erkannte. Wieviele Eigenschaften mag dieser kleine Kristall noch haben, die meine Sinne vielleicht schon empfinden oder doch leicht empfinden könnten, und deren Eintreten in mein waches Bewußtsein mein Weltbild um einen neuen Ausblick bereichern könnte!

Es ist also klar, daß das physikalische Weltbild nicht alle wesentlichen Eigenschaften der Gegen-

stände umfaßt. Es ist noch nicht ebenso klar, wie weit es sie mit Notwendigkeit ausschließt. Diese Sätze kennzeichnen nun auch das gegenwärtige Verhältnis der Physik zur Biologie.

4. *Physik und Biologie.* Es ist ein berechtigtes Gefühl vieler Biologen, daß die physikalische Denkweise in ihrer Wissenschaft nur einen Teil der Wirklichkeit, und vielleicht eben den minder Wesentlichen, erfaßt habe. Hat sie nicht stets nur diejenigen Eigenschaften des Lebendigen herausgegriffen, die es mit dem Toten gemein hat? Trotzdem ist der Unterschied sehr schwer auf Begriffe zu bringen. Wir wollen einige Vorschläge in dieser Richtung, die auch auf das physikalische Weltbild selbst Licht werfen, kritisch betrachten. Als Ansatzpunkt diene der Begriff der Ganzheit. Denn einerseits ist es gewiß, daß man ein lebendes Wesen nicht verstehen kann, wenn man es nicht als ein Ganzes aufzufassen vermag. Andererseits ist es aber nicht leicht, den Begriff von einem Ganzen, den man hier braucht, von einem auch der Physik geläufigen Begriff abzuheben.

Ganzheit kann verstanden werden als das Ganze aller Eigenschaften eines Gegenstandes, oder als eine besondere Eigenschaft, eben die, selbst ein Ganzes zu sein. Im ersten Sinn ist die Ganzheit weder der Biologie noch der Physik erreichbar, aber beide versuchen, ihr näherzukommen. So kann man den Unterschied beider Wissenschaften jedenfalls nicht in der Einstellung zu der allgemeinen Wahrheit finden, daß das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile; ihre Beherzigung unterscheidet vielmehr in der Physik wie in der Biologie nur den guten Forscher vom schlechten. Zwar legt die Physik Wert auf die Feststellung, daß der Kristall aus Atomen besteht. Aber er ist nicht die „Summe“ seiner Atome, so wenig wie eine Mauer die Summe ihrer Backsteine ist. Zunächst einmal muß die räumliche Lagerung der Atome bestimmt sein; erst ihre Symmetrie macht den Kristall zum Kristall. Ferner muß die Art ihrer Wechselwirkung untereinander beschrieben werden. Die Atome, die sinnlich nicht mehr wahrnehmbar sind, sind sogar als physikalische Objekte nur charakterisiert durch die Art dieser Wechselwirkung, durch die erst ein wahrnehmbares Gebilde entsteht — also durch die Angabe des Ganzen, dessen Teile sie sein können.

Gibt es also eine Art, ein Ganzes zu sein, die den Lebewesen zukommt, den unbelebten Gegenständen aber nicht? Um die Frage zu vertiefen, wollen wir uns durch die folgende schöne Darstellung von CARUS leiten lassen: „Mögen wir nun die Bildungsgeschichte irgendeiner Pflanze, eines Tieres oder irgendeines organischen Individuums überhaupt betrachten, so ist eine der ersten wichtigen Wahrnehmungen, die wir an denselben machen werden: daß ein Bild ihres Seins vor ihrem Dasein zugegeben werden müsse. — Nehmen wir z. B. das Ei eines Schmetterlings, und wir gewahren eine kleine, einfache, rundliche Hülle und eine gleichförmige, ausfüllende, eiweißstoffige

Flüssigkeit; aber von dem Körper des Schmetterlings, von seinen vier Flügeln mit ihrer Farbenpracht, von seinen Tausenden von Augen, seinen Fühlfäden, seinen Füßen und der zierlich aufgerollten, zum Saugen des Blumennektars bestimmten Zunge, oder von irgendeiner Eigentümlichkeit der Form der Raupe, ist auch noch nicht die mindeste Andeutung vorhanden. Nichtsdestoweniger schwebt das Bild dieser ganzen, vielartigen Gliederung über der noch formlosen Erscheinung der Eiflüssigkeit, und Schritt vor Schritt, wie es in diesem unsichtbaren geistigen Bilde der künftigen Daseinsform vorgezeichnet ist, schießt die Organisation gleichsam kristallinisch an, und beweist unwiderleglich, daß ein Bild ihres Seins vor ihrem Dasein vorhanden war. Dasselbe gilt, wenn wir noch eine Stufe tiefer herabsteigen, zu den eigentlich sog. Kristallbildungen. Nehmen wir die reinste, indifferenteste Flüssigkeit, das Wasser; über ihm schwebt, oder wollen wir lieber sagen, in ihm ist lebendig das Bild der nach dem Gesetze der Drei- und Sechsteilung wirksamen Kristallisation, und wie nur der schwebende Wassertropfen der Einwirkung der Kälte preisgegeben ist, so daß die auf entschiedene polarsche Zusammenziehung sich gründende Kristallisation anheben kann, so tritt das zierliche Gebilde des Wasserkristalls als Schneeflocke, d. i. als drei- oder sechsstrahliger Stern, hervor. Das Bild, der Typus oder die Idee dieser Gestalt, war so vorhanden, ehe die Gestalt selbst zur Erscheinung kam“ (C. G. CARUS, Vorlesungen über Psychologie, hrsg. von MICHAELIS, S. 30—31).

Diese Worte müssen den heutigen Physiker seltsam berühren. Denn einerseits ist er genötigt, ihre Wahrheit zuzugeben, und andererseits rechnet er den Kristall nicht zu den belebten Gegenständen, sondern hat sich daran gewöhnt, seinen Bau als eine physikalisch „erklärte“ Sache anzusehen. Ist dadurch nun jene Idee des Kristalls in unserem Weltbild überflüssig geworden, oder umfaßt umgekehrt das Weltbild der Physik selbst solche Ideen?

Die letztere Vermutung dürfte richtig sein. Die Physik baut gedanklich den Kristall auf nicht aus Atomen an sich, sondern aus Atomen im Raum. Die Idee des Kristalls aber ist nichts anderes als seine räumliche Symmetrie, und die Physik zeigt, daß jedesmal, wenn bestimmte Atome sich regelmäßig im Raum zusammenlagern, diese bestimmte Symmetrie auftreten muß. Dies erkennt zwar unsere undurchgebildete Raumvorstellung nicht unmittelbar; die mathematische Disziplin der Gruppentheorie weist aber ausführlich nach, daß aus den mathematischen Bestimmungsstücken des euklidischen Raumes bereits alle und nur die in der Natur verwirklichten Kristallsymmetrien folgen. Das ideelle Moment in der Natur liegt darin, daß die mathematischen Gesetze, welche ja Gesetze unseres Denkens sind, in der Natur wirklich gelten, und jenes tiefe Staunen über die innere Ordnung der Natur, das uns oft befällt, hängt

wohl vor allem damit zusammen, daß wir gerade in Fällen, wie dem der Kristalle, die Wirkungen dieser „Mathematik in der Natur“ schon erkennen konnten, noch ehe unser eigenes mathematisches Wissen weit genug entwickelt war, ihre Notwendigkeit einzusehen. Ist damit nun der Kristall wirklich „erklärt“? Er ist es, wenn wir die Raumstruktur als gegeben hinnehmen; er ist es nicht, wenn wir in ihr selbst noch ein Problem sehen. Der erste Standpunkt ist für den praktischen Physiker hinreichend. Solange der zweite aber möglich ist, wird man nicht sagen dürfen, daß die Physik die Geheimnisse der Natur wegerkläre, sondern daß sie sie auf tieferliegende Geheimnisse zurückführe.

Wir haben hierdurch eine Belehrung über die Physik empfangen, aber keine Grenze zwischen Biologie und Physik gefunden. Aber vielleicht ist eben dies eine wichtige Erkenntnis. Bei der Auseinandersetzung der Biologie mit der physikalischen Denkweise handelt es sich in weitem Umfange ja nicht um den Gegensatz zwischen Biologie und Physik, sondern um einen Gegensatz, der ebenso im Rahmen der reinen Physik möglich ist; denn immer stehen den Forschern, die stets das Ganze im Auge behalten, andere gegenüber, die den schon erklärten Teil mit dem Ganzen verwechseln. Da die Physik in der Biologie nur als Hilfswissenschaft dient und so mehr ihre Ergebnisse als ihre Probleme den Biologen bekannt werden, heftet sich dieser Mißbrauch hier besonders leicht an die physikalische Denkweise.

Immerhin bleibt ein Unterschied zwischen physikalischer und biologischer Denkweise. Die Mathematik des Kristalls verstehen wir, die des Schmetterlings — wenn es eine solche gibt — hingegen nicht. Dafür gibt es einen reichen Schatz biologischer Begriffe, die zum wenigsten heute nicht auf physikalische Begriffe reduziert werden können, die aber die Erfahrungen, welche wir an lebenden Wesen täglich machen können, in präziser Weise beschreiben. Man hat versucht, die Grenzlinie zwischen Physik und Biologie dadurch scharf zu ziehen, daß man einige dieser Begriffe durch die Behauptung heraushob, sie seien nicht nur heute, sondern für alle Zeiten einer physikalischen Erklärung unzugänglich. Man konnte z. B. eine spezifisch biologische Form der Ganzheit im Begriff des Individuums finden. Der Kristall kann unbegrenzt wachsen und ein Teil von ihm ist wieder ein Kristall; der Schmetterling hat beide Eigenschaften nicht. Man konnte darüber hinaus erinnern an Vorgänge wie Wachstum, Stoffwechsel und Vermehrung, bei denen immer neue Materie zur Trägerin derselben Form, desselben Funktionszusammenhangs wird. Doch kann man jede einzelne Erscheinung dieser Art auch an physikalischen Modellen aufweisen. Beispielsweise hat eine einfache Kerzenflamme die oben genannten formalen Kennzeichen der Individualität ebenso wie den Stoffwechsel und die Möglichkeit der „Vermehrung“. Keine bloße Analogie des Lebens, sondern ein echter Grenzfall dürfte das Tabak-

mosaikvirus sein, das die Eigenschaften lebender Krankheitserreger hat und gleichzeitig eine kristallisierbare chemische Substanz ist. Hier scharfe Grenzlinien ziehen, hieße zum mindesten den unbekannteren Ergebnissen künftiger Forschung vorgehen. Scharf unterscheiden sollte man wohl überhaupt nicht zwischen belebten und unbelebten Objekten, sondern zwischen den Erkenntnisquellen der reinen Physik und den Erkenntnisquellen, die uns im Kontakt mit zweifellos lebenden Wesen zur Verfügung stehen.

Man könnte zweifelnd fragen: welche Erkenntnisquellen außer der Sinneserfahrung und dem logischen Denken, welche beide auch die Physik verwendet, kann die Biologie noch haben wenn sie nicht zur Mystik werden will? Doch handelt es sich hier um etwas ganz Alltägliches, das nur nicht in die schematische Erkenntnistheorie des „physikalischen Weltbildes“ paßt. Alle Erfahrungen sind meinem Bewußtsein nicht mosaikartig getrennt gegeben, sondern in einem Zusammenhang, der sich schon daraus ergibt, daß ich selbst ein lebendes Wesen bin, das sich zugleich handelnd und wahrnehmend verhalten muß. In diesem Zusammenhang ist mir bereits etwas von dem Sinn des Verhaltens anderer lebender Wesen gegeben, mit denen ich in lebendiger Wechselwirkung stehe. Einen Stein kenne ich freilich nur als Objekt, ein Mensch aber ist mir notwendigerweise „Mitmensch“. Seine Äußerungen sind Träger einer Bedeutung, die ich verstehen kann, weil ich selbst ein Mensch bin, und es ist praktische Notwendigkeit und zugleich ethische Forderung, die sich von selbst in mir regt, daß ich sie nicht nur als Objekte nehme, sondern das meine tue, sie zu verstehen. Die biologische Sphäre nun ist von beiden Deutungsweisen durchzogen, ohne auf eine von ihnen ganz verzichten zu dürfen. Eine Amöbe ist mir kaum etwas anderes als ein absonderliches physikalisches Objekt. Ein Reitpferd ist mir in erster Linie Partner im Spiel des Lebens, mit dem der innere Kontakt stärker ist als mit manchen Menschen. Zwischen beiden gibt es alle Übergänge.

Diese „Erfahrung des lebendigen Kontakts“ ist für die wissenschaftliche Biologie natürlich ebenso nur Rohmaterial wie die Erfahrung der Objektsphäre für die Physik. Sie ist daher naturgemäß auch den Gefahren der Mißdeutung und Kompetenzüberschreitung ausgesetzt, die stets mit der Theoriebildung verbunden sind — so wenn man z. B. der Natur wegen der unzweifelhaften Analogie in Bau und Verwendung, welche manche ihrer Bildungen mit den Produkten menschlicher Zweckmäßigkeit haben, in einer zu anthropomorphen Weise objektive Zwecke unterschob. Doch darf hier wie stets die Gefahr des Mißbrauchs nicht Anlaß sein, auf eine Quelle von Erfahrung zu verzichten. Sie gibt vielmehr allen denjenigen Begriffen der Biologie, die nicht durch eine der physikalischen analoge Methode gewonnen werden, die Rechtfertigung und die eigentümliche Färbung.

Das dürfte insbesondere auch für den biologischen Begriff der Ganzheit gelten. Jener Begriff der sich immer wieder verwirklichenden eigentümlichen Gestalt des lebenden Wesens — des „Bildes des Seins vor seinem Dasein“ — würde nur einen gradweisen Unterschied der lebendigen gegen die physischen Gestalten bedingen und die Grenze zwischen hochdifferenzierter unbelebter Materie und lebenden Wesen kaum schärfer betonen als etwa die zwischen Tier und Pflanze; das hat uns schon der Gebrauch gezeigt, den CARUS von ihm macht. CARUS selbst faßt aber die lebendige Gestalt nicht als letzten selbständigen Begriff auf, sondern als Erscheinungsweise der „Seele“ des organischen Lebens. Er gibt damit in der Sprache seiner romantischen Naturbetrachtung jene Tatsache wieder, die auch in jeder anderen, dem Leben angemessenen Sprache wenigstens anklingen muß: den Zusammenhang der organischen mit der menschlichen Welt. Mein Ich ist für mich noch in grundsätzlich anderer Weise ein Ganzes als alle Gegenstände der äußeren Erfahrung; und es dürfte schwer sein, anzugeben, was uns das biologische Individuum von einer bloßen physischen Gestalt grundsätzlich unterscheidet, wenn nicht seine Verwandtschaft mit dem menschlichen Subjekt, so weitläufig und partiell sie auch sein mag, und die daraus für uns folgende Möglichkeit, etwas von seinem Verhalten zu „verstehen“, sei es im direkten Kontakt, sei es durch Analogieschluß. Als Grenze zwischen Biologie und Physik im heutigen Sinne sollte man daher einfach die Stelle bezeichnen, an der die aus diesem Verständnis hervorgehenden spezifisch biologischen Begriffe nicht mehr zur Deutung unserer Erfahrungen herangezogen werden. Ob es sich dabei um eine Grenze in den Objekten oder in unserer gegenwärtigen Einsicht handelt, darf offen bleiben. Soweit hingegen die Biologie die Lebewesen einfach als äußere Objekte behandelt, so, wie die Physik, wird auch ein immer engerer Zusammenschluß mit der Physik ihr Schicksal sein.

5. *Die physikalische Methode.* Wir haben in vielen Einzelfällen die physikalische Denkweise am Werk gesehen und ihre Grenze vielleicht nicht klar bezeichnet, aber spüren gelernt. Wir wollen nun versuchen, die Ursache dieser Begrenztheit genauer anzugeben.

Man hat die Ursache im „quantitativen“ Verfahren, in der Vorliebe der Physik für das Zählen und Messen gesehen. Dies ist aber wohl selbst nur ein Symptom und nicht die Ursache. Das Ziel der Physik ist jederzeit, genau festzustellen, was ist. Wo mehrere vergleichbare Dinge vorhanden sind, kann man zählen oder messen. Wo man das kann, muß man also als Wissenschaftler quantitativ verfahren. In einem solchen Fall eine nicht-quantitative Feststellung zu machen, bleibt demnach notwendig eine bloße Vorstufe des physikalischen Urteils.

Wir kommen dem wesentlichen Punkt näher, wenn wir auf die methodische Haltung des physika-

lischen und überhaupt des wissenschaftlichen Denkens achten. Das naive menschliche Denken geht von der Sache aus, das wissenschaftliche von der Methode. Die Methode (*μετ'-όδος*) ist ein Weg. Dieser Weg hat kein anderes Ziel als eben die Sache, die sachliche Wahrheit. Aber ich bin nicht etwa schon von vornherein am Ziel, sondern ich muß den Weg beschreiten, wenn ich ans Ziel kommen will. Im täglichen Leben haben wir freilich eine ungefähre Kenntnis von den Partnern und Gegenständen unseres Handelns, und diese Kenntnis genügt uns, wenn wir uns nur mit einiger Sicherheit in unserer Umwelt bewegen wollen. Die Wissenschaft aber beginnt mit der Entdeckung, daß wir sehr viel weniger wissen als wir wissen möchten oder könnten — teils weil wir vergessen haben, danach zu fragen, teils weil wir uns mit falschen Antworten auf unsere Fragen zufriedengegeben haben. Diesem Übelstand soll nun die wissenschaftliche Methode abhelfen. Worin besteht sie?

Sie besteht zunächst einmal darin, daß man vom unmittelbar Gegebenen ausgeht. Man glaubt nicht, was die Leute so im allgemeinen sagen, sondern nur, was man selber gesehen hat. Man bildet sein Urteil über Dinge, die nicht unmittelbar auf der Hand liegen, nicht wie der handelnde Mensch im Zusammenspiel von Instinkt und Gewohnheit, sondern man sucht sie vermittels sorgfältig gehäufte Beobachtungen aus ihren Wirkungen zu erschließen. Man läßt schließlich als allgemeine Wahrheit nicht mehr die großen Gleichnisse, wie die Mythen und die Glaubenssätze der Religion gelten, die einem Volk oder einem Zeitalter die Grundlagen seines Lebensgefühls und das höchste Ziel seiner Hoffnung und Sehnsucht verpflichtend zusammenfassen, sondern nur jene Verallgemeinerungen vielfacher Erfahrung, welche in jedem Einzelfall wieder objektiv nachgeprüft, nachgemessen und nachgerechnet werden können: die Naturgesetze.

Indem man sich aber des einzelnen „Gegebenen“ methodisch bemächtigt, ist man stets in Gefahr, das nicht methodisch geordnete Wissen des lebendigen Menschen zu verlieren; so wie das Auge, das dem Dunkel angepaßt war und wenigstens die Umrisse der Umgebung erkannte, beim Aufleuchten eines Scheinwerfers zwar die beleuchteten Gegenstände in aller Schärfe sieht, aber nur um den Preis, daß ihm nun alles Umgebende in schwarze Finsternis versinkt. Wollen wir nicht nur im Gleichnis, sondern mit erkenntnistheoretischer Genauigkeit von diesem Vorgang reden, so müssen wir daran erinnern, daß es ein schlechthin „Gegebenes“ gar nicht gibt. Welche Erfahrungen mir jeweils gegeben werden, hängt vielmehr von meiner Situation im Leben ab, vor allem von meiner Willenseinstellung und dem Grad meiner Offenheit, der aus ihr folgt. So ist es insbesondere möglich, und, wenn ich überhaupt leben will, auch unerlässlich, daß ich in jedem Augenblick instinktiv etwas erfasse von dem Ganzen des Zusammenhangs, in dem ich

gerade handelnd oder leidend stehe. Wer mit dem geworfenen Stein in Ziel treffen kann, weiß in halbbewußter Weise so viel wie er braucht von der Flugbahn seines Steines, obwohl er meist nicht imstande sein wird, die mechanischen Gleichungen der Wurfbewegung zu integrieren. Der Arzt oder Erzieher, der seine Kunst versteht, der gute militärische Führer oder diplomatische Unterhändler — jeder von ihnen weiß aus dem direkten Kontakt mit dem anderen Menschen, aus einem aufgefangenen Blick oder einer Handbewegung, die nur instinktiv richtig gedeutet werden kann, mehr als alle wissenschaftliche Psychologie ihn je lehren wird. Und aus ähnlichen Kräften geht auch die Einordnung des Menschen in das Ganze des Lebens hervor, die sich in seinem Weltbild äußert. Hier liegt das Problem der Wissenschaft im allgemeinen und der Physik im besonderen. Es ist ihr praktischer Nutzen, daß sie uns mehr und mehr Einzeldinge beherrschen lehrt; der Erfolg ist die Technik. Es ist ihre Gefahr, daß sie uns zu leicht abhält von der menschlichen Anstrengung, die notwendig wäre, um die lebendige Berührung mit dem Ganzen aufrecht zu erhalten; der Erfolg ist der Zerfall des Weltbildes.

Gibt es denn aber keine Erkenntnis, die über dieses Dilemma hinausgehoben ist, die mit den instinktiven Sicherheit die Klarheit des Bewußtseins verbindet? Ob sie möglich ist, wollen wir nicht philosophisch abstrakt erörtern. Besser scheint es, einen lebendigen Menschen anzuschauen, der uns eine Haltung zur Natur verkörpert, die von den Einengungen des physikalischen Weltbildes frei ist. Es hat manche Menschen dieser Art gegeben; den meisten von uns wird unter ihnen GOETHE am vertrautesten sein. Was lehrt uns sein Vorbild?

Beginnen wir mit dem Negativen. GOETHE hat eine Farbenlehre aufgestellt, deren rein physikalische Thesen falsch sind. Man hat gelegentlich versucht, sie neu zu beleben. Das geschah nicht nur aus Pietät gegen den Dichter, sondern weil der Blick in die Natur, den GOETHE uns tun lehrt, immer wieder empfängliche Gemüter ergreift. Wenn man nicht wagen konnte, NEWTON gegen GOETHE Unrecht zu geben, so nahm man etwa an, es gebe zwei gleichberechtigte Betrachtungsweisen, eine nach NEWTON, eine nach GOETHE. Man hat damit der genauen Erkenntnis keinen Dienst getan. Wo GOETHE NEWTON widerspricht, hat NEWTON Recht und GOETHE Unrecht. Auch die größte Individualität vermochte hier nichts gegen den sicheren Schritt der physikalischen Methode. Aber diese notwendige Kritik soll uns nur dazu helfen, klar zu erkennen, wo wir von GOETHE zu lernen haben.

Das physikalische Weltbild hat nicht Unrecht mit dem, was es behauptet, sondern mit dem, was es verschweigt. Wir erinnern uns, wie GOETHE vor allem tadelt, daß sich NEWTON, um das Wesen

des Lichtes zu untersuchen, zunächst in ein dunkles Zimmer einschließt, dessen Fenster nur einen ganz kleinen offenen Spalt hat, und nun das so mißhandelte Licht untersucht. Und wirklich, wie wenig ist bei diesem Experiment noch übrig von dem lebendigen Licht um uns. Und dieses lebendige Licht ist uns nicht ein Unbekanntes, da wir in uns selbst das Organ tragen, das ihm verwandt ist.

Wär nicht das Auge sonnenhaft,
Die Sonne könnt es nie erblicken.
Läg nicht in uns des Gottes eigne Kraft,
Wie könnt uns Göttliches entzücken!

Freilich ist das keine Anweisung, um ein lehrbares System der Naturwissenschaften aufzurichten. Die Empfänglichkeit für die Dinge, um die es sich hier handelt, besitzt nicht jeder im gleichen Maße. Jeder von uns vermag die einfacheren Handlungen eines hochentwickelten Tieres zu deuten, aber wenige können den Sinn in der Reihe aller Organisationen soweit verfolgen, daß sie die Urpflanze oder die Metamorphose vor Augen sehen. Es geht hier nicht um eine Vervollkommnung des Verstandes, sondern des Lebendigen in uns.

So sag ich denn zum letzten Male:
Natur hat weder Kern noch Schale.
Da prüfe dich nur allermeist,
Ob du Kern oder Schale seist.

Es bedarf wohl keiner besonderen Erklärung, daß hier kein Subjektivismus gepredigt werden soll. Die Welt in uns, die uns die Welt außer uns verstehen lehrt, ist für alle, die sie finden, dieselbe; freilich finden nicht alle den Weg zu ihr. Und aus der Objektivität jener Welt schöpft auch das objektive Verfahren der Physik letzten Endes seine Daseinsberechtigung, mehr als aus den äußeren Erfolgen, die nur seine gefährliche Belohnung sind. Es ist zwar plebejisch, sich krampfhaft an das Nachrechenbare zu halten, nur um gewiß zu sein, daß man Recht behält; aber das ist auch nicht Objektivität, sondern Schwäche. Wir dürfen hier an ein Grundgesetz der inneren Entwicklung erinnern: daß die Vollendung nur soweit erreicht wird, als ich von meiner Person abzusehen lerne. Das gilt nicht nur in der ethischen Sphäre. Auch ein KEPLER oder Newton sucht die Objektivität der Mathematik und des Experiments als greifbare Verkörperung jener überpersönlichen Wahrheit, der gegenüber Ehrfurcht die einzige richtige Haltung ist. Gerade die reine Mathematik, deren geistige Bedeutung bis in die Gesetze der Musik und die religiöse Symbolik hinein wohlbekannt ist, wurde für KEPLER zum Bindeglied zwischen dem Göttlichen in uns und außer uns. Wir kennen seine Worte: „Ob mich jemand verstehen wird, weiß ich noch nicht. Aber wenn Gott fünftausend Jahre auf den gewartet hat, der sein Werk beschaute, werde ich auch einige hundert Jahre auf den warten können, der mich liest.“

B. Anschaulichkeit.

6. *Der Begriff der Anschaulichkeit.* Mit einer allgemeinen Belehrung über Wert und Grenzen des physikalischen Weltbildes ist es für uns nicht getan. Wir haben ja soeben gesehen, daß das physikalische Weltbild zwar grundsätzlich keine Realitäten zu leugnen braucht, die in ihm bisher keinen Platz gefunden haben, daß es aber täglich in der Versuchung steht, dies gleichwohl zu tun. Wir wollen lernen, diesen Fehler in jedem Einzelfalle wirklich zu vermeiden, und ihn wieder gutzumachen, soweit wir ihn bisher begangen haben. Wir wollen das nicht nur nebenher, gleichsam in unserem Privatleben tun, sondern eben in unserem Beruf als Physiker.

Wer damit Ernst machen will, erkennt bald seine tiefe Machtlosigkeit. Über wieviel guten Willen schreitet eine historisch notwendige Entwicklung erbarmungslos hinweg! Wer seinen eigenen Weg in sich ebenso notwendig vorgezeichnet weiß, wird sich dadurch nicht irremachen lassen. Aber es ist für ihn eine Pflicht der Klugheit, zu prüfen, wo die Entwicklung selbst mit ihm zusammenarbeitet. Wenn die Methode der Physik überhaupt zur Erkenntnis von Wahrheit führt, so muß es solche Punkte in der Entwicklung geben. Eben die Sachlichkeit des Physikers, die ihn zeitweise veranlaßt, den Blick zu verengen, kann ihn wiederum dazu führen, diese Verengung des Blicks zu erkennen.

Wo können wir einen solchen Punkt erwarten? Am ehesten da, wo die Physik selbst den Bereich der Gegenstände verläßt, für welche ihre ursprüngliche Denkweise gemacht war. Eine solche Stelle ist heute die Atomphysik. Ihr Verhältnis zum älteren physikalischen Weltbild wollen wir daher nun untersuchen. Als Ausgangspunkt wählen wir das Problem ihrer vielbesprochenen Unanschaulichkeit.

Unter der Bezeichnung des Strebens nach Anschaulichkeit werden zwei Tendenzen verstanden, die einander in mancher Hinsicht fast entgegengesetzt sind.

Wenn man etwas beschreibt, was man angeschaut hat, so ist das gewiß „anschaulich“. Im höchsten Sinne anschaulich ist GOETHES Naturwissenschaft. Demgegenüber hat das physikalische Weltbild von jeher eine unanschauliche Tendenz gehabt. Diese beruht unmittelbar auf seinem Streben nach Einheit des Weltbildes. Wir nehmen die Erscheinungen nicht in ihrer bunten Fülle hin, sondern wollen sie erklären, d. h. einen Tatbestand auf den anderen zurückführen. Dabei wird oft Anschauliches durch Nicht-Anschauliches erklärt, und insofern ist die Atomtheorie, deren Grundbegriff schon etwas sinnlich nicht Wahrnehmbares bezeichnet, bereits im Ansatz unanschaulich.

Mit dem Erfolg des mechanistischen Weltbildes setzt sich nun ein neuer Begriff von Anschaulichkeit durch: man sucht sich das Nicht-Anschauliche nach dem Bilde des Anschaulichen vorzustellen. Zwar kann man die Atome nicht

sehen — aber wie würden sie aussehen, wenn man sie doch sehen könnte? Ob diese Frage überhaupt gestellt werden darf, das ist das Problem, welches die moderne Atomphysik aufwirft.

Das physikalische Weltbild des 19. Jahrhunderts bejahte sie. Es nahm unsere Anschauungsformen, wie sie der klassischen Physik entsprechen, für absolut und sah daher einen nicht sinnlich wahrnehmbaren Vorgang erst als verstanden an, wenn er auf ein Modell nach dem Muster des Wahrnehmbaren zurückgeführt war. Man erkennt, wie auch dieser Vorstellung der Gedanke der Einheit des Weltbildes zugrunde liegt. Dieses Weltbild war ein großer Entwurf, und es war selbstverständlich, daß die Physik ihn so weit als möglich verfolgte. Der Fortschritt unserer Kenntnisse aber hat gegen ihn entschieden.

7. *Die Gestalt der modernen Atomphysik.* Es ist schwer, vom Wesen dieser neuen Physik ohne Verwendung abstrakter mathematischer Begriffsbildungen eine Vorstellung zu geben. Das wird erst dann leichter sein, wenn ihre allgemeinen, philosophischen Konsequenzen weiter ins Allgemeinbewußtsein eingedrungen sein werden. Diese Folgerungen selbst sind aber erst zum kleinsten Teil gezogen; sie sind es ja, um die sich auch dieser Aufsatz bemüht. Trotzdem müssen wir versuchen, wenigstens einige Grundzüge nachzuzeichnen.

Was wir von Atomen wissen, wissen wir durch Experimente. Ein Experiment ist eine Handlung, die wir bewußt und willkürlich durchführen; sein Hilfsmittel ist ein von uns selbst hergestellter Apparat, sein Ergebnis eine sinnliche Wahrnehmung. Somit muß der physische Vorgang des Experiments im Raum und in der Zeit unserer Anschauung beschrieben werden können. Ferner muß im Meßapparat das Kausalgesetz gelten; sonst könnten wir gar nicht aus dem Beobachtungsergebnis auf das beobachtete Objekt schließen. Schließlich kann man auf die am Experiment beteiligten Gegenstände in naiv-praktischer Weise die Substanzvorstellung anwenden: sie bleiben mit sich identisch, wie materielle Körper das zu tun pflegen, und auch dies ist entscheidend dafür, daß man überhaupt in vernünftigen Worten sagen kann, was man gemessen hat. So bilden Raum und Zeit der Anschauung und die Kategorien von Substanz und Kausalität den Rahmen des Experiments.

Das Atom selbst aber nehmen wir nicht unmittelbar wahr; es ist uns nicht als Objekt in Raum und Zeit gegeben, sondern als Ziel eines Rückschlusses aus einem Meßresultat. Man kann es auch nicht durch ein Modell nach dem Muster eines raumzeitlichen Objekts beschreiben. Wir charakterisieren es vielmehr durch eine gewisse mathematische Größe, die SCHRÖDINGERSCHE „ ψ -Funktion“ Sie tritt an die Stelle der mechanischen Bestimmungsstücke, durch die man ein Objekt zu beschreiben pflegt und aus denen man Vorausagen über den Ausfall künftiger Experimente gewinnt. In welcher Weise kann sie aber das? Da ein Experiment stets eine in Raum und Zeit

definierte Größe ermittelt, die ψ -Funktion aber keine solche ist, wird sie nicht direkt gemessen. Aus ihr gewinnt man vielmehr durch eine mathematische Operation, deren Art sich nach der Art des angestellten Experiments richtet, eine Wahrscheinlichkeitsangabe über den Ausfall des Experiments (also z. B. eine Angabe über den mittleren Wert, den die betreffende Größe bei sehr vielen Messungen annehmen wird).

Könnte man den Ausfall jedes an einem Atom möglichen Experiments (z. B. über seine Lage, seine Geschwindigkeit, seine innere Struktur) mit Gewißheit voraussagen, so könnte man die betreffenden Werte der zu messenden raumzeitlich definierten Größen dem Atom einfach als Eigenschaft zuschreiben und hätte das gesuchte raumzeitliche Modell des Atoms. Darin, daß in den meisten Fällen nur Wahrscheinlichkeitsvoraussagen möglich sind, drückt sich also gerade aus, daß man die gemessenen Größen dem Atom nicht naiv als Eigenschaften zuschreiben darf. Dasselbe zeigt sich darin, daß die gemessenen Größen, als Eigenschaften einer und derselben Objekte gedacht, zum Teil sogar logisch unvereinbar sind. Z. B. benimmt sich dasselbe Atom bei manchen Experimenten wie ein räumlich konzentriertes Teilchen, bei anderen wie eine den ganzen Raum erfüllende Welle. Nun ist es klar, daß das Atom nicht zugleich Teilchen und Welle sein kann. Die logische Paradoxie wird dadurch vermieden, daß man niemals gleichzeitig Experimente machen kann, in denen das Atom in den beiden verschiedenen Weisen reagiert. Habe ich das Atom etwa als Teilchen an einem bestimmten Ort vorgefunden, so werde ich es bei einer sofortigen Wiederholung des Experimentes am selben Ort finden und kann also mit einem gewissen Recht sagen: das Atom ist da und da. In diesem Falle ist die ψ -Funktion des Atoms so beschaffen, daß über andere Größen, etwa seine Geschwindigkeit, oder die Eigenschaften, die es als Welle charakterisieren würden (Wellenlänge, Phase) nur Wahrscheinlichkeitsvoraussagen möglich sind. Kenne ich umgekehrt die Welleneigenschaften, so kann ich über die Teilcheneigenschaften nur mit Wahrscheinlichkeit prophezeien. Also darf ich nicht sagen: „das Atom ist ein Teilchen“, oder „es ist eine Welle“, sondern „es ist entweder Teilchen oder Welle, und ich entscheide durch meine experimentelle Anordnung, als was es sich manifestiert“.

Sollte demnach die Wirklichkeit von unserer Willkür abhängen? Nicht die Wirklichkeit, aber das Bild, unter dem wir sie begreifen. Wir können vom Atom nicht anders etwas erfahren als durch das Experiment; das Experiment ist aber eben eine Vergewaltigung der Natur. Wir zwingen gleichsam das Atom, uns seine Eigenschaften in einer unangemessenen Sprache mitzuteilen. Versuchen wir, die Art der Abweichung vom älteren Bild noch etwas genauer zu bestimmen.

Eigentlich versagt nicht die raumzeitliche Anschauung; denn wir erfahren ja vom Atom gar

nichts anderes als raumzeitliche Meßergebnisse. Es versagt auch nicht, wie man wegen des Auftretens von Wahrscheinlichkeitsaussagen gemeint hat, das Kausalgesetz; denn durch jedes Experiment schaffen wir geschlossene Kausalketten. Es versagt aber die Einführung dieser isolierten Anschauungsfragmente und Kausalketten in ein objektives Modell des Vorgangs; er versagt die „Objektivierbarkeit der Natur“. Vielleicht darf man am ehesten von einem Versagen der Substanzkategorie reden; vielleicht sollte man aber lieber von der Notwendigkeit reden, unsere am Denken in Objekten gebildete Logik der neuen Lage anzupassen.

Auch diese Situation ist dem menschlichen Denken nicht völlig neu. Daß der Vorgang beobachtet werden muß, um bekannt zu sein, und gleichwohl durch die Beobachtung in seinem Wesen geändert wird, kennen wir aus den Schwierigkeiten der Selbstbeobachtung, in der das Subjekt des Erkennens zu dessen Objekt wird (BOHR). Vielleicht findet sich in der Philosophie des deutschen Idealismus, der die Begrenzung des Objektbegriffs durch die Reflexion des Denkens auf sich selbst erkannt hat, etwas von dem notwendigen logischen Rüstzeug für die Bearbeitung dieser Fragen. Dieses „Vielleicht“ aber bezieht sich nur auf die philosophische Verarbeitung; daß physikalisch der heutige Zustand der Atomphysik keine andere Deutung als die hier gegebene zuläßt, steht fest.

8. *Folgerungen.* Gegen diese Ergebnisse haben sich, ebenso wie früher gegen die Verwandten, aber weniger radikalen Ergebnisse der Relativitätstheorie, viele Physiker instinktiv zur Wehr gesetzt. Es sei als erstes gesagt, daß diese Gegenwehr sehr begrifflich ist. Wer sie zu leicht nimmt, zeigt dadurch nur, daß er vermutlich selbst noch nicht erkannt hat, wie tief der Bruch mit dem bisherigen Programm der Physik ist, der von ihm verlangt wird. Die physikalischen Gründe dafür, daß der Bruch heute als endgültig angesehen werden muß, können hier nicht vorgelegt werden. Was wir aber folgern sollen, wenn wir ihn alle unvermeidlich anerkannt haben, das können wir prüfen.

Sollten wir nur mit Widerwillen lernen, daß es falsch war, die Urbestandteile der Materie der Mechanik der Tische, Stühle und Billardkugeln zu unterwerfen? Lag in diesem Programm nicht dieselbe Naivität gegenüber der Wirklichkeit wie in allen voreiligen Verallgemeinerungen des „physikalischen Weltbildes“? Was uns unbefriedigt läßt, ist auch im Grunde nicht, daß die alten Anschauungen versagen, sondern daß an ihre Stellen nichts unmittelbar verständliches Neues tritt. Verzichten wir darauf, ein Lebewesen wie eine Maschine zu erklären, so bleibt uns immer das unmittelbare Partnerverhältnis zu ihm als Entschädigung; das Entsprechende fehlt uns bei den Atomen. So empfinden wir die Aufgabe des eigentlichen Verständnisses der Atome noch als ungelöst. Sie mag es sein; dann liegt der Fehler aber nicht in den Sätzen der Physik, sondern in

unserem Verständnis dieser Sätze. Die Sätze sind abstrakt mathematisch gefaßt. Vergleichen wir sie etwa einer Notenschrift. Wer nicht Noten lesen kann, dem ist sie tot; wer sie aber versteht, der hört aus ihr die Melodie und erkennt nun erst die innere Notwendigkeit, die diese Zeichen verband. Nach dieser inneren Notwendigkeit der neuen Physik haben wir zu suchen, aber nicht in der Form eines Anschlusses an überholte Bilder, sondern indem wir ihre Funktion im großen Prozeß unserer Erkenntnis verstehen.

Welches ist diese Funktion der neuen Physik in der Erkenntnisentwicklung? Unsere Betrachtungen, die mit Fragen begonnen haben, münden damit wieder in eine Frage aus. Eine vollgültige Antwort wird weder ein einzelner Mensch noch auch nur eine einzelne Wissenschaft geben können. Die Atomphysik wird sich freilich in den nächsten Jahrzehnten experimentell und theoretisch weiter vervollkommen und schließlich technische Anwendungen finden; sie wird sich dadurch einen ähnlichen Platz in der Praxis des menschlichen Zusammenlebens erwerben, wie ihn die klassische Physik schon besitzt. Die grundsätzliche Frage aber, die wir stellen, setzt zum wenigsten die Zusammenarbeit von Physik und Philosophie voraus. Sie stellt sich damit hinein in den Zusammenhang der vielen Fragen, die sich heute an den Grenzen der Wissenschaften gegeneinander und aller Wissenschaften gegen das Leben erheben, und die alle zum Thema die organische Einheit des Wissens haben, welche selbst ein Teil der größeren Einheit des Lebens ist. Diese Fragen

können nur im tätigen Zusammenwirken Mehrerer angegriffen werden, denn die Vereinigung auch nur des wichtigsten Wissens unserer Zeit in einem Kopfe ist unmöglich geworden. Den Ergebnissen dieser Bemühung wollen wir hier nicht mit Vermutungen vorgreifen. Es genügt, wenn etwas von der Haltung deutlich geworden ist, in der einige Vertreter der heutigen Physik bereit sind, in die Zusammenarbeit einzutreten.

Vielleicht darf zusammenfassend so viel gesagt werden:

Ein „Weltbild“ ist zerstört, gründlicher als man hätte erwarten können. Das ist kein Unglück, sondern eine heilsame Lehre. Ein Weltbild ist mehr als eine wissenschaftliche Theorie; es soll, wenigstens symbolisch, das Ganze der Wirklichkeit umfassen. Diese Berücksichtigung des Ganzen ist, von den beweisbaren Einzelerkenntnissen aus gesehen, stets ein Glaube; es ist der Glaube, der die Voraussetzung unseres Lebens ist. Auch das alte physikalische Weltbild versuchte, das Ganze darzustellen, aber mit unzureichenden Mitteln, und darum mußte es scheitern. Die Physik war aber die erste Wissenschaft von der Natur, die ein geschlossenes System besaß, und so spielte sie unabhängig von dem „Weltbild“ gleichsam die Rolle eines Mustergutes unter den Wissenschaften. Vielleicht fällt ihr diese Rolle jetzt in einem neuen Sinne zu. Die neue Physik ist das erste geschlossene, mit mathematischer Exaktheit faßbare System einer Naturerkenntnis jenseits der Grenzen des mechanischen Weltbildes. Tun wir das unsere, daß sie sich dieser Rolle als würdig erweist.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Das 18 min-Molybdän aus Uran.

Es wäre von grundsätzlichem Interesse, wenn unter den Spaltprodukten des Urans, die nach bisheriger Kenntnis nur negative Elektronen aussenden, auch einzelne Positronenstrahler wären. Nun haben HAHN und STRASSMANN¹⁾ ein Molybdän von 18 min Halbwertszeit als Spaltprodukt beobachtet. Andererseits erhält man durch Kernphotoeffekt oder (n,2n)-Prozeß aus Molybdän ein posi-

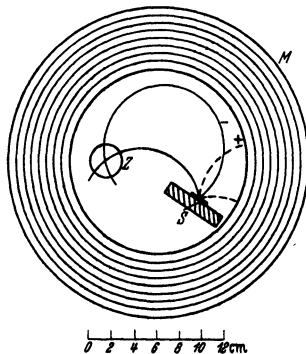


Fig. 1. *S* = Substanz; *Z* = β -Zählrohr, 17 cm lang; *M* = Magnetspule, 23 cm lang.

tronenstrahlendes Mo-Isotop von praktisch derselben Halbwertszeit (17 min)²⁾. Wir haben daher untersucht, ob es sich in beiden Fällen etwa um dasselbe Isotop handelt, indem wir das Vorzeichen der β -Teilchen bestimmten, die von dem HAHN-STRASSMANNschen Mo ausgehen.

Es wurden jedesmal etwa 100 g Uranylнитrat von UX gereinigt und 40 min lang mit Be(d,n)-Neutronen in Paraffin bestrahlt. Die Abtrennung des Molybdäns geschah entweder nach der Vorschrift von HAHN und STRASSMANN oder, um Zeit zu sparen, einfach durch Zusetzen von Ammoniummolybdat zu der Lösung des Uranylнитrats und rasches Abnutschen des Niederschlages.

Zur Analyse der β -Strahlen diente ein einfacher, aber „lichtstarker“ eisenfreier Spektrograph (Fig. 1). Vorversuche mit den β -Strahlen des UX ergaben, daß bei maximalem Spulenstrom die Zählerausschläge auf etwa 3% heruntorgingen, wenn man von Elektronen auf Positronen umpolte³⁾. Mit den Mo-Niederschlägen zeigte sich folgendes: Bei Elektronenpolung waren die beiden Mo-Isotope von 18 min und 66 h mit guter Intensität nachweisbar. Bei Positronenpolung ging jedoch die Intensität wiederum auf wenige Prozente zurück.

Das 18 min-Mo aus Uran sendet also negative Elektronen aus und ist nicht identisch mit dem 17 min-Positronenstrahler, in Übereinstimmung mit der Annahme von HAHN und STRASSMANN.

Heidelberg, Institut für Physik am Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung, den 25. Februar 1941.
W. BOTHE. A. FLAMMERSFELD.

¹⁾ O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 28, 543 (1940).

²⁾ W. BOTHE u. W. GENTNER, Z. Physik 106, 236 (1937). — F. A. HEYN, Nature 139, 842 (1937).

³⁾ Mit dieser Anordnung hat der eine von uns (B.) vor 3 Jahren festgestellt, daß eine etwaige Positronenstrahlung des natürlichen Kaliums nicht mehr als etwa 1% der Kaliumaktivität ausmachen kann [unveröffentlicht; vgl. hierzu die theoretischen Überlegungen von C. F. v. WEIZSÄCKER, Physik. Z. 38, 623 (1937)].

Die Entstehung der stratosphärischen D-Schicht durch Absorption der Wasserstofflinie 1215 Å.

Die Absorption der Wasserstoffresonanzlinie 1215 Å in der Atmosphäre ist deshalb von weittragender Bedeutung, weil diese Linie bei solaren, chromosphärischen Eruptionen bestimmt auftritt und weil eine außerordentlich intensive UV.-Strahlung der Sonne angenommen werden muß und kann, um die zusätzliche Ionisation der Ionosphäre zu erzeugen. Diese zusätzliche Ionisation ist dann von solcher Stärke, daß die elektrischen Wellen absorbiert werden (Mögel-Dellinger-Effekt). Einen Überblick über die Energieverteilung im Sonnenspektrum bei Eruptionen hat uns WALDMEIER¹⁾ gegeben.

WILLIAMS hat neuere Untersuchungen über die Absorption der Linie 1215 Å in Gasen angestellt und u. a. gefunden²⁾:

1. In reinem Sauerstoff beginnt die Absorption erst bei einer Schichtdicke von 0,1 mm Hg wirksam zu werden, der Absorptionskoeffizient wächst an und bleibt dann in dem Bereich von 0,3—0,6 mm Hg konstant.

2. Für Luft ergibt sich eine merkbare Absorption erst ab 0,3—0,4 mm Hg, und wir berechnen aus seinen Messungen einen Absorptionskoeffizienten von 1,76 (cm⁻¹) für das Intervall von 0,6—1,2 mm Hg.

3. Aus den Messungen scheint hervorzugehen, daß für den Beginn der Absorption der Partialdruck des Sauerstoffs maßgebend ist. Der Beginn der Absorption in Luft setzt dann ein, wenn der Partialdruck des Sauerstoffs die Größe von 0,04 mm Hg erreicht hat, also schon bei etwa der halben Schichtdicke wie bei reinem Sauerstoff.

Aus den erwähnten Messungen läßt sich die Absorption wie folgt darstellen:

- a) Reiner Sauerstoff, Schichtdicke $d > 0,3$ mm Hg:
 $\ln(I_0/I) = 2,40 d - 0,39$;
- b) Luft, Schichtdicke $0,35 < d < 0,6$ mm Hg:
 $\ln(I_0/I) = 0,91 d - 0,32$;
- c) Luft, Schichtdicke $d > 0,6$ mm Hg:
 $\ln(I_0/I) = 1,76 d - 0,86$;

wobei I_0 die Intensität der einfallenden Strahlung und I die nach Durchlaufen der Schichtdicke d ist.

Den Partialdruck von 0,04 mm Hg erreicht der Sauerstoff in 61 km Höhe³⁾. Die Strahlung dieser Wellenlänge ionisiert das O₂-Molekül, das sich zersetzt und somit zu einer besonders stark ionisierten Schicht unterhalb von 60 km führt. (WILLIAMS setzt 80 km Höhe an, doch sind unsere neu berechneten Druckwerte für die Stratosphäre zuverlässiger.) Dieses Ergebnis stimmt mit den Messungen überein, denn APPLETON schlug 1928⁴⁾ vor, daß die stark absorbierende Schicht in 60 km Höhe liegt, die er D-Schicht nannte. MITRA und SYAM⁵⁾ kündigten 1935 eine Absorption in 55 km Höhe an; MITRA und BHAR⁶⁾ fanden 1936 Echos aus noch geringerer Höhe, COLWELL und FRIEND⁷⁾ fanden 1936 Echos zwischen 5—55 km Höhe. Diese Meßergebnisse stimmen alle darin überein, daß sich unterhalb von 60 km eine stark ionisierte Schicht befindet, die besonders bei solaren Eruptionen in Erscheinung tritt.

Berechnen wir die Absorption nach den WILLIAMSSchen Messungen in Anteilen der einfallenden Strahlung I_0 , so finden wir für Luft folgende Zahlen:

$I = k \cdot I_0$; $k =$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	
Schichtdicke in mm Hg		0,47	0,59	0,69	0,78	0,89	1,01	1,17	1,40*)	1,80*)
Höhe in km		55,2	52,7	51,6	50,7	49,6	48,5	47,5	46,0	43,7

*) Extrapolierte Werte.

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die WILLIAMSSchen Messungen dazu führen, daß die Strahlung der Wellenlänge 1215 Å schon in 50 km zur Hälfte absorbiert wird und in 44 km nur noch 10% der in die Atmosphäre einfallenden Strahlung vorhanden ist, sie also in dieser Höhe praktisch völlig absorbiert worden ist. Dieses Intervall von 60—45 km entspricht den Beobachtungen über die D-Schicht bei chromosphärischen Eruptionen.

In der Fig. 1a geben wir nun eine Darstellung dieser Absorptionsverhältnisse, wir erkennen, daß es eine Kurve mit einem Wendepunkt bei etwa 50 km ist. Betrachten wir jetzt die in einem Höhenintervall von 1 km absorbierten Energien und stellen diese bildlich dar (Fig. 1b), so liefert

diese grobe Übersichtsrechnung schon eine Chapman-schicht, wie es die strenge Theorie verlangt. Dabei liegt das Maximum der Schicht in 51 km Höhe; in etwa 50 km Höhe wird rund 5mal soviel absorbiert wie in dem Intervall von 55—60 km, bezogen auf die Einheitshöhe von 1 km.

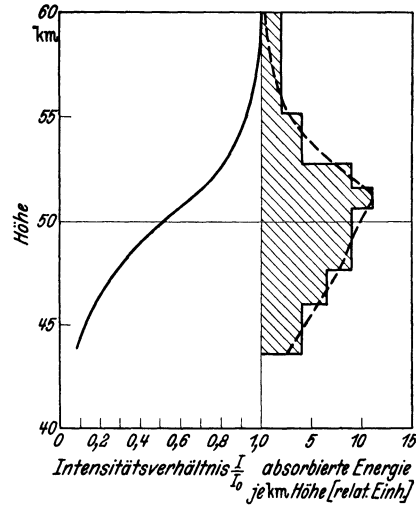


Fig. 1a. Vertikale Verteilung der Intensität I der Wellenlänge 1215 Å in Anteilen der einfallenden Strahlung I_0 . Fig. 1b. Absorbierte Energie der Wellenlänge 1215 Å pro Kilometer Höhe in relativen Einheiten. — — — Mittelkurve.

MITRA, BHAR und GHOSH⁸⁾ können die D-Schicht bei Zugrundelegung der PANNEKÖCKschen Methode der Ionisierung der oberen Atmosphäre durch das 1. Ionisierungspotential des Sauerstoffs (12,2 eV) erklären. Vorteilhaft scheint bei unserer Berechnung zu sein, daß keine besonderen Annahmen gemacht wurden, sondern nur die WILLIAMSSchen Absorptionsmessungen und die Druckverteilung in der Atmosphäre nach PENNDORF benützt wurden. Vorausgesetzt wird allerdings, daß weder N^+ , N_2^+ noch O^+ und O_2^+ in diesem Gebiet merkbare Absorption besitzen. Weiterhin verlangen die Beobachtungen eine Absorption solarer Strahlung bei Eruptionen in der Atmosphäre unter 60 km Höhe, diese Höhen ergeben sich bei uns zwangsläufig, ebenso der Schichtcharakter. Es ist möglich, daß eine gewisse Ionisation entsprechend den Annahmen von MITRA, BHAR und GHOSH immer vorhanden ist und unsere Rechnung nur die zusätzliche Ionisation erfaßt, die dann zufällig in der gleichen Höhe auftritt. Auf jeden Fall scheint uns damit die Frage der Absorption elektrischer Wellen bei solaren Eruptionen unter 60 km Höhe im wesentlichen geklärt zu sein.

Leipzig, Geophysikalisches Institut der Universität, den 4. März 1941. R. PENNDORF.

¹⁾ M. WALDMEIER, Z. Astrophys. 14, 229 (1937).
²⁾ S. E. WILLIAMS, Nature (Lond.) 145, 68 (1940).
³⁾ R. PENNDORF, Meteor. Z. 58 (1941) Februarheft.
⁴⁾ E. V. APPLETON, Int. Union Sci. Radio Electr. Teil 1, 1 (1928).
⁵⁾ S. K. MITRA u. P. SYAM, Nature (Lond.) 135, 953 (1935).
⁶⁾ S. K. MITRA u. J. N. BHAR, Science u. Culture 1, 782 (1936).
⁷⁾ R. C. COLWELL u. A. W. FRIEND, Physic. Rev. (2) 50, 632 (1936).
⁸⁾ S. K. MITRA, J. N. BHAR u. S. P. GHOSH, Ind. J. Physics 12, 455 (1938).

Die Aktivatoren der Kohlensäureanhydratase.

Wir haben früher^{1,2)} mitgeteilt, daß viele Organextrakte, biologische Flüssigkeiten, gereinigte Präparate aus Rinderblut sowie verschiedene Substanzen, wie Histidin, Cystein, Glutathion, Harnsäure und Histamin die katalytische Wirksamkeit der Kohlensäureanhydratase stark aktivieren. Diese Messungen waren vorwiegend mit der BRINKMANSchen Y-Röhrchen-Methode und mit der WARBURGSchen Manometerapparat ausgeführt worden. Dasselbe grundsätzliche Ergebnis war auch in noch nicht veröffentlichten Versuchen

mit der „Boot“-Apparatur von MELDRUM und ROUGHTON³⁾ erhalten worden. Kürzlich teilte nun KIESE⁴⁾ an dieser Stelle mit, daß er eine Aktivierung der Kohlensäureanhydratase mit dieser Boottechnik nicht bestätigen könne. Ein einwandfreier Aktivierungseffekt der katalytischen Wirkung des Fermentes bei der Hydratation des CO_2 geht jedoch aus dem in Fig. 1 wiedergegebenen Versuch hervor, bei dem die

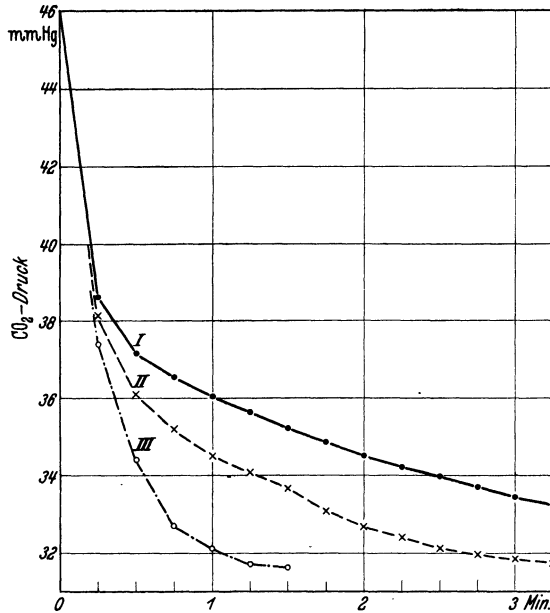


Fig. 1. Aktivierung der Hydratationskatalyse der Kohlensäureanhydratase durch neutralisiertes Glutathion. Messung mit der „Boot“-Apparatur von MELDRUM und ROUGHTON. Im Gefäß 15 ccm $\frac{m}{25}$ Karbonat-Bikarbonatpuffer (Natriumbikarbonat:Soda = 100:6). Kurve I: + 0,2 ccm H_2O oder + 0,1 ccm H_2O + 0,1 ccm Glutathion (die Kurven fallen zusammen). Kurve II: + 0,1 ccm H_2O + 0,1 ccm Fermentlösung (0,034 γ Ferment pro Kubikzentimeter Reaktionsflüssigkeit). Kurve III: + 0,1 ccm Fermentlösung + 0,1 ccm Glutathion (13 γ Glutathion pro Kubikzentimeter Reaktionsflüssigkeit). Temperatur des Thermostaten: 0,05°. Schüttelgeschwindigkeit: 440 Doppelschwingungen pro Minute. Das Gefäß wird vor der CO_2 -Einleitung mit der Wasserstrahlpumpe evakuiert, nach 8 Minuten zur Entlüftung 10 Sekunden geschüttelt und dann noch 1 Minute 50 Sekunden weiter evakuiert.

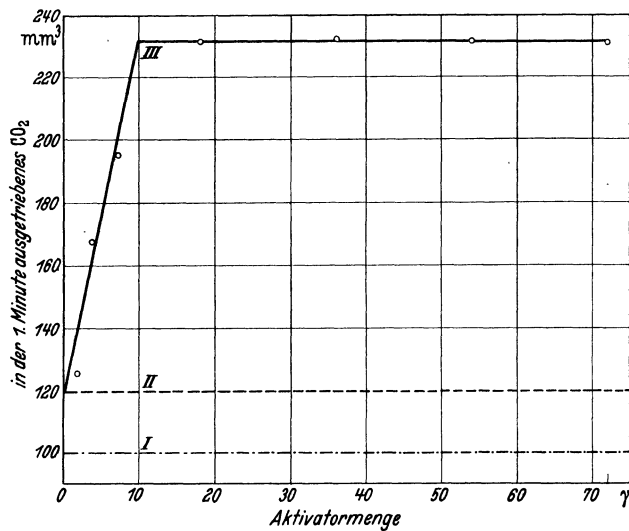


Fig. 2.

Geschwindigkeit der CO_2 -Aufnahme im Roughton-Apparat durch eine karbonathaltige Bikarbonatlösung gemessen wurde. Kurve I zeigt die Reaktion in Abwesenheit von Ferment mit oder ohne Glutathion (beide Kurven fallen zusammen), Kurve II mit Ferment ohne Glutathion und Kurve III mit Ferment plus Glutathion als Aktivator.

In Fig. 2 ist die Aktivierung der Dehydratation der Kohlensäureanhydratase durch den aus Rinderblut erhaltenen Aktivator (Kurve III), gemessen mit der WARBURGSchen Apparatur, wiedergegeben. Ohne Ferment zeigt der Stoff keine Beschleunigung der Dehydratation der Kohlensäure (Kurve I). Kurve II stellt die nicht aktivierte Fermentreaktion dar. Man sieht die außerordentlich hohe Aktivierung des Fermentes durch diese chemisch noch unbekannt Substanz und ihre charakteristische quantitative Wirksamkeit (Zunahme der Aktivierung proportional der Aktivatormenge bis zu einem Maximum bei 10 γ). Auch bei Messungen mit der „Boottechnik“ war eine aktivierende Wirkung der Substanz festzustellen. (Fig. 3, Kurve III u. V.)

Das negative Ergebnis von KIESE scheint im wesentlichen durch eine zu hohe Pufferkonzentration verursacht zu sein. In unseren Versuchen war die Aktivierung in einem Pyrophosphatpuffer vom $p_{\text{H}} = 8,28$ stets wesentlich geringer als in karbonathaltiger Bikarbonatlösung, bei hoher Pufferkonzentration (0,1 mol) sogar ganz negativ. Eine noch nicht geklärte Rolle scheinen die Schüttelgeschwindigkeit und der CO_2 -Druck bei der Roughton-Apparatur zu spielen. Für den Versuch in Fig. 3 ist der gleiche Aktivator benutzt worden wie bei Fig. 2; auch hier zeigt sich, daß bei dieser Meßanordnung in der bisherigen Versuchsanordnung der Aktivatoreffekt im allgemeinen geringer, aber in jedem Falle klar

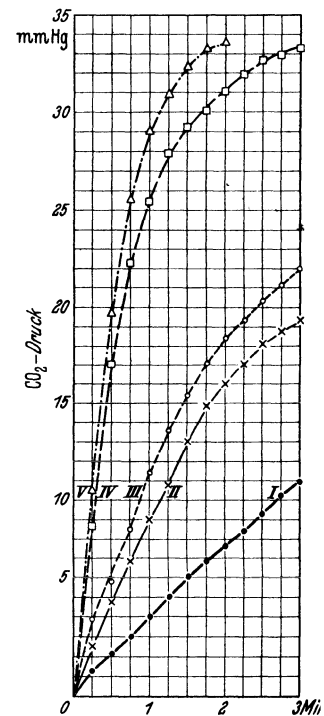


Fig. 3.

Fig. 2. Aktivierung der Dehydratationskatalyse des Fermentes durch den aus Rinderblut gewonnenen Aktivator, der selbst keine katalytische Wirksamkeit besitzt. Messung mit der WARBURGSchen Manometerapparatur. Im Hauptraum 3 ccm $\frac{m}{60}$ Phosphatpuffer vom $p_{\text{H}} 6,81$, in der Einkippbirne 1 ccm $\frac{m}{20}$ Natriumbikarbonat. Kurve I: + 0,2 ccm H_2O oder + 0,1 ccm H_2O + 0,1 ccm Aktivatorlösung (die Kurven fallen praktisch zusammen). Kurve II: + 0,1 ccm H_2O + 0,1 ccm Fermentlösung (1 γ für 4 ccm Reaktionsflüssigkeit). Kurve III: + 0,1 ccm Fermentlösung + 0,1 ccm Aktivatorlösung. Schüttelgeschwindigkeit: 150 Doppelschwingungen pro Minute. Temperatur: 15°. Mittelwerte aus 2 Meßreihen.

sichtbar ist. Er verschwindet auch nicht bei einer Schüttelgeschwindigkeit von 725 Doppelschwingungen pro Minute.

Man ist versucht, die Art der Wirksamkeit der Aktivatoren in Verbindung zu bringen mit der von uns gefundenen²⁾ zunehmenden Hemmung der Dehydratationskatalyse durch wachsenden Kohlendioxiddruck. Weitere Untersuchungen sollen Klarheit bringen.

Die Aktivatoren, deren Wirkung durch neutralisierte Zinksalze (auf 1 γ Aktivator höchstens etwa 0,04 γ Zn²⁺) gehemmt werden kann, vermögen die von MANN und KEILIN³⁾ gefundene vollständige Vergiftung des *Fermentes* durch Spuren ($2 \cdot 10^{-6}$ mol) von Sulfamiden (*Uliron*, *Pron-tosil*) nicht aufzuheben.

KIESE gibt irrtümlicherweise an, daß wir auch dem *Aneurin* Aktivatorwirkung zugeschrieben hätten.

Physiologisch-Chemisches Institut der Universität Berlin, den 7. März 1941.

MICHAEL LEINER. GERTRUD LEINER.

¹⁾ M. LEINER, Naturwiss. 28, H. 20 (1940).

²⁾ M. LEINER u. G. LEINER, Biol. Zbl. 60, H. 9/10 (1940).

³⁾ N. U. MELDRUM u. F. J. W. ROUGHTON, J. Physiol. (Brit.) 80 (1934).

⁴⁾ M. KIESE, Naturwiss. 29, H. 8 (1941).

⁵⁾ T. MANN u. D. KEILIN, Nature (Lond.) 146, 164 (1940).

Besprechungen.

Handbuch der Enzymologie. Herausgegeben von F. F. NORD und R. WEIDENHAGEN. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1940. XVIII, 1545 S. und 163 Abbild. 15 cm \times 23 cm. Preis brosch. RM 120,40, geb. RM 124.—.

Seit dem Erscheinen des Werkes „Die Fermente und ihre Wirkungen“ von C. OPPENHEIMER und R. KUHN in den Jahren 1925–1929 hat die Fermentforschung keine gleichzeitig umfassende und abgeschlossene Darstellung mehr erfahren. Inzwischen sind bedeutende Fortschritte erzielt worden. Viele von diesen Fortschritten, z. B. solche, die in der Aufklärung von enzymatischen Reaktionsmechanismen oder in der Klärung von Spezifitätsfragen erzielt worden sind, sind für den Außenstehenden verhältnismäßig schwer zu überblicken, da sie nur durch eine umfangreiche Verbreiterung des Tatsachenmaterials und unter weitgehender Spezialisierung der Arbeitsrichtungen möglich waren. Besonders aus diesem letzten Grund war es ein Bedürfnis, den erreichten Stand unter zusammenfassenden Gesichtspunkten zu betrachten. So ist das Erscheinen des Handbuchs der Enzymologie, das unter der Mitarbeit zahlreicher Forscher entstand, die auch an der Herausgabe der bekannten „Ergebnisse der Enzymforschung“ mitwirkten, besonders zu begrüßen. Vor allem ist anzuerkennen, daß es gelungen ist, das reichverzweigte Gebiet in seiner Gesamtausdehnung zu erfassen, ohne den Umfang des Werkes unhandlich zu gestalten. Das wurde erreicht durch Weglassung entbehrlichen historischen Materials, durch äußerste Beschränkung in der Darstellung des Methodischen, die, abgesehen von histochemischen Methoden, im wesentlichen einen Überblick über die einschlägige Literatur wiedergibt (vgl. Abschn. „Methodik der Enzymuntersuchungen“, TH. BERSIN), und durch eine zweckmäßig gelockerte Gliederung der Gesamtanlage des Werkes, die sich nicht in einer starren Systematik erschöpft, sondern sich ganz den Forderungen des Stoffes anpaßt.

Unter den 26 Abschnitten, in die der Gesamtstoff aufgeteilt ist und die hier nicht im einzelnen erörtert werden können, findet man solche allgemeinen und grundlegenden Inhalts, solche, die die Systematik der Enzyme, und solche, die ausgewählte Probleme behandeln. In den allgemeinen Kapiteln wird u. a. die physikalische Chemie der Enzyme behandelt („Optische Spezifität von Enzymen“ [W. KUHN], „Physikalische Chemie und Kinetik“ [E. A. MOELWYN-HUGHES] und „Oxydations-Reduktions-Potentiale“ [R. WURMSER]). Sehr begrüßenswert wäre es gewesen, wenn auch die Thermodynamik der biologischen Reaktionen eine besondere Berücksichtigung gefunden hätte. Ferner sind unter den allgemeinen Kapiteln zu nennen: „Methodik der Enzymuntersuchungen“ und „Effektoren der Enzymwirkung“ (TH. BERSIN), „Fermentmodelle“ (W. LANGENBECK) und „Die Chemie der kristallisierten Enzyme“ (J. H. NORTHROP). Abschnitte der systematischen Enzymologie behandeln: „Esterasen“ (R.

AMMON), „Phosphatasen“ (H. ALBERS), „Lecithasen“ (A. ERCOLI), „Nucleasen“ (H. BREDERECK), „Carbohydrasen“ (R. WEIDENHAGEN), „Amidasen und Proteasen“ (TH. BERSIN), „Die Kohlensäureanhydrase“ (F. J. ROUGHTON) sowie „Die Enzyme der Desmolyse“ (W. FRANKE). Die Enzyme der Desmolyse nehmen eine Sonderstellung ein, weil das Gebiet ein so kompliziertes und umfangreiches ist und weil hier auch die historische Entwicklung von besonderem Interesse für das Verständnis der gegenwärtigen Situation ist. In seiner gründlichen Darstellung, die allerdings an den Leser einige Ansprüche stellt, gibt FRANKE einen ausgezeichneten Überblick. Die chemische Konstitutionsermittlung an bekannten Vertretern der Desmolasen ist in dem Abschnitt „Chemisch-konstitutive Ergebnisse an Fermenten“ (H. THEORELL) behandelt. Die Darstellungen gesonderter Fragenkomplexe umfassen die Abschnitte: „Über die Gerinnung des Blutes“ (H. DYCKERHOFF), „Glykogenolyse“ (J. K. PARNAS), das kritische Kapitel „Alkoholische Gärung“ (F. F. NORD), „Oxydative Gärungen“ (K. BERNHAUER) und die aktuellen Kapitel über „Fermente und Immunchemie“ (O. WESTPHAL) sowie „Enzymologie der Tumoren“ (K. KÖHLER). In den Abschnitten „Grundlagen der protoplasmatischen Enzymverankerung“ (F. DUPSIVA), „Enzymatische Histochemie“ (H. HOLTTER und K. LINDERSTRØM-LANG) und „Enzymatische Adaption“ (K. LINDERSTRØM-LANG) ist der Anschluß der Enzymologie an die Biologie besonders eng gestaltet, während in dem umfangreichen Beitrag „Technologie der Enzyme“ (A. HESSE) die Beziehungen der Enzymologie zur industriellen Praxis behandelt werden. Naturgemäß kann es sich bei dem letztgenannten Abschnitt, in Anbetracht der außerordentlichen Weitläufigkeit des Gebietes, nur um eine Herausschälung der enzymatischen Vorgänge aus den technologischen Prozessen handeln, aber gerade dadurch wird sowohl dem Wissenschaftler als auch dem Praktiker ein guter Überblick über das Wesentliche gegeben.

Die Darstellung des Stoffes, die in den meisten Abschnitten bewußt den eigenen Blickpunkt des Verfassers zur Geltung kommen läßt, vermittelt einen unmittelbaren und lebendigen Eindruck von der Entwicklung und der Problematik der Enzymologie; das Werk ist mit seinen zahlreichen Literaturhinweisen ein äußerst wertvoller und unentbehrlicher Schlüssel zu diesem Wissensgebiet. K. ZEILE.

GSTIRNER, F., **Chemisch-physikalische Vitaminbestimmungsmethoden für das chemische, physiologische und klinische Laboratorium.** 2., umgearbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Ferdinand Enke 1940. XII, 226 S. Mit 56 Abbild. und 52 Tabellen. 16 cm \times 24 cm. Preis Geh. RM 15.—, Lw. RM 16,60.

Alle, die Vitaminbestimmungen auszuführen haben, werden das Erscheinen der neuen Auflage in ihrer er-

weiterten und umgearbeiteten Form begrüßen. Die besprochenen Methoden sind entsprechend neuen Forschungsergebnissen einer Durchsicht unterzogen worden, neue Methoden sind aufgenommen worden, dafür andere, weniger gebräuchliche fortgelassen worden. Die spektrographischen Methoden zur Bestimmung der Vitamine A und D werden im Gegensatz zur ersten Auflage ausführlich behandelt. Durch kritische Besprechungen der Methoden in den einleitenden Abschnitten soll die Auswahl der jeweils am besten geeigneten Methode erleichtert werden, entsprechend sind die seltener angewandten Methoden durch Kleindruck gekennzeichnet worden. Das Buch kann bestens empfohlen werden.

HEINZ DANNENBERG.

GÖTZE, KURT, Kunstseide und Zellwolle nach dem Viskoseverfahren. Berlin: Julius Springer 1940. XI, 644 S. u. 349 Abb. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 57.—, geb. RM 59.70.

Das Erscheinen einer ausführlichen Monographie über die Herstellung von Kunstseide und Zellwolle nach dem Viskoseverfahren ist sehr zu begrüßen. Es gibt wohl keinen Industriezweig, der sich in den letzten Jahren in Deutschland so außerordentlich entwickelt hat wie die Kunstseiden- und vor allem die Zellwollerzeugung. An dieser Entwicklung hat das Viskoseverfahren besonderen Anteil, werden doch etwa 90% aller Kunstfasern der Welt nach diesem Verfahren hergestellt. Eingehendere Beschreibungen dieser so wichtigen Kunstfasererzeugung fehlten bisher fast vollkommen; das lag nicht zuletzt in einer übertriebenen Geheimhaltung der in den einzelnen Fabriken erarbeiteten Erzeugungsweisen und der bis vor kurzem außerordentlich konservativen Einstellung dieser mehr auf empirischen Erfahrungen aufgebauten Industrie. Die enorme Ausweitung der Produktion seit 1935 und die Fortschritte der wissenschaftlichen Durchdringung des Problems haben aber zu einer Überprüfung der bisherigen Arbeitsweisen geführt und eine stürmische Entwicklung gebracht, die sicher noch nicht abgeschlossen ist. Es erscheint daher zunächst gewagt, mitten in dieser Entwicklung ein Werk von dem Umfange des GÖTZESchen erscheinen zu lassen, aber gerade in der Zusammenfassung und Gegenüberstellung der älteren Verfahren und des bisher erreichten Neuen ist das vorliegende Buch all denen, die auf diesem Gebiet arbeiten, eine wertvolle Unterstützung, und zeigt auf der anderen Seite den Fernerstehenden sehr

eindrucksvoll den heutigen Stand der Technik dieser in letzter Zeit sehr populären, aber in ihrem eigentlichen Wesen recht unbekanntem Industrie.

Da der Autor selbst längere Zeit in der Kunstfasererzeugung tätig gewesen ist, konnte vieles aus eigener Anschauung dargestellt und so der Fehler vieler technischer Monographien, die lediglich aneinanderreihende Beschreibungen vorliegender Patente von teilweise recht untergeordneter Bedeutung sind, weitgehend vermieden werden.

Nach einer eingehenden Darstellung der geschichtlichen Entwicklung des Viskoseverfahrens wird das Ausgangsmaterial, die Cellulose, ausführlich beschrieben. Neben wissenschaftlichen Erörterungen über den Aufbau der Cellulose, wobei den Gedankengängen STAUDINGERS gefolgt wird, ist der Herstellung und den Eigenschaften des Zellstoffs, dem fast ausschließlich bei diesem Verfahren verwandten Celluloserohstoff aus Holz, eine breite Behandlung eingeräumt. Dann folgt, ebenfalls sehr ausführlich, die Herstellung der Viskose, der Spinnlösung, und in einem besonderen Kapitel sind die in den letzten Jahren gerade auf diesem Gebiet sehr zahlreichen Entwicklungen und Verbesserungen beschrieben.

Das letzte Drittel des Buches ist den Spinn- und Nachbehandlungsverfahren sowie den Eigenschaften und Untersuchungsmethoden der Viskosefasern gewidmet. Während der Spinnvorgang, der wichtigste Teil der ganzen Kunstfaserherstellung, in einem Kapitel von nur 13 Seiten behandelt wird, sind der ausführlichen Beschreibung der chemischen und technischen Nachbehandlung der künstlichen Fasern mehrere Kapitel eingeräumt; ein deutliches Zeichen dafür, wie stark einerseits die Zurückhaltung der Kunstfaserindustrie in der Veröffentlichung selbst in Patenten über dieses Gebiet ihrer Erzeugung ist, und wie wenig wir andererseits über den eigentlichen Entstehungsprozeß einer künstlich ersponnenen Faser wissen.

Die Patentübersicht am Schluß ist — wie der Referent sich selbst überzeugen konnte — sehr vollständig und wird vor allem dem Fachbearbeiter gute Dienste leisten.

Der Stil des Buches ist einfach und klar und die Ausstattung mit vielen, zum größten Teil aus der Industrie stammenden Bildern ist ausgezeichnet.

ERICH CORRENS.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Wie die modernste Form des Reisens auch für die Geographie nutzbar gemacht werden kann, schilderte Herr E. SCHEU, Königsberg i. Pr., am 3. II. 1940 in seinem Vortrag **Mit Luftschrift und Flugzeug in Südamerika**. Dem Vortr. war es vergönnt, an der letzten glücklichen Fahrt des Luftschiffes „Hindenburg“ nach Südamerika teilzunehmen. Auf dem Kontinent selbst hat er noch fast 10000 km mit Flugzeugen des der Lufthansa nahestehenden Condor-Syndikats zurücklegen können. Besonderen Untersuchungen dienten Fahrten mit der Eisenbahn, mit dem Auto und mit Flußbooten.

Der Kontinent wurde bei Pernambuco erreicht, einer Stadt, der die kolonialen Momente gänzlich fehlen. In der Umgebung dagegen findet man die Kolonialwirtschaft der Portugiesen überall: Zuckerrohrplantagen und — in einer zweiten, trockeneren Zone — Baumwollanbau, der auch hier in den inneren Tropen zu einer starken Industrialisierung geführt hat. Das Luftschiff fuhr nun an der Küste entlang, die bis Bahia durch Kokospalmen charakterisiert ist; die

Küste selbst ist auf dieser Strecke ein Tafelrand mit merkwürdigen Abtragungsformen. Bahia, die „Stadt der hundert Kirchen“, ist im Gegensatz zu Pernambuco eine typische alte Kolonialstadt, architektonisch barock bestimmt. Die Stadt liegt auf einer Halbinsel an einer großen Bucht, an deren innerem Ende sich ein berühmtes Tabakgebiet mit dem Zentrum San Felix ausbreitet. Der Tabakanbau wird hier in bäuerlicher Form durchgeführt; die Hauptarbeitskräfte sind Neger. Auch in dem südlich Bahia gelegenen Kakaogebiet herrscht bäuerliche, nicht Plantagenwirtschaft.

Der Weiterflug zeigt eine Änderung der Küstenlandschaft. Bergland tritt auf, dem sich ein immer ausgedehnteres Küstenvorland mit Zuckerrohrpflanzungen vorlegt. Von Rio de Janeiro (wo die Zeppelinfahrt zu Ende war) bis Santos wechselt der Anblick wieder; das Vorland verschwindet, ertrunkenes Bergland bildet zahlreiche Buchten.

Von Santos, dem größten Kaffeehafen, unternahm der Vortr. einen Vorstoß ins Innere des Landes, den er eingehend beschrieb. Nach Überwindung des Küsten-

gebirges gelangte man nach der Millionenstadt São Paulo. Sie liegt auf der Hochebene, aber doch in einer Art Becken, da sie gegen das Innere zu wieder von einem Gebirgszug umgeben ist. Wenn man diesen überschreitet, kommt man in ein großes Anbaugesbiet und weiterhin in eine Schichtstufenlandschaft, die zu einem aus Sandstein, vulkanischen Decken und Aschen bestehenden Tafelhochland hinaufführt. Der Vortr. schilderte 3 Typen von Vegetationslandschaften, deren Ausbildung vom Boden abhängig ist. Die allerschlechtesten Böden tragen ein Grasland, Camp genannt, mit sehr minderwertigem Gras. Bessere Böden sind mit Savanne bedeckt, und zwar Palmensavanne; die Palmen sind Überbleibsel des durch die Brandkultur vernichteten Baumbestandes. Die dritte Form, auf außerordentlich fruchtbaren Böden, ist üppiger Urwald, der gerodet wird.

Der Vortr. ging dann auf die wirtschaftliche Struktur des Staates São Paulo ein. Die alte, noch in der Zeit der Sklavenhaltung aufgebaute Kaffeekultur ist infolge der Auslaugung der Böden nur noch wenig rentabel; andere Kulturen (Apfelsinen, Eukalyptus) kommen auf. Eine wirtschaftliche Auflösung macht sich geltend, die einen günstigen Boden für aufkommende Industrialisierung, besonders Textilindustrie, bietet. Der Baumwollanbau wird, vor allem seit dem Zusammenbruch des Kaffeemarktes im Jahre 1929, immer umfangreicher, und Neurodungen auf bäuerlicher Grundlage führen zu einer Ausweitung des Wirtschaftsraumes, an der auch deutsche Kolonisten beteiligt sind.

Nun ging es zurück zur Küste, über Porto Alegre, die Hauptstadt von Rio Grande do Sul, nach Buenos Aires, von wo nun mit dem Flugzeug eine Überquerung des Kontinentes bis nach Santiago de Chile durchgeführt wurde. Man überflog zunächst die Pampa, nach etwa 1000 km die bewässerten Weinbaugebiete am Fuße der Kordillere, dann diese selbst, wobei Flughöhen bis zu 6800 m erreicht wurden. Der Forscher gewann durch diesen Flug einen plastischen Überblick über die landschaftliche Gliederung des Kontinentes und insbesondere aufschlußreiche Einsichten in das gewaltige, von dem 7000 m hohen Gipfel des Aconcagua überragte Gebirge.

Herr P. VAGELER, Berlin, brachte am 19. II. 1940 sehr inhaltsreiche Ausführungen **Zur Geologie und Bodenkunde Zentral-Brasiliens**. Der Vortr., der fast 7 Jahre Chef der bodenkundlichen Landesaufnahme des brasilianischen Staates São Paulo war und das weite Gebiet vom Atlantischen Ozean bis Peru, von Argentinien bis an den Breitengrad des mittleren Minas Geraes nach allen Richtungen bereist hat, vertrat die Meinung, daß wir bodenkundlich von diesem Lande nicht viel wissen. In den brasilianischen Archiven liegt ein reicher Schatz von landeskundlichen Daten, der aber infolge der Schwierigkeiten der Sprache für die europäische Wissenschaft noch nicht gehoben ist.

Die Grundlage für die bodenkundliche Erforschung Brasiliens bildet eine Aufnahme in sog. „Wege-Diagrammen“, die in den letzten Jahren mit magnetischen Messungen gekoppelt wurden und in São Paulo besonders dicht — mit 20 km Abstand der Diagramme — egelegt worden sind.

Der Vortr. ist bei seinen Untersuchungen zu der Ansicht gekommen, daß es bei der Bildung der Böden nicht etwa allein auf das Material ankommt, auch nicht auf das Luftklima, sondern darauf, wieviel Wasser und Wärme im Boden selbst wirken. Das aber ist von der Gestaltung der Oberfläche abhängig: bei starkem Gefälle fließt das Wasser ab, und so kann z. B. bei humidem Luftklima arides Bodenlima herrschen.

Abhängig von den Gefällsgradienten entwickelt sich eine Serie **gesetzmäßig** verknüpfter Bodenprofile, die sich konzentrisch um das einzelne Ausgangsgebiet gruppieren.

An Hand eines schematischen Profils von Santos bis Curumbá an der Grenze von Paraguay, bei dem durch Übereinanderkopieren von 4 Schnitten eine praktische Vereinheitlichung des Bildes erreicht war, erläuterte der Vortr. die geologische Entwicklung. Die an der Ostküste des südamerikanischen Kontinentes hochgepreßten kristallinen Schiefer (Gneise, Granite, alte Gabbros) verschwinden westwärts unter jüngeren Gesteinen, um nachher für eine kurze Strecke wieder zu erscheinen. In der so gebildeten „Wanne“ liegen mit leichtem Fall nach Westen grobe, westwärts feiner werdende marine Ablagerungen des Devon, darüber eine Folge von Sandsteinen mit Zeichen einer permokarbonischen Vereisung, deren Zentrum das hohe Gebirge des Ostens war. Später hat dann eine Austrocknung dieses Beckens stattgefunden (permische bis triassische Ablagerungen mit Petroleumfunden). Es folgte eine ungeheuerliche Wüstenperiode, die wahrscheinlich bis in die Mitte der Kreidezeit reichte; es entstanden äolische Sandsteine, durchbrochen von basischen Laven, die ein Netzwerk von Decken, Intrusionen usw. bilden. In der mittleren Kreide tritt ein Klimaumschwung ein, charakterisiert durch Ablagerungen der Bauru-Formation in 3 Etagen: fluviatile Sande, darüber kalkhaltige Sandsteine mit ungeheuren Fossilienmassen, darüber wieder tertiäre Aschensandsteine. Im übrigen zeigt das Tertiär im Innern des Landes nur geringe Bildungen, ebenso das postpleistozäne Alluvium, das sich durch große Torflager auszeichnet.

Nun folgten durch Bilder veranschaulichte Einzelbetrachtungen, die die eigentlich bodenkundlichen Probleme herausstellten. Das Litoral Brasiliens wurde vom Vortr. als ein Schulbeispiel für das Versagen der rein klimatischen Bodentheorie angeführt. Hier finden sich auf den Höhen des Gebirges braune Erden, an den Hängen Roterden und Laterite, in den Senken riesige Sphagnummoore, unter denen sich in 3 Etagen mächtige Ortsandsteinlagen befinden. Der eingangs betonte Einfluß des Reliefs ist vollkommen deutlich.

Die Vegetation in São Paulo ist fast durchweg sekundär. Das Land ist durch menschlichen Einfluß — schon durch die Indianer — versteppt; früher herrschte Trockenwald. In Matto Grosso dagegen haben wir tatsächlich primäre Campos-Vegetation, die eine starke Bodenvernichtung durch die Erosion erlaubt.

Interessante Bildungen sind die Terra róxa- (spr. roscha) oder Violettböden (nicht zu verwechseln mit der bekannten Terra rossa), die aus den triassischen Diabasdecken entstehen. Diese Decken liegen im Wechsel mit Sanden, so daß sich Mischungen aller Art ergeben. Die reinen Violettböden sind bis in Tiefen von 10 m sehr durchlässig, aber doch wasserhaltend; es sind die nicht nur chemisch, sondern auch physikalisch reichsten Böden. Wo andererseits die Sande rein vorkommen, tragen sie nur eine sehr elende Vegetation.

Zum Schluß schilderte der Vortr. die horizontalen Steppen, die wegen mangelnden Abflusses weithin versumpft und vermoort sind. Die Böden hier sind das Beste vom Besten, *sofern sie entwässert werden*; sie liefern dann geradezu ungeheuerliche Ernten, so daß das bisher noch recht dünn besiedelte Land große Zukunftsmöglichkeiten in sich birgt.

Am 9. III. 1940 sprach Herr G. BRAUN, Berlin, über **Das nordeuropäische Staatensystem**. Einleitend betonte er, daß man die wahre Situation der nordischen Länder

nur erkennen kann, wenn man sich ihre natürlichen Beziehungen zum Polargebiet klar macht. Entscheidend ist die Begünstigung durch das warme atlantische Wasser, welches bewirkt, daß die atlantische Küste immer eisfrei ist. Die Waldgrenze greift infolgedessen hier weiter nach Norden als irgendsonst auf der Erde, und die anderwärts so ausgedehnte Tundra-region verschwindet fast völlig. Die nordischen Länder liegen also in der großen nördlichen Waldzone, die durch Asien bis an den Stillen Ozean reicht, und bilden — als Folge der leichten Zugänglichkeit der Wälder von der Küste her — die größte Rodungslichtung dieser Zone. Dazu kommt, daß hier die eiszeitlichen Ablagerungen eine Bodendecke geschaffen haben, wie sie sonst in diesem Waldgürtel nicht vorkommt.

Die in diesem Gebiet gelegenen politischen Einheiten Norwegen, Schweden und Finnland (Dänemark wurde vom Vortr. nicht behandelt), bilden ein wirkliches *System* von Staaten, das nun betrachtet werden soll. Der Ostseeraum ist ein Ausstrahlungsgebiet der nordischen Rasse gewesen, andererseits aber auch ein Zuwanderungsgebiet östlicher Völker. Aus dieser Doppelrolle leitet sich die Anordnung der Bevölkerungselemente — Norweger, Schweden, Finnen — ab. Im westlichen Finnland und an der finnischen Südküste findet sich eine starke schwedische Durchmischung, während im Norden die finnische Bevölkerung ziemlich stark nach Schweden hinübergreift. Dadurch ist hier ein gewisser Nationalitätenegensatz entstanden; das Hinzutreten der Lappen macht das Bild noch komplizierter.

Die Wirtschaft der 3 Länder ist im großen ganzen einheitlich, nur Norwegen hat eine kräftig entwickelte Seeschiffahrt und -fischerei. Auf jeden Fall aber bildet die Landwirtschaft, insbesondere der Ackerbau, die Grundlage des wirtschaftlichen Lebens; durch Zucht-ergebnisse wurde eine bedeutsame Verschiebung des Getreideanbaues nach Norden erzielt. Der zweite große Erwerbszweig ist die Holzwirtschaft mit ihrer immer mehr intensivierten Ausnutzung durch Zellulose- und Papierfabrikation. Der argen Waldverwüstung des 19. Jahrhunderts ist durch eine allgemeine Bestandsaufnahme und darauf basierende Planwirtschaft gesteuert worden. Drittens ist die Ausnutzung der reichen Bodenschätze zu nennen, vor allem der großen Eisenerzlager des Nordens sowie mannigfacher anderer Erzvorkommen (z. B. Arsen, Gold, Kupfer- und Schwefelkies, Nickel), deren Verbreitung der Vortr. an Hand zahlreicher Karten darlegte. Kohlen haben die Länder nicht. Dafür stehen ungeheure Wasserkraft zur Verfügung, die in steigendem Maße genutzt werden.

Jedoch muß darauf hingewiesen werden, daß sich diese Länder im allgemeinen nicht selbst ernähren. Getreide- und Kohlezufuhren sind erforderlich, und so besteht eine weitgehende Abhängigkeit von den Ergänzungs- und Zuschußräumen, die man früher an der Ostsee, seit dem Weltkrieg in steigendem Maße jenseits des Ozeans suchte.

Der Vortr. ging dann dazu über, die innerhalb dieses Rahmens doch auch vorhandenen landschaftlichen *Unterschiede* herauszuarbeiten. Vor allem die verschiedenen Eisverhältnisse der Meere sind von ausschlaggebender Bedeutung. Die Ostsee ist kalt und salzarm, der Bottnische und der Finnische Meerbusen frieren in ihren inneren Teilen zu. Die atlantischen Gewässer dagegen sind warm und salzreich und von riesigen Fischschwärmen belebt.

In Norwegen reicht das im Norden stark vergletscherte Gebirge bis nahe an das Meer, die Städte

sind dicht an das Gebirge gedrängt. Kahlheit der Landschaft ist überall typisch. Im Hintergrund der Fjorde ändert sich das Bild, Anbau tritt auf. Das innere Norwegen endlich ist Waldland, denn man darf nicht vergessen, daß sich der schwedische Wald unmittelbar in den norwegischen fortsetzt. Im Südosten bildet eine gemischte Wald- und Ackerlandschaft die eigentliche Herzlandschaft Norwegens.

Die schwedische Landschaft zeigt idyllischere Züge. Es ist eine Waldlandschaft mit eingestreuten Rodungen. Die Höfe sind über das Ackerland verteilt, Dörfer sind kaum vorhanden. Selbst eine moderne Großstadt wie Stockholm ist stark naturverbunden. Die Wälder im nördlichen Schweden sind natürlich schlechter. Die — hier spitzwipflige — Kiefer ergibt in Verbindung mit Rentiermoos und Sandflächen eine Art Heide-landschaft.

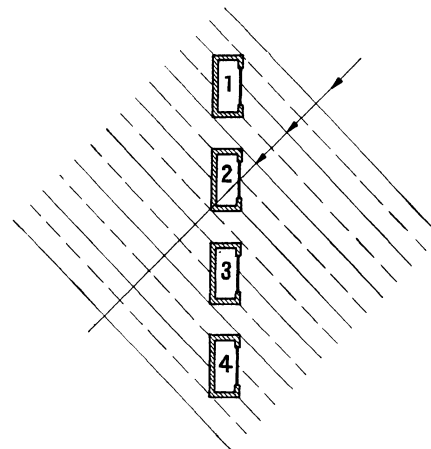
Finnland reicht im Norden über die Waldzone hinaus. Im übrigen ist das Landschaftsbild bekannt: der Schärengürtel an der Küste, Wälder und Seen im Innern. Starker Schneefall ist charakteristisch, doch werden die Straßen durch motorisierte Schneepflüge immer offengehalten.

Trotz der eingangs betonten einheitlichen Züge in der Wirtschaft der 3 Länder sind alle Versuche, auch eine *politische* Einheit zu schaffen, gescheitert. Die Großmachtperiode Schwedens ist durch Erschöpfung des Landes zu Ende gegangen, und auch in neuester Zeit hat es nur schwache Ansätze einer gemeinsamen nordischen Aktivität gegeben. So stehen die nordischen Staaten jeder für sich schwierigen Aufgaben gegenüber. In Rußland, das lange mit seinen inneren Verhältnissen beschäftigt war, treten Finnland gegenüber die alten Bestrebungen nach einem eisfreien Hafen wieder hervor; außerdem spielen hier Machtprobleme, insbesondere die Sicherung des Ausgangs von Leningrad, eine Rolle. Die Norweger wiederum haben sich ein Großreich um das Europäische Nordmeer geschaffen (Island, Grönland), das ebenfalls seine eigenen Probleme hat. Jedenfalls ist es mit der abseitigen Lage der Nordstaaten vorbei. Sie befinden sich heute zwischen den Fronten und brauchen notwendig das Verständnis für die wirklichen Machtverhältnisse und die Einsicht, wo für sie die Ausgleichsräume liegen.

KURT KAEHNE.

Berichtigung.

In dem Aufsatz „Gerichteter Schall“ von F. A. FISCHER in Heft 10 ist die Fig. 2 in verkehrter Stellung abgedruckt worden. Sie folgt hier noch einmal in der richtigen Anordnung:



DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

4. April 1941

Heft 14/15

Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Vögeln¹⁾.

Von O. KOEHLER, Königsberg i. Pr.

Seit Menschen denken, sehen wir sie mit den Fragen des tierischen Innenlebens beschäftigt. Religionsstifter, Dichter und Philosophen aller Jahrtausende haben sich darüber ausgesprochen; auch heute ist kein Mangel an immer neuen Theorien, von der Seelenwanderung bis zur Entelechie, Archetypenlehre usw., die alle nichts gemeinsam haben außer der Bestimmtheit, mit der sie vorgetragen werden, und ihrer Unbeweisbarkeit. So begreift man es, wenn namhafte Vertreter der heute bereits anerkannten Zweige naturwissenschaftlicher Lebensforschung sagen, es könne eine Tierpsychologie als Wissenschaft überhaupt nicht geben, jedes Ausmalen tierischen Innenlebens unterbleibe am besten ganz, da ja doch kein Mensch tierische vermeintliche Seeleninhalte erleben könne.

Aber liegt es beim Menschen nicht grundsätzlich genau so? Jeder Mensch kann auch nur sich selbst erleben; vom Säugling wissen wir nichts, fremde Völker sind unsagbar schwer zu beurteilen, ja unsere nächsten Mitmenschen können wir, leider nicht ganz selten, sträflich mißdeuten. Und doch leistet die Psychologie des Menschen, soweit sie sich naturwissenschaftlicher Methoden bedient, uns heute schon praktisch brauchbare Voraussetzungen, z. B. in der Fliegereignungsprüfung. Die Ergebnisse der vergleichenden Sinnesphysiologie der Tiere sind allgemein anerkannt, wir können z. B. über das Farbensehen der Elritze und Honigbiene (K. v. FRISCH) ebenso sichere Aussagen machen wie über das des Menschen. Aus der vergleichenden Physiologie des Zentralnervensystems kommen uns entscheidende Anregungen (E. v. HOLST). Die vergleichende Verhaltensforschung hat aus den Freilandbeobachtungen guter Naturkennner und aus den Erkenntnissen einiger begnadeter Tierhalter (CH. O. WHITMAN, O. HEINROTH, K. LORENZ) sehr viel Neues gelernt, das die zeitweise etwas erstarrte Experimentalforschung im Laboratorium auflockert und mit neuen Fragestellungen belebt.

Daß alle die anfangs erwähnten vorwegnehmenden Scheinlösungen uns keinen Schritt weiterführen, das hat die wahrlich hinreichend lange Erfahrung gelehrt. Doch entsteht vor unseren Augen aus den soeben genannten Arbeitsrichtungen eine neue *Vergleichende Psychologie* als Naturwissenschaft, die des erklärenden Zusatzes „der Tiere und des Menschen“ als einer Selbstverständlichkeit nicht mehr bedarf. Sie allein wird uns die

¹⁾ Nach einem Vortrag, gehalten am 8. April 1940 im Rahmen der „Dahlemer Biologischen Abende“ der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

Synthese zwischen Natur- und Geisteswissenschaften bringen, auf die wir vergeblich warteten, seit die jungen Naturwissenschaften erfolgreich neben die älteren Geisteswissenschaften traten. Nur diese Vergleichende Psychologie wird uns der einst die Stammesgeschichte auch des Menschengesistes aufzeigen, indem sie nach streng naturwissenschaftlicher Methode (vergleichende Induktion und Experimentalanalyse, MAX HARTMANN) den seelischen Vermögen nachgeht, welche Tiere verschiedener Organisationsstufe miteinander und mit dem Menschen gemeinsam haben.

Nicht nur alles Körperliche, von den Zellen mit ihren Chromosomen und Erbfaktoren über den Stoffwechsel, über Entwicklung und Fortpflanzung bis hinauf zu den feinsten Koordinationsleistungen des Zentralnervensystems, teilen, wenn auch immer artverschieden genug, Tiere und Mensch miteinander, sondern ebenso gewiß, mit einer einzigen sogleich zu erwähnenden Ausnahme, auch alles Seelische. Wir kennen alle menschlichen *Sinne* auch bei den Tieren; die Lehre von der *Orientierung* im Raume und in der Zeit läßt sich erfolgreich überhaupt nur für Tiere und Mensch gemeinsam abhandeln. Alle unsere *Affekte*, wie Liebe, Haß, Angst, Zorn, Lust und Ekel, spiegeln sich unzweideutig in vergleichbaren Zügen tierischen Verhaltens wider. Und Tag für Tag wird es deutlicher, wie fruchtbar K. LORENZ' Analyse der sog. Instinkte, die er als Verschränkungen angeborener autonomer *Instinktbewegungen*, ebenfalls angeborener, jedoch von außen her gesteuerter *Taxieen* und von allem individuell *Erlernen* zu deuten lehrte, auch für den Menschen ist. LORENZ hat bei den Schwimmenten bereits viele der so definierten Instinktbewegungen katalogisiert und gezeigt, daß sie zu stammesgeschichtlicher Beurteilung der Artverwandtschaften genau so wichtig sind, wie die Merkmale des Körperbaues. So können wir sie, nebst ihren Auslösern, deren ererbte bzw. erworbene Anteile wir streng auseinanderzuhalten beginnen (angeborenes Schema — Prägung — Erlerntes), auch in uns selbst ebenso auffinden. Wir lernen ihre mitteilende Bedeutung als wichtigste Grundlage allen sozialen Verhaltens kennen, und abermals entdecken wir in uns selbst unerhört viel in Strenge mit den tierischen Zügen Vergleichbares. Gerade aus der vergleichenden Instinktforschung wird der Mensch entscheidende Dinge von größter weltanschaulicher und praktischer Bedeutung zu lernen haben. Die Erhaltung der Menschenvölker in ihrem Daseinskampf wird davon abhängen, ob sie auf ihrer höheren Stufe der Ethik jene erhaltensmäßige Zielstrebig-

keit, z. B. ihrer Fortpflanzungsinстинkte, wieder erreichen werden, die sie verloren, als sie dem Verstand die Kontrolle ihrer Instinkthandlungen zugestanden.

Nur ein Gebiet ist bisher unangegriffen geblieben, und dieses erscheint uns heute als einziger rein menschlicher Sonderbesitz: die artikulierte Sprache als Grundlage menschlicher Begriffsbildung und damit aller höheren, allein menschlichen Seeleninhalte bis hinauf zu Wissenschaft, Kunst und Religion. Trotz aller Mitteilungsbedeutung tierischer Instinktbewegungen und tierischer Laute hat doch noch *kein Tier eine Wortsprache*, und somit auch keinen Geist. Deshalb hat, so glaube ich, solange allein die Geisteswissenschaften sich mit der Sprache befaßten, noch niemand etwas Bleibendes über den Ursprung der Sprache aussagen können. Am erwachsenen Menschenleib kann der Anatom keine Entwicklungsgeschichte treiben, und nie hätte er Furchung, Keimblätterbildung und Organdifferenzierung aus dem Bau des fertigen Körpers herleiten oder voraussagen können; er mußte vielmehr Entwicklungsgeschichte treiben, die ihm, genau umgekehrt, erst das Endstadium begreiflich machen konnte. Innerhalb einer Stufe läßt sich immer nur bestenfalls beschreibendes und ordnendes Verständnis erzielen; um zu erklären, muß man auf tiefere Stufen zurückgreifen. Die Naturforscher sind sich heute über die Stammesgeschichte des Menschenkörpers in den Grundzügen einig, und allein der Geist des mitteleuropäischen Philosophen sollte diskontinuierlich und fertig in die Welt gesprungen sein, wie Athene aus dem Haupte des Zeus? Auch der Geist ist ein Erzeugnis des Lebendigen; alles Lebendige aber hat seine Stammesgeschichte. Allein bei den Tieren können wir die Vorstufen des Menschengeistes suchen; und was wir da bei ihnen finden, das erkennen wir gleichlautend auch in uns selbst als *vorsprachliche Grundvermögen*, auf die uns erst der Vergleich mit dem Tier aufmerksam macht. Erleben wir nicht unseren Einfall, etwa die lange vergeblich gesuchte Lösung einer wissenschaftlichen Aufgabe, plötzlich als subjektive Tatsache, *noch ehe* er in Worte gefaßt ist? Dem beglückenden „Ich hab's“ folgt erst das Suchen nach dem sprachlichen Ausdruck, das noch manches Ringen kosten kann. Alles Sinnlich-Anschauliche, das wir in seinem Reichtum erlebnismäßig verfügbar halten, geht in den Einfall ein, und keine Sprache vermag es zu erschöpfen. Die Anweisung des Tischlermeisters an seinen Lehrling, des Gesanglehrers an seinen Schüler („der Ton muß in der Maske sitzen“) sind in ihrer sprachlichen Form deshalb wissenschaftlich unverständlich bis unverständlich, weil der Meister von der exakten Physik und Chemie des Holzes, bzw. von der Anatomie und Physiologie der Stimme herzlich wenig versteht. Das schadet dem Unterricht jedoch wenig oder nichts, denn der Schüler versteht seinen Meister ausgezeichnet. Das, was er meint, sitzt dem Lehrling sozusagen

in den Fingerspitzen, die Messer und Hobel führen, bzw. im Erlebnis des Sichabmühens um die richtige Tonerzeugung. Alle Zunftsprachen sind voll von solch wissenschaftlich unhaltbaren Bildern und Symbolen, die nur für den einen Sinn erhalten, der selbst sich um das körperliche Können müht. Wie groß ist ferner der Unterschied zwischen dem persönlichen Erlebnis eines Verkehrsunfalls, der Bruchteile einer Sekunde währte, und den stundenlangen Vernehmungen, Protokollen und Rekonstruktionsversuchen bei der Bestandsaufnahme und hinterher vor Gericht. Bei einem Kampf Mann gegen Mann denken Menschen sicher sehr wenig, Tiere gar nichts, und doch kämpfen Tiere oft schlagfertiger als Menschen. Über allen sprachlichen Ausdrucksmöglichkeiten vergessen wir nur zu leicht all die unzähligen, rein sinnlichen Vorformungen dessen, was die Sprache hinterher mühsam und oft inadäquat genug nachzubilden sich bemüht.

So lohnt es sich wohl, bei Tieren, die sich ohne Worte und ohne Geist, sonst aber genau wie wir und oft erfolgreicher als wir in demselben dreidimensionalen Raume und derselben eindimensionalen Zeit zurechtfinden, nach solchen vorsprachlichen Grundvermögen zu fahnden, die in unserer Stammesgeschichte Voraussetzungen für unsere Geistesentwicklung gewesen sein müssen. Das sei hier auseinandergesetzt am Beispiel der menschlichen Geistestätigkeit, die wir das *Zählen* nennen.

Ein noch nicht ganz 4-jähriges Kind, dem soeben bei knappster, fast widerwillig gegebener Auskunft auf seine Fragen die Zahlwörter von 1 bis 6 angefliegen waren, sagte angesichts einer Trambahn: „Da kommt die 3 und hat drei Wagen; das paßt zu dem, was sie ist.“ Die 3, eine *Ziffer*, die das Kind las; drei Wagen, eine *Anzahl*, die es anschaulich erfaßte; das „paßt“ zueinander: die richtige praktische Anwendung des *Zahlbegriffs*. Genau so erlernt das Kind auch das Sprechen wie von selbst. Nur die Wortlaute muß es wirklich lernen, genau wie der spottende Singvogel. Das Vermögen aber, sie mit abgrenzbarem Inhalte zu erfüllen, sie zu Sätzen, zu Urteilen zu verbinden, ist angeboren. Kaum sind ein paar Worte erlernt, so verhaken sie sich auch schon von selbst zum ersten Aussagesatz, der sogleich sachlich sinnvoll und wahr ist; doch noch nie hat ein Papagei, auch wenn er noch soviel Worte sänge, spontan einen sinnvoll wahren Satz daraus gebildet. Ebenso genügte jenem Kinde der gesicherte Besitz des Anfangs der Zahlenreihe, um auch sogleich für sich nach eigener Methode das Addieren und Subtrahieren zu erfinden: „Wieviel ist 2 und 3? — Zwei. Drei — eins; vier — zwei; fünf — drei. Fünf ist es.“ Oder: „Ich will dir mal was sagen: Die 6 ist von der 5 eins mehr.“

Ich schicke als Ergebnis der folgenden Untersuchungen voraus: dies alles hat kein Tier. So sehr sich seine Sinneswahrnehmungen, seine Erinnerungen, seine angeborenen Schematen mitsammen zu „anschaulichen Begriffen“, ja zu „anschau-

lichen Urteilen“ gestalten mögen, so etwa im Spiel oder im Zweikampf, wo jede feindliche Blöße zielsicher ausgenutzt wird: Wortbegriffe überhaupt, geschweige denn den Zahlbegriff, das Tertium also zwischen Ziffer und Anzahl, hat noch niemand bei einem Tier nachgewiesen, auch wir nicht. Wohl aber lernten wir sinnliche Grundvermögen bei unseren Vögeln kennen, die wir ebenso besitzen und aus denen sich unser echtes Zählen stammesgeschichtlich entwickelt haben muß. Ihr Nachweis beruht auf gegen 100000 einzeln protokollierten Versuchen meiner Mitarbeiter W. FISCHER, O. MÜLLER, H. WACHHOLTZ, W. ARNDT †, E. MAROLD und K. SCHIEMANN. Während der Versuche drehten wir an 3 km Film, aus denen wir später 4 Schaufilme (vgl. Schriftenverzeichnis) zusammenstellten. Sie leisten naturgemäß zur Veranschaulichung des Handelns der Versuchstiere viel mehr, als die daraus entnommenen Stehbilder dieser Darstellung. Jeder kritische Leser sollte, ehe er urteilt, zuvor diese Filme sehen. Das behauptete Können beweisen auch sie für sich allein nur dort angenähert, wo natürliche Versuchsfolgen wiedergegeben sind. Im übrigen aber hat die in den Originalarbeiten mitgeteilte Versuchsstatistik das letzte Wort, für deren kritische Verwendung und Gestaltung unter stetiger Mitbeachtung des gesamten Verhaltens des Vogels im Versuch — auch davon kann der Film nur Zufallsbeispiele geben —, ich mich verbürge. Von wenigen besonders erwähnten Ausnahmen abgesehen ist im folgenden nur von Ergebnissen die Rede, die statistisch voll gesichert sind. Was ich hier von der Statistik mitteile, hat meist nur Beispielswert.

Diese Leistungen haben unsere Vögel durch *Dressur* erlernt, und doch ist es *kein Vogelzirkus* gewesen. Ein Zirkuselefant schien Rechenaufgaben richtig zu lösen, indem er so oft mit dem Rüssel klopfte, wie es das Ergebnis der Aufgabe gerade wollte. Nur die kritischen Zuschauer, die statt des Elefanten vielmehr den Herrn nicht aus den Augen ließen, sahen des Rätsels Lösung: sobald das Tier mit Klopfen aufhören sollte, hob der Herr das blinkende Metallstäbchen mit dem Widerhaken, das Zeichen seiner Führung und Macht über den mächtigen Dickhäuter, eine winzige Spur. Wer immer mit höheren Tieren Lernversuche anstellt, kann sich gar nicht selbstkritisch genug auf unwillkürliche Zeichengebung beobachten, um nicht unversehens derselben Selbsttäuschung zu verfallen wie jene Herren der sog. „zahlensprechenden“ Hunde und Pferde, die das lächerliche Schauspiel gaben, selbst zu rechnen, zu reimen und zu philosophieren in dem Wahne, das täten die Versuchstiere.

Wir haben alles Erdenkliche getan, um diese wahrhaft tückische Fehlerquelle unwillkürlicher Zeichengebung auszuschalten. Auf manche Versäumnisse hat uns der Film aufmerksam gemacht, so daß wir sie rechtzeitig ausschalten konnten. Ich kann nur bestätigen, daß die Gefahr un-

wissentlicher Zeichengebung geradezu ungeheuer ist. Viele höheren Tiere bemerken und befolgen kleinste Mitbewegungen, wie wir alle sie unweigerlich machen, wenn wir einem Handelnden innerlich mithandelnd zusehen, viel besser als der der Sprache vertrauende Mensch. In allen unseren Dressuren (außer den allerersten) und Versuchen war der Versuchsleiter dem Tier stets unsichtbar und unhörbar. Die *grundsätzliche Unterscheidung zwischen Dressur und Versuch*, die die vgl. Sinnesphysiologie und Lernpsychologie in Strenge K. v. FRISCH verdankt, ist diese: *Die Dressuranordnung* nimmt dem Tier mehr oder weniger die Möglichkeit, nach seinem Willen zu handeln, und zwingt ihm unmittelbar oder mittelbar den des Menschen auf. Ob und wie weit das in genügend häufigen Wiederholungen geglückt ist, das lehrt erst *der Versuch*, in dem der Mensch auf jeden Eingriff verzichtet und so dem Tier Gelegenheit gibt, ganz unbeeinflusst in selbständigem Handeln zu zeigen, ob und was es gelernt hat. Die strengste Form des Versuches ist der „unwissentliche“, hier *Spontanversuch* genannt, in dem auch der Mensch auf den Anblick des selbständig handelnden Tieres verzichtet, so daß er nicht nur nicht unwissentliche Zeichen geben kann, sondern darüber hinaus selbst „Gedankenübertragung“ ausgeschlossen ist, falls jemand diese hier für möglich halten sollte. Erst Versuche oder gar Spontanversuche beweisen eindeutig den Lernerfolg. Im Zirkus dagegen werden nie Versuche gemacht, sondern man dressiert vor unseren Augen weiter. Unsere Filme zeigen fast nur Spontanversuche; in der Statistik der Originalarbeiten sind sie gesondert aufgeführt.

Das *erste Grundvermögen*, das unsere Vögel mit dem Menschen teilen, ist die Fähigkeit, zwei Mengen anschaulich allein der Anzahl ihrer Glieder nach zu vergleichen, wenn sie gleichzeitig im Raum nebeneinanderliegen. Sehen wir nebeneinander 2 Haufen von Punkten, Körnern oder was sonst, so ist für uns das Verhältnis des Mehr oder Weniger sogleich anschaulich gegeben, und zwar (nach Versuchen an 101 Menschen) bis zur Anzahlgrenze 6:5, wenn man die Doppelbilder nur so kurze Zeit zeigt ($\frac{1}{25}$ sec.), daß niemand die Einzelstücke abzählen kann. Die entsprechende Dressuranordnung *der Zweigruppenwahlen an der Körnerplatte* zeigt Fig. 1. Die Taube ist gewöhnt, durch das Türchen im Hintergrund zum quer davorliegenden Pappstreif zu kommen und dort Körner zu finden. Nun sieht sie links und rechts in gleichem Abstände vor sich zwei Körnergruppen, hier z. B. die erlaubte („positive“) aus 3 Körnern, die verbotene („negative“) aus zweien. Wendet sich die Taube sogleich zur erlaubten, so darf sie sie fressen und die Aufgabe gilt für gelöst (+), auch wenn sie hinterher noch von der verbotenen Gruppe naschen will, in welchem Falle sie meist fortgescheucht wurde (+ S). Geht sie jedoch zuerst zur verbotenen Gruppe, so wird sie sogleich gescheucht und kann nichts fressen; die Aufgabe gilt als nicht gelöst (—). Im „Versuch“ greift

der Versuchsleiter, im dunklen Beobachterstand verborgen, überhaupt nicht ein; die Taube kann tun und lassen, was sie will.

In solchen Dressurreihen lernten Tauben die folgenden Anzahlpaare zu unterscheiden (die positive Anzahl, d. h. die erlaubte, steht immer voran, die verbotene dahinter): 2 : 1, 1 : 2, 3 : 2, 3 : 4, 4 : 3, 3 : 5, 5 : 3, 5 : 4, 6 : 4 und 6 : 5, die letzte Unterscheidung allerdings nur vorübergehend (alle

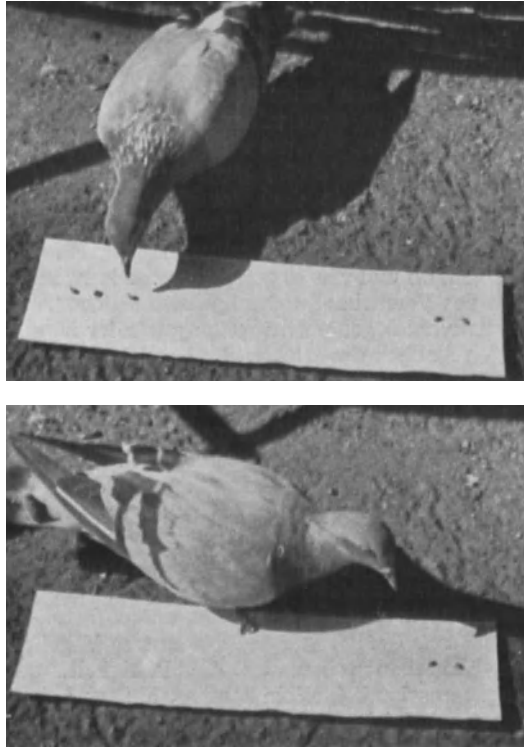


Fig. 1. Taube Nichtweiß (Taubennamen nach dem Gefieder) im Zweigruppenwahlversuch 3:2 an der Körnerplatte. a) hat sich richtig entschieden, beginnt zu fressen. b) hat sich nach Verzehr der erlaubten Gruppe zur verbotenen gewendet, Haltung der Straferwartung („schlechtes Gewissen“), wird im nächsten Augenblick blitzschnell ein verbotenes Korn picken, ehe sie weggescheucht werden konnte. Trotz diesem Nachpickenwollen der verbotenen Gruppe gilt der Versuch um der richtigen Erstwahl willen positiv.

Versuchsreihen insgesamt 7107 Versuche). Die Aufgaben gehen fast ebensooft gegen die Spontanneigung zum größeren Haufen wie mit ihr. Jede Aufgabe mußte neu erlernt werden. Bei 2 : 3 und 3 : 2 schon lag eine Klippe, die wir, als es anfangs bei — wie üblich — ständig wechselnder Lage der Körner in der Gruppe nicht glücken wollte, durch „Figurenhilfe“ überwand: wir legten die Körner der Dreiergruppe stets als gleichseitiges Dreieck aus, um dieses nach Beherrschung der Formunterscheidung „Dreieck gegen Linie“ allmählich zur Dreipunktlinie einzuebnen. Anschließend gelang die Unterscheidung dann völlig formunab-

hängig. — Sittiche lernten die Aufgaben 1 : 2, 2 : 1, 2 : 3, eine Dohle die beiden letzteren, und zwar beide Vogelarten auch die letzte Aufgabe von Anfang an formunabhängig, ohne Figurenhilfe (zusammen 4299 Versuche). Nach der Grenze fahndeten wir hier mit anderer Methode.

Vor *Punktgruppen auf Kästchendeckeln* (erlaubter Kasten mit Futter, verbotener leer, kein Scheuchen, allein die Enttäuschung bei vergeblichem Öffnen als „Strafe“) hatten FISCHELS Tauben nicht einmal 2 : 3 gelernt. Also gaben wir derselben Taube „Nichtweiß“, die inzwischen an Körnergruppen schon bis 6 : 5 gediehen war, dieselbe Aufgabe (Fig. 2). Unsere Taube lernte auch

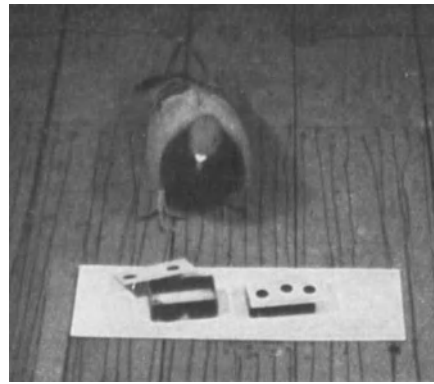


Fig. 2. Taube Nichtweiß nach richtiger Lösung der Aufgabe 2:3 (Punktgruppen auf Kästchendeckeln, Dreieck fast ausgeebnet).

nach dieser Methode die geforderte Unterscheidung, allerdings ebenfalls nur über Figurenhilfe (Ausebnen des Dreiecks), und meisterte sie endlich lageunabhängig (+ 75,2 ± 1,8% in den letzten 559 Versuchen). Doch war es ihr so schwergefallen, daß ARNDT auf diesem Wege nicht weiterzugehen wagte. Statt dessen versuchte er die Übertragung der Aufgabe auf die Körnerplatte: ohne Neudressur bot er Nichtweiß plötzlich statt der Kästchen die 2 und 3 als Körnergruppen, und zwar mit völlig negativem Erfolge.

Ganz wesentlich besser arbeiteten die Dohlen. Obwohl SCHIEMANN bei Dohle Rotgelb mit 3 und 4 Tuschepunkten auf Kästchendeckeln begann, und zwar von Anfang an nahezu ohne jede Figurenhilfe (Fig. 3 zeigt je 2 der je 7 durcheinander verwendeten Lagenanordnungen der 3 bzw. 4 Punkte), gelang die Dressur einwandfrei. Im letzten Hundert von insgesamt 800 Versuchen gab es folgende „Positivserien“ [z aufeinanderfolgende Richtiglösungen bei vorbestimmtem¹⁾ Aufgaben-

¹⁾ Während der Dressur wechseln anfangs die Aufgaben (positiv links bzw. rechts) „dressurgemäß“, so nämlich, daß sie aufkeimender Seitenstetigkeit entgegenwirken. Die Entscheidung bringt der „vorbestimmte Aufgabenwechsel“: Eine streng gerechte, beide Möglichkeiten gleich oft verwirklichende Reihenfolge wird aufgeschrieben und dann durchgeführt, gleich ob die Dohle richtig handelt oder nicht.

wechsel]: 4 mal $z = 4$, 2 mal $= 5$, 1 mal 6, je 2 mal 7 und 8, 1 mal 9. Im Roulettespiel mit den gleichberechtigten Möglichkeiten Schwarz und Weiß, die rein zufallsmäßig wechselnd eintreten, gab es Gleichfarbserien in folgenden mittleren Prozentwerten: 1,3 mal $x = 4$, 0,6 mal $= 5$, 0,4 mal 6, 0,1 mal 7, 0,09 mal 8, 0,02 mal 9. Die Positivserien im Versuch sind also wesentlich häufiger als gleich lange Gleichfarbserien im Zufallsspiel zweier gleich wahrscheinlicher Möglichkeiten.

Als plötzlich statt der Deckelschälchen die Mehlwurmgruppen erschienen (Fig. 3 c), wandte die auf drei Punkte dressierte Dohle sich nach anhaltendem Betrachten zu den *drei Mehlwürmern* und hob nicht etwa den Deckel vom darunterstehenden Schälchen, sondern *fraß vielmehr die auf ihm liegenden drei Mehlwürmer*; die Vierergruppe blieb mehrere Minuten völlig unbeachtet. Ebenso verliefen weitere solche Spontanversuche, die 3 bzw. 9 Tage später eingeschoben wurden. Hier ist also die *dressurfreie Übertragung auf eine völlig neue Versuchsanordnung geglückt*. Dies Ergebnis ist wohl sehr hoch zu werten. Auch die menschlichen Zahlen sind noch nicht in allen Sprachen ganz objektunabhängig geworden. Es gibt Völker, die besondere Zahlensysteme für Menschen, für Haustiere, für Schiffe und alles im Wasser Schwimmende haben; sie setzen 3 Menschen, 3 Rinder, 3 Fische noch nicht zifferngleich. Bei Dohle „Rotgelb“ aber war das Dressurergebnis unabhängig davon, ob 3 Punkte auf einem Deckel als Zwischenziel für den im Schälchen darunter verborgenen Köder 4 Punkten oder ob 3 unmittelbar freißbare Mehlwürmer 4 Mehlwürmern gegenüberstanden.

Während die Vögel bisher stets nur *eine* Aufgabe gleichzeitig zu behalten hatten, strebten wir jetzt von der leidigen Dressur fort und versuchten es mit der *Wahl nach Muster*. Hielt N. KOHLS ihrem Schimpansen auf der ausgestreckten Hand eine blaue Spielmarke hin, so wählte er aus einem vor ihm liegenden Haufen bunter Marken die blauen aus und legte sie ihr, Gleiches zu Gleichem, in die Hand, und ebenso verfuhr er mit jeder anderen Farbe, Farbzusammenstellung, Form usw. Theoretisch ist dabei die Anzahl vorzuweisender Muster unbegrenzt; so viele man ihm vorwies, so oft legte er ihnen Gleiches daneben. Weitere sichere Erfolge nach dieser schönen Methode sind bei Tieren seither meines Wissens nicht bekannt geworden.

Für unsere Fragestellung, ob der Vogel, falls überhaupt der Musterwahl fähig, seine Punktanzahlen allein nach der Anzahl und unabhängig von ihrer jeweiligen Lage in der Gruppe nach Muster wählen könne, wäre die Anzahl der Muster freilich praktisch eng begrenzt, denn Unterscheidungen über 6 Punkte hinaus dürfen wir ihnen laut den bereits dargestellten Versuchsergebnissen nicht zutrauen; auch der Mensch findet hier ja die Grenze seines Anschauungsvermögens, darüber hinaus muß er abzählen.

MAROLD begann mit der erheblich einfacheren Aufgabe, von je 2 Deckeln jeweils denjenigen öffnen zu lassen, der gleiche Farbe trug wie eine Mustertafel vor, hinter oder zwischen den beiden Kästchen. Das haben Sittiche nach schier unsäg-

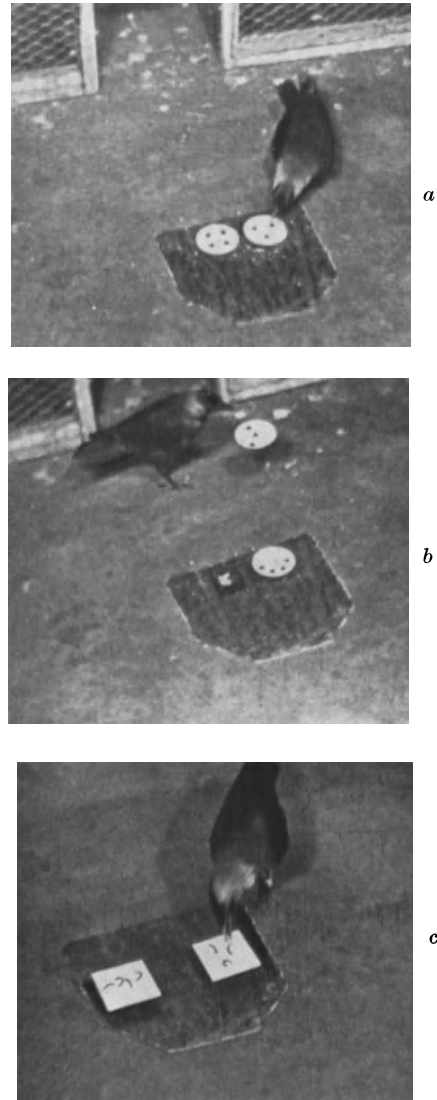


Fig. 3. Dohle Rotgelb (Dohlen- und Sittichnamen nach der Farbe ihrer Fußbringe), Dressur auf 3:4 größenkonstant, lageunabhängig. a) ergreift den richtigen Deckel, b) hat ihn (andere Anordnung) richtig abgehoben, c) erster Spontanversuch mit Mehlwürmern statt der Deckelpunkte, richtig gelöst.

lichen Mühen gelernt: die letzten 200 von 1000 Versuchen ergaben 63 Plusprozent $\pm 10,2$, sowie gute Positivserien. Als MAROLD aber die Farben bis zum immer gleichen Weiß verblassen ließ, auf dem allein die Punktgruppen (1 und 2) übrigblieben, die von Anfang an stets auf den Farbdeckeln zu sehen

gewesen waren, war der Erfolg wie weggeblasen. Trotz aller möglichen Hilfen und nicht mehr zu

überbietender Geduld hat MAROLD seine Sittiche nicht dazu gebracht, in Musterwahlen Punkt-

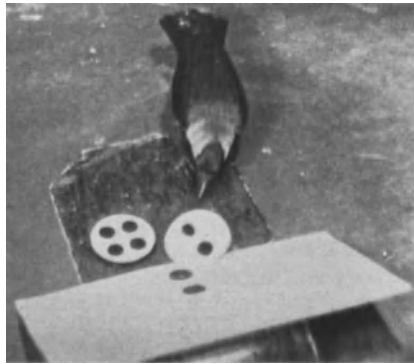
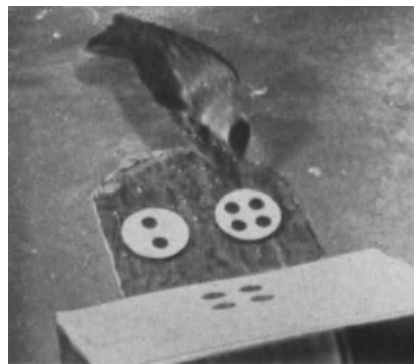
*a**b*

Fig. 4.

Wahl nach Muster, Mustertafel im Bilde vorn, Deckelkästchen dahinter. Dohle Rotgelb, zwei richtige Wahlen.

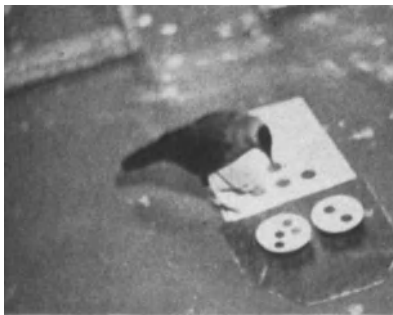
*a**b**c*

Fig. 5. Dohle Gelb, drei richtige Musterwahlen. *a*) Lageverschiedene und größengleiche Tuschepunkte, *b*) ebensolche Knetmassepunkte, jedesmal in neuer Anordnung aufgelegt, *c*) lage- und größenverschiedene Knetmassepunkte.

gruppen als Befehlsanweiser zu benützen, d. h. von 2 Deckeln den mit 2 Punkten abzuheben, wenn die Zweipunktmustertafel es gebot, bzw. den Einpunktdeckel, wenn die Einpunkttafel dalag.

Dohlen jedoch haben diese Musterwahl geleistet, indem sie Punktgruppen als Befehlsanweiser zu werten lernten. Zwei Dohlen lösten die Aufgabe mit 2 und 4 Punkten, bei gleicher Lage und Größe der Punkte auf Deckeln und Tafel (Fig. 4), in 1369 bzw. 1328 Versuchen mit 65 bzw. 73 Plusprozenten im letzten Hundert bei vorbestimmtem Wechsel; die Positivserien waren beide Male beweisend, Dohle Rotgelb machte z. B. einmal 15 Versuche nacheinander richtig.

So schön diese Leistung an sich ist, so gehört sie doch eigentlich noch nicht zu unserem engeren Thema; denn die Dohlen könnten lediglich gelernt haben, gleiche Formen einander zuzuordnen. Um dasselbe von gesehenen Anzahlen zu behaupten, wäre Lage-, wenn möglich auch Größenunabhängigkeit der Punkte zu fordern. Fig. 5 gibt in *a*, *b* Beispiele für lageunabhängige, in *c* dazu auch für größenverschiedene Punkte, und von *b* an zeigten insbesondere Positivdeckel und Mustertafel stets verschiedene Lage bzw. Größe der Punkte, so daß das Versuchstier sich nur noch nach der Anzahlgleichheit richten konnte. Lageunabhängige größenvariable Punktgruppen unterschieden beide Dohlen, dazu noch größenverschiedene dagegen Dohle Rotgelb nicht mehr in statistisch voll gesichertem Ausmaß, wohl aber Dohle Gelb, und zwar überraschend schnell, fast nach Art eines „Aha“-Erlebnisses. Vor allem brachte wider alles Erwarten die Umstellung auf die frei aufgelegten Knetmassepunkte mit ihrer unbegrenzten Kombinatorik der Lagen (Fig. 5 *b*) und Punktgrößen (*c*) kaum einen Rückschlag. Vorbestimmter Wechsel allerdings war hier unmöglich, da das Tier sonst seitenstetig wurde, also überhaupt nichts mehr ansah. Solange Gelb jedoch

wählte, wählte sie gut¹⁾. Um zu ermessen, wie schwer die Aufgabe ist, stelle man sich ein Domino-

(letzte 300 Versuche schöne Positivserien, längste 12gliedrig), und Dohle Gelb löste dieselbe Aufgabe

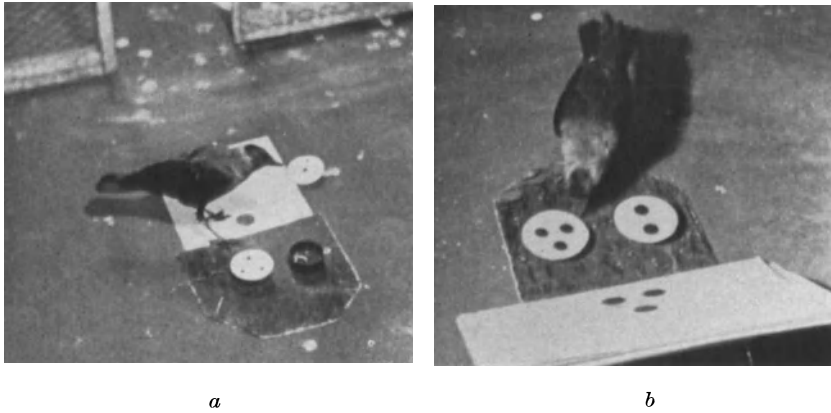


Fig. 6. a) erste spontane Musterwahl mit 2 und 3, Dohle Rotgelb. b) Dohle Gelb, eine der ersten Spontanmusterwahlen mit 1 und 3, beide gelöst.

spiel vor, dessen Punktgruppen unbegrenzt lageverschieden sind und dessen Punkte innerhalb der Flächengrenzen von 1 zu 40 dauernd ihre Größe wechseln!

Als beide Dohlen die Wahl nach formgleichen Mustern auf 2 und 4 beherrschten, gelangen bei Rotgelb eingeschobene Spontanversuche auch mit 2 und 3 (formgleich, Fig. 6 a) ohne weiteres, und ebenso bei Gelb ohne Neudressur die formgleiche Unterscheidung 1 und 3 (Fig. 6 b). Auf diesem Wege ließ sich bei beiden Tieren die Aufgabe auf Darbietung beliebiger Paare von Gruppen aus 1 bis 5, ja gelegentlich 6 Punkten erweitern, wenn (Dohle Rotgelb) alle Punkte gleich groß und lagebeständig blieben

auch lage- und größenunabhängig, wie Fig. 7 es bei Dohle Rotgelb erläutert. Der Film zeigt an ihr

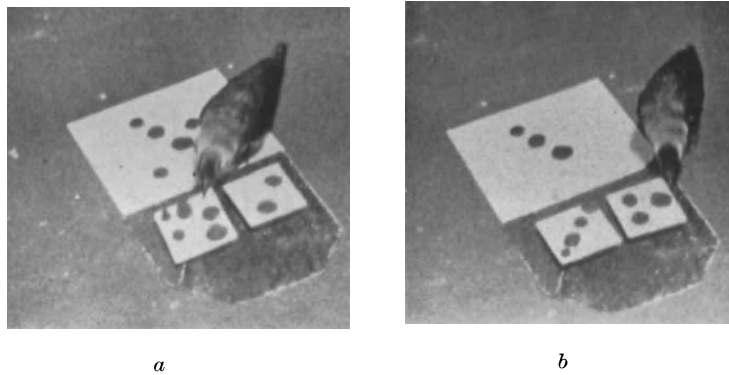


Fig. 7. Wahl nach Muster an Gruppenpaaren aus 1—5 Knetmassenpunkten verschiedener Lage und Größe. Dohle Rotgelb wählt a) 5 gegen 2, b) 3 gegen 4, beides richtig.

¹⁾ Wer in diesem Verzicht auf vorbestimmten Wechsel bei den schwersten Aufgaben einen unberechtigten Verzicht auf volle statistische Schärfe der Beweisführung erblicken möchte, sei daran erinnert, daß die Wahl nach Muster zwischen zwei Deckelschälchen mehr Möglichkeiten der Aufgaben und vollends ihrer Aufeinanderfolgen bietet als eine gewöhnliche Zweifachwahl. So hat die soeben besprochene Aufgabe, nach Muster auf 4 bzw. 2 zu handeln, folgende vier Aufgabemöglichkeiten:

Nr.	Musterplatte	Deckel	
		li.	re.
1	4	2	4
2	4	4	2
3	2	4	2
4	2	2	4

Aus diesen 4 Aufgaben lassen sich $4! = 24$ viergliederige Aufgabenfolgen bilden, von denen 8 das Tier abwechselnd links (li.) und rechts (re.) handeln

lassen, wenn es richtig wählt. Eine von ihnen ist die hier wiedergegebene Folge 1, 2, 3, 4, die Punktanzahl des jeweils zuerst abzuhebenden Deckels ist fett gedruckt. Die 7 anderen lauten: 1 4 3 2 . 2 1 4 3 . 2 3 4 1 . 3 2 1 4 . 3 4 1 2 . 4 1 2 3 . 4 3 2 1. Der Versuchsleiter hat also Auswahl genug, ohne sein Versuchstier zu Seitenstetigkeit zu verleiten. Tritt sie doch ein, z. B. nach links, so stellt er bei dressurgemäßigem Wechsel solange vorzugsweise nur die Aufgaben 1 und 3, die Rechtswahl fordern, also das linkswählende Tier jedesmal enttäuschen, bis es die Linksstetigkeit aufgibt. Aber auch währenddessen wird er gelegentlich einmal Aufgabe 2 oder 4 einschieben, da sonst die Gefahr der Rechtsstetigkeit droht. Die Tatsache, daß das Tier sich bei solch dressurgemäßigem Wechsel die Seitenstetigkeit abgewöhnt, ohne doch je gescheucht zu werden, und daß es längere Positivserien liefert, kann nur auf richtiger Wahl nach Muster beruhen. Zudem ist in Wahrheit die Kombinatorik noch unendlich viel reicher als hier schon angegeben wurde; denn die dauernden Wechsel der Punktlagen und Punktgrößen kommen ja noch hinzu.

eine schöne Positivserie, im ganzen ist jedoch die Statistik für Rotgelb nicht hinreichend, wohl aber für Gelb. Vorbestimmtem Aufgabenwechsel war hier allerdings auch Gelb nicht mehr gewachsen (vgl. Fußn. S. 207). Solange sie aber wählte, hat sie auch diese schwerste Aufgabe unstreitig gemeistert.

In zahlreichen, äußerst verschiedenen Versuchsanordnungen hat sich die *Grenze des ersten Grundvermögens*, soweit untersucht, bei *Tauben, Wellensittichen, Dohlen und dem Menschen*, sofern er nicht nachzählen kann, *übereinstimmend* ergeben. Sie alle können bestenfalls 6 gegen 5 allein



a



b

Fig. 8. Nichtweiß nimmt dressurgemäß 6 von 13 Körnern. a) unmittelbar vor Beginn des Pickens, b) im Abgehen nach richtiger Lösung.

nach der Anzahl lage- und größenunabhängig unterscheiden, wenn sie 2 Gruppen gleichzeitig nebeneinander vor sich sehen.

War das *erste Grundvermögen ein räumliches des Gesichtssinnes*, so ist das jetzt zu besprechende *zweite ein zeitliches*, dem wir keinen der uns bekannten Sinne zuordnen können. Wir kennen kein „Zeitsinnesorgan“ und daher auch keinen „Zeitsinn“, auch wenn oft genug fälschlicherweise von einem solchen gesprochen wird. Dieses zweite Grundvermögen kommt unserem Zählen schon deutlich näher. Wir fragen, ob der Vogel sich in der zeitlichen Aufeinanderfolge gleichartiger Ereignisse zurechtfinden, insbesondere ob er sich ihre Anzahl merken kann, und wählen als ein dem Vogel besonders eindrucksvolles Ereignis seine Aufnahme eines Köders. Kann er lernen, von vielen daliegenden Ködern nur eine bestimmte

kleinere Anzahl x aufzunehmen, den Rest aber liegenzulassen, bzw. von vielen dastehenden Kästchen nur x zu öffnen, die restlichen Deckel aber nicht anzurühren, usw.? Sobald er das Gebot überschreitet, muß er während der Dressur an der reichbeschickten Köderplatte gescheucht werden, bei Tauben durch einen Schlag von oben her (der sie selbst jedoch nie trifft) oder durch Wegschleudern des Körnerbretts, bei Sittichen durch Wegblasen der Körner oder durch plötzliches Verdunkeln. Bei Dohlen trat nur selten der Schlag-scheucher in Tätigkeit¹⁾. An der Kästchenreihe dagegen (Fig. 16) kann der Vogel, so wie es auch in den Musterwahlversuchen der Fall war, sich selbst ohne jedes menschliche Eingreifen völlig straffrei dressieren: allein seine Enttäuschung, nach Abheben überzähliger Deckel die Kästchen darunter leer zu finden, gewöhnt ihm die Weiterarbeit ab.

Bei der Taube begannen wir an der Körnerplatte mit $x = 2$ und stiegen in immer neuen Dressuren über $x = 3$ bis 5 endlich auf 6 erlaubte Körner auf, wobei die Anzahlen gebotener Körner z. B. im letzten Falle unregelmäßig von 7 bis 13 schwankten (Fig. 8). Alle Versuche glückten einwandfrei (Tabelle 1), nur bei $x = 6$ war der Erfolg schwankend; vorübergehend aber wurde auch diese Aufgabe sicher gemeistert.

Tabelle 1. Körnerbrett. Taube Nichtweiß dressiert auf x erlaubte von y gebotenen Körnern.

x	y	n	+ % $\pm m$	100 Vers. + %	längste Positivreihe
2	3-6	7640	82,2 \pm 0,14	73	—
3	4-7	620	78,5 \pm 1,7	84	18
4	5-9	1350	72,4 \pm 1,2	85	22
5	6-11	700	63,3 \pm 1,8	76	9
6	7-13	830	60,5 \pm 1,7	62	7
		11140			

Affen haben ähnliche Aufgaben gelöst, aber ihre Leistung zerfiel bereits, als man bei gleichbleibendem Rhythmus nur das Zeitmaß der Darbietung änderte, an das sie sich während der Dressur gewöhnt hatten. — In unseren Versuchen kann der Pickrhythmus dagegen keine leitende Rolle gespielt haben, denn manchmal mußte Nichtweiß 2 mal nach demselben Korn picken und löste dennoch die Aufgabe in den 276 Versuchen mit „Doppelpicken“ 214 mal richtig, leistete hier also mit 78 Plusprozent sogar etwas mehr als im Durchschnitt aller Versuche. Und für den Fall,

¹⁾ All dieses Scheuchen wurde nie von Hand, sondern über Alles- oder Nichts-Apparaturen vom unsichtbaren Versuchsleiter ausgeführt. Diese waren so gebaut bzw. eingestellt, daß er sie nur durch eine erhebliche Kraftanstrengung in stets gleichbleibender Stärke auslösen konnte. Damit ist auch hier unwissentliche Zeichengebung ausgeschlossen. Im Versuch ist der Scheucher abgestellt, im Spontanversuch sieht auch der Versuchsleiter das Tier während seines Handelns nicht.

daß sie ihren Schluckrhythmus registrieren sollte, zerstörten wir ihn gründlich, indem wir die Körner in 2 Gruppen teilten, eine kleine vorn, eine große hinten auf dem Taubenwege. Findet die auf 5 dressierte Taube z. B. vorn nur 3 Körner (Fig. 9 e), so muß sie sich hinten noch 2 dazuholen, allgemein hinten so viel nehmen, als vorn an der 5 noch fehlen; nur wenn die Vordergruppe größer als 5 ist (Fig. 9 e), soll der Hinterhaufen unberührt bleiben (f). Wie Fig. 10 lehrt, waren die Spontanversuche mit 63,7 Prozent einwandfrei positiv. Nun braucht die Taube, wie die Bildanalyse der Filmstreifen lehrte, von der Aufnahme eines erlaubten Kornes bis zur nächsten im Mittel 0,67 sec, vom letzten der Vordergruppe bis zum ersten noch erlaubten der Hintergruppe 1,84 sec; also verzögerte sich das mittlere Zeitintervall durch den Weg zur Hintergruppe auf das Dreifache, und zwar in blindem Wechsel nach dem ersten, zweiten bis vierten Korn oder überhaupt nicht. Schon damit ist der Rhythmuseinwand eigentlich widerlegt. — Bei optimistischer Betrachtung möchte man meinen, die Taube könne addieren, nämlich $0 + 5 = 1 + 4 = 2 + 3 = 3 + 2 = 4 + 1 = 5 + 0$. Die sparsamstmögliche und daher einzige gebotene Deutung ist natürlich die uns bereits bekannte: die Taube kann rhythmus- und lageunabhängig auf 5 handeln.

Die aufsteigende Reihe erlaubter Körner bedeutet für dieselbe Taube, die diese Aufgaben nacheinander zu lösen bekam (Tabelle 1), von Aufgabe zu Aufgabe je ein Korn Zulage, also stets eine Erleichterung des Freßverbots und zugleich eine Erschwerung des Erfassens der Lösung. Da Kinder nach dem ersten manchmal schweren Anfang immer raschere Fortschritte im Zählen machen, so könnte man angesichts des verhältnismäßig mühelosen Lernens von Nichtweiß gerade bei den höheren x ebenfalls an spurenhafte Einsicht in das Wesen der Zahlenreihe denken. Dagegen spricht, daß die Rückdressur von der 6 auf die vorher schon ausgezeichnet beherrschte 5 viel schwerer und auch im Endergebnis schlechter gelang als die Erstdressur auf 5 in der aufsteigenden Reihe. Zu sicherer Entscheidung dienen *Erstdressuren auf höhere x* an Sittichen und Dohlen. Soweit man überhaupt verschiedene Individuen und Tierarten miteinander vergleichen kann, gelangen sie nicht besser und nicht schlechter als damals in der aufsteigenden Aufgabenreihe. Die Versuchsanordnung zeigt Fig. 11, wobei Körnerberührung jede „Figurenhilfe“ wohl radikal aus-

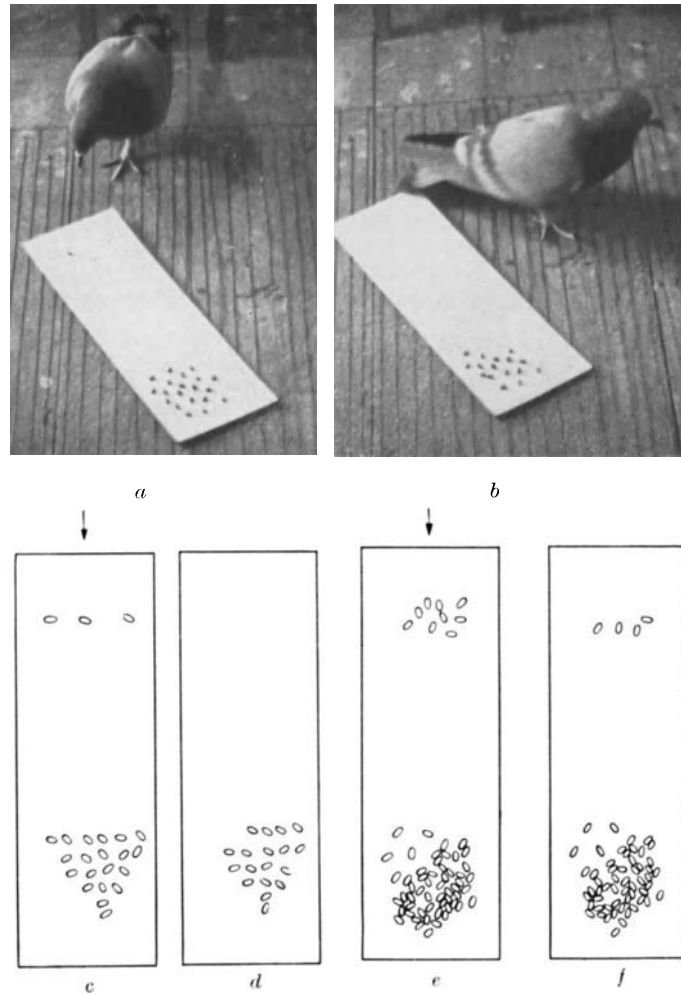


Fig. 9. Nichtweiß auf 5 zurückdressiert. Spontanversuche. Geboten a) 1 + 20, b) Lösung, c) 3 + 20, d) Lösung, e) 9 + 55, f) Lösung. Der Pfeil gibt die Richtung an, aus der der Vogel an die Versuchsanordnung herankommt.

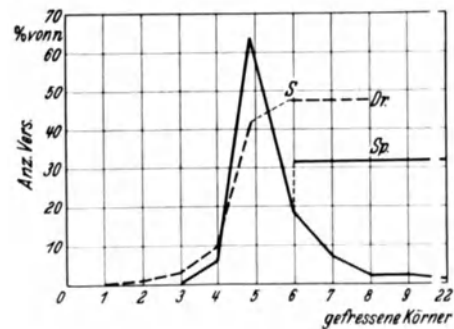


Fig. 10. Geboten in Vordergruppe 0—26, Hintergruppe 0—55 Körner. Verteilungskurve der 99 Spontanversuche, einzeln eingeschoben in die letzten 339 Dressurversuche (von insgesamt 747) auf $x = 5$. — Spontanversuche, - - - die 339 Dressurversuche. *S* Scheuchen bei Dressur; *Sp* Spontanversuche, in denen mehr als 5 Körner genommen wurden, bei denen also in Dressurversuchen gescheut worden wäre.

schließt. Der Hauptunterschied der Lernkurven (Fig. 12) von Nichtweiß (Tabelle 1) liegt darin, daß diese Taube die höheren neuen Aufgaben mit ziemlich hohen Positivprozentwerten begann: das Ausbleiben erwarteter Strafe beim Überschreiten

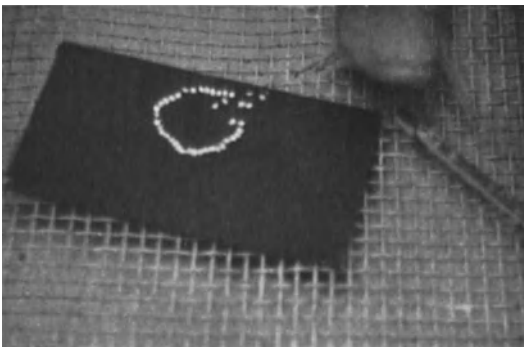
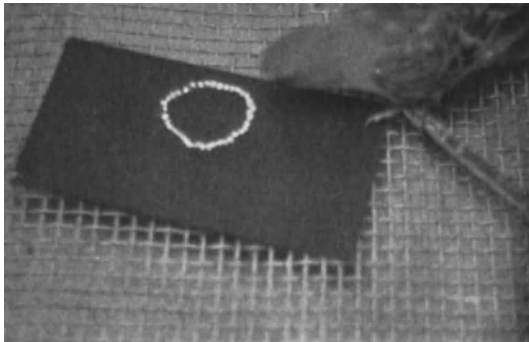
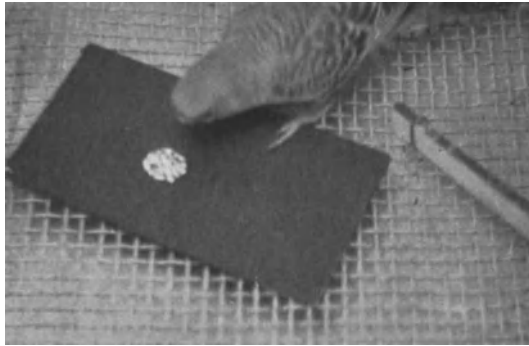


Fig. 11. Sittich Grün, Erstdressur auf $x = 2$ bei Körnerberührung. *a)* vor richtiger Lösung, *b)* 43 Hirse-körner geboten, *c)* richtig gelöst, 41 liegen da.

der vorigen Aufgabe um ein Korn bedeutet in der neuen Aufgabe eine richtige Lösung, ohne ein Verdienst zu sein; die Taube weiß ja nicht, daß der Versuchsleiter zu einer neuen Aufgabe übergehen will¹⁾. So begann Nichtweiß die Vierer-

¹⁾ Während dieser Übergang zur neuen Aufgabe also ganz mühelos gelingt, kann das gute Gedächtnis der Vögel für früher erlernte Lösungen die Umstellung oft recht erschweren, so daß es geboten ist, beim Aufgabenwechsel zugleich auch die Versuchsanordnung stark zu ändern. Ein Nachwirken früher beherrschter

dressur (nach soeben beherrschter 3) im ersten Versuchshundert mit 57% richtiger Wahlen, der Sittich Dunkelgrün in Erstdressur dagegen mit 3 Plusprozentzen; um so mehr „Platz“ blieb ihm für den folgenden Aufstieg; die Lerngeschwindigkeiten jedoch sind überall durchaus vergleichbar.

Wer selbst noch in der „Körnerscheibe“ der Fig. 11 Figurenhilfe wittert, den müssen die folgenden Anordnungen überzeugen, daß es gewiß auch ohne sie geht. Wir gehen von der bisherigen Simultandarbietung zur sukzessiven über; wie im Automaten die Briefmarken lassen wir jetzt die Körner *einzel*n nacheinander *am gleichen Ort* erscheinen. *Allein die Anzahl* in der Folge ihres Erscheinens kann dem Tier sagen, wann es aufzuhören hat, sein Handeln wird zur reinen Zeitgestalt. Einen Rhythmus lassen wir gar nicht erst aufkommen, indem wir beim Bedienen des

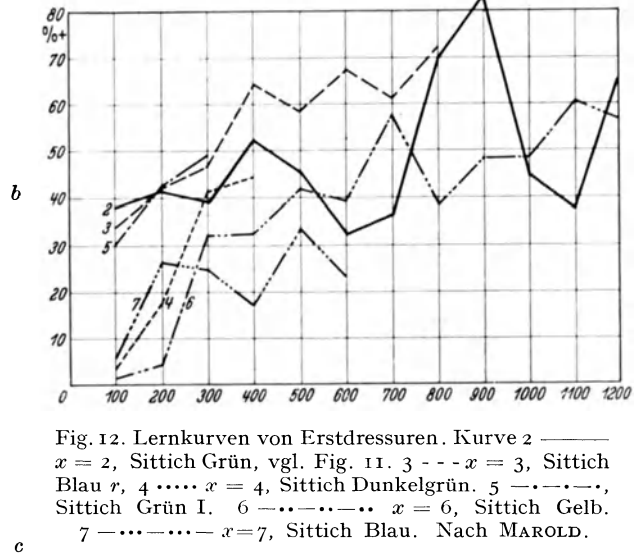


Fig. 12. Lernkurven von Erstdressuren. Kurve 2 — $x = 2$, Sittich Grün, vgl. Fig. 11. 3 - - - $x = 3$, Sittich Blau r, 4 $x = 4$, Sittich Dunkelgrün. 5 —·—·—·, Sittich Grün I. 6 —·—·—· $x = 6$, Sittich Gelb. 7 -·-·-·- $x = 7$, Sittich Blau. Nach MAROLD.

Automaten in völlig unregelmäßigem Wechsel Pausen von einer Sekunde bis zu einer vollen Minute zwischen die einzelnen Körner legen. Im Konzert würden die Zuhörer eher nach Hause gehen, als einen Rhythmus erkennen, wenn man plötzlich irgendwo 1 Minute Generalpause einschöbe.

Den ersten Automaten, die Drehscheibe, an 2 Ziehschnüren aus dem dunklen Beobachtungsstand bedient, der den Versuchsleiter verbirgt, zeigt Fig. 13 und Tabelle 2 die Ergebnisse.

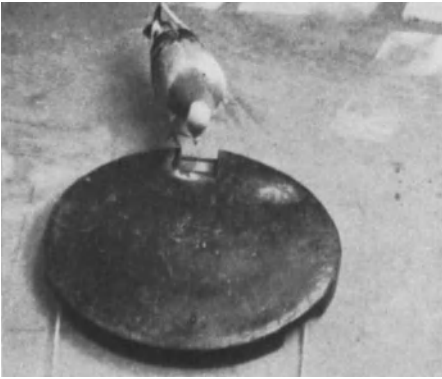
Wie ersichtlich, meisterte Taube Blaugrau die Dressuren auf x freie Erbsen in aufsteigender Folge bis $x = 5$ einwandfrei; die Prozentwerte richtiger Lösungen liegen weit oberhalb des Zufallwertes für den Fall, daß sie nur gelernt haben

Lösungen war noch nach 4 Monaten deutlich bemerkbar. Wie man umgekehrt dieses zähe Erinnerungsvermögen ausnützen kann, sehen wir z. B. unten (S. 213/214) beim Aufbau der Mehrfachaufgaben.

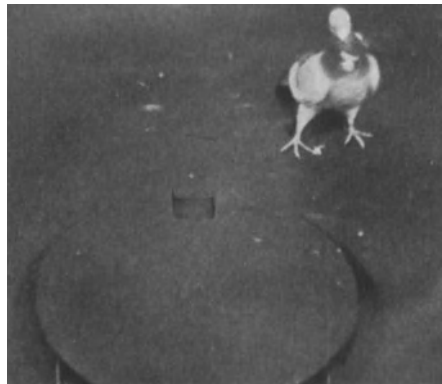
sollte, irgendwann aufzuhören, also nicht alle erscheinenden Körner zu nehmen. Bei Dressur auf 5 erschienen z. B. immer 6 Erbsen, in Spontanversuchen wenn nötig noch mehr. Die Zufallswahrscheinlichkeit, daß die Taube gerade bei 5



a



b



c

Fig. 13. Drehscheibenanordnung. a) Blaugrau in Dressur auf 2 freie Erbsen, beim Picken der ersten. b) unmittelbar nach Fallen des Scheuchstabes im Auf-fliegen (bel. $\frac{1}{48}$ sec), c) Widerstreit beim Anblick der herankommenden ersten verbotenen Erbse, für uns noch von der Blende verdeckt. Haltung des sog. „schlechten Gewissens“.

aufhört, beträgt also im Dressurversuch 100:6 = 16,7%, in den Spontanversuchen kann sie noch geringer sein. Eine Erstdressur auf 4 (Taube Grau)

Tabelle 2. Taube Blaugrau. x freie Erbsen auf Drehscheibe erlaubt. Letzte Zeile Taube Grau.

x	Alle Versuche		Spontanversuche	
	n	+ % $\pm m$	n	+ % $\pm m$
2	1530	57,6 \pm 1,3	234	68 \pm 3,3
3	1268	63,5 \pm 1,4	164	64,6 \pm 3,7
4	1506	60,0 \pm 1,3	311	61,5 \pm 2,8
5	1281	56,3 \pm 1,4	252	58,4 \pm 3,1
6	486	28,5		
4	560	57,4 \pm 2,1	Erstdressur	

verlief gewiß nicht schlechter als dieselbe Dressur in der aufsteigenden Aufgabenreihe. Die 6 wurde nicht mehr erlernt.

In einer weiteren Versuchsreihe steckte ARNDT im Beobachtungsstand die Erbsen nacheinander in eine geschlossene Rinne, die am Boden in einem Becken endete (Fig. 14). Vom Erpicken einer

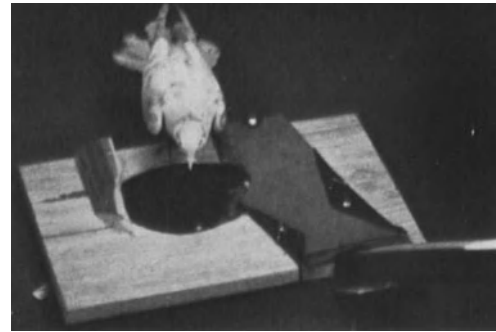


Fig. 14. Rinnenanordnung. Taube Braunweiß vor einer soeben zur Ruhe gekommenen Erbse.

Erbse bis zum Erscheinen der nächsten ließ ARNDT bunt wechselnd 1—30 sec vergehen; dazu setzte die Taube weitere nicht minder unregelmäßig wechselnde Verzögerungen, indem sie fast immer mehrfach nach derselben Erbse picken mußte, bis 15mal im Höchsthalle, eine grotesk wirkende Übersteigerung des oben besprochenen „Doppel-pickens“, die ebenfalls der Leistung (Tabelle 3) ganz und gar nichts schadete. Auch hier geht alles gut bis zur 6, die mißlingt.

Tabelle 3. Rinnenversuch, aufsteigende Auf-gabenreihe. Alle Dressur- + Spontanversuche.

x	Taube Braunweiß		Taube Schwarz	
	n	+ % $\pm m$	n	+ % $\pm m$
2	1099	55,5 \pm 1,5	744	56,7 \pm 1,8
3	1885	57,8 \pm 1,2	1201	57,9 \pm 1,4
4	1618	58,1 \pm 1,3	1500	55,9 \pm 1,3
5	2166	51,7 \pm 1,0	1901	52,3 \pm 1,2
6	492	erfolglos	672	erfolglos
	7260		6018	

Bei der folgenden Dressur auf x Kästchen gibt der Blendenausschnitt von den Kästchen, die auf dem Drehscheibenrande stehen, immer nur eine

zur Zeit frei. Die ersten x beköderten soll die Taube öffnen, die folgenden leeren nicht. Taube Blauweiß, ein äußerst ruhiges Tier, gewöhnte sich das Öffnen überzähliger Kästchen straflos ab; auch in allen folgenden Versuchsreihen hat sie niemals eine Strafe erlebt und, wie wir sehen werden, vielleicht am besten von allen gelernt. Als nur der erste Kasten voll war ($x = 1$), fiel der 20. Versuch positiv aus, vom 101. bis zum 145. Versuch machte sie 80 und weiterhin 100% richtige Versuche, ein herrlicher, bei all unseren Vögeln nur dies eine Mal wirklicher Zustand. Vor dem ersten verbotenen Kästchen konnte sie bis zu 15 Minuten in der Haltung dastehen, die Fig. 15 wiedergibt, und ARNDT wartete stets geduldig,



Fig. 15. Blauweiß vor dem ersten verbotenen Kästchen.

bis sie von selbst abging. Die viel temperamentvollere Taube Blaukopf mußte gescheucht werden und kam bis $x = 3$. Dies frühe Versagen ist verständlich. Jedes erlaubte Kästchen enthielt zahlreiche Körner, mit deren Aufnahme viel Zeit verging, und Kästchen sind, wie wir schon im ersten Teil sahen, als reine Zwischenziele viel schwerer der Anzahl nach festzuhalten als Körner. Als ARNDT aber bei Blauweiß ($x = 2$), vorerst nur um Zeit zu sparen, in jeden Kasten nur eine Erbse legte, merkte er bald, daß die Taube sich von Kästchen auf Erbsen umgestellt hatte: Als er einmal probeweise die 2. Erbse ins 3. Kästchen legte, hob Blauweiß 3 Deckel ab, arbeitete also anstatt „auf 2 Kästchen“ vielmehr „auf 2 Erbsen“. Damit hatte sie eine neue Versuchsanordnung entdeckt, die ARNDT folgerichtig ausbaute. Die neue Aufgabe lautet, *so lange (wechselnd zahlreiche) Kästchen zu öffnen, bis x Erbsen herausgekommen waren*. Von $x = 4$ aufwärts wählte er je 20 oder mehr Verteilungen der Erbsen in den Kästchen aus und ließ sie von Anfang an regellos miteinander wechseln, ohne die einzelnen besonders zu üben. Tabelle 4 gibt einige Beispiele, die sich nach dem Schweregrad für die Taube in folgende aufsteigende Reihe ordnen: Nr. 1, 13, 6, 21. Um ihre 6 Erbsen

Tabelle 4. Einige der Verteilungen von 6 erlaubten Erbsen in 6 Kästchen.

Kasten:		I	II	III	IV	V	VI
Verteilung Nr.	1	6	—	—	—	—	—
	6	—	4	—	1	1	—
	13	2	2	2	—	—	—
	21	1	1	1	1	1	1

zu erbeuten, muß die Taube also bei Verteilung 1 nur einen Kasten öffnen, bei Verteilung 13 deren 3, bei 6 deren 5, bei 21 deren 6 und jedesmal die noch folgenden geschlossen lassen, damit die Lösung positiv gilt. In altgewohnter „Pomadigkeit“ löste Blauweiß auch diese Aufgaben glatt

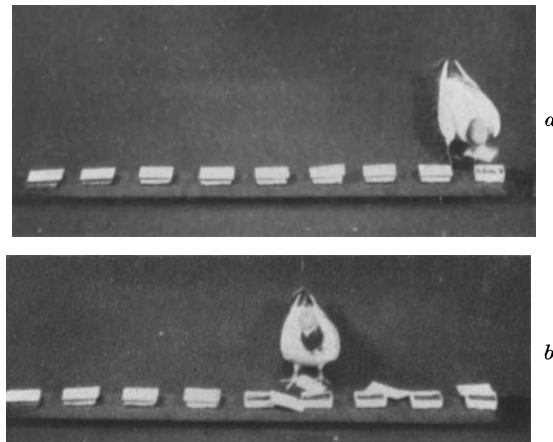


Fig. 16. Blauweiß an Kästchenreihe, $x = 6$. a) vor Verteilung 6 — nach Öffnung des ersten Kästchens, b) nach Lösung von Verteilung 1 3 1 0 1.

Tabelle 5. Blauweiß öffnet bei dauernd wechselnden Verteilungen Kästchen auf x Erbsen. $x = 6$ und 7 an Kästchenreihe.

x	n	$\pm \% \pm m$
2	433	$70,5 \pm 2,2$
3	1400	$67,5 \pm 1,3$
4	781	$71,4 \pm 1,6$
5	2919	$67,3 \pm 0,9$
6	1163	$67,3 \pm 1,4$
7	476	erfolglos
		7172

(Tabelle 5). Der an sich sehr berechtigte Einwand, der Versuchsleiter habe vielleicht unbewußt die Drehscheibe erfolgbegünstigend bedient, wurde glänzend entkräftet, als Hilfspersonen, tageweise mit ARNDT abwechselnd, die Drehschnur im Beobachtungsstand förderten, ohne zu wissen, welche Aufgabe gerade daran war. Sie hatten lediglich den Auftrag, so lange immer weiterzudrehen, bis die Taube abgegangen war; vom Verteilen der Erbsen in die Kästchen bekamen sie nichts zu sehen. Trotzdem blieben die Ergebnisse auf alter

Höhe (in $x = 5$ der Tabelle mitenthalten: je 600 Versuche mit ARNDT an der Drehscheibe: $66,3 \pm 1,9$, mit Fremden: $65,2 \pm 1,9$; Differenz = $1,1 \pm 2,7$). Und nichts bleibt mehr einzuwenden übrig an der Kästchenreihe (Fig. 16), die die Taube stets von derselben Seite her angeht. Der Versuchsleiter beködert sie ebenso wechselnd wie zuvor beschrieben, verschwindet im Beobachtungsstand, sieht während des Versuchs nicht zu und nimmt erst draußen den Befund auf, nachdem er die Taube hat abgehen oder abfliegen hören. Selbst wer an Gedankenübertragung glauben möchte — und es wird ihm bald vergehen, wenn er selbst erlebt, wieviele Fehllösungen es gibt, obwohl der Versuchsleiter immer gleich stark wünscht, sie möchten positiv werden — kann hier nichts einwenden: der Versuchsleiter weiß ja nicht, wann er den Haltbefehl denken soll. Natürlich ist diesem Vorteil die Automatenanordnung geopfert, der Raumfaktor kommt wieder hinein, und den Rhythmus des Kästchenöffnens bestimmt

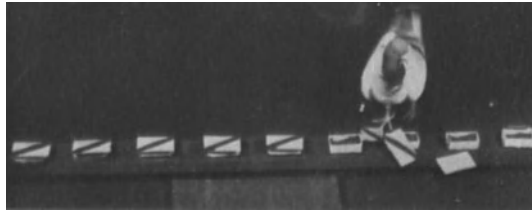


Fig. 17. Blauweiß in der Doppelaufgabe, weiße Deckel auf 4, gestreifte auf 2 Erbsen zu öffnen, nach Lösung der Einzelaufgabe $x = 2$ in Verteilung — 1 — 1. Der zweite Deckel ist mit der Farbseite nach unten abgefallen.

die Taube. Aber die wechselnden Verteilungen sorgen dafür, daß auch hier kein Schluckrhythmus aufkommen kann, und die Länge der Reihe der zu öffnenden Kästchen wechselt ebenfalls von Versuch zu Versuch unübersehbar zwischen 1 bis 6, während 9 Kästchen dastehen. Somit sind alle Raummerkmale bestimmt wirkungslos. Das Ergebnis bei $x = 6$ ist völlig beweisend (Tabelle 5). Die Dressur auf 7 dagegen, an die ARNDT nach diesem Erfolg mit vollem Optimismus heranging, mißglückte vollkommen.

So wie beim ersten Grundvermögen, so fragen wir weiter auch beim zweiten, ob der Vogel mehrere Aufgaben zugleich beherrschen, also je nach Befehl durcheinander auf $x = 4, 2, 5$ usw. handeln kann. An der Kästchenreihe diente als Befehlsanweiser die Deckelfarbe. Taube Blauweiß lernte, abermals straffrei, in nur 437 Versuchen einwandfrei, weiße Deckel auf 4, und damit unregelmäßig abwechselnd, gelbe mit schwarzem Diagonalstreif (Fig. 17) auf 2 Erbsen zu öffnen, beides bei wechselnder Verteilung der Erbsen in den Kästchen.

Da Papageien sprechen lernen, so wagte MAROLD, Wellensittichen auch akustische Befehlsanweiser zu geben. Während Hunde und

Pferde bekanntlich zahlreiche Wortbefehle auch durcheinander richtig zu befolgen lernen, ist Gleiches meines Wissens bei Vögeln bisher noch nicht versucht worden. Wohl lehrte S. KNECHT¹⁾ sie, was ja auch Fische lernen, auf den Futterton hin zum Futter zu kommen und beim Gegenton dieselbe Handlung zu unterlassen. Hier jedoch sollen die Wellensittiche auf 2 Klänge mit verschiedenen Handlungen antworten, nämlich zu dem gesprochenen griechischen Zahlwort „dyo“ immer nur 2, zum

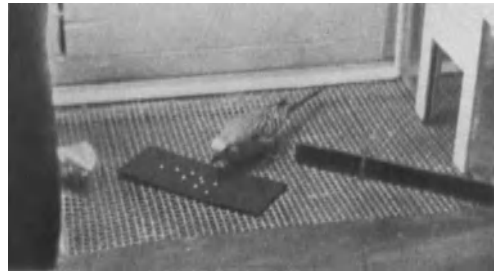
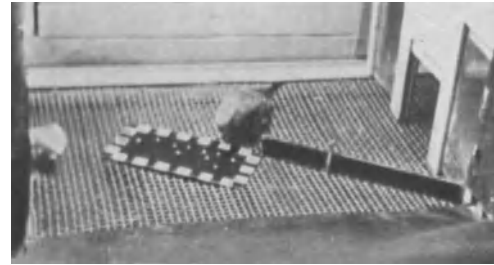


Fig. 18. Sittich Grün I in der Dreifachaufgabe a) auf 2 fressend bei schwarzweiß gewürfeltem Plattenrand, b) auf 3 an randloser Platte, c) auf 4 bei gelbem Rand.

„treis“ immer nur 3 Hirsekörner vom gleichen Haufen nehmen (2300 Versuche, die letzten 300 mit unregelmäßig wechselnden Lagen und Anzahlen gebotener Körner [10 bis 20] und bei vorbestimmtem Aufgabenwechsel [s. S. 204, Fußn.]: 72,5, 63,5 68 Plusprozent). Wer aber, bestimmt fälschlich, meint, der Versuchsleiter habe durch die Art seines Sprechens ungewollte Hilfen gegeben, mag sich an die ebenso gute Leistung von Sittich Blau l halten, der zum Schall der elektrischen Klingel 2, zum Summer 3 Körner nahm. Beide Zeichen ertönten ununterbrochen, so lange der Vogel im Versuchsraum war. Von 1200 Versuchen hatten

¹⁾ S. Naturwiss. 1940, 658—663.

das 10. und 12. Hundert bei denselben Erschwerungen wie oben 58 und 68 Plusprozent; das Lernen ging schneller als bei dyo und treis.

Übergehen wir die lange Reihe der Doppelaufgaben mit *Farbanzeigern*, so gipfelte ein Sittich in der *Dreifachaufgabe* (Fig. 18), vom Körnerbrett mit schwarzweiß gewürfeltem Rande immer nur 2, mit schwarzem 3, mit gelbem Rande 4 Körner von der gleichbeschickten Platte zu nehmen. Abgesehen von dem vorherigen Lernen der Einzel-



a



b



c

Fig. 19. Dohle Blau in Vierfachaufgabe nach richtiger Lösung. a) schwarze Deckel auf 2, b) grüne auf 3, c) weiße auf 5 Köder = Schälchen abzuheben, unmittelbar vor Abflug. Abheben roter Deckel auf 4 ist nicht abgebildet.

aufgaben genügten 800 Versuche zur Beherrschung. Während der letzten 400 Versuche gab es bei vorbestimmtem Aufgabenwechsel für alle 6 Wechsel (2→3, 2→4, 3→2, 3→4, 4→2, 4→3) zusammen im Mittel 62 Plusprozent; der höchste Prozentwert mit 68 und der tiefste mit 55 liegen beide bei Abwärtswechseln (4→3, 3→2), die den Vögeln naturgemäß am schwersten fallen. Dieser Sittich lernte einwandfrei die 3 Aufgaben, die sich um nur je ein erlaubtes Korn unterscheiden, auseinanderzuhalten und jede von ihnen mit einem anderen befehlsanweisenden Anblick der Körnerplatte zu verknüpfen.

Er wurde noch übertroffen von der Dohle Blau, die die *Vierfachaufgabe* (Fig. 19) löste, an der Schälchenreihe schwarze Deckel auf 2, grüne auf 3, rote auf 4, weiße auf 5 zu öffnen, wobei

anfangs jedes Schälchen einen Köder enthielt, so daß es aufs gleiche herauskommt, ob sie „auf Schälchen“ oder „auf Köder“ öffnet. Hierbei wurden bemerkenswerterweise die Lernzeiten mit zunehmender Schwierigkeit immer kürzer: nach langer Vorarbeit auf die Einzelaufgaben kam die Zweifachaufgabe in 500, die Dreifachaufgabe in 400 Versuchen zustande, und beim Hinzunehmen der 4. Einzelaufgabe war das Ergebnis schon im 2. Versuchshundert am besten [gute Folgeergebnisse, 5 Positivfolgen (Zufallswert 1,3%) zu 4 Gliedern, zwei (0,6) zu 5, zwei (0,4) zu 6, eine (0,03) zu 10 Gliedern]. Und selbst mit je 5 wechselnden Verteilungen der Köder auf die Schälchen je Einzelgabe gelang dieselbe Vierfachaufgabe. Die 5 Verteilungen für $x = 2$ waren 1 — — — 1, 2 —, 1 1 —, 1 — 1 —, 1 — — 1; für $x = 5$ waren es diese: 5 —, 3 2 —, 2 2 1 —, 1 2 1 1 —, 1 1 1 1 1; usw.

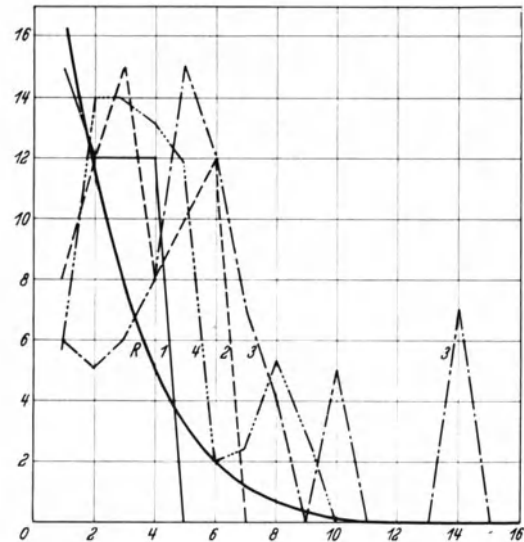


Fig. 20. Häufigkeit (Ordinate) der Positivserien (deren Längenabszisse) von Dohle Blau in der Vierfachaufgabe wie Fig. 19, jedoch mit wechselnden Verteilungen der Köder in den Schälchen, verglichen mit der Roulettekurve (ausgezogen). Kurve 1 ——— Einfachaufgabe $x=5$. Kurve 2 - - - - Doppel-aufgabe 2 und 5. Kurve 3 - · - · - Dreifachaufgabe 2, 3, 5. Kurve 4 - · · · - · - Vierfachaufgabe $x=2, 3, 4$ und 5. Einfach- und Zweifachaufgabe wurden, wie es beim Aufbau von Mehrfachaufgaben zweckmäßig ist, nicht sehr lange geübt. Nach SCHIEMANN.

Wie aus Fig. 20 ersichtlich, liegen die Positivserien auch der Vierfachaufgabe deutlich oberhalb der Zufallswerte (Roulette), doch nicht mehr so stark wie vordem bei der Dreifachaufgabe. Um zur theoretisch möglichen Höchstleistung vorzuschreiten, hätte man noch die 1 und die 6 hinzunehmen, also die Sechsfachaufgabe stellen müssen. Doch ist die 1 deshalb nie geübt worden, weil sie zu viel Scheuchen kostet, das sich dann in zu großer Bescheidenheit bei den höheren Aufgaben auswirkt, und die 6 glückt zwar auch bei Dohlen für sich allein einwandfrei, doch liegt sie eben an der

Grenze, und das Verlangen der Differenzierung gegen die 5 im dauernden Wechsel dürfte auch das Vermögen der Dohle übersteigen.

Freundliche Laien, denen ich die Filme ohne weitere Erklärung zeigte, haben meine Frage, ob diese Vögel wirklich zählten, fast immer nachdrücklich bejaht: Wenn man „zwei“ sagt, nehmen sie 2, auf „drei“ 3 Körner; sie können in Einzelaufgaben und ebenso schön auch durcheinander je nach Befehl 2, 3, 4, 5 und 6 Körner aufnehmen. Dürfen wir ihnen zustimmen?

Selbstverständlich war es nur Spielerei, daß wir Zahlwörter als akustische Befehle wählten; Klingel und Summer taten dieselben Dienste; Farben, die für uns gar keine Beziehungen zu Anzahlen haben, lernten die Vögel leichter als Laute mit befohlenen Handlungen zu verknüpfen. Ganz unabhängig von Objekt und Versuchsanordnung ist weder das eine noch das andere Vermögen, wenn auch einige Umstellungen erstaunlich glatt glückten, besonders die der Dohle von Punktgruppen (auf Schälchendeckeln) auf ebensoviele Mehlwürmer. Jede „Zähl“-Aufgabe mußte neu erlernt werden, Rückdressuren auf eine früher bereits beherrschte Aufgabe waren schwerer als der erste Lernakt. „Außer der Reihe“ lernten die Vögel ebenso rasch wie in ihr. *So spricht für systematische Einsicht in das Wesen der Zahlenreihe schlechterdings nichts.* Und doch kann kein äußeres Zeichen dem Vogel sagen, nun ist es genug, das nächste Korn, der nächste Deckel müssen unberührt bleiben. Denn alle erdenklichen Hilfszeichen, wie der Figur, des Rhythmus, unbewußte Bewegungen oder Laute des Versuchsleiters wurden ausgeschaltet, und selbst der streng unwissentliche Versuch mit dem völlig unbeteiligten Versuchsleiter glückte, ja fast am besten. Also kann dem Vogel die Anmahnung zum Aufhören nur aus seinem Inneren kommen. Indem er während der Scheudressur immer nach x Körneraufnahmen weg muß, bzw. indem er sich stets nach x erfolgreichen Handlungen die erste Enttäuschung holt, muß sich in seinem Inneren die Handlungsbegrenzung auf x bilden, so daß er sie auch im völlig unbeeinflussten Spontanversuch beibehält. Wir nennen diese innere erlernte Handlungsbeschränkung den *inneren Vorsatz, auf x zu handeln*. Er muß, wie wir sahen, eine reine Zeitgestalt sein, jedoch ganz und gar nicht unseren Rhythmusvorstellungen vergleichbar. Im Räumlichen wäre etwas einigermaßen Ähnliches etwa die Weggestalt, die ein Tier im Labyrinthversuch oder bei sonst einer selbsterworbenen Wegdressur in sich festigt, oder beim Menschen die Formschemata der Buchstaben, die wir bei erheblicher Veränderlichkeit aller Einzelheiten doch immer wieder erkennen. Die Existenz eines solchen inneren Vorsatzes haben wir erwiesen. Fragen wir nun, wie er im Vogel und für ihn selbst aussehen mag, so läßt sich das natürlich mit objektiver Sicherheit niemals wissen, wohl aber kann man die bestehenden Möglichkeiten nach dem Sparsamkeitsgrund-

satz jeder wissenschaftlichen Erklärung einengen, vielleicht bis nahe an die Eindeutigkeit heran.

Die verschwenderischste Annahme wäre zweifellos die, der Vogel zähle mit wie ein Mensch beim Salutschießen, sage also zwar nicht zu jedem aufgenommenen Köder deutsche oder altgriechische Zahlwörter vor sich hin, aber markiere sie doch innerlich durch *qualitativ verschiedenwertige, eindeutig* gereihte Akzente, z. B. um beim Sprechenden zu bleiben, wie wenn wir einen Abzählvers mitlaufen lassen, etwa „ha—he—hi—ho—hu“. Welchem Empfindungsgebiet diese Akzente auch immer entlehnt sein mögen, praktisch kämen sie in ihrer Verwendbarkeit zum Abzählen der menschlichen Reihe *benannter Zahlen* gleich, wenn sie die beiden genannten Bedingungen erfüllen. Dann aber sollte der Vogel wenigstens spurenhafte echte Zahleneinsicht zeigen, woran es jedoch ersichtlich fehlte. Deshalb lehnen wir die Annahme der inneren Melodie aus qualitativ verschiedenen Akzenten in fester Reihung ab. *Der Vogel zählt nicht.*

Die sparsamstmögliche Annahme wäre demgegenüber die lauter *gleichartiger* Akzente; um im Bilde des Sprechens zu bleiben, würde der Vogel zu jedem aufgenommenen Köder dasselbe „sagen“, die Reihenglieder seines inneren Vorsatzes wären also sämtlich gleich. Dann hat er *unbenannte Anzahlen* erlernt: er „sagt“ sooft „hm“, wie seine Reihe Glieder hat, und zwar in den recht weit nachgewiesenen Grenzen rhythmusunabhängig. Für Mitteilung einfacherer Erklärungsmöglichkeiten wäre ich dankbar; mir ist keine bescheidenere eingefallen.

In seltenen glücklichen Fällen geht das von uns behauptete innerliche Markieren in sichtbare Intentionbewegungen über. Im Taubenfilm I sieht man z. B. bei der Aufgabe, 2 von 3 gebotenen Körnern zu picken, mehrfach einen kurzen Lufthieb des Schnabels gegen das 3. Korn in positiven Spontanversuchen. Als einmal eine Dohle an der Schälchenreihe bei der Verteilung 1 2 1 — 1 auf 5 handeln sollte, brach sie nach Öffnen der 3 ersten Schälchen ab und ging zum Türchen hinaus, kam jedoch sogleich zurück, *nickte* im Vorbeigehen *dem ersten Schälchen einmal*, dem *zweiten zweimal*, dem *dritten einmal* zu, öffnete das leere vierte, entnahm dem fünften den letzten zuständigen Köder, ließ den Rest der Reihe stehen und ging endgültig ab. Die ersten 3 offenen Schälchen konnten ihr nicht erzählen, was vorher dargelegen war, noch auch daß ihr noch ein Köder an der gewohnten Ration fehlte. Es fällt einem dabei ein Kind ein, das beim Gedichtaufsagen steckenbleibt, von vorn wieder anfängt und die Klippe sozusagen im Anlauf nimmt. Diese Dohle *markierte* bei der Wiederholung des im ersten Anmarsch bereits erledigten Versuchsbeginnes dessen Ablauf in allen wesentlichen Einzelheiten durch nur knapp angedeutete Bewegungsanfänge, um dann den noch fehlenden Rest in vollendeten Bewegungen richtig „ins Reine“ abzuhandeln.

Trifft unsere bescheidenste Annahme zu und ist sie erschöpfend, so möchte man wohl erwarten, daß *vorzeitiges Scheuchen* auf halbem Wege der Aufgabenlösung ein gut auf x dressiertes Tier nicht abhalten sollte, im folgenden Spontanversuch, weiterhin kurz als Folgeversuch bezeichnet, wieder auf das volle x der Dauerdressur zu handeln. Denn wenn alle ihre inneren Reihenglieder gleich sind, so wird sie vermutlich nicht bemerken, beim wievielten der unerwartete Scheuchschlag fiel. Das sah denn auch bei Tauben und Wellensittichen wirklich so aus. ARNDT schloß dementsprechend. Der Sittich aber wich bei diesem vorzeitigen Scheuchen so schwer wie sonst nie, als lehne er sich gegen die vorzeitige Unterbrechung mit allen Kräften auf. Aus der Tatsache, daß er dann im Folgeversuch immer wieder auf das alte volle x handelte, brauchte man demnach nicht zu schließen, er habe nicht gemerkt, beim wievielten Korn er vorzeitig gescheucht wurde; vielleicht hätte er nur auf seinem Recht bestanden. Auch könnte die alte Dressur mit ihrem ewigen Gleichmaß zu fest gesessen und die Aufmerksamkeit für unerwartete Nebenumstände vermindert haben. Alle unsere Vögel fressen, hungrig wie sie zum Versuch kommen, zumal bei hohen x anfangs rasch drauflos, um gegen Ende der Reihe immer deutlicher Scheucherwartung zu zeigen. Vor dem ersten verbotenen Korn kann man sie oft wahrlich nicht übersehen (Fig. 1 b, 13). Daher versuchte MAROLD, die gleiche Spannung schon von Anfang an zu schaffen, indem er dem Sittich im kritischen Folgeversuch eine neue Körnerplatte von abweichender Farbe oder Form bot, an die er in Vorversuchen erst so weit gewöhnt worden war, daß er wenigstens nicht ganz wegblieb. Das vorzeitige Scheuchen dagegen fand stets auf der altgewohnten Platte statt. Während Sittich Gelb in den 13 Folgeversuchen mit alter Platte nach vorzeitigem Scheuchen beim 3. bis 5. Korn der Dressursechse treu blieb (Mittel 5,77 Körner), hielt er in 10 entsprechenden Folgeversuchen mit neuer Platte zweimal genau die Anzahl des vorzeitigen Scheuchens ein, nämlich die 3; einmal unterschritt er sie um 1, zweimal überschritt er sie um 1 und fünfmal um 2 Körner; die 6 erreichte er nie.

Bei Dohlen gelang dasselbe sogleich auch bei unveränderter Versuchsanordnung, d. h. auf der alten Platte, ohne zusätzliche Verschüchterung. Dohle Bunt hatte völlig straffrei gelernt an der Schälchenreihe bei wechselnder Verteilung auf 5 Köder zu handeln; dieselbe Versuchsanordnung wurde oben für Taube Blauweiß ausführlich beschrieben (S. 212, Fig. 16, Tab. 4, Tab. 5, Reihe $x = 6$). Wurde die Dohle Bunt nun bei der Verteilung 3 1 1 — plötzlich gescheucht, nachdem sie gerade das erste Schälchen geleert hatte und noch bevor sie das zweite öffnen konnte, so bedeutet das im Sinne der Aufgabe ein vorzeitiges Scheuchen nach 3 Ködern. Nun schließen sich, natürlich sämtlich scheuchfrei, spontane „Folgeversuche“ an. Im ersten war

4 1 — geboten; sie fraß nur das erste Schälchen leer, hatte also mit 4 Ködern genug. Im zweiten Folgeversuch (2 1 1 1 —) öffnete sie auch nur den ersten Kasten, hörte also nach 2 Ködern auf; im dritten Folgeversuch (1 — 1 1 — 1 1 —) hob sie 4 Deckel ab und begnügte sich demnach mit 3 Ködern. Die einmalige vorzeitige Verwarnung auf 3 Köder hat sie also veranlaßt, hinterher spontan auf 4, auf 2 und auf 3 zu handeln, d. h. von der durch das vorzeitige Scheuchen angemahnten 3 um ± 1 , im Mittel um 0,0 abzuweichen. Nehmen wir die drei weiteren Versuchsreihen hinzu, die hier übergangen werden, so ist sie nie um mehr als ± 1 von der Anzahl des vorzeitigen Scheuchens abgewichen, und im Mittel aller Folgeversuche um $-0,15$ Köder, d. h. sie richtete sich tatsächlich nach dieser Anzahl, und es brauchte 3—5 Folgeversuche, bis sie wieder zum Dressur- x zurückkehrte. — Die Dohle Blau scheuchte SCHIEMANN vorzeitig während der Doppeldressur auf 6 und 2 Schälchen = Köder in Einzelaufgaben auf 6. Sie wich in 8 Versuchen um -1 bis $+2$ von der „vorzeitigen Anzahl“ ab, im Mittel um $+0,1$; die längste Nachwirkung währte 2 Folgeversuche. Dohle Rot 2 endlich sollte gerade 7 Köder von der Platte nehmen, was ihr nicht gelang. Sie war daher nicht so eindeutig auf eine bestimmte Anzahl festgelegt wie die anderen beiden Tiere. In 50 kritischen Folgeversuchen unterschritt sie die vorzeitige Scheuchanzahl im Mittel um $-0,9$ Köder bei einer Schwankungsbreite von -2 bis $+3$, und bei ihr war die Nachwirkung 2—28 Folgeversuche lang zu spüren, die 2—35 Minuten währten! Erst dann schwankte sie wie zuvor zwischen 5 und mehr als 7. Je scheuer Dohlen sind und je weniger sie sich bereits auf ein bestimmtes x festfahren haben, so können wir zusammenfassen, desto länger scheinen sie den Eindruck einmaligen vorzeitigen Scheuchens zu behalten, und um so mehr neigen sie dazu, die nur einmal eingeprägte Anzahl des vorzeitigen Scheuchens zu unterbieten. Wenig scheue, ihrer Hauptdressur sichere Dohlen behalten den vorzeitigen einmaligen Schlag weit weniger lange, dafür aber seine Lage in der Reihe des inneren Vorsatzes um so genauer.

SCHIEMANN hat anschließend auch seinen 16 jährigen Bruder, der, durch gleichzeitiges Kopfrechnen am Mitzählen verhindert, zugerufene Zahlen mit einem Löffel auf den Tisch etwa bis zur uns bekannten Grenze (6) richtig nachklopfte, plötzlich einmal durch einen unvorhergesehenen elektrischen Schlag vorzeitig gescheucht, nämlich bei 4, als er 6 klopfen sollte. Hinterher klopfte er in scheuchfreien Folgeversuchen statt der geforderten 6 nacheinander 3, 2, 4 und 5, dann erst wieder richtig 6. Auf die nachträglich gestellte Frage, beim wievielten Klopf er gescheucht worden sei, meinte er nach einigem Besinnen, es sei bei 3 gewesen.

So erstaunlich diese recht genaue Wiedergabe der Anzahl auch war, bei der die Dohlen vor-

zeitig gescheucht wurden, konnten wir uns doch nicht entschließen, allein darum die benannte Gliederreihe des inneren Vorsatzes anzunehmen, da doch auch bei den Dohlen sonst alles dagegensprach. Andererseits zwingt das Ergebnis zu einer Erweiterung der Annahme, die Reihenglieder seien einander völlig gleich. Die Lösung hat MAROLD versucht, indem er den an sich gleichnamigen Reihengliedern verschiedene *Valenz* und damit zwar nicht qualitative, wohl aber quantitative Unterschiede zusprach. Das erste Korn wird am geringsten erstrebt, bei ihm hat es zudem noch nie geschlagen. Gegen Ende des Pickens aber schlug es immer häufiger, weiteres Zupicken wird immer gefährlicher, wie es ja auch das zunehmende Zögern und die Diebshaltung des Vogels äußerlich erkenntlich macht. Also mag über der hm-Reihe des inneren Vorsatzes bei seinem Abhandeln ein *decrecendo fallender Lust-* bzw. ein *crescendo steigender Scheucherwartung* stehen. Sollte der Vogel jenen *Valenzgrad*, bei dem er vorzeitig gescheucht wurde, sich angenähert merken können, so wäre damit auch die Höchstleistung der Dohlen verständlich. Es bleibt damit ein für allemal bei den *unbenannten Anzahlen* aus qualitativ durchaus gleichen Gliedern, nur dürften sie in ihrer Lusttönung beim Abhandeln quantitativ abgestuft sein.

Übrigens macht diese Zusatzannahme für sich allein die Lage der Grenze bei 6 — etwa weil dort das Valenzgefälle zu flach würde — keineswegs verständlich. Im Gegenteil, bei Scheuchdressuren ist es gerade dort am steilsten, bei scheuchfreier Selbstdressur jedoch ist es vielleicht bzw. wahrscheinlich überhaupt nicht vorhanden. Die nie gescheuchte Taube Blauweiß hat sicher in ihren Tausenden von Versuchen niemals Angst gehabt und doch die Grenze bei 6 am allerschönsten gezeigt; auch wird niemand glauben, ein hungriger Körnerfresser werde durch 6 kleine Köder satt; man braucht einem scheuchgewohnten Vogel nur ein paar Überschreitungen hintereinander ungeahndet durchgehen zu lassen, um zu erleben, daß er mit größter Beschleunigung alles frißt, was daliegt; eine solche Szene ist im Taubenfilm I mitenthalten. Hier kann die Begrenzung auf ein höchstmögliches x , eben die 6, die wir ja immer wieder fanden, genau wie beim nichtmitzählenden Menschen nur daran liegen, daß er ohne Rhythmushilfe die Länge von Reihen aus gleichnamigen Gliedern eben nur bis zu x Gliedern zu übersehen vermag. Auch kann es unmöglich ein Zufall sein, daß die Grenzen beider Grundvermögen, des anschaulich räumlichen (Vergleich zweier Mengen) und des rein zeitlichen (Handeln auf x) bei 3 Vogelarten und dem Menschen und so vielen verschiedenen Versuchsanordnungen immer wieder bei der 6 lagen.

Für uns haben diese beiden Grundvermögen nichts Sinnliches gemeinsam, sondern allein den abstrakten Begriff der Anzahl. Den aber kann kein Tier haben; es ist ja kein sprechender Mensch. So wird vermutlich der Vogel in seinen beiden

erlernten Leistungen auch nichts Vergleichbares erleben; er wird es sicher nicht bemerken, daß sie beide auf dasselbe hinführen, nämlich auf menschliches Zählen. Doch läßt sich untersuchen, ob unsere Vögel beide Vermögen wenigstens in einem Lernakt miteinander verknüpfen können. Wir stellten ihnen die Aufgabe, gesehene Punktzahlen in ebenso zahlreiche aufeinanderfolgende Handlungen zu übersetzen, mit anderen Worten, so viel Köder von der Platte zu nehmen, wie sie Punkte vor sich sahen, und zwar vorerst in Form der Doppelaufgabe, x bzw. y Punkte als Befehlsanweiser für x bzw. y erlaubte Köder zu benützen. Das mißlang bei Tauben vollkommen. Bei Sittichen gelang es nach unsäglicher Mühe, jedoch nur unter voller Figurenhilfe, so daß lediglich die Form der Punktanordnung, nicht ihre Anzahl erlernt zu sein braucht. Dohle Grün aber lernte in 1000 Versuchen, aus einem Kreis von vielen Mehlwürmern 4 zu nehmen, wenn in seiner Mitte 4 Tuschepunkte standen, nur 2 dagegen, wenn 2 Punkte es anwiesen. Anfangs lagen die Punkte beidemal formkonstant; aber auch bei allmählichem Übergang zu Knetmassepunkten von endlich völlig wechselnder Lage erhielt sich das Vermögen (Tabelle 6). Allerdings waren die Punkte immer gleich groß. Aufgabenverwechslungen (2 Köder bei 4 Punkten und umgekehrt) kamen im 10. Hundert 22, im 12. 11 mal vor. Das Ergebnis ist noch positiv zu werten, ermutigte jedoch nicht zum Weiterstreiten auf demselben Wege.

Tabelle 6. Dohle Grün. 10. Versuchshundert: Punktlagen konstant. 12. Hundert: Punktlagen wechselnd.

Aufgabenwechsel	10. Hundert		12. Hundert	
	+ %	n	+ %	n
4→4	75	20	60	35
4→2	53	38	71	31
2→4	42	34	52	27
2→2	100	2	100	1

Wir sind für heute am Ende. Die Vögel haben in diesen Versuchen mehr geleistet als bisher Säugetiere einschließlich der Menschenaffen. Vielleicht läßt sich noch mehr von Elstern, dem Eichelhäher, Kolkrahen oder dem Graupapagei erwarten. Wieweit man mit Säugern käme, bei denen bekanntlich die Dressurschwierigkeiten mit dem Grad ihrer seelischen Vielseitigkeit steigen, ist nicht vorzusagen.

Ich fürchte den Vorwurf nicht, auch dies sei nur ein Vogelzirkus gewesen, in dem man den Vögeln unbiologische Zumutungen stellte, wie nur menschlicher Verstand sie ersinnt, und den Beschauer verleitete, diese baren Dressurleistungen für Intelligenzakte des Vogels zu halten. Im Gegensatz zu jenen Unbelehrbaren, die nicht bemerken wollen, daß sie selber zählen, während ihr Hunde nur klopfen und bellen, behaupten wir ja eben nicht, die Vögel zählten. Wohl aber haben die Vögel durch den Erfolg ihrer Dressuren auf Auf-

gaben, die sie selbst allerdings nie erdacht hätten, *bewiesen, daß sie zwei Grundvermögen haben, die im menschlichen Zählen darinstecken und nebst anderen Grundvermögen*, nach denen man bei Tieren ebenfalls noch suchen könnte, *zum menschlichen Zählen geführt haben*. An diesem fehlt dem Vogel gerade das letztentscheidende Glied, die eindeutig benannte aufsteigende Zahlenreihe. Unbenannte Anzahlen dagegen kann er sicher lernen und manchmal dazu noch vermutlich ihre an sich gleichen Glieder valenzmäßig quantifizieren. Von der Übertragbarkeit, dem Unabhängigmachen von der Art der Objekte und der Versuchsanordnung überhaupt, sahen wir erste, aber verheißungsvolle Spuren.

So kindisch es wäre, die schier unendlich große Spanne zu übersehen, die die tierischen Anfänge vom menschlichen Zählen, Rechnen und all seinen Anwendungen im praktischen Handeln wie in der Forschung trennen, so verkehrt wäre es, die grundlegende Bedeutung des hier nachgewiesenen gemeinsamen Besitzes jener Anfänge verkleinern zu wollen. Je mehr und je kritischer man mit Tieren umgeht, um so erschütternder wird man gewahrt, wie unsäglich viel Tierisches im Menschen steckt, und zwar gerade auch im Verhalten. Im Instinktleben und seiner arterhaltenden Sicherheit sind uns die Tiere so meilenweit überlegen wie wir ihnen durch unsere Wortsprache als Grundvoraussetzung jeder geistigen Leistung. Aber durch die Sinne und angeborenen Schemata hindurch steckt auch im Menschengestalt viel mehr tierisch vorsprachlicher Grundbesitz, als wir es heute erst zu ahnen beginnen. Jedes Tier kann viel mehr, als es bei seiner gegenwärtigen Lebensweise im Wildzustand braucht und nützt. Der übliche Schluß vom Bedarf auf den Besitz und umgekehrt ist heuristisch grundverkehrt; wir kennen keinen einzigen gesicherten Fall direkter Anpassung in der Stammesgeschichte, wohl aber Voranpassung (Präadaptation) die Fülle, d. h. Brachliegen ungenützter Organisation, bereit zu vielleicht künftiger Verwendung. Daher ist es auch nicht „unbiologisch“, zu fragen, ob ein Vogel

Vorstufen des Zählens besitzt, zu einer Zeit, da man von einer natürlichen Verwendung solcher Vermögen in freier Wildbahn außer unbewiesenen Anekdoten nichts weiß.

Indem wir Tiere kritisch untersuchen, unvoreingenommen nach naturwissenschaftlicher Methode verschwenderisch analysierend, so sparsam wie nur möglich im synthetischen Urteil, erkennen wir nicht nur sie, sondern auch unsere eigene Stammesgeschichte, Stufen unserer seelischen Menschwerdung und die vorsprachlichen Urgründe, aus denen auch heute noch beim erwachsenen Kulturmenschen die natürliche Wahrheit unserer Urteile erwächst.

Schriftenverzeichnis. W. FISCHER, Haben Vögel ein „Zählgedächtnis“? *Z. Physiol.* 4, 345–369 (1926). — O. KOEHLER, O. MÜLLER, R. WACHHOLTZ, Kann die Taube Anzahlen erfassen? *Verh. dtsh. Zool. Ges.* 1935, 39–54. — O. KOEHLER u. R. WACHHOLTZ, Weitere Versuche an der Taube „Nichtweiß“ zur Frage des „Zähl“-Vermögens. *Verh. dtsh. Zool. Ges.* 1936, 221–236. — O. KOEHLER, Kann die Taube „zählen“ lernen? *Forsch. u. Fortschr.* 1935, 402/3 — Können Tiere zählen? *Berl. tierärztl. Wschr.* 1937, 514/5 u. 797–800. — Können Tauben „zählen“? *Z. Tierpsychol.* 1, 39–48 (1937). — Die „zählenden“ Tauben und die „zahlsprechenden“ Hunde. *Biologe* 6, 13–24 (1937). — Können Tauben zählen? *Die Koralle*, 5. Febr. 1939, S. 143/3 (mit Taubenbildern). — Tauben, Wellensittiche und Dohlen erlernen unbenannte Anzahlen. *Forsch. u. Fortschr.* 1941. — Können Tauben zählen? Veröffentlichungen der Reichsstelle für den Unterrichtsfilm zu dem Hochschulfilm C 281, 16 SS. (1939). — Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Tauben, Reichsanstalt für Film und Bild, Archivfilm B 440/1940. — Wellensittiche erlernen unbenannte Anzahlen. Reichsanstalt für Film und Bild, Archivfilm B 442/1940. — Dohlen erlernen unbenannte Anzahlen. Reichsanstalt für Film und Bild, Archivfilm B 467/1940. — W. ARNDT, Abschließende Versuche zur Frage des „Zähl“-vermögens der Haustaube. *Z. Tierpsychol.* 3, 88–142 (1939). — E. MAROLD, Versuche an Wellensittichen zur Frage des „Zähl“-vermögens. *Z. Tierpsychol.* 3, 170–223 (1939). — K. SCHIEMANN, Vom Erlernen unbenannter Anzahlen bei Dohlen. *Z. Tierpsychol.* 3, 292–347 (1939).

Außenwelt und Wahrscheinlichkeit.

VON FELIX STUMPF, Berlin.

Wenn der Positivismus davon ausgeht, daß dem Einzelnen mit Sicherheit seine Sinneserscheinungen gegeben sind, so ist dies anzuerkennen, falls man noch die inneren Erlebnisse hinzunimmt. Es wäre jedoch eine unnötige Einschränkung, wenn man leugnen wollte, daß wir nicht noch mehr mit Sicherheit aussagen könnten, nämlich alles, was auf indirektem Wege erkannt wird. Der Gedanke BERKELEYS und seiner Nachfolger, daß wegen der Beschränkung unserer Gewißheit auf das sinnlich unmittelbar Gegebene die Existenz der Außenwelt fraglich und unbeweisbar sei und geleugnet werden müsse, wird wohl in voller Schärfe heute kaum noch vertreten, wirkt jedoch

in der Ansicht nach, daß Nichtbeobachtbares aus der Wissenschaft ausscheiden sollte.

Aber auch das andere Extrem, wie es in dieser *Z.* 1940, 705ff. von ALOYS MÜLLER vertreten wurde, dürfte zu einseitig sein, wenn er einfach sagt, „wir haben die Dinge“, d. h. die Außenwelt. Die Undeutlichkeit des Begriffs Ding in diesem Zusammenhang hat M. PLANCK (diese *Z.* 1940, 778) hervorgehoben. Auch das „haben“ bedarf der psychologischen Erläuterung. Der Erwachsene mag wohl ein solches Gefühl sicheren Besitzes haben, der Säugling greift nach dem Mond, und ein kleiner Knabe probierte alle Lichtschalter des Hauses durch, um denjenigen zu finden, mit dem

man den Mond anknipsen könne. Wir haben also die Dinge nicht von vornherein, sondern erlernen dies erst und vergessen nachher, daß wir lernen mußten. Ein sicherer Ausgangspunkt für das System der Erkenntnis dürfte dies nicht sein.

Will man davon absehen, die Außenwelt als unbeweisbare Annahme zu postulieren, so bietet sich der Weg, sie indirekt zu beweisen, wie so vieles von dem, was wir wissen, bewiesen wird. Diesen Weg über den induktiven Schluß hat C. STUMPF¹⁾ in dem nachgelassenen Werk „Erkenntnislehre“ beschritten. Er läßt sich etwa folgendermaßen schildern:

Primär gegeben sind jedem Einzelnen nicht nur die Sinneswahrnehmungen, sondern vor allem die eigenen psychischen Funktionen, also Denken, Fühlen, Wollen, und die Ergebnisse derselben, die psychischen Gebilde. Zu den apriorischen Erzeugnissen des Denkens gehören die logischen (formalen) Axiome, auch die den Schlüssen zugrunde liegenden Regeln (Folgerungsaxiome) u. dgl. Aus der Wahrnehmung (innerer und äußerer) entnimmt man die Begriffe, durch deren Verbindung Urteile, Erkenntnisse gebildet werden. Diese leuchten entweder von selbst ein, oder ihre Bejahung oder Verneinung (Copula) bedarf der Prüfung an Erfahrungstatsachen. Die Frage ist nun, wie man aus unmittelbar gegebenen mathematischen und logischen Gesetzen zu Naturgesetzen, die den Charakter der Notwendigkeit tragen, gelangen kann. „Wir würden kein Interesse an apriorischen Wissenschaften haben, wenn es keine Erfahrungserkenntnis gäbe, zu deren Aufbau sie dienen. . . . Durch Erfahrung werden sowohl Tatsachen wie auf ihnen ruhende Gesetze erkannt, wie, sagt die *Induktion*, das schwierigste und bedeutungsvollste Problem der Erkenntnislehre“ (S. 125 und 126). Induktion ist nicht ein Schluß vom Speziellen auf das Allgemeine, sondern von Tatsachen auf *Gesetze* oder auf neue *Tatsachen*.

Zur Lösung dieses Problems benützt C. STUMPF die mathematische Wahrscheinlichkeit, eine in demselben Sinne apriorische Wissenschaft, wie es alle anderen Teile der reinen Mathematik auch sind. Die vorhergehenden Schritte in dieser Richtung von CONDORCET, POISSON, BRENTANO und SIGWART werden geschildert. Es handelt sich dabei um die Benützung des BAYESSchen Satzes über die Bewertung von Hypothesen, d. h. die Prüfung der Wahrscheinlichkeit einer Hypothese an den beobachtbaren Tatsachen. Der Schluß lautet dabei: m Tatsachen stimmen in der betrachteten Beziehung überein. Die zufällige Übereinstimmung hat die Wahrscheinlichkeit p . Also hat die Wahrscheinlichkeit für das Bestehen eines Gesetzes überhaupt oder einer den Tatsachen gemeinsamen Ursache (neuen Tatsache) den Wert $1 - p$. Die speziellen physikalischen Gesetze lassen sich in analoger Weise aus den Tatsachen erschließen.

¹⁾ CARL STUMPF, Erkenntnislehre. Leipzig 1939 u. 1940.

In derselben Form behandelt nun C. STUMPF das Problem der *Außenwelt*. Auch hier wird vom reinen Denken primär die Hypothese einer Außenwelt aufgestellt und durch Vergleich mit den Beobachtungen als wahrscheinlich erwiesen. Da alle Voraussagungen sich bewähren, soweit es an der Hypothese einer Außenwelt und nicht etwa an falschen anderen, tatsächlichen Voraussetzungen liegt, ergibt sich die Wahrscheinlichkeit so gut wie gleich 1. Eine Tatsache, die gegen die Hypothese spricht, ist nicht aufzuweisen, und hinzu kommt, daß eine vernünftige andere Hypothese außer der des reinen Zufalls nicht aufzustellen ist. Die Außenwelt ist hiernach nicht mehr Gegenstand einer unbewiesenen Annahme, sondern einer höchst gesicherten Hypothese.

Die Ausgestaltung der Hypothese im einzelnen richtet sich nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse und entspricht wohl dem, was PLANCK das Weltbild nennt.

Auch das *Kausalgesetz* wird als wahrscheinliche Hypothese behandelt. Auch hierfür gibt es zahllose bestätigende und keine widersprechenden Tatsachen. Die aus der Quantenphysik hergeleiteten Einwände sind wohl nicht beweiskräftig, da ihre Ableitung fortgesetzt kausaler Prämissen bedarf und ein Experiment die Akausalität noch nicht bewiesen hat.

Die Außenwelt ist also eine hypothetische, induktiv gesicherte Tatsache, die Kausalität ein solches hypothetisches Gesetz.

Ich füge dem noch folgende Bemerkung hinzu: Es könnte auffallen, daß bei der Begründung der Außenwelt von Tatsachen die Rede ist, die in der Naturwissenschaft meist empirischer Natur sind. Es bedürfte daher vielleicht noch einer psychologischen Untersuchung, welche Tatsachen des unmittelbar gegebenen Bewußtseins und der eben solchen Sinneswahrnehmungen genügen, um die Hypothese der Außenwelt zu stützen, doch scheint mir, daß ein jeder genug solcher Erfahrungen gemacht hat. Was die Ausgestaltung des Weltbildes im einzelnen betrifft, so hat diese natürlich nicht diesen hohen Grad der Sicherung wie die Hypothese, daß überhaupt eine Außenwelt existiert. Aus einer Mehrheit von Wahrnehmungen sucht man konstante Elemente heraus, sozusagen „Invarianten“, und macht die Hypothese, daß diese entweder durch ein Gesetz bedingt sind oder eine den Wahrnehmungen gemeinsame Ursache haben, die man die „Dinge“ nennt. Deren Sicherung ist ganz verschieden groß, ich erinnere an die Hypothese des Elektrons, das erst dann als gesichertes Ding galt, als es außer aus der Dispersion auch noch aus den Kathodenstrahlen folgte. Nachdem die Korpuskeln anerkannt sind, begnügt man sich jetzt wohl schon mit einem einzigen Nebelstreif als Begründung für eine neue Korpuskel. Jedoch, mit der Zahl der Übereinstimmungen wächst die Sicherheit im Sinne des BAYESSchen Satzes.

Ich möchte dieser Bemerkung noch eine solche anfügen über die Abhandlung von ALOYS WENZL,

welche die Frage der Kausalität bei Wahrscheinlichkeitsrechnung betrifft (diese Z. 1940, 715). Über diese Frage äußert sich C. STUMPF auf Seite 440 der „Erkenntnislehre“ dahin, daß die Wahrscheinlichkeit ebenso wie die anderen rein mathematischen Disziplinen weder die Kausalität noch den Indeterminismus voraussetzt.

Ich glaube den Gedankengang folgendermaßen zusammenfassen zu dürfen:

1. Wir wissen bestimmt, daß durch das Problem N Fälle fest bestimmt sind, wie sie beschaffen sind und daß einer zutrifft.

2. Wir wissen nichts darüber, ignorieren, welcher der N Fälle und *warum* gerade er zutrifft (völliges Nichtwissen).

3. Wir definieren: Einer der Fälle hat die $W = 1/N$.

Aus der Fassung des Satzes 2 ersieht man, daß es in der Tat für die Definition des Begriffes der Wahrscheinlichkeit gleichgültig ist, ob die Auswahl des Falles eine Ursache oder keine solche hat. Diese Frage wird, was auch A. WENZL betont, erst bedeutungsvoll bei der Anwendung auf die Wirklichkeit, d. h. bei dem BERNOULLISCHEN Satz.

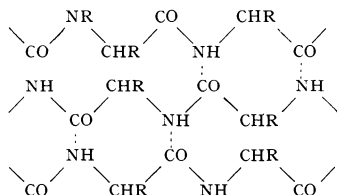
Zugleich möchte ich bei dieser Gelegenheit gegen die auch von Herrn WENZL wiedergegebene Behauptung Verwahrung einlegen, wonach C. STUMPF in seiner früheren Abhandlung (Sitzungsber. bayer. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. 1893) die Wahrscheinlichkeit auf „völliges Nichtwissen“ begründet habe. Diese Behauptung geht vielleicht auf v. KRIES (diese Z. 1919, 4) zurück und wird gelegentlich wiederholt. Sie gilt nicht für den obigen, das Wahrscheinlichkeitsproblem umreißen den Satz 1, und dies steht im Einklang mit S. 41, 49 und 50 der Abhandlung. Daß aber nach Satz 2 Unkenntnis herrschen muß, scheint mir ganz notwendig zu sein, denn sonst bestünde nicht Wahrscheinlichkeit, sondern Gewißheit. Die sog. subjektive Definition ist nicht gleichbedeutend mit einer aus „absolutem“ Nichtwissen, sie behauptet vielmehr, daß der Erkenntniswert einer Wahrscheinlichkeit etwa proportional dem Wissen ist, welches den Inhalt des obigen Satzes 1 bildet. Damit erledigen sich auch von selbst die Paradoxa, die durch v. KRIES, BERTRAND u. a. aufgestellt wurden und darauf beruhen, daß man den Stand des Wissens betreffend den Inhalt des Satzes 1 versteckt ändert.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die zwischen linearen Kettenmolekülen mit Peptidbindungen wirkenden intermolekularen Kräfte.

Schon 1933 ist von ASTBURY¹⁾ — jedoch offensichtlich nur vorübergehend — eine Hypothese aufgestellt worden, wonach bei Eiweißkörpern Nebenvalenzkräfte zwischen NH- und CO-Gruppen benachbarter Moleküle gemäß folgendem Schema vorhanden seien:



Nach dem Versagen der Cyclotheorie wird in neuester Zeit von HUGGINS²⁾ diese Hypothese wieder aufgegriffen und zur Erklärung der Struktur globularer Eiweißkörper herangezogen. Dabei spezialisiert HUGGINS die Vorstellungen über die Kräfte zwischen NH- und CO-Gruppen, indem er eine Wasserstoffbindung annimmt. Alle diese Ansichten sind bisher rein hypothetischer Natur, da sich exakte Beweise wegen der Kompliziertheit der Struktur der nativen Eiweißkörper bisher nicht erbringen ließen.

Man kann nun aber bei synthetisch hergestellten, hochmolekularen, eiweißähnlichen Substanzen die Existenz zwischenmolekularer Bindungen auf röntgenographischem Wege recht exakt beweisen.

Untersucht man nämlich Polyamide, die durch Kondensation von endständigen Diaminen mit endständigen Dicarbonsäuren gewonnen werden, so findet man Identitätsperioden, die das Vorliegen gestreckter, ebener Zickzackketten, wie bei den Paraffinen, anzeigen. Dehnt man die Untersuchung jedoch auf solche Polyamide aus, die im Diamin und in der Dicarbonsäure die gleiche Anzahl von Methylengruppen besitzen, so findet man eine Halbierung der theoretisch zu erwartenden Identitätsperiode. Diese Tatsache läßt sich nur dadurch erklären, daß bei benachbarten Molekülen jeweils NH- und CO-Gruppen einander

gegenüberliegen. Hierfür lassen sich noch eine ganze Anzahl weiterer Beweise erbringen, auf die jedoch erst in späteren Veröffentlichungen eingegangen werden soll. Ein Polyamid aus Hexamethyldiamin und Korksäure besitzt also die Struktur der Fig. 1. Es ist anzunehmen, daß dabei der Sauerstoff der CO-Gruppe durch eine Art chemischer Bin-

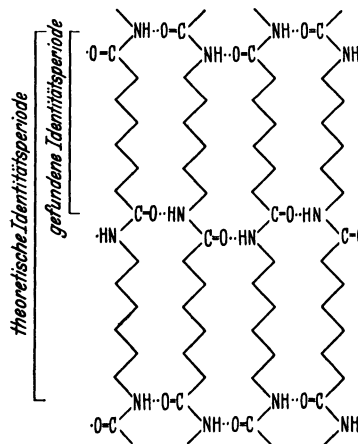
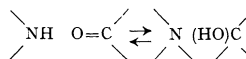


Fig. 1. Polyamid aus Hexamethyldiamin und Hexamethyldicarbonsäure (Korksäure). — An den nicht beschrifteten Ecken der Zickzackketten stehen CH_2 -Gruppen.

dingung zum NH hinüber derart verzerrt wird, daß die Elektronenschwerpunkte der Sauerstoffatome in Richtung längs der Molekülachse etwa übereinander liegen³⁾. Die Bindung selbst wird man als Wasserstoffbindung zu bezeichnen und als Mesomerie folgendermaßen zu formulieren haben:



Die weitere Auswertung der Röntgenogramme — insbesondere höher orientierter Präparate — ergibt einen Molekülabstand in der die Zickzackketten enthaltenden Ebene von 4,8—5,0 Å. Dieser Abstand stimmt gut überein mit dem Wert 4,9 Å, den man unter Zugrundelegung des Abstandes CO—NH von 2,85 Å berechnet, wie er zwischen Molekülen, die durch Wasserstoffbindung aneinander gebunden sind, gefunden wurde (Diketopiperazin⁴).

Wir möchten im Anschluß an diesen Befund der Ansicht Ausdruck geben, daß intermolekulare Wasserstoffbindungen in der Eiweißchemie eine große Rolle spielen, etwa in dem von PAULING und NIEMANN⁵) ausgesprochenen Sinne, wonach die spezifische Konfiguration der Eiweißmoleküle, die eben ihre besonderen Eigenschaften bedingt, zum Teil durch Bindungen stabilisiert wird, die nur schwach sind und die daher schon durch geringfügige Eingriffe beeinflusst werden können. Wasserstoffbindungen der geschilderten Art besitzen solche Eigenschaften. Auch die Fixierung der Myosinmoleküle des Muskels in gedehntem Zustande und ihre Kontraktion dürfte mit Bildung und Lösung intermolekularer Wasserstoffbindungen zusammenhängen, deren Steuerung vielleicht durch p_{H} -Änderungen erfolgt.

Ebenso lassen sich auch die elastischen Eigenschaften des Haares auf derartige Bindungen zurückführen, worauf in einer späteren Mitteilung noch näher eingegangen werden soll.

Oppau, Forschungslaboratorium der I. G. Farbenindustrie A.G., den 7. März 1941. R. BRILL.

¹) Trans. Far. Soc. 29, 193 (1933) — Kolloid-Z. 69, 340 (1934).

²) J. chem. Phys. 8, 598—600 (1940).

³) Eine Deformation von O-Atomen bei der Wasserstoffbindung wurde von R. BRILL, C. HERMANN u. CL. PETERS, Naturwiss. 27, 677 (1939), beobachtet.

⁴) Vgl. z. B. Chem. Rev. 26, 227 (1940).

⁵) J. amer. chem. Soc. 61, 1860 (1939).

Über den Mechanismus der Verfestigung des Naturseidenfadens beim Spinnen.

Wie Verfasser zeigen konnte¹), findet beim Eintrocknen sowie beim Verspinnen des amorphen Inhaltes der Drüsen der Seidenraupe eine röntgenographisch nachweisbare Kristallisation statt. Nach FoÅ²) wird der Drüseninhalt auch durch mechanische Behandlung fest, so daß beim Spinnvorgang selbst, bei dem ja die Raupe einen Zug auf den Faden bzw. den frisch austretenden Drüseninhalt ausübt, durch die mechanische Beanspruchung — die zum Teil auch schon beim Durchdrücken durch die engen Spinnndrüsenöffnungen erfolgt — eine Verfestigung erzielt wird. K. H. MEYER³) führt diese Verfestigung auf die Aufhebung einer Übersättigung der den Drüseninhalt darstellenden Lösung durch mechanische Orientierung der Moleküle zurück. Die in der vorstehenden Mitteilung gefundenen intermolekularen Wasserstoffbindungen bei hochmolekularen Substanzen mit Peptidbindungen legen die Annahme nahe, daß bei der beim Spinnvorgang erfolgenden mechanischen Orientierung ein Abgleiten der Moleküle aneinander stattfindet, bis eine große Zahl NH- und CO-Gruppen benachbarter Moleküle einander gegenüberstehen und nun infolge der dabei sich bildenden Wasserstoffbindungen ein aneinander Festfrieren, ein Auskristallisieren der Moleküle erfolgt, das zweifellos durch das gleichzeitige Verdampfen von Wasser noch begünstigt wird. Bei diesem Vorgang kann sich eine große Zahl von Wasserstoffbrücken ausbilden, weil ja der kristalline Anteil des Seidenfibroins im wesentlichen nur aus Alanin und Glykokoll aufgebaut ist⁴).

Die neben dem kristallinen Anteil noch vorhandene amorphe Substanz im Seidenfibroin scheint die Aufgabe zu haben, die Bildung dieser Brückenbindungen in der Drüse

¹) R. BRILL, Naturwiss. 18, 622 (1930).

²) C. FoÅ, Kolloid-Z. 10, 7 (1912). Die Befunde FoÅs wurden später von RAMSDEN [Nature (Lond.) 142, 1120 (1938)] sowie von K. H. MEYER u. J. JEANNERAT, Helvet. chim. Acta 22 (1939)] reproduziert.

³) K. H. MEYER, Die hochpolymeren Verbindungen. Akad. Verl.-Ges. 1940, S. 424.

⁴) R. BRILL, Liebigs Ann. 434, 204 (1923). — ST. GOLDSCHMIDT u. K. STRAUSS, Liebigs Ann. 480, 263 (1930).

zu behindern. Im gleichen Sinne dürfte die in der Drüse vorhandene Feuchtigkeit wirken.

In ähnlicher Weise kann man auch die Denaturierung löslicher Eiweißkörper durch mechanische Einwirkung⁵) erklären.

Forschungslaboratorium Oppau der I.G. Farbenindustrie A.G., den 18. März 1941. R. BRILL.

⁵) W. RAMSDEN, Arch. Anat. Physiol., Abt. Physiol. 1894, 517.

Über das Viskositätsgesetz für Fadenmoleküle¹).

Für niederviskose Lösungen (Sollösungen) von Stoffen mit Fadenmolekülen gilt folgende Beziehung zwischen der Viskositätszahl²) η_{sp}/c (η_{sp} = spez. Viskosität, c = Konzentration in Gramm pro Liter) und dem Polymerisationsgrad P .

$$\eta_{\text{sp}}/c = K_m \cdot P.$$

Die K_m -Konstante der Cellulosetriacetate beträgt nach früheren Untersuchungen³) in *m*-Kresol $6,3 \cdot 10^{-4}$, in Chloroform $5,3 \cdot 10^{-4}$. Die Gültigkeit dieses Viskositätsgesetzes ist in der Literatur vielfach besprochen worden. Zur Nachprüfung haben wir an einer polymerhomologen Reihe von hemikolloiden Cellulosetriacetaten das Molekulargewicht nach der osmotischen Methode, unter Verwendung der Apparatur von G. V. SCHULZ⁴), und nach der Endgruppenmethode [Bestimmung des Aldehydgehalts durch Titration mit unterjodiger Säure nach BERGMANN-MACHEMER⁵)] unter zweckentsprechender Abänderung dieser Methode, bestimmt und gleichzeitig aus den Viskositätsmessungen den Durchschnittspolymerisationsgrad und das Durchschnittsmolekulargewicht ermittelt mit dem in folgender Tabelle zusammengestellten Resultat.

Vergleich der Molekulargewichte nach der osmotischen, Endgruppen- und viskosimetrischen Methode.

Osmotische Methode		Endgruppenmethode		Viskosimetrische Methode		
\bar{M}	\bar{P}	M	\bar{P}	<i>m</i> -Kresol $K_m = 6,3 \cdot 10^{-4}$		Chloroform $K_m = 5,3 \cdot 10^{-4}$
$\left(P = \frac{M}{288}\right)$		$\left(P = \frac{M}{288}\right)$		$\frac{\eta_{\text{sp}}}{c} 10^2$	\bar{P}	$\frac{\eta_{\text{sp}}}{c} 10^2$
				\bar{P}		\bar{P}
15800	55	15100	52	3,38	54	2,92
11700	41	11000	38	2,39	38	1,90
8200	28	9000	31	1,77	28	1,51
7900	27	7900	27	1,64	26	1,44
5700	20	5800	20	1,21	19	1,08

Durch diese Versuche ist zum erstenmal bewiesen, daß die nach der osmotischen Methode bestimmten Molekulargewichte mit den nach der chemischen erhaltenen übereinstimmen. Beide Molekulargewichte bzw. die daraus berechneten Durchschnittspolymerisationsgrade sind innerhalb der Fehlergrenzen identisch mit den viskosimetrischen. Aus diesen Ergebnissen folgt, daß das Viskositätsgesetz für diese Gruppe von Verbindungen mit Fadenmolekülen gilt.

Freiburg i. Br., Forschungsabteilung für makromolekulare Chemie des Chemischen Laboratoriums der Universität, den 15. März 1941. H. STAUDINGER. K. EDER.

¹) Zugleich 269. Mitteilung „Über makromolekulare Verbindungen“. Die ausführliche Arbeit erscheint später im Journal für praktische Chemie.

²) H. STAUDINGER, Organische Kolloidchemie. Verlag Vieweg 1940.

³) H. STAUDINGER u. G. DAUMILLER, Liebigs Ann. Chem. 529, 219 (1937).

⁴) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A 176, 317 (1936).

⁵) M. BERGMANN u. H. MACHEMER, Ber. dtsh. chem. Ges. 63, 316 (1930).

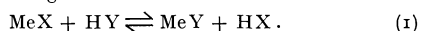
Die Methode der acidimetrischen Ausfällung.

Die Reindarstellung und die Erkennung der formelmäßigen Zusammensetzung vieler Salze schwacher Säuren ist dadurch erschwert, daß bei ihrer Ausfällung aus wässriger Lösung leicht andere Stoffe mitgerissen werden, und eine genügend genaue quantitative Analyse, die zur Sicher-

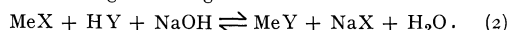
stellung einer bestimmten Formel dienen kann, nicht leicht auszuführen ist. Diese Schwierigkeiten konnten mit Hilfe einer Methode der acidimetrischen Ausfällung behoben werden, deren Prinzip und deren Anwendung zur Untersuchung der formelmäßigen Zusammensetzung der tertiären Phosphate einiger zwei- und dreiwertiger Metalle im folgenden beschrieben ist.

I. Prinzip der Methode.

Wird zu der neutral reagierenden Lösung eines Salzes MeX einer starken Base und einer starken Säure eine schwache Säure HY hinzugefügt, deren Anion Y' mit dem Kation Me' des Salzes eine schwer lösliche Verbindung MeY bildet, so findet folgende Reaktion statt:



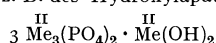
Das Entstehen von starker Säure HX bei dieser Reaktion führt zu einem Gleichgewicht, dessen Lage von der Dissoziation von HX und HY und der Schwerlöslichkeit von MeY abhängig ist. Eine Verschiebung des Gleichgewichtes von links nach rechts ist möglich, wenn die freiwerdende starke Säure in dem Maße, wie sie entsteht, neutralisiert wird. Experimentell kann dies dadurch geschehen, daß zu der neutral reagierenden Lösung von MeX die schwache Säure HY zugetropft, und gleichzeitig durch Zugabe von Natronlauge die Reaktion der Lösung z. B. gegen einen Indikator ständig neutral gehalten wird:



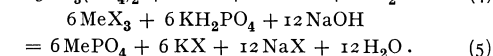
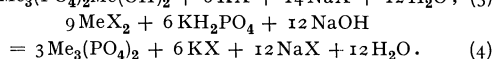
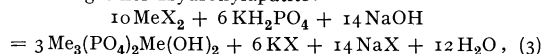
Aus dem Mengenverhältnis Natronlauge/schwache Säure, das z. B. an Büretten abgelesen werden kann, läßt sich die Bruttozusammensetzung des ausgefallenen Niederschlages direkt ersehen. Bei Entstehen von Niederschlägen bekannter Zusammensetzung ist auf diese Weise eine Titration der schwachen Säure mit scharfem Indikatorumschlag möglich.

II. Anwendung der Methode zur Untersuchung der formelmäßigen Zusammensetzung der tertiären Phosphate einiger Metalle.

Es ist bisher (außer bei Calcium) nicht bekannt, ob die tertiären Phosphate der zwei- und dreiwertigen Metalle die einfachsten möglichen Formeln des Triphosphates $\overset{\text{II}}{\text{Me}}_3(\text{PO}_4)_2$ bzw. des neutralen Phosphates $\overset{\text{III}}{\text{Me}}\text{PO}_4$ oder basischer Zusammensetzung, z. B. des Hydroxylapatits



besitzen. Zur Untersuchung ihrer formelmäßigen Zusammensetzung wurden Monokaliumphosphat und Metallsalzlösung aus je einer Bürette in siedendes Wasser tropfen gelassen, dessen Reaktion durch Zufügen von Natronlauge aus einer dritten Bürette ständig neutral gehalten wurde. Bei Ausfällung eines Triphosphates bzw. eines neutralen Phosphates muß, wie aus folgenden Gleichungen hervorgeht, $\frac{1}{7}$ weniger Natronlauge verbraucht werden als zur Entstehung eines Hydroxylapatits:



Es wurde gefunden¹⁾, daß die Triphosphate von Mg, Ba, Cd, Fe, Mn, Cu, Co, Ni, die neutralen Phosphate von Al,

La, Ce, Bi und die Hydroxylapatite von Ca, Sr, Zn, Pb gebildet wurden.

Weiterhin wurde mit Hilfe der acidimetrischen Ausfällung die Existenzfähigkeit der Apatite bei Gegenwart von Wasser untersucht²⁾ und nachgewiesen, daß bei neutraler Reaktion und niedriger Temperatur leichter lösliche sekundäre Phosphate anstatt der schwerlöslichen tertiären Phosphate entstehen³⁾.

Berlin, Institut für Pflanzenernährungslehre und Bodenbiologie der Universität, den 19. März 1941.

WERNER RATHJE.

- 1) W. RATHJE, Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 342, 357 (1941).
2) F. GIESECKE u. W. RATHJE, Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 349 (1941).

- 3) W. RATHJE, Ber. dtsch. chem. Ges. 74, im Druck (1941).

Versuche zur Markierung von Tabakmosaikvirus mit Radiophosphor.

Für die Bearbeitung einiger biologischer und chemischer Fragen der Virusforschung schien es interessant, die Indikatormethode mit künstlich-radioaktiven Isotopen an einem chemisch rein darstellbaren Virus anzuwenden. Es werden hier kurz die ersten Ergebnisse über den Einbau von Radiophosphor in Tabakmosaikvirus mitgeteilt.

Phosphor wurde gewählt, einmal weil er ein wesentlicher Bestandteil der Virusmoleküle und im TM-Virus in ausreichender Menge vorhanden ist (rd. 0,5%), zum anderen weil sein radioaktives Isotop leicht in genügenden Mengen zu gewinnen ist (mittels Neutronenbestrahlung von Schwefel) und eine für die in Frage kommenden Versuche bequeme, nicht zu kurze Halbwertszeit hat (rd. 15 Tage). TM-Virus wurde genommen, da es die bestuntersuchte Virusart mit einer Reihe von chemisch-präparativen und biologischen Vorteilen ist.

In der ersten Versuchsreihe wurde geprüft, ob nennenswerter Austausch des Phosphors zwischen Virus und anorganischem Phosphat besteht. Sollte das der Fall sein, so könnte man auf diesem Wege eine Synthese von radioaktivem Virusprotein durchführen. Andererseits würde die Markierung des Virus mit Radiophosphor wesentlich an Interesse einbüßen, da auch der reziproke Austausch des Phosphors aus dem markierten Virus stattfinden müßte. Die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe sind in Tabelle 1 angeführt. Reines Virusprotein wurde 3—11 Tage in radiophosphorhaltiger Natriumphosphatlösung gehalten, dann durch Dialyse (evtl. mit vorangehender Ultrazentrifugierung) wieder abgetrennt und mittels eines Zählrohres auf Aktivität untersucht. Die Versuche zeigten, daß im Virus nach solcher Behandlung eine geringe Aktivität vorhanden ist. Es ist aber nicht sicher, ob dieselbe auf Austausch oder auf Adsorption von radiophosphorhaltigem Phosphat am Virus beruht; auf die zweite Möglichkeit deutet die Tatsache hin, daß die Aktivität am höchsten in Versuchen mit den schlechtesten Trennungsbedingungen war (Versuche 3 und 4, in denen nur 2 Tage dialysiert wurde). Diese Frage kann durch reziproke Austauschversuche mit radioaktivem Virus geklärt werden; auf keinen Fall ist der Austausch von nennenswertem Umfang (höchstens 0,3% des Virusphosphors).

Das Ergebnis dieser ersten Versuchsreihe veranlaßte uns, den Einbau von Radiophosphor in das Virusprotein zunächst auf biologischem Wege zu versuchen. Ein weiterer Versuch wurde deshalb der Aktivierung von Tabak-Wirtspflanzen gewidmet. Etwa 6 Wochen alte Tabakpflanzen (*Nicotiana glauca* „Samsun Bashi Bagli“) wurden auf einer radio-

Tabelle 1. Versuche zur Synthese von radioaktivem Virusprotein durch Austausch mit anorganischem Phosphat. Lösungen von reinem Virusprotein wurden mit radiophosphorhaltigen Natriumphosphatlösungen behandelt und in angegebener Weise abgetrennt. Aktivität je Versuch 10000 T/min.

Vers. Nr.	Austauschbedingungen			Trennungsbedingungen	Anorg. P mg	Virus-P mg	Aktivität des Virus in T/min	Spezifische Aktivität des Virus in T/(min u. mg P)	Austausch in Proz. des Virusphosphors
	Dauer	Temperatur	pH						
1	3 d	0°	6,0	4 d Dialyse	0,2	1	20,7	20,7	0,25
2	3 d	0°	8,2	4 d Dialyse	0,2	1	23,0	23,0	0,28
3	5 d	0°	6,0	2 d Dialyse	0,2	1	57,9	57,9	0,69
4	5 d	0°	8,2	2 d Dialyse	0,2	1	105	105	1,26
5	11 d	0°	8,0	Zweifache Ultrazentrifugierung 5 d Dialyse	0,2	2,47	2,5	1,0	0,33

phosphorhaltigen Nährlösung gezogen; um möglichst viel vom Radiophosphor in die Pflanzen einzubauen, wurde eine phosphorarme Nährlösung gewählt (KNOP-Lösung mit 0,1 der üblichen P-Konzentration: 25 mg KH_2PO_4 je l; Eisenquelle: Ferricitrat), in der der Phosphorgehalt gerade noch knapp für die Entwicklung der Pflanzen ausreichte. Die

Tabelle 2. Phosphoraufnahme und -verteilung bei Tabakpflanzen, die auf einer radiophosphorhaltigen, phosphorarmen Nährlösung aufgezogen wurden.

Reihenfolge der Blätter von unten	Trockengewicht in mg	Aktivität in T/min	Aktivität in Prozent der angebotenen Aktivität	Aktivität je 100 mg Trockengewicht
15	17,8	226	4,71	1270
13	45,5	379	7,90	832
11	74,8	311	6,48	416
9	62,2	202	4,21	325
7	65,4	176	3,67	269
5	57,8	132	2,75	228
3	54,3	39,4	0,82	72,5
1	27,0	0	0	0

In der Nährlösung waren am Schluß des Versuches weder Phosphor noch Radiophosphor nachzuweisen.

Kultur erfolgte in einem Thermostaten bei etwa 22° und 16stündiger täglicher Beleuchtung (ungefähr 8000 bis 10000 Lux). Das Ergebnis dieses Versuches ist in Tabelle 2 angeführt. Die Pflanzen hatten in der Versuchszeit von 20 Tagen den *gesamten Phosphor* aus der Lösung aufgenommen. Die Aktivität war, wie zu erwarten, in den jüngsten (obersten) Blättern am größten, und nahm bei den älteren ab, um bei den ältesten (untersten) völlig zu fehlen.

Nachdem es sich somit gezeigt hatte, daß eine genügende Aktivität in die Wirtspflanzen eingebracht werden kann, wurde der Hauptversuch mit viruskranken Pflanzen durchgeführt; das Ergebnis ist Tabelle 3 zu entnehmen. Tabakpflanzen wurden, wie im Vorversuch, auf radiophosphorhaltiger, phosphorarmer Nährlösung gezogen, jedoch mit dem Unterschied, daß sie diesmal unmittelbar nach der ersten Radiophosphorgabe mit TM-Virus infiziert wurden. Die Versuchszeit wurde auf 4 Wochen ausgedehnt; nach 2 Wochen wurde die Nährlösung erneuert, nach einer weiteren Woche erhielten die Pflanzen — die gewisse Mangelerscheinungen zeigten — zusätzlich 25 mg KH_2PO_4 mit Radiophosphor. Nach Versuchsende wurden die an den typischen Symptomen erkrankten Pflanzen geerntet und chemisch aufgearbeitet. Sie wurden hierzu eingefroren, zerkleinert und ausgepreßt. Der beim Pressen erhaltene Saft wurde 2 Tage bei -12° gehalten und wieder aufgetaut. Hierdurch wird ein chlorophyllhaltiges Material, das wir als „Chloroplastensediment“

Tabelle 3. Versuch zur biologischen Synthese von radioaktivem Virus. Auf radiophosphorhaltiger Nährlösung gehaltene Tabakpflanzen wurden mit Virus infiziert und nach Vermehrung desselben in angegebener Weise aufgearbeitet.

Fraktion	Phosphorgehalt in mg	Aktivität in T/min	Spezifische Aktivität in T/(min u. mg P)
Preßrückstand . . .	3,2	6370	1990
Chloroplastensediment	0,58	2295	3960
Dialysat	1,95	903	463
Pflanzenprotein . . .	0,158	163	1030
Virusprotein	0,207	211	1015

bezeichnen, zum Ausflocken gebracht. Nach Abzentrifugieren dieser Fraktion wurde der klare Saft 4 Tage dialysiert, um das gesamte niedermolekulare Phosphat zu entfernen. Der im Saft verbleibende nicht dialysierbare Phosphor kann also nur an Proteine gebunden sein. Diese wurden durch Ultrazentrifugierung in hochmolekulares Virusprotein und niedermolekulares normales Pflanzenprotein getrennt. Preßrückstand, Dialysat, Chloroplastensediment, Pflanzenprotein und Virusprotein wurden für sich verascht, das Phosphat mit Ammonmolybdat abgeschieden und die Aktivität der Niederschläge mit einem Betastrahlzählrohr (mit 100 μ Al-Wand und Argon-Alkohol-Füllung) gemessen. *Das Virusprotein zeigte eine hohe Aktivität.* Die Aktivität des Pflanzenproteins war gleich groß; im Chloroplastensediment wurde eine besonders hohe, im Dialysat eine auffallend geringe Aktivität gefunden. Die Verteilung der Aktivität auf diese verschiedenen Fraktionen muß jedoch in weiteren Versuchen unter genaueren Bedingungen untersucht werden; die hier mitgeteilten Ergebnisse können diesbezüglich nur als vorläufig und orientierend gelten, da es uns zunächst lediglich darauf ankam, die Möglichkeit eines Einbaus genügender Mengen Radiophosphor in Virusprotein in qualitativer Weise zu prüfen. In dieser Beziehung ist das Ergebnis positiv; es gelingt auf biologischem Wege, Virusprotein mit einem radioaktiven Isotop zu markieren. Daraus ergeben sich eine Reihe von Möglichkeiten, den chemischen Aufbau des Virusproteins und seine Beziehungen zum Stoffwechsel der Wirtspflanze genauer zu untersuchen. Einige solche Versuche sind im Gange¹⁾.

Berlin-Buch, Genetische Abteilung des KWI, Berlin-Dahlem, KWI für Biologie und KWI für Biochemie, den 1. April 1941.

H. J. BORN. A. LANG. G. SCHRAMM. K. G. ZIMMER.

¹⁾ Die Untersuchungen werden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der I.G. Farbenindustrie A.-G. (Werk Elberfeld) und der Wissenschaftlichen Laboratorien der Auer Gesellschaft A.G., Berlin, durchgeführt.

Besprechungen.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, 19. Band.

Redig. v. F. TRENDLENBURG in Gemeinschaft mit F. HUND. 19. Bd. Berlin: Julius Springer 1940. III, 333 S. u. 159 Textabb. 16 cm \times 24 cm. Preis brosch. RM 28.—, geb. RM 29.60.

Der vorliegende Band der Ergebnisse behandelt 4 Gegenstände, die besonders im Vordergrund der wissenschaftlichen Diskussion stehen. Die Astronomie ist vertreten durch einen Doppelaufsatz über „Interstellare Materie“, in dem SCHÖNBERG die Theorie der dunklen Materie behandelt, LAMBRECHT die der Emissionsnebel. Die Kernphysik kommt in 2 Aufsätzen zur Sprache: GENTNER berichtet über „Die Erzeugung schneller Ionenstrahlen“, während MARGAUCH eine Übersicht über „Massenspektroskopie und ihre Anwendung auf Probleme der Atom- und Kernchemie“ gibt. Der Schlußaufsatz ist der „Mikroskopie hoher Auflösung mit schnellen Elektronen“ gewidmet und hat v. BORRIES und RUSKA zu Verfassern.

Da in der erst vor 2 Jahren erschienenen Monographie von W. BECKER vor allem die empirische

Seite des Problems der interstellaren Absorption ausführlich dargestellt ist, legt SCHÖNBERG das Hauptgewicht auf die Theorie. Er hat damit allerdings eine nicht sehr dankbare Aufgabe gewählt, denn vor allem der Physiker wird angesichts der mehrfachen Parameter, die in die Theorie eingehen, etwas skeptisch sein gegenüber den zum Teil sehr weitgehenden Schlußfolgerungen optimistischer Astronomen über Material und Teilchengröße des interstellaren Mediums, die ganz aufgebaut sind auf der MIESCHEN Theorie der Beugung an kugelförmigen metallischen Teilchen. Die „Kritik der physikalischen Voraussetzungen der Theorie“ wird nur kurz gestreift unter Hinweis auf zwei kleine Arbeiten, während die Folgerungen aus der MIESCHEN Theorie restlos übernommen werden.

In wesentlich günstigerer Lage befindet sich LAMBRECHT bei den Emissionsnebeln. Zwar ist manches noch Wiederholung aus dem früher von FR. BECKER und GROTRIAN (Ergebnisse Bd. 7, 1928) gegebenen Bericht „Über die galaktischen Nebel und den Ursprung der Nebellinien“. Aber in der Zwischen-

zeit ist doch manches neue Material hinzugekommen, sowohl empirisch durch die weitere Erschließung der UV.-Spektren und die Auffindung ausgedehnter Emissionsgebiete im interstellaren Raum mit lichtstarken Spiegeln und neuen Nebelspektrographen wie auch theoretisch-physikalisch für die Deutung der Leucht- und Bewegungsvorgänge.

Der Aufsatz von GENTNER gibt eine klare Übersicht über die bei den Untersuchungen der Kernreaktionen so erfolgreich angewandten verschiedenen Apparaturen zur Erzeugung schneller Ionenstrahlen. Daß darin das Kapitel über das zur Zeit wirkungsvollste Hilfsmittel, das Zyklotron, den größten Raum beansprucht, liegt in der Natur der Sache. Die zahlreichen schematischen Zeichnungen und Bilder geben eine gute Einsicht in die Wirkungsweise der Apparaturen. Vor der Schlußtafel mit dem Verzeichnis von 12 in Betrieb befindlichen Zyklotrons stehen die Sätze: „In Wirklichkeit laufen wesentlich mehr Anlagen in Amerika und einige auch in Europa und Japan. In Deutschland ist bisher noch kein Zyklotron in Betrieb genommen worden.“

Den größten Genuß hat dem Referenten der Bericht von MATTAUCH über Massenspektrographie gebracht. Er ist schlechthin vorbildlich für die Art, wie Artikel in den Ergebnissen abgefaßt werden sollten, denn er hält das richtige Maß zwischen der vom Fachphysiker geforderten Strenge und Sauberkeit und der von einem weiteren Kreis exakter Naturwissenschaftler gewünschten allgemeinen Verständlichkeit.

Dieser reine Genuß wird bei dem inhaltlich nicht minder wertvollen und sachlich in keiner Weise zu beanstandenden Beitrag von v. BORRIES und RUSKA etwas getrübt durch die Ausführlichkeit, mit der im Text, in breiten Fußnoten und sogar noch in der Anordnung der Literatur der allmählich etwas peinlich wirkende Prioritätsstreit wieder aufgerollt wird. Mußte das sein? Bei Firmen mögen Patentansprüche eine Rolle spielen, bei Forschern lassen wir allenfalls heute noch kurze sachliche Richtigstellungen in der engeren Fachliteratur gelten. Zusammenfassende Berichte wie der vorliegende sollten sich aber mehr über die Sache stellen. Abgesehen von diesem Einwand, den ein gänzlich Unbeteiligter sich vielleicht einmal gestatten darf, sei ausdrücklich hervorgehoben, daß der Artikel mit seinen reichen Beigaben an Zeichnungen und Originalaufnahmen eine erschöpfende Übersicht über die verschiedenen Methoden zur Verwirklichung des Elektronenmikroskops und deren Leistungen gibt.

Alles in allem reißt sich der neue Band der Ergebnisse seinen Vorgängern würdig an, und ist es besonders hoch zu bewerten, daß er in dieser Zeit überhaupt und so vorzüglich erscheinen konnte.

H. KIENLE, Potsdam.

ULICH, HERMANN, **Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie.** 2., veränd. u. ergänzte Auflage. Dresden u. Leipzig: Theodor Steinkopff 1940. XVI, 324 S. 79 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis geb. RM 12.—

Das ULICHsche „Kurze Lehrbuch der physikalischen Chemie“ liegt nach verhältnismäßig kurzer Zeit in 2. Auflage vor, ein Zeichen dafür, daß an einer solchen kurzen Darstellung für alle diejenigen, welche die physikalische Chemie nur als Hilfswissenschaft betreiben, ein wirkliches Interesse vorhanden war.

Über die zweckmäßigste Stoffauswahl und Art der Behandlung sind sicherlich verschiedene Ansichten möglich, wofür nur auf die Besprechung der 1. Auflage durch BARTHOLOMÉ in dieser Zeitschrift (1939, S. 436) oder auf die Tatsache hingewiesen zu werden braucht,

daß ungefähr gleichzeitig mit dem ULICHschen das kurze Lehrbuch von W. KUHN erschienen ist mit davon wesentlich abweichender Anlage.

In der 2. Auflage sind — neben Beseitigung einiger Versehen und Mängel — nur auf einigen Gebieten (z. B. Kolloidchemie) Ergänzungen eingefügt worden (bemerkenswerterweise mit nur ganz geringfügiger Erweiterung des Umfangs), so daß hinsichtlich des Inhalts im übrigen auf die Besprechungen der 1. Auflage verwiesen werden kann. Im ganzen kann man sagen, daß in dem Buch alles zu finden ist, was man in einer knappen Darstellung der physikalischen Chemie billigerweise erwarten kann, unter Hervorkehrung natürlich der „klassischen“ physikalischen Chemie, insbesondere der Thermodynamik. Daß infolgedessen das Schlußkapitel „Chemische Kräfte und Aufbau der Materie“ knapp davonkommen muß und nur einen mehr oberflächlichen Überblick über das weite Gebiet vermitteln kann, wird man nicht als Manko des Buches ansehen dürfen. Denn zu einer fruchtbareren Beherrschung dieses Teiles unserer Wissenschaft wird man durch das Studium einer kurzen Einführung niemals gelangen, und der Studierende der Nachbargebiete wird sie auch gar nicht anstreben. Vielleicht hätte man auf die statistische Mechanik wenigstens deutlich hinweisen können.

Dagegen ließe sich eher streiten über das Verfahren des Verfassers, die Grundlagen der Thermodynamik als bekannt vorauszusetzen. Ref. möchte annehmen, daß es — außer solchen, welche Vorlesungen über theoretische Physik gehört haben — praktisch keine Studenten gibt, bei welchen man eine wirkliche Beherrschung des 2. Hauptsatzes voraussetzen kann. Bei Benutzung des Buches sind dann 2 Fälle möglich, mit denen der Autor auch rechnet. Entweder erwirbt sich der Studierende die notwendigen Kenntnisse der Grundlagen auf andere Weise (z. B. aus dem KUHNschen Buche, das in dieser Beziehung als glückliche Ergänzung zu dem ULICHschen gelten kann); dann wird er mit dem ULICHschen Buch, welches ihn in den Anwendungen der chemischen Thermodynamik sehr weit führt, zu einer sicheren Beherrschung derselben gelangen können. Oder aber er versucht, ohne Beherrschung der Grundlagen sich die Anwendung der Thermodynamik aus dem ULICHschen Buch zu erarbeiten. Falls ihm dies gelingt (was nur das Experiment lehren kann), so befindet er sich in der gleichen Lage wie in vielen Fällen der Ingenieur, der erfolgreich mit Formeln operiert, ohne sich um ihre tiefere physikalische Begründung zu kümmern. Man wird dies Verfahren nicht erstrebenswert finden, es wird auch bei weniger klaren Fällen zu manchen Fehlleistungen führen. Sollte aber die Erfahrung zeigen, daß man auf diese Weise den Durchschnittschemiker soweit bringen kann, daß er z. B. einigermaßen sicher chemische Gleichgewichte vorausberechnen lernt, während er das sonst nicht kann, so wird man ein solches Verfahren wohl trotzdem in gewissem Umfang befürworten müssen.

Von diesem Vorbehalt abgesehen (einem Vorbehalt nur in Hinblick auf oberflächliche Benutzer des Buches), ist die ULICHsche Darstellung der chemischen Thermodynamik ausgezeichnet.

Einige Versehen, die auch noch in der 2. Auflage stehen geblieben sind, beeinträchtigen den Wert des Buches nicht und wären bei späteren Auflagen leicht zu beseitigen (z. B. ist es nach den Versuchen von BONE wohl möglich, auch bestgetrocknetes Kohlenoxydknallgas durch hinreichend intensive Funken zu zünden).
W. JOST.

Die subjektive Photometrie farbiger Lichter.

Von A. DRESLER, Berlin.

Die Aufgabe, mit Hilfe des Auges eine verlässliche Bewertung verschiedenfarbiger Lichter durchzuführen, ist nicht nur ein sehr altes, sondern war auch bis vor kurzem ein nur unbefriedigend gelöstes Problem. Sein Alter läßt sich an der Vielzahl der im photometrischen und physiologischen Schrifttum zu findenden Lösungsvorschläge nachweisen; die einander in vielen Fällen widersprechenden Ergebnisse veranschaulichen dabei sinnfällig, daß man sich über die Anforderungen, die an ein Verfahren hinsichtlich Eindeutigkeit und Widerspruchsfreiheit zu stellen sind, nicht immer im klaren gewesen sein kann. Solange die Messung farbiger Lichter ohne allzu große technische Bedeutung war, fehlte der Anreiz zu einer wirklich grundsätzlichen Klärung der Frage. Das änderte sich mit dem Augenblick, in dem nach der Schaffung der neuen, meist ausgesprochen farbigen Gas- und Metalldampfentladungslampen Erzeuger und Verbraucher dieser Lichtquellen eine zahlenmäßige Bewertung ihrer Lichtleistung verlangten, deren Genauigkeit in der bei Glühlampen gewöhnlichen Größenordnung liegen sollte. Bei den Versuchen, diese Forderung meßtechnisch, d. h. also durch den Vergleich der farbigen Gasentladungslampe mit einer Glühlampe bekannter Lichtleistung, zu erfüllen, ergaben sich zahlreiche neue Erkenntnisse, insbesondere hinsichtlich derjenigen physiologischen und physikalischen Voraussetzungen und Bedingungen, die überhaupt erst einen eindeutigen und widerspruchsfreien Vergleich verschiedenfarbiger Lichter durch das Auge ermöglichen. Die Entwicklung ist jetzt so weit fortgeschritten, daß es lohnend erscheint, eine allgemeine Übersicht über die gewonnenen Erkenntnisse und über die Wege, die zur Lösung der Aufgabe geführt haben, zu geben.

I.

Am Anfang aller Lichtmessungen mit dem Auge steht zunächst einmal die Tatsache, daß das Auge von sich aus zu einer quantitativen Aussage — etwa in der Form: „Diese Fläche ist zwei- oder dreimal heller als eine andere“ —, auch unter den günstigsten Beobachtungsbedingungen, nicht fähig ist. Das Auge kann vielmehr — unter gewissen Voraussetzungen — nur entscheiden, ob 2 Flächen unterschiedliche oder nichtunterschiedliche Reize auf das Auge ausüben. Es ist also nur als eine Art Nullinstrument verwendbar.

Solange es sich um den Vergleich von gleichfarbig leuchtenden Flächen handelt, ist ein Kriterium für eine solche Entscheidung besonders

naheliegend: Man macht beide Flächen gleich hell und schließt aus den geometrischen Bedingungen, unter denen diese *Einstellung auf gleiche Leuchtdichte* erfolgt, nach rein physikalischen Gesetzen auf die Lichtstärken oder Lichtströme, welche die miteinander verglichenen Flächen beleuchten. Weniger naheliegend, aber im Prinzip genau so richtig, ist ein anderes Kriterium: Man definiert: 2 Flächen sind dann gleich hell beleuchtet, wenn man in ihnen Einzelheiten gleich gut erkennen kann (*Einstellung auf gleiche Schärfe*). Bei diesen 2 Kriterien ist es aber nicht geblieben. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Einstellung auf gleiche Leuchtdichte beim Vergleich verschiedenfarbiger Lichter und der großen Streuung beim Messen nach dem Schärfeverfahren ist im Laufe der Zeit eine ganze Reihe weiterer Kriterien in Vorschlag gebracht worden, mit deren Hilfe das Auge eine Aussage über die Gleichwertigkeit zweier verschiedenfarbig leuchtender Flächen machen soll.

Einige der bekannteren Verfahren, aber auch einige mit besonders eigenartigen Kriterien mögen hier zur Veranschaulichung der Vielseitigkeit angeführt werden. Große praktische Bedeutung hat z. B. das *Flimmerverfahren*. Man versteht hierunter folgendes: Blickt das Auge auf zwei unmittelbar benachbarte Flächen, die in einem bestimmten Rhythmus umschichtig von 2 Lichtquellen beleuchtet werden, so entsteht im allgemeinen ein Flimmereindruck. Diesen Flimmereindruck kann man bei Einstellung einer geeigneten Frequenz des wechselnden Rhythmus ganz oder fast vollständig zum Verschwinden bringen, wenn man den Abstand der Lichtquellen zu den von ihnen beleuchteten Flächen in bestimmter Weise ändert. Dieses Verschwinden — oder allgemeiner — das Minimum des Flimmerns gilt als Kriterium der Gleichheit der Beleuchtungen auf den beiden verglichenen Flächen. Nicht mit dem Flimmerverfahren verwechselt werden darf die *Verschmelzungsfrequenzmethode*, bei der man folgendermaßen vorgeht: Die 2 Flächen, über deren Leuchtdichte man eine vergleichende Aussage machen soll, werden dem Auge — jede für sich — in zwei voneinander unabhängigen Meßreihen flimmernd dargeboten. Das Flimmern wird durch einen rotierenden Sektor, dessen Wechselfrequenz regel- und meßbar ist, hervorgebracht. Die Wechselfrequenz wird langsam erhöht, und es wird festgestellt, bei welcher Frequenz die jeweils betrachtete Fläche nicht mehr flimmert, sondern einen scheinbar zeitlich konstanten Lichteindruck erweckt. Erfolgt diese Verschmelzung für beide

Flächen bei derselben Frequenz, so gelten die Flächen als gleich hell. Ein anderes Verfahren wieder benutzt folgendes Kriterium zum Vergleich eines farbigen mit einem farblosen, d. h. weißem Licht. Das Auge betrachtet zunächst das farblose Licht. Ganz kurzzeitig wird dann das farbige Licht an Stelle des farblosen in die Blickrichtung gebracht. Die Zeit wird dabei so kurz gewählt, daß zwar die Farbigekeit des Lichtes nicht wahrgenommen wird, wohl aber festgestellt werden kann, ob ein Helligkeitsunterschied gegen vorher besteht. Ist dies nicht der Fall, so gelten das farblose und das farbige Licht als helligkeitsgleich (*Minimalzeitverfahren*). Wird hier die Verkürzung der Beobachtungszeit als Hilfsmittel zur Erleichterung des Vergleichs eines farbigen mit einem farblosen Licht benutzt, so bedient sich ein anderes Verfahren hierfür der Eigenschaften der peripher gelegenen Zapfen unserer Netzhaut, die nach Feststellung der Physiologen keine Farb-, sondern nur Helligkeitsunterschiede vermitteln können. Nach der *Peripheriewertmethode* beobachtet man bei helladaptiertem Auge mit den äußersten Randteilen der Netzhaut und gleicht unter diesen Bedingungen die zu bewertenden Flächen auf gleichen Helligkeitseindruck ab. Ein ganz anderes Meßkriterium benutzt schließlich das *Stereoverfahren nach PULFRICH*, das von der Annahme ausgeht, daß die Zeit zwischen Reiz und Empfindung für gleich große, aber verschiedenfarbige Leuchtdichten gleich groß ist. Die Messung der gleichen Empfindungszeit geschieht auf sehr eigenartige Weise: Man projiziert das Schattenbild einer Stabspitze derart auf die beiden miteinander zu vergleichenden Flächen, daß auf beiden je eine Spitze erscheint, und sorgt dafür, daß das eine Auge nur die eine Fläche, das andere Auge nur die andere Fläche, und zwar so betrachten kann, daß die beiden Spitzenbilder — stereoskopisch gesehen — zu einem Bild verschmelzen. Bewegt man den die Schattenbilder erzeugenden Stab, so scheint die Bewegung der Spitze im allgemeinen ellipsenförmig im Raum vor sich zu gehen. Sind die beiden Flächen jedoch gleich hell, so glaubt man die Bewegung geradlinig in einer Ebene vor sich gehen zu sehen. Dieser Eindruck kommt dadurch zustande, daß die Zeit zwischen Reiz und Empfindung für das von beiden Flächen ausgehende Licht gleich groß ist.

II.

Wie soll man nun aber entscheiden, welches der geschilderten bzw. der sonst noch bekannten Verfahren brauchbar ist bzw. überhaupt angewendet werden darf? Wir sehen dabei von der selbstverständlichen Voraussetzung ab, daß ein Verfahren nur dann brauchbar ist, wenn es genügend genau reproduzierbare Werte liefert. Zwei Bedingungen sind es, die eingehalten werden müssen, ehe man sagen darf, daß ein physiologisches Kriterium der geschilderten Art eindeutige und widerspruchsfreie Aussagen über die miteinander

vergleichenen Leuchtdichten gewährleistet. Diese beiden Bedingungen sind:

1. Erfüllung des Additivitätsgesetzes¹⁾ und
2. Bewertung gemäß der normalen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges für farbiges Licht.

Um überblicken zu können, was diese beiden Bedingungen praktisch bedeuten, muß man sich das Verhältnis von Licht- zu Strahlungsmessung vor Augen führen. Die Photometrie ist — physikalisch gesehen — auch nur eine Strahlungsmessung; das Besondere an ihr ist lediglich, daß sie mit einer *physiologischen* Wirkungsfunktion, eben der spektralen Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges, gekoppelt ist. Durch diese Koppelung unterscheidet sich die Photometrie aber nur meßtechnisch, nicht grundsätzlich, von einer Strahlungsmessung. Eine Lichtmessung muß also a priori zunächst einmal allen Bedingungen, die an eine Strahlungsmessung zu stellen sind, genügen. Man kann das am einfachsten so formulieren, daß man sagt: Von einer Lichtmessung ist die Befolgung des Additivitätsgesetzes zu verlangen. Das Additivitätsgesetz sichert das Vorhandensein linearer Beziehungen zwischen zwei gemessenen Größen und gleichzeitig die Vertauschbarkeit zweier als gleich bestimmter Größen, ohne daß ein zusammen mit einer dritten Größe bestimmtes Meßergebnis beeinflusst wird.

Mathematisch kommt diese Beziehung zwischen Licht- und Strahlungsmessung in der Definitionsgleichung für die lichttechnische Grundgröße, den Lichtstrom, zum Ausdruck. Diese Gleichung lautet:

$$\Phi = \frac{1}{M} \int E_{\lambda} V_{\lambda} d\lambda. \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

Φ den Lichtstrom einer Lichtquelle in Lumen (lm).

$E_{\lambda} d\lambda$ die den Lichtstrom im Wellenlängenbereich λ bis $\lambda + d\lambda$ hervorrufende Strahlungsleistung der Lichtquelle in Watt.

V_{λ} die spektrale Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges (physiologische Koppelungsfunktion zwischen Licht- und Strahlungsmessung).

$\frac{1}{M}$ einen Proportionalitätsfaktor, dessen Zahlenwert angibt, wieviel Watt im günstigsten Fall 1 Lumen zu erzeugen vermögen ($M = 0,00145 \text{ W/lm}$).

Das Integralzeichen fordert die Befolgung des Additivitätsgesetzes, und die einfache Nebeneinanderstellung von $E_{\lambda} d\lambda$ und V_{λ} bezeugt, daß

¹⁾ Mehrere getrennt gemessene, gleich- oder verschiedenfarbige Lichter müssen also gleichzeitig und zusammen bewertet zu einem mit der Summe der Einzelmessungen übereinstimmenden Ergebnis führen. Diese Forderung muß zunächst unabhängig davon aufgestellt werden, ob das Auge überhaupt in der Lage ist, sie zu erfüllen oder nicht.

zwischen strahlungsphysikalischen und photometrischen Größen kein grundsätzlicher Unterschied besteht. Da alle anderen photometrischen Größen, wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte oder Lichtstärke zum Lichtstrom in denselben Beziehungen stehen wie die entsprechenden Strahlungsgrößen: Bestrahlungsstärke, Strahldichte und Strahlstärke zur Strahlungsleistung (Strahlungsfluß), stellt Gleichung (1) die Brücke zwischen allen photometrischen und strahlungsphysikalischen Einheiten dar. Es ergibt sich daraus ferner, daß die Kontrolle, ob ein photometrisches Meßverfahren dem Additivitätsgesetz folgt oder nicht, im Prinzip nicht anders durchgeführt werden kann bzw. muß, als man einen Strahlungsempfänger auf Befolgung des Gesetzes prüft.

Eine einfache Meßanordnung zur Prüfung eines photometrischen Verfahrens auf Befolgung des Additivitätsgesetzes zeigt Fig. 1. Die Lichtquelle L beleuchtet die Trübglasscheibe T , die als eigentliche Lichtquelle an das eine Ende einer Photometerbank aufgestellt wird. In einem geringen Abstand steht parallel zu T ein Rahmen R mit einer Öffnung, in dem übereinander 2 Farbfilter F_1 und F_2 eingelegt werden können. Durch Aufschieben einer Blechschablone kann nach Belieben das obere oder das untere Filter lichtdicht abgedeckt werden. So ist es also möglich, z. B. erst ein rotes Licht auf das Photometer Ph fallen zu lassen, dann ein blaues und nach Wegziehen der Schablone beide zusammen. Am anderen Ende der Photometerbank befindet sich die Vergleichslampe I_v , die mit der Lampe L zusammen während des ganzen Versuches auf konstante Stromaufnahme überwacht werden muß. Die Messung geht so vor sich, daß jeder Beobachter zunächst die Lichtstärke des durch F_1 gehenden Lichts, dann die des durch F_2 gehenden und schließlich die Summe beider Lichtstärken durch eine Einstellung des Photometers Ph , z. B. auf gleichen Helligkeitseindruck der Vergleichsflächen oder auf Flimmerminimum bestimmt. Das photometrische Verfahren, bei dem die Summe der Einzellichtstärken gleich der gemessenen Summenlichtstärke ist, befolgt das Additivitätsgesetz. Die Berechnung dieser Einzel- und Summenlichtstärken ergibt sich aus der bekannten Lichtstärke der Vergleichslampe I_v und den Abständen zwischen Photometer und Trübglasscheibe einerseits und Vergleichslampe andererseits in bekannter Weise. Die Prüfung ist um so schärfer, je stärker das die Filter F_1 und F_2 verlassende Licht sich in Farbton und Sättigung von dem Licht der Vergleichslampe I_v unterscheidet und je weiter die farbtongleichen Wellenlängen von F_1 und F_2 auseinanderliegen. Daß allerdings die Prüfung nur sinnvoll ist, wenn bestimmte Bedingungen hinsichtlich Leuchtdichte und Größe des Photometergesichtsfeldes eingehalten werden, wird später noch gezeigt werden.

III.

Ist also die Prüfung der Frage nach der Befolgung des Additivitätsgesetzes durch ein photometrisches Verfahren noch im wesentlichen nach rein physikalischen Gesichtspunkten möglich, so ist die Klärung der zweiten Bedingung, ob die Bewertung der gemessenen Lichter nach der spektralen Hellempfindlichkeit des normalen menschlichen Auges, d. h. V_λ -gemäß, erfolgt, wesentlich schwieriger und auch keineswegs mehr allein nach physikalischen Gesichtspunkten durchführbar. Hierbei spielen vielmehr die physiologischen Fragen eine ausschlaggebende Rolle.

Von diesen physiologischen Fragen wollen wir zunächst die folgenden behandeln:

1. Was ist überhaupt unter spektraler Hellempfindlichkeit zu verstehen?
2. Bei welchen Beobachtern ist die spektrale Hellempfindlichkeit als normal zu bezeichnen?

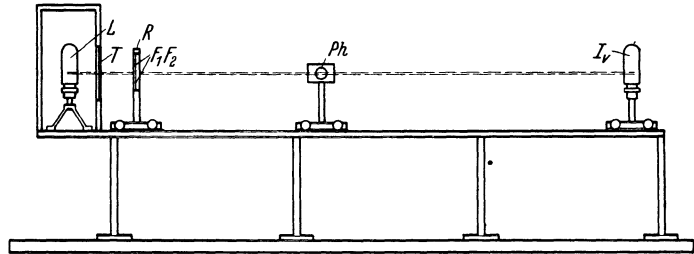


Fig. 1. Meßanordnung zur Prüfung eines photometrischen Verfahrens auf Befolgung des Additivitätsgesetzes.

3. Welchen Verlauf hat die normale spektrale Empfindlichkeit?

Die Netzhaut unseres Auges weist zwei verschiedene Sehapparate auf: die nach der Netzhautgrube zu konzentrierten Zapfen und die hauptsächlich in der Netzhautperipherie liegenden Stäbchen. Mit den Stäbchen sehen wir in der Dämmerung und im Dunkeln; sie sind also besonders lichtempfindlich. Mit den Zapfen sehen wir bei normaler Beleuchtung. Sie sind weniger empfindlich als die Stäbchen, dafür aber vermitteln sie uns die farbigen Eindrücke und auf Grund ihrer Konzentrierung in der Netzhautgrube auch ein scharfes Abbild des Gesehenen. Der Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung, auf den die beiden Sehapparate reagieren, ist annähernd der gleiche (etwa 400 bis rd. 760 m μ). Nicht gleich jedoch ist die Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge, und zwar läßt sich leicht nachweisen¹⁾, daß die Stäbchen gegen-

¹⁾ Ein einfacher, aber korrekter Versuch hierzu ist folgender: Man mache sich ein Diapositiv, das zur Hälfte aus einem Rotfilter, z. B. Schottfilter RG 1 (2 mm) und einem Blaufilter, z. B. BG 12 (2 mm) besteht, und projiziere dieses Diapositiv in üblicher Weise auf die Bildwand. Der rotbeleuchtete Teil der Leinwand wird eindeutig heller aussehen als der blau-beleuchtete. Dann aber halte man ein nicht selektives Graufilter mit einer Durchlässigkeit in der Größenordnung von 0,5% vor das Objektiv des Projektions-

über den Zapfen eine nach dem Kurzwelligen zu verschobene spektrale Empfindlichkeit besitzen.

Aus diesem Unterschied ergibt sich, daß die Eindeutigkeit eines photometrischen Ergebnisses nur gewährleistet sein kann, wenn man entweder mit den Stäbchen, d. h. dunkeladaptiert, oder mit den Zapfen, also helladaptiert, photometriert. Die Entscheidung, in welchem Zustand das Auge messen soll, ist leicht. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ist der Zweck der Verwendung natürlichen oder künstlichen Lichtes die Aufhellung unserer Umwelt in einem solchen Umfang, daß wir deutlich sehen können. Die Bewertung der diesen Zustand herbeiführenden Lichter oder der so beleuchteten Umgebung ist daher nur sinnvoll, wenn sie mit helladaptiertem Auge erfolgt. Wir können also die ersten der oben gestellten 3 Fragen dahingehend beantworten, daß man unter spektraler Hellempfindlichkeit im Sinne der für Gleichung (1) gültigen Funktion V_λ die Empfindlichkeit des einwandfrei helladaptierten Auges versteht. Das gilt nicht nur für den durch Gleichung (1) definierten Lichtstrom, sondern ebenso für alle anderen photometrischen Einheiten²⁾. Von den Physiologen wird diese Funktion $V_\lambda = f(\lambda)$ als „Tageswertkurve“ bezeichnet (im Gegensatz zur „Dämmerwertkurve“, die für das reine Stäbchensehen gültig ist).

Um sicher zu sein, daß die Lichtmessung stets mit helladaptiertem Auge erfolgt, liegt es nahe, nicht nur die Leuchtdichte des Gesichtsfeldes genügend hoch, sondern auch seine Größe so klein zu halten, daß nur die Netzhautgrube, in der sich ausschließlich Zapfen befinden, Licht erhält. Dieser Vorschlag ist häufiger gemacht und insbesondere von ROSENBERG³⁾ durch Messungen als richtig belegt worden, er hat aber den großen Nachteil, daß das Photometergesichtsfeld relativ klein werden muß (max. $1,5^\circ$) und hierunter — namentlich bei weniger geübten Beobachtern — die Einstellgenauigkeit leidet. Dies wird nicht durch den Vorteil aufgewogen, daß man dabei

apparates und lasse das Auge sich an die geringere Leuchtdichte der Bildwand adaptieren. Sehr bald wird man beobachten können, wie das blaue Feld zwar abgeblaßt, aber wesentlich heller zu sein scheint als das vordem rote Feld, von dem man einen ganz dunkelroten, beinahe schon ins Schwarze gehenden Eindruck hat. Die Erscheinung ist um so deutlicher, unter je größerem Gesichtswinkel die Farbflächen dem Beobachter dargeboten werden; sie wird bekanntlich als *Purkinje-Phänomen* bezeichnet.

²⁾ Eine Ausnahme machen nur die erst kürzlich für die Zwecke der Luftschutzbeleuchtung eingeführten beiden neuen Grundgrößen „Dunkelleuchtdichte“ und „Dunkelbeleuchtungsstärke“, die sich auf das dunkeladaptierte Auge beziehen. Vgl. A. DRESLER, Grundlagen der Dunkelleuchtdichte. Licht 10, 112—114 (1940) und Messung und Berechnung von Dunkelleuchtdichte und Dunkelbeleuchtungsstärke. Licht 10, 118—120 u. 146—147 (1940).

³⁾ G. ROSENBERG, Über den Funktionswechsel im Auge. Die Grenzen des Purkinjeschen Phänomens. Z. Sinnesphysiol. 59, 103—127 (1928).

hinsichtlich der zulässigen Gesichtsfeldleuchtdichte größere Bewegungsfreiheit nach niedrigeren Werten zu hat. Während nach den Angaben ROSENBERG'S die Gesichtsfeldleuchtdichte bei einem Feld von $1,5^\circ$ Werte bis zu etwa 1 asb⁴⁾ herab annehmen darf, ohne daß eine Umadaptation des Auges sich auf die Messung auswirkt, müssen bei den gebräuchlichen Größen der Gesichtsfelder in den meisten Photometern (bis zu 8°) höhere Gesichtsfeldleuchtdichten bei der Messung eingehalten werden, um eine Beteiligung der Stäbchen am Helligkeitseindruck auszuschließen. Für das immer noch kleine Gesichtsfeld von 3° gibt ROSENBERG beispielsweise als untere Grenze bereits eine Leuchtdichte von rd. 10 asb an. Man geht also nicht fehl in der Feststellung, daß für die übliche Photometerfeldgröße eine Gesichtsfeldleuchtdichte von 25 asb nicht unterschritten werden sollte. Inwieweit auch unter diesen einschränkenden Bedingungen für Größe und Leuchtdichte des Gesichtsfeldes ein bei jedem Beobachter wirklich eindeutiger Verlauf der spektralen Hellempfindlichkeit vorhanden ist, wird später noch zu besprechen sein.

Die zweite Frage, bei welchen Beobachtern die spektrale Hellempfindlichkeit als normal zu bezeichnen ist, läßt sich folgendermaßen beantworten: Derjenige Beobachter, der normal farbensichtig, d. h. farbtüchtig ist, hat auch eine normale spektrale Hellempfindlichkeit. Die Prüfung auf normale Farbensichtigkeit erfolgt entweder mit dem Anomaloskop oder mit Farbtafeln, z. B. von STILLING⁵⁾ oder ISHIHARA⁶⁾. Für die speziellen Zwecke der heterochromen Photometrie hat sich das Y/B-Verfahren von IVES⁷⁾ eingebürgert und bewährt. Es besteht in der flimmerphotometrischen Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeit einer gelben (Yellow) und einer blauen (Blue) Filterlösung im Glühlampenlicht einer Farbtemperatur von 2080° K bei einer Gesichtsfeldleuchtdichte von 25 asb und einer Gesichtsfeldgröße von 2° . Die gelbe Filterlösung besteht aus 72 g reinen Kaliumbichromats, die blaue aus

⁴⁾ Eine Fläche hat die Leuchtdichte 1 Apostilb (asb), wenn das Produkt aus der auf ihr herrschenden Beleuchtungsstärke in lx und ihrem Reflexionsgrad 1 beträgt (streng nur für diffus reflektierende Flächen gültig). Die Originalzahlen ROSENBERG'S sind Beleuchtungsstärken auf dem Photometerschirm; sie wurden auf Grund der für das von ihm verwendete Photometer bekannten Beziehungen zwischen Schirmbeleuchtungsstärke und Gesichtsfeldleuchtdichte in asb umgerechnet.

⁵⁾ J. STILLING, Pseudo-isochromatische Tafeln, 20. Aufl. (herausgeb. von HERTEL). Leipzig: Georg Thieme 1939.

⁶⁾ S. ISHIHARA, Tests for color blindness, 7th Ed. Tokio: Kanehara 1936.

⁷⁾ Vgl. E. C. CRITTENDEN u. P. K. RICHTMYER, An average eye for heterochromatic photometry and a comparison of a flicker and equality of brightness photometer. Bull. Bur. Stand, 14, 87—113 (1918) (Sci. Pap. Nr 299).

57 g reinen Kupfersulfats, in je 1 l dest. Wassers gelöst und in einer Schichtdicke von je 10,0 mm benutzt. Farbtüchtige Beobachter messen für beide Filterlösungen unter den geschilderten Meßbedingungen im Mittel die gleiche Durchlässigkeit. Für das normale Auge ist also $Y/B \approx 1$. Beobachter, deren Y/B kleiner als 0,92 oder größer als 1,08 ist, sind mit hoher Wahrscheinlichkeit farbtüchtig. So erhält man beispielsweise bei Deuteranomalien ein Y/B zwischen 1,12 und 1,25.

Mit keinem der angegebenen Verfahren, auch nicht mit dem Anomaloskop, kann man die Auswahl der Beobachter so eng begrenzen, daß man sicher wäre, nur Beobachter mit genau gleicher spektraler Hellempfindlichkeit herauszufinden. Auch die nach strengstem Maßstab als farbtüchtig ausgesiebten Beobachter haben photometrisch nicht immer vernachlässigbare Unterschiede in ihren spektralen Hellempfindlichkeiten. Aus diesem Grunde ist es in kritischen Fällen wichtig, sich nicht auf einen oder zwei Beobachter, selbst wenn deren Y/B zwischen 0,98 und 1,02 liegt, zu verlassen, sondern stets mehrere Beobachter, deren mittleres Y/B natürlich möglichst nahe bei 1 liegen soll, heranzuziehen.

Über den Verlauf der normalen spektralen Hellempfindlichkeit selbst sind bis in die letzte Zeit hinein viele Arbeiten veröffentlicht worden. Eine gute Übersicht vermittelt eine neuere Arbeit von GIBSON⁸⁾; ausführlicher, unter besonderer Berücksichtigung der Veröffentlichungen zwischen 1935 und 1939, ist der Bericht des Ungarischen Komitees der Internationalen Beleuchtungskommission (IBK) anlässlich der 10. Vollversammlung der IBK in Scheveningen, Juni 1939⁹⁾. Die übrigen Veröffentlichungen über die spektrale Hellempfindlichkeit zerfallen zeitlich und inhaltlich in 2 Gruppen:

a) Arbeiten aus den Jahren 1912—1923, die zur provisorischen internationalen Festlegung der spektralen Hellempfindlichkeit im Jahre 1924 führten.

b) Arbeiten aus den Jahren 1936—1940, in denen die Richtigkeit der 1924 empfohlenen V_λ -Werte teils angezweifelt, teils bestätigt sind und deren Widersprüche dann im wesentlichen durch die Entdeckung einer jahreszeitlichen Schwankung der spektralen Hellempfindlichkeit aufgeklärt werden konnten.

Die auf Grund der bis 1923 vorliegenden Untersuchungen aus Messungen an insgesamt 200 Beobachtern gebildete V_λ -Kurve, die sog. IBK-Kurve, zeigt Fig. 2. Ihr besonderes Kennzeichen ist, daß die ihr zugrunde liegenden Meßergebnisse nach unterschiedlichen Verfahren und unter ziemlich verschiedenen Beobachtungsbedingungen gewon-

nen wurden. So schwankte die Beleuchtungsstärke auf der Netzhaut zwischen 5 und 160 Photon¹⁰⁾, war bei manchen Forschern über das ganze Spektrum konstant, bei anderen in den Randgebieten des sichtbaren Spektrums wesentlich niedriger als im mittleren Bereich. Verhältnismäßig gute Übereinstimmung herrschte dagegen bei den Gesichtsfeldgrößen. Es wurde nur bei 2 oder 3° gemessen. Verfahrenstechnisch wurden 3 Wege beschrieben:

1. das Flimmerverfahren,
2. der direkt heterochrome Vergleich und
3. das Kleinstufenverfahren.

Beim Flimmerverfahren und beim direkt heterochromen Vergleich wird Wellenlänge für Wellenlänge des sichtbaren Lichtes unmittelbar gegen

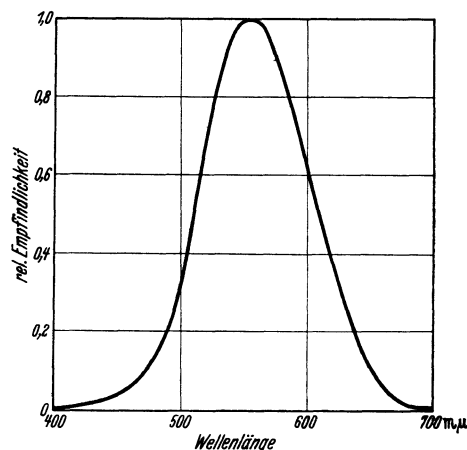


Fig. 2. Die IBK-Kurve der spektralen Hellempfindlichkeit.

das Licht der Photometervergleichslampe (einer normalen Glühlampe) gemessen, während beim Kleinstufenverfahren die Genauigkeit der Einstellung gegenüber dem direkt heterochromen Vergleich dadurch erhöht wird, daß man zwei benachbarte Wellenlängen miteinander vergleicht, in kleinen Stufen durch das Spektrum schreitet und dabei jedes Meßergebnis unter Bezugnahme auf das vorhergehende auswertet.

Man wird vielleicht fragen, ob eine solche Vermengung von nach ganz verschiedenen Verfahren gewonnenen Meßwerten überhaupt zulässig war. Sicher ist, daß jedes der 3 Verfahren seine Vor- und seine Nachteile hat. Ebenso gewiß ist aber auch, daß flimmerphotometrische Messungen meistens mit direkt heterochromen nicht übereinstimmen und diese wieder von Werten, die nach dem Kleinstufenverfahren erhalten wurden, mehr oder weniger abweichen. Wir werden noch sehen, daß für diese Unterschiede in erster Linie die Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes durch den direkt heterochromen Vergleich und die nur be-

⁸⁾ K. S. GIBSON, Spectral luminosity factors. J. Opt. Soc. Amer. 30, 51—61 (1940).

⁹⁾ Von diesem Bericht liegen erst einige wenige Vorabdrucke vor. Die Veröffentlichung erfolgt im Rahmen der offiziellen Tagungsberichte, die erst nach Kriegsende erscheinen können.

¹⁰⁾ Die Beleuchtung von 1 Photon erhält die Netzhaut, wenn das Auge durch eine Pupillenöffnung von 1 mm² auf eine Fläche mit der Leuchtdichte von π asb blickt.

dingte Befolgung durch das Flimmerverfahren verantwortlich ist. So sorgfältig und gewissenhaft nach dem damaligen Stand der Erkenntnis die Auswahl und Festlegung der dann von der IBK empfohlenen Werte für V_λ durch GIBSON und TYNDALL¹¹⁾ erfolgt ist, so wenig würde man heute in derselben Weise vorgehen dürfen. Dank der Autorität des National Bureau of Standards in Washington und der IBK haben sich die 1924 von letzterer provisorisch angenommenen Zahlenwerte von V_λ in kurzer Zeit durchgesetzt; sie wurden als Werte der sog. „internationalen Augenempfindlichkeitskurve“ in die Handbücher aller Kulturnationen übernommen, insbesondere nachdem die für den praktischen Gebrauch der Kurve wichtigen Zwischenwerte von JUDD¹²⁾ sorgfältig interpoliert worden waren. Und mit der Verbreitung der Werte wuchs die Überzeugung von ihrer Richtigkeit.

Um so mehr Aufsehen erregte daher die Veröffentlichung zweier Versuchsreihen durch RIECK¹³⁾ und ARNDT¹⁴⁾ im Jahre 1936, in denen unter wohldefinierten Bedingungen (Flimmerphotometer: $1,5^\circ$ mit leuchtendem Umfeld von 30° Gesichtsfeldleuchtdichte ≥ 15 asb) für allerdings nur 2 Wellenlängen mit einer größeren Anzahl von Beobachtern Werte für V_λ erhalten wurden, die von den IBK-Werten erheblich abwichen, und zwar erhielt ARNDT für das Empfindlichkeitsverhältnis bei den Wellenlängen 578 und 546 $m\mu$ an Stelle des IBK-Wertes von 0,897 einen solchen von 1,035. War dieser neue Wert richtig, so würde das bedeuten, daß das Maximum der spektralen Hellempfindlichkeit an Stelle des IBK-Wertes von 555 $m\mu$ bei 565 $m\mu$ liegen würde. ARNDTs Meßergebnisse konnten durch DRESLER¹⁵⁾ bestätigt werden. Er erhielt unter ähnlichen Meßbedingungen (Flimmerphotometer: $1,2^\circ$ und 7° ohne Umfeld, Gesichtsfeldleuchtdichte 8–10 asb) für das Empfindlichkeitsverhältnis bei 589 und 546 $m\mu$ ebenfalls einen Wert, der in gleicher Richtung vom IBK-Wert abwich. Aus der Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeiten vierer verschiedener Farbfilter unter den gleichen Meßbedingungen wurde außerdem von DRESLER der ganze Verlauf des neuen V_λ berechnet. FORSYTHE

¹¹⁾ K. S. GIBSON, E. P. T. TYNDALL, Visibility of radiant energy. Sci. Pa. Bur. Stand. 19, Nr 475, 131–151 (1923–1924).

¹²⁾ D. B. JUDD, Extension of the standard visibility function to intervals of 1 millimicron by third-difference osculatory interpolation. Bur. Stand. J. Res., Wash. 6, 465–471 (1931).

¹³⁾ J. RIECK, Messungen mit einer verbesserten Filterzelle an technischen Lichtquellen. Licht 7, 213–216 (1937).

¹⁴⁾ W. ARNDT, Über neue Beobachtungen beim subjektiven Photometrieren. Licht 6, 75–77 (1936).

¹⁵⁾ A. DRESLER, Beitrag zur Photometrie farbiger Lichtquellen, insbesondere zur Frage des Verlaufes der spektralen Hellempfindlichkeit. Licht 7, 81–85 u. 107–109 (1937).

BARNES und SHRIDER¹⁶⁾ hingegen bestätigten für 578 und 546 $m\mu$ die IBK-Empfindlichkeitswerte an 18 Beobachtern, ebenfalls mit Flimmerphotometer bei 2° und 25 asb. Ein sehr ähnliches Ergebnis erhielt PRESTON¹⁷⁾ in seiner ersten Veröffentlichung unter denselben Meßbedingungen wie FORSYTHE und seine Mitarbeiter. Auf der anderen Seite erschienen wieder weitere Arbeiten, die über größere Abweichungen von den IBK-Werten berichteten. Neben den nur für 2 Beobachter nach der Kleinstufenmethode bestimmten Verlauf von V_λ durch FEDOROV und FEDOROVA¹⁸⁾ ist hier vor allem die Arbeit von JAGGI¹⁹⁾ aus dem Eidg. Amt für Maß und Gewicht zu nennen. JAGGI konnte sowohl bei verhältnismäßig hohen Leuchtdichten (6000 asb) wie im normalen Leuchtdichtebereich (50 asb) teils bei unmittelbarer Messung von V_λ , teils bei Berechnung von V_λ aus Farbfiltermessungen an 14 Beobachtern recht erhebliche Abweichungen zu den IBK-Werten feststellen, wenn es ihm auch nicht gelang, die von DRESLER im Langwelligen ermittelten Abweichungen voll zu bestätigen. Kurze Zeit darauf erschien eine ausführliche Arbeit von JAINSKI²⁰⁾, der in enger Anlehnung an die grundlegenden älteren Arbeiten von IVES²¹⁾ mit 60 Beobachtern flimmerphotometrisch bei einem Gesichtsfeld von $1,2^\circ$ und einer berechneten Gesichtsfeldleuchtdichte von 200–800 asb die Ergebnisse von ARNDT und DRESLER trotz der wesentlich höheren Leuchtdichte in vollem Umfange bestätigen konnte. Auch JAINSKIs mittlere Kurve liegt mit ihrem Maximum gegenüber der IBK-Kurve um 10 $m\mu$ nach dem Langwelligen verschoben zu. In Fig. 3 sind die von DRESLER, JAGGI und JAINSKI angegebenen V_λ -Kurven in ihren Abweichungen gegen die IBK-Kurve zusammengestellt.

Aus den bis jetzt zitierten Arbeiten war eine eindeutige Schlußfolgerung nicht möglich. Die Widersprüche zwischen den an den verschiedenen Stellen, auch unter vergleichbaren Meßbedingun-

¹⁶⁾ W. E. FORSYTHE, B. T. BARNES and ANN SHRIDER, Photometry of colored light sources. J. opt. Soc. amer. 28, 241–248 (1938).

¹⁷⁾ J. S. PRESTON, The relative luminosity of radiation at wavelengths 5780 and 5461 Å. for the average photometric observer. Proc. phys. Soc., Lond. 50, 398–408 (1938).

¹⁸⁾ N. T. FEDOROV u. V. I. FEDOROVA, On the problem of the curve of the spectral sensitivity of the eye. C. R. (Doklady) de l'Acad. Sci. l'USSR. 2 (11), 9 (95), 377–380 (1936).

¹⁹⁾ M. JAGGI, Beitrag zur Kenntnis der spektralen Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges auf Grund flimmerphotometrischer Messungen. Helv. phys. Acta 12, 77–108 (1939).

²⁰⁾ P. JAINSKI, Die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges und ihre Bedeutung für die Lichtmeßtechnik. Diss. T. H. Berlin (1938) und Union, Deutsche Verlagsgesellschaft Berlin 1938; auszugweise auch P. JAINSKI, Neue Untersuchungen über die spektrale Hellempfindlichkeit. Licht 8, 245–248 (1938).

²¹⁾ Vgl. Fußnote 8.

gen, gewonnenen Ergebnissen erschienen unerklärlich. Einen wichtigen Hinweis enthielt allerdings bereits die Arbeit von JAGGI in der Feststellung der großen Leuchtdichteabhängigkeit des flimmerphotometrisch bestimmten V_λ im Roten. DRESLER²²⁾ wies ebenfalls hierauf hin, indem er zeigte, daß die Messung der visuellen Gesamtdurchlässigkeit eines Rotfilters mit dem Flimmerphotometer sehr stark leuchtdichteabhängig ist. Fig. 4 zeigt in Erweiterung der damals veröffentlichten Ergebnisse die Abhängigkeit der visuellen Gesamtdurchlässigkeit von vier verschiedenen Farbfiltern von der Gesichtsfeldleuchtdichte. Durch diese Messungen war auf der einen Seite zwar geklärt, warum zwischen den Messungen DRESLERS bei 8—10 asb und denjenigen JAGGIS bei 50 asb im

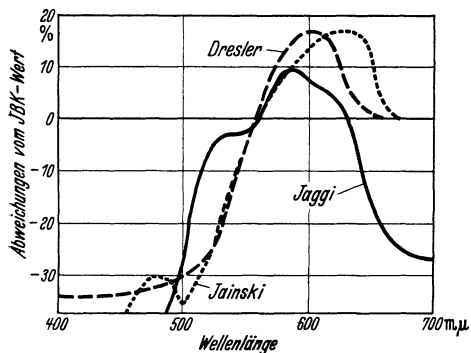


Fig. 3. Abweichungen der von DRESLER, JAGGI und JAINSKI bestimmten V_λ -Kurven vor den IBK-Kurven.

Roten eine Abweichung vorlag, nicht zu verstehen aber war, warum JAINSKI bei 200—800 asb dieselben Werte für V_λ im Roten erhielt wie DRESLER bei 8—10 asb, statt sich den mit Recht niedrigeren Werten JAGGIS bei 6000 asb zu nähern. Diese Diskrepanz hat sich mit Sicherheit nicht klären lassen. Wahrscheinlich sind die Leuchtdichtangaben JAINSKIS viel zu hoch ausgefallen, weil nicht darauf geachtet wurde, daß die künstliche Pupille des Photometerokulars kleiner als die natürliche Pupille des Beobachterauges war. Dann aber ist die wirksame Leuchtdichte des Gesichtsfeldes natürlich wesentlich kleiner als die von JAINSKI errechnete. Seine V_λ -Kurve kann, vor allem unter Berücksichtigung der von ihm selbst gefundenen, sonst unverständlichen Abhängigkeit von der Gesichtsfeldgröße, bei keiner Leuchtdichte gemessen worden sein, die nennenswert höher als 10 asb lag.

Die restlichen Diskrepanzen zwischen den angelsächsischen Arbeiten auf der einen Seite und den mitteleuropäischen auf der anderen konnten inzwischen auch geklärt werden. PRESTON²³⁾ veröffentlichte in einer zweiten Arbeit Ergän-

²²⁾ A. DRESLER, Aktuelle Fragen der Lichtmessung. Z. techn. Phys. 19, 369—372 (1938).

²³⁾ J. S. PRESTON, The relative luminosity of radiation for the average photometric observer. Proc. phys. Soc., Lond. 51, 757—767 (1939).

zungsmessungen mit dem zunächst befremdenden Ergebnis, daß eine Wiederholung der Messung des Empfindlichkeitsverhältnisses für die Wellenlängen 578 und 546 mμ mit fast den gleichen Beobachtern nach 8 Monaten zu einem nennenswert anderen Ergebnis geführt habe. Während im Juli 1937 0,912 gemessen worden war, erhielt PRESTON im März 1938 0,957, ein Unterschied, der fast die Hälfte der ganzen zur Debatte stehenden Differenz zwischen den IBK- und den ARNDT-DRESLERSchen Messungen ausmacht. Eine dritte Messung im Oktober 1938 lieferte den Wert 0,942. Es sind dies Anzeichen für eine jahreszeitliche Abhängig-

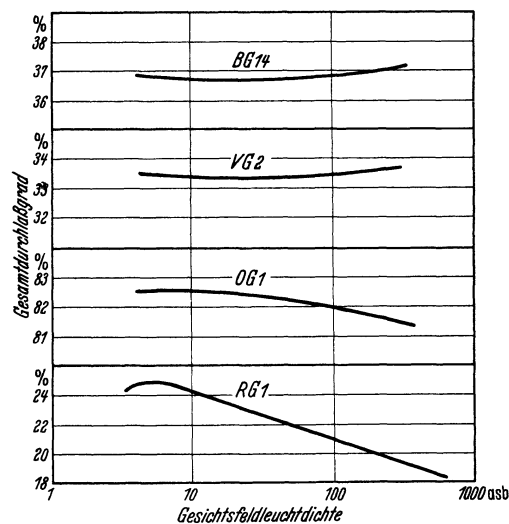


Fig. 4. Die Abhängigkeit des flimmerphotometrisch bestimmten Gesamtdurchlaßgrades verschiedener Farbfilter von der Gesichtsfeldleuchtdichte. (Gesichtsfeldgröße: 1,5°.)

keit der spektralen Hellempfindlichkeit, deren Ursache von PRESTON in Ernährungszuständen, z. B. Vorrat des Körpers an Vitamin A, vermutet wird. Zeiten eines Vitamin A-Mangels müßten danach die spektrale Empfindlichkeit nach längeren Wellenlängen verschieben. Da die amerikanische Ernährung besonders reich an Vitamin A ist, sieht PRESTON in diesen Ergebnissen eine Erklärung dafür, warum die neueren mitteleuropäischen Untersuchungen gegenüber der ja ausschließlich auf amerikanischen Messungen beruhenden IBK-Kurve ein längerwelliges Maximum für V_λ ergeben mußten.

Daß die durch PRESTONS Messungen sich andeutende jahreszeitliche Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit wirklich besteht, wurde von DRESLER²⁴⁾ bestätigt. Zwei Beobachter führten werktätlich, in der Zeit vom 1. November 1938 bis zum 20. November 1939, zwei Meßreihen der Hellempfindlichkeitsbestimmung bei 546, 578 und 589 mμ durch. Für das Empfindlichkeitsverhält-

²⁴⁾ A. DRESLER, Über eine jahreszeitliche Schwankung der spektralen Hellempfindlichkeit. Licht 10, 79—82 (1940).

nis bei den Wellenlängen 589 und 546 m μ zeigt Fig. 5 den jahreszeitlichen Gang der spektralen Hellempfindlichkeit an Hand der Monatsmittelwerte für beide Beobachter. In Übereinstimmung mit den Angaben PRESTONS stehen niedrigen Werten im Sommer hohe Winterwerte gegenüber. *Das Maximum der spektralen Hellempfindlichkeit liegt also im Winter bei einer längeren Wellenlänge*

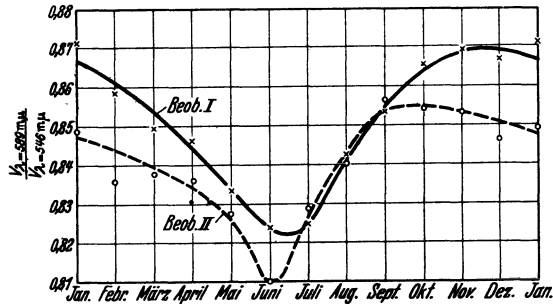


Fig. 5. Die Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit von der Jahreszeit für zwei Beobachter.

Monatsmittelwerte für $\frac{V_{\lambda=589 \text{ m}\mu}}{V_{\lambda=546 \text{ m}\mu}}$.

als im Sommer. Praktisch hat das zur Folge, daß zwei unmittelbar benachbarte Flächen, von denen eine mit Tageslicht, die andere mit Glühlampenlicht beleuchtet wird, wenn sie im Sommer auf gleiche Leuchtdichte eingestellt werden, im Winter unter den genau gleichen Beleuchtungsverhältnissen verschieden hell aussehen müssen, und zwar wird die vom Glühlampenlicht beleuchtete Fläche etwas heller aussehen, als die vom Tageslicht beleuchtete.

Die Messungen DRESLERS lassen eine weitere biologisch interessante Feststellung zu: Trägt man nämlich nicht die Monatsmittelwerte, sondern die Wochenmittelwerte auf, so erhält man Kurven

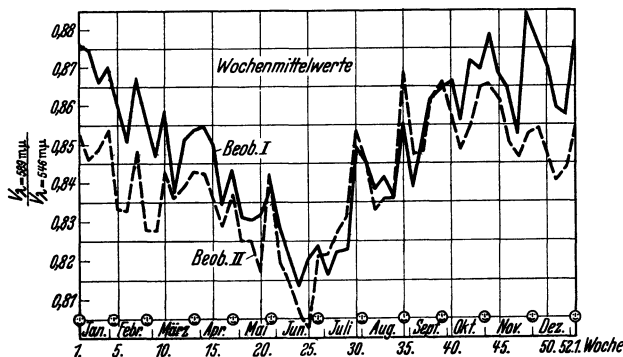


Fig. 6. Die Abhängigkeit der spektralen Hellempfindlichkeit von der Jahreszeit für zwei Beobachter.

Wochenmittelwerte für $\frac{V_{\lambda=589 \text{ m}\mu}}{V_{\lambda=546 \text{ m}\mu}}$.

für beide Beobachter gemäß Fig. 6, bei denen die in regelmäßigen Abständen auftretenden Maxima und Minima besonders auffallen. Die Maxima liegen in 11 von insgesamt 12 Fällen in Wochen,

in denen Vollmond war. Bei dieser guten Korrelation darf an der Echtheit des Phänomens wohl kaum gezweifelt werden. Beide Beobachter waren vollständig farbtüchtig und haben auch nie über eine Beeinflussung ihres Allgemeinbefindens durch die Mondphasen zu klagen gehabt, leiden beispielsweise auch nicht etwa unter Schlaflosigkeit in mond hellen Nächten. Daß kosmische Einflüsse auf die menschliche Psychophysis in mannigfacher Form bekannt sind, zeigt HELLPACH²⁵⁾.

Berücksichtigt man, daß die oben genannten V_{λ} -Messungen von ARNDT, DRESLER, JAINSKI und JAGGI sämtlich in den Herbst- und Wintermonaten durchgeführt worden sind, so erklären sich die relativen großen Abweichungen zur IBK-Kurve jetzt ganz zwanglos. Die Messungen von FORSYTHE und seinen Mitarbeitern sind dagegen, wie aus einer Bemerkung auf Seite 246 ihrer Veröffentlichung hervorgeht, im Mai, spätestens Anfang Juni, gemacht worden. Ihre Meßergebnisse müssen daher — ebenso wie die bei PRESTONS erster Messung — besser mit den IBK-Werten übereinstimmen.

Die im Laufe der Neubestimmungen von V_{λ} aufgetretenen Meßunterschiede sind daher (mit Ausnahme der Arbeit von JAINSKI) als grundsätzlich geklärt zu bezeichnen.

Ehe wir uns mit den sich hieraus ergebenden Folgerungen für die subjektive Photometrie farbiger Lichter beschäftigen wollen, sei der Vollständigkeit halber noch über einige in ähnlicher Richtung liegende Arbeiten aus dem Helmholtz-Institut für Ophthalmologie in Moskau berichtet, nach denen die spektrale Augenempfindlichkeit (es muß mangels Leuchtdichteangaben dahingestellt bleiben, ob es sich um die Zapfen, die Stäbchen oder um beide Sehorgane handelt) durch eine größere Anzahl äußerer Reize beeinflusst wird. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Untersuchungsergebnisse bringt KRAVKOV²⁶⁾. Danach wird z. B. die Augenempfindlichkeit zwischen 450 und 550 m μ unter dem Einfluß akustischer Reize erhöht, während sie zwischen 580 und 650 m μ erniedrigt wird. Als akustischer Reiz diente dabei ein Ton von 800 oder auch von 2000 Hz bei einer Lautstärke von 90 Decibel. Im Bereich um 570 m μ trat keine Änderung der Augenempfindlichkeit ein. Die Empfindlichkeitsverschiebung wurde nach 2 Verfahren ermittelt: durch Bestimmung der Farbschwelle und mit Hilfe des Verschmelzungsfrequenzverfahrens. Ähnliche Verschiebungen der Augenempfindlichkeit erhält man nach KRAVKOV auch bei Reizung der Geruchs- und Geschmacksnerven sowie durch eine Wärmebestrahlung der Hände der Versuchsperson. KRAVKOV zieht aus seinen Messungen interessante Schlußfolgerungen zur YOUNG-HELMHOLTZschen

²⁵⁾ W. HELLPACH, Die wissenschaftliche Erkenntnis von den kosmischen Einflüssen auf die menschliche Psychophysis. Forsch. u. Fortschr. 16, 37—40 (1940).

²⁶⁾ S. V. KRAVKOV, Some new findings on colour vision. Acta med. URSS 2, 461—471 (1939).

Farbtheorie, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

Die zu Beginn dieses Abschnittes gestellte dritte Frage nach dem Verlauf der normalen spektralen Hellempfindlichkeit ist also, wenn man das vorstehend Berichtete zusammenfaßt, dahingehend zu beantworten, daß es einen eindeutigen Verlauf einer normalen spektralen Hellempfindlichkeit, der für einen Beobachter über längere Zeiträume und über einen größeren Leuchtdichtebereich gilt, in strengem Sinn offenbar nicht gibt. Andererseits benötigt die Photometrie aber eine absolut eindeutige Beziehung zwischen Lichtstrom und Strahlungsleistung. Man ist daher zu einer mehr oder weniger willkürlichen Festlegung desjenigen Verlaufs von V_λ gezwungen, der als normale spektrale Hellempfindlichkeit des Auges gelten soll. Dieser Ansicht hat sich auch die Internationale Beleuchtungskommission auf ihrer letzten Tagung im Juni 1939 nicht verschlossen, sie hat vielmehr bestimmt, daß ein photometrisches Meßergebnis nur dann als richtig angesehen werden kann, wenn es in Übereinstimmung mit der Definitionsgleichung für den Lichtstrom nach der obengenannten Gleichung (1) ist, wobei für V_λ die im Jahre 1924 provisorisch angenommenen Werte einzusetzen sind. Die damit gewissermaßen bestätigte IBK-Kurve wurde aus Zweckmäßigkeitsgründen beibehalten, da es keinen anderen Verlauf von V_λ gibt, der einen besser begründeten Anspruch auf Eindeutigkeit erheben könnte. Gegenüber allen früheren Festlegungen besteht aber der prinzipielle Unterschied darin, daß man auf Grund der erweiterten physiologischen Erkenntnisse nicht mehr sagt, die IBK- V_λ -Werte sind die Werte der normalen spektralen Hellempfindlichkeit, sondern sie gelten nur noch (und zwar vereinbarungsgemäß) als solche.

IV.

Durch diese Entscheidung sind wir nunmehr auch in der Lage, die genauen Prüfungsbedingungen für die Brauchbarkeit eines photometrischen Verfahrens festzulegen. Wir hatten eingangs bereits festgestellt, daß die Grundvoraussetzungen die Befolgung des Additivitätsgesetzes und die V_λ -getreue Messung sind. Wir können jetzt eine wesentlich präzisere Formulierung aussprechen: Ein subjektives photometrisches Verfahren darf nur dann angewendet werden bzw. die mit ihm erhaltenen Meßergebnisse sind nur dann als richtig im Sinne der vereinbarten Definition des Lichtstroms zu bezeichnen, wenn mit Sicherheit gewährleistet ist, daß die wirksame mittlere spektrale Hellempfindlichkeit der zur Messung herangezogenen Beobachter für alle Messungen mit der IBK- V_λ -Kurve genau übereinstimmt und wenn gleichzeitig das Additivitätsgesetz in aller Strenge befolgt wird. Die Feststellung, ob letzteres der Fall ist, darf also, und damit kommen wir auf die bei der Besprechung des Additivitätsgesetzes gemachte Einschränkung zurück, nur unter solchen Bedingungen erfolgen, die von vornherein eine V_λ -

getreue Messung verbürgen. Es hat also keinen Sinn, ein Verfahren auf Befolgung des Additivitätsgesetzes unter Bedingungen zu prüfen, bei denen eine Veränderung des bei der Messung wirksamen V_λ eintritt. Beide Bedingungen sind gewissermaßen abhängige Veränderliche geworden: Ändert sich V_λ bei Messungen, die zur Kontrolle des Additivitätsgesetzes dienen sollen, so erhält man automatisch ein Ergebnis, das auf Nichtadditivität schließen läßt. Trotzdem braucht das Verfahren an sich diese Eigenschaft nicht zu besitzen; sie wird durch die unzuverlässige Wahl der Beobachtungsbedingungen und der hierdurch verursachten Veränderlichkeit von V_λ nur vorgetäuscht.

Wir müssen uns daher zunächst mit dem Problem beschäftigen, auf welche Weise man es erreichen kann, daß die wirksame mittlere spektrale Hellempfindlichkeit der Beobachter mit dem IBK- V_λ übereinstimmt. Wir wollen uns dabei, ohne Vollständigkeit anzustreben, auf diejenigen Möglichkeiten beschränken, die praktische Bedeutung haben, über die Erfahrungen vorliegen und über die man eine einigermaßen sichere Aussage machen kann.

Da bei dem photometrischen Vergleich von Lichtern mit genau gleicher spektraler Energieverteilung die spektrale Hellempfindlichkeit des Beobachters auf das Ergebnis ohne Einfluß ist, besteht die ideale Lösung des Problems der V_λ -getreuen subjektiven heterochromen Photometrie in der Umwandlung der an und für sich heterochromen Meßaufgabe in eine (für den sichtbaren Spektralbereich) *isoenergetische*. Es ist dies also eine erweiterte, man kann auch sagen eine strengere Lösung des schon viele Jahre bekannten *Filterverfahrens*²⁷⁾. Unter dem Filterverfahren in klassischem Sinn versteht man die Verwandlung des heterochromen Vergleichs in einen *isochromen* mit Hilfe eines vor die Normallichtquelle gesetzten Farbfilters, dessen spektraler Durchlaßgrad so beschaffen sein muß, daß das Filter dem Licht der Normallichtquelle die Farbe — also nicht etwa unbedingt die spektrale Energieverteilung — des zu messenden Lichtes verleiht. Zur quantitativen Auswertung der dann im isochromen Direktvergleich durchzuführenden photometrischen Einstellungen muß neben der Lichtstärke der Normallichtquelle auch ihre relative spektrale Energieverteilung im Sichtbaren (bei Wolframglühlampen durch die Bestimmung der Farbtemperatur zu erhalten) bekannt sein. Bedeuten I die Lichtstärke der ungefilterten Normallichtquelle, I_f die der gefilterten, E_λ die spektrale Energieverteilung der Normallichtquelle, τ_λ den spektralen Durchlaßgrad des verwendeten Farbfilters und V_λ die IBK-Werte der spektralen Hellempfindlichkeit, so ist:

$$J_f = J \frac{\int E_\lambda \tau_\lambda V_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda V_\lambda d\lambda} \quad (2)$$

²⁷⁾ M. PIRANI, Zur Photometrie verschiedenfarbiger Lichtquellen. Z. Beleuchtungswes. 21, 41–46 (1915).

Im allgemeinen, z. B. bei der Messung von Gasentladungslampen, wird die spektrale Energieverteilung des zu messenden Lichtes nicht gleich $E_\lambda \cdot \tau_\lambda \cdot d\lambda$ sein. Es gibt aber auch Fälle, so beim Vergleich verschieden belasteter Glühlampen, bei denen die niedriger belastete als Normallichtquelle dient und durch ein helles Blaufilter an die Farbe der höher belasteten Glühlampe angeglichen wird, wodurch auf beiden Seiten des Photometers praktisch die gleiche spektrale Energieverteilung gegeben ist. Von diesem Sonderfall abgesehen, besteht aber bei der heute üblichen Art der Filterung, je nach der Sorgfalt bei der Auswahl der Filter, ein mehr oder weniger guter Farbgleich zwischen Normallampe und zu messendem Licht bei gleichzeitig recht verschiedener spektraler Energieverteilung. Weicht unter solchen Meßbedingungen die spektrale Hellempfindlichkeit des Beobachters, sei es von sich aus, sei es durch die Wahl unzuweckmäßiger Beobachtungsbedingungen (zu großes Gesichtsfeld von zu kleiner Leuchtdichte) von dem IBK- V_λ ab, so muß dies zu Fehlern führen. Die Abweichungen der tatsächlichen Hellempfindlichkeiten von dem IBK- V_λ gehen allerdings beim Filterverfahren, da für die Lichtstärke der gefilterten Normallampe ja das Soll- V_λ eingesetzt wird, nicht in vollem Betrage in das Meßergebnis ein. Wie KÖNIG²⁸⁾ am Beispiel der Natriumdampfampe ausführlich nachgewiesen hat, liegen die Fehler, die durch eine vom IBK- V_λ abweichende spektrale Hellempfindlichkeit, wie sie z. B. durch die 3 Kurven der Fig. 3 gegeben sind, bei Verwendung eines normalen Gelbfilters vom Typ des Schottfilters OG 2 zum Farbgleich der Glühlampe an die Natriumdampfampe in der Größenordnung von 3—5%. Erst ein Filter, das im Gegensatz zum OG 2 nicht nur auf der kurzwelligen, sondern auch auf der langwelligen Seite der Natriumlinie scharf abschneidet, setzt bei solchen Hellempfindlichkeitskurven den Fehler genügend stark herab. Bei diesem Beispiel ist allerdings zu bedenken, daß die Verhältnisse bei der Natriumdampfampe wegen ihrer ausgesprochenen Monochromasie besonders kraß liegen. Bei anderen Gasentladungslampen mit mehreren über das sichtbare Spektrum verteilten Linien oder gar Banden sind die Verhältnisse wesentlich günstiger.

Die Forderung nach einer Anpassung der Normallichtquelle an die spektrale Energieverteilung der zu messenden Lichtquelle an Stelle einer reinen Farbgleichung muß aber trotzdem erhoben werden, weil nur sie die prinzipielle Lösung — auch in den kompliziertesten Fällen — verbürgt, selbst wenn sich ihrer Verwirklichung gelegentlich Schwierigkeiten in den Weg stellen und die Messung durch einen unter Umständen weniger guten Farbgleich zusätzlich erschwert wird.

²⁸⁾ H. KÖNIG, Über die bei subjektiven Präzisionsmessungen an Natriumlicht nach dem Filterverfahren notwendigen Meßbedingungen. Helvet. phys. Acta 12, 229—248 (1939).

Ein schlechter, aber auch schon ein mangelhafter Farbgleich bilden nämlich eine große Gefahrenquelle nicht nur weil die Einstellgenauigkeit des Photometrierenden darunter leidet, sondern vor allem, weil die Einstellung zweier nicht genau gleichfarbiger Flächen auf gleiche Leuchtdichte im normalen Gleichheitsphotometer nicht ohne Verstoß gegen das Additivitätsgesetz vor sich geht. Der erste, der hierauf hingewiesen hat, war HELMHOLTZ²⁹⁾, der bei heterochromen Helligkeitsvergleichen von dem *Zusammenwirken zweier Größen, nämlich Helligkeit und Farbenglut, spricht, für die er keine einfache Summe zu finden weiß und die er auch wissenschaftlich nicht definieren kann*. Viele Jahre später hat KOHLRAUSCH³⁰⁾ hierzu erstmalig quantitative Angaben veröffentlicht und gezeigt, daß beim direkten Vergleich zweier monochromatischer Strahlungen ($\lambda = 660$ und $550 \text{ m}\mu$) im Helmholtz-Farbmischapparat Fehler von über 40% auftreten können. Spätere von KOHLRAUSCH veröffentlichte Messungen³¹⁾ ergaben unter anderen Versuchsbedingungen noch größere Abweichungen. Seine Untersuchungen beweisen, daß stark gesättigte Lichter beim Vergleich mit weniger gesättigten leicht vom Auge überbewertet werden. KOHLRAUSCH nennt diese Erscheinung: „Das Wirksamkeitsplus der satteren Farbe.“ Den systematischen Zusammenhang zwischen Sättigungs- und Farbtonunterschieden im Photometergesichtsfeld auf der einen Seite und Abweichungen vom Additivitätsgesetz beim direkt heterochromen Vergleich auf der anderen wies dann DRESLER³²⁾ an Hand von direkt heterochromen und flimmerphotometrischen Messungen in einer Meßordnung gemäß Fig. 1 nach. Während die flimmerphotometrischen Messungen innerhalb des engen bei den Messungen eingehaltenen Leuchtdichtebereichs dem Additivitätsgesetz mit praktisch ausreichender Genauigkeit folgen, entstehen beim direkt heterochromen Vergleich systematische Abweichungen unter der Einwirkung von „scheinbaren Leuchtdichteänderungen“. Ein Teil der Messungen DRESLERS sind in Fig. 7 zusammengestellt. Diese Messungen bestanden aus dem direkt heterochromen und dem flimmerphotometrischen Vergleich eines farbigen Lichtes bekannter farbtongleicher Wellenlänge λ , und bekannter Sättigung [spektraler Farbanteil σ ³³⁾] mit einer normalen Glühlampe. Die scheinbare Leuchtdichteänderung ist der in Prozenten ausgedrückte Betrag, um den sich die direkt heterochrome Messung von der flimmer-

²⁹⁾ H. v. HELMHOLTZ, Handbuch der physiologischen Optik, 2. Aufl. 1896, 440.

³⁰⁾ A. KOHLRAUSCH, Die Gesichtsempfindungen. Tabulae biologicae 1, 316 (1925).

³¹⁾ A. KOHLRAUSCH, Zur Photometrie farbiger Lichter. Licht 5, 259—260 u. 275—279 (1935).

³²⁾ A. DRESLER, Über den Einfluß von Farbton und Sättigung auf die Messung verschiedenfarbiger Lichter. Licht 7, 203—208 (1937).

³³⁾ Bezeichnungsweise nach DIN 5033: Bewertung und Messung von Farben.

photometrischen unterscheidet. Fig. 7 zeigt, daß mit wachsender Differenz in den farbtongleichen Wellenlängen und in den Sättigungen der beiden im Photometergesichtsfeld wahrgenommenen Leuchtdichten eine immer größere scheinbare Leuchtdichteänderung auftritt. Wichtig ist, daß auch bei verhältnismäßig kleinen Farbton- und Sättigungsunterschieden, die noch keine wesentliche Minderung der Einstellgenauigkeit bedeuten, bereits nennenswerte scheinbare Leuchtdichteänderungen auftreten. Auch bei Farbtongleichheit, aber verschiedener Sättigung, bewertet das Auge die gesättigtere Farbe zu hell. Die Angaben der Fig. 7 sind aus Messungen mit einem aus 2 Halbkreisen sich zusammensetzenden Photometerfeld mit Hilfe von 9 Beobachtern gewonnen worden; sie dürfen nur qualitativ, nicht aber

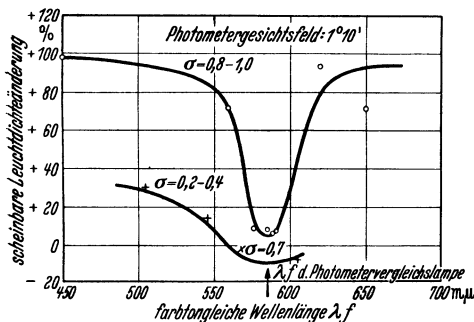


Fig. 7. Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes durch den direkt heterochromen Vergleich infolge des Auftretens scheinbarer Leuchtdichteänderungen beim Messen.

quantitativ verallgemeinert werden, denn bereits eine andere Form des Gesichtsfeldes beeinflusst unter sonst genau gleichen Bedingungen die Größe der scheinbaren Leuchtdichteänderung. So werden beispielsweise mit dem bekannten Trapezfeld, bei dem die verschiedenfarbigen Lichter in je 2 Teilflächen erscheinen, wesentlich niedrigere scheinbare Leuchtdichteänderungen gemessen, was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß diese größere Unterteilung der verschiedenfarbigen Flächen dem Auge den Leuchtdichteabgleich erleichtert und es dem Einfluß der Farbton- und Sättigungsdifferenzen etwas entzieht³⁴⁾.

Für das uns interessierende Problem der Sicherung einer V_λ -getreuen Messung beim Filterverfahren folgt hieraus, daß die Einstellung auf gleiche Leuchtdichte nur dann mit einem normalen Gleichheitsphotometer erfolgen darf, wenn der Farbangleich zwischen gefilterter und zu messender Lichtquelle ein vollständiger ist. In allen anderen Fällen, und diese werden die Regel bilden, ist es zweckmäßig, an Stelle des Gleichheitsphotometers ein Flimmerphotometer zu benutzen. Über das Flimmerphotometer liegt genügend Versuchsmaterial vor, um mit Sicherheit

sagen zu dürfen, daß bei den kleinen Farbdifferenzen, wie sie hier vorkommen, keinerlei Abweichungen vom Additivitätsgesetz auftreten.

Für die praktische Durchführung des erweiterten, auf die gleiche spektrale Energieverteilung abzielenden Filterverfahrens ist die Verwendung des Flimmerphotometers sogar unerlässlich, damit eine solche Anpassung ohne Rücksicht auf etwa verbleibende Farbdifferenzen im Gesichtsfeld vorgenommen werden kann.

Um die Gefahr einer nicht V_λ -getreuen Messung möglichst zu verringern, ist es zweckmäßig, zusätzlich darauf zu achten, daß

1. das mittlere Y/B der zur Messung herangezogenen Beobachter möglichst nahe bei 1,0 liegt und

2. die Gesichtsfeldgröße 2° und die Gesichtsfeldleuchtdichte zwischen 25 und 50 asb beträgt.

Diese beiden Bedingungen müssen um so genauer eingehalten werden, je schlechter die energetische Anpassung der Normallampe an die unbekannte Lichtquelle ist. Je besser die Anpassung gelingt, um so größere Bewegungsfreiheit hat man nicht nur in den photometrischen Bedingungen, sondern auch hinsichtlich der Hinzuziehung nicht ganz farbtüchtiger Beobachter.

Neben dem Filterverfahren und dem kombinierten Filter-Flimmerverfahren wird man gelegentlich, insbesondere bei technischen Messungen, auf die Suche nach geeigneten Anpassungsfiltern verzichten wollen und im reinen Flimmerverfahren, d. h. also unter Einwirkung der vollen jeweils vorliegenden Farbdifferenz, arbeiten. Die Kurven der Fig. 4 zeigen, daß hier eine gewisse Vorsicht notwendig ist, da zum mindesten im Langwelligen das Ergebnis leuchtdichteabhängig ist, wobei es im Effekt natürlich gleichgültig ist, ob man diese Abhängigkeit auf eine Verringerung der spektralen Hellempfindlichkeit im Roten (sog. inverser Purkinje-Effekt) oder auf eine Nichtbefolgung des Additivitätsgesetzes zurückführen will. Darüber hinaus geht der Verlauf der individuellen spektralen Hellempfindlichkeiten der Beobachter an sich in vollem Umfange in das Meßergebnis ein, was dazu führt, daß bei dem bereits genannten Beispiel der Natriumdampflampenmessung die in Fig. 3 gezeigten, von der IBK abweichenden Hellempfindlichkeiten Fehler in der Größenordnung von 10% verursachen. Will man daher mit reiner Flimmerphotometrie genügend V_λ -getreue Ergebnisse erhalten, so müssen die ebengenannten 2 Bedingungen hinsichtlich des mittleren Y/B und der Größe und Leuchtdichte des Gesichtsfeldes grundsätzlich und besonders sorgfältig eingehalten werden.

Alle anderen subjektiven Verfahren der heterochromen Photometrie sind entweder zu umständlich oder zu ungenau und befolgen nicht das Additivitätsgesetz. Zu der letzten Gruppe gehören vor allem die Peripheriemethode, die Minimalfeld- und die Minimalzeitmethode, das Stereoverfahren,

³⁴⁾ Vgl. auch J. VOOGD, Subjektive Photometrie. Philips techn. Rdsch. 5, 279—284 (1940).

die Sehschärfemethode und das Verschmelzungsfrequenzverfahren. Von den im Prinzip richtig arbeitenden Methoden seien hier noch kurz das trichromatische und das rechnerische Verfahren besprochen.

Beim trichromatischen Verfahren stellt man durch Mischung dreier verschiedenfarbiger Eichlichter bekannter Lichtstärke ein Vergleichslicht von der Farbe der zu messenden Lichtquelle her und kann dann im isochromen Direktvergleich mit dem Gleichheitsphotometer einstellen. Bei Auswahl der Beobachter nach ihrem Y/B und individueller Mischung der 3 Eichlichter durch jeden Beobachter auf besten Farbgleich liefert das Verfahren Meßergebnisse, die den meisten technischen Ansprüchen vollauf genügen. Da es einen erheblichen apparativen Aufwand erfordert, ist es bis jetzt nur selten angewendet worden³⁵).

Beim rechnerischen Verfahren umgeht man die eigentliche photometrische Messung, muß dafür aber die spektrale Energieverteilung des zu messenden Lichtes im absoluten Maß für das sichtbare Gebiet ermitteln. Diese Werte der spektralen Energieverteilung werden dann mit den zugehörigen Werten des IBK- V_λ multipliziert und dadurch in die entsprechenden photometrischen Größen übergeführt. Da die Messung der spektralen Energieverteilung eines Lichtes im absoluten Maß erheblichen technischen Schwierigkeiten begegnet, hat das rechnerische Verfahren zur Ermittlung der photometrischen Daten von Lichtquellen mehr prinzipielle³⁶) als praktische Bedeutung. Häufig wird es jedoch dann angewendet, wenn es sich um die Bestimmung des Durchlaßgrades oder der Remission von Körperfarben handelt, da hierzu die Energieverteilung nur in relativen Werten bekannt zu sein braucht. Die beim Filterverfahren benötigte Lichtstärke der gefilterten Normallichtquelle nach der oben angegebenen Gleichung (2) enthält bereits den mathematischen Ausdruck für den Gesamtdurchlaßgrad D . Der Gesamtdurchlaßgrad D dieses Filters ist nämlich:

$$D = \frac{\int E_\lambda \tau_\lambda V_\lambda d\lambda}{\int E_\lambda V_\lambda d\lambda}, \quad (3)$$

d. h. also:

$$D = \frac{J_f}{J}. \quad (3a)$$

V.

Wenn wir hiermit am Schluß unserer Betrachtungen gelangt noch einmal kurz das uns

³⁵) Vgl. z. B. Comm. Int. de l'Eclairage, IX. Sess. Recueil des Trav. et Compte rendu des Séances, Cambridge, University Press 1937, 219–229.

³⁶) H. KREFFT, Über die Eichung von Sperrschichtzellen für Lichtstrommessungen auf Grund der spektralen Empfindlichkeit. Licht 2, 203–206 (1932).

wesentlich Erscheinende zusammenfassen, so finden wir folgendes:

1. Nur dasjenige Verfahren der subjektiven heterochromen Photometrie kann als zulässig erklärt werden, dessen Meßergebnisse eindeutig sind.

2. Die Eindeutigkeit ist gegeben, wenn das Verfahren dem Additivitätsgesetz folgt und wenn die spektrale Abhängigkeit der Augenempfindlichkeit des Beobachters während der Messung einen bestimmten vereinbarten Verlauf hat.

3. Als mittlere spektrale Hellempfindlichkeit des normalen Beobachters im Sinne dieser Vereinbarung gelten die im Jahre 1924 von der Internationalen Beleuchtungskommission empfohlenen Werte von V_λ (häufig als sog. internationale Augenempfindlichkeit bezeichnet).

4. Eine solche Vereinbarung der spektralen Empfindlichkeit ist notwendig, nicht nur weil von Beobachter zu Beobachter beträchtliche Unterschiede in den spektralen Empfindlichkeiten bestehen, sondern vor allem, weil auch die Empfindlichkeit eines Beobachters, selbst unter konstanten Beobachtungsbedingungen, periodischen Schwankungen unterworfen ist.

5. Die Einhaltung der vereinbarten spektralen Hellempfindlichkeit durch die zur Messung hinzugezogenen Beobachter ist am ehesten gewährleistet, wenn die Auswahl der Beobachter auf Grund ihres Y/B -Verhältnisses ($Y/B \approx 1$) erfolgt und die Messung bei einer Gesichtsfeldgröße von 2° und eine Gesichtsfeldleuchtdichte zwischen 25 und 50 asb durchgeführt wird.

6. Von den zahlreichen Möglichkeiten, dem Auge ein Urteil über die Leuchtdichte zweier verschiedenfarbiger Flächen zu gestatten, genügen nur sehr wenige den Eindeutigkeitsbedingungen, in erster Linie das Filter- und das Flimmerverfahren.

7. Ein mit Sicherheit richtiges Meßergebnis ist beim Filterverfahren nur dann gewährleistet, wenn die Methode in dem Sinne angewendet wird, daß man durch die Filterung die spektrale Energieverteilung der Normallampe im Sichtbaren der der zu messenden Lampe gleichmacht. Hierbei etwa verbleibende kleine Farbunterschiede können durch Benutzung des Flimmerphotometers an Stelle des Gleichheitsphotometers leicht überbrückt werden, ohne daß Gefahr besteht, daß das Ergebnis nicht mit dem Additivitätsgesetz in Einklang steht.

8. Mit Ausnahme des trichromatischen und des rechnerischen Verfahrens sind alle übrigen Verfahren, insbesondere der direkt heterochrome Vergleich, als fehlerhaft abzulehnen; selbst bei kleinen Farbdifferenzen im Photometergesichtsfeld treten beim direkten Abgleich systematische Fehler auf.

Die Pigmente der Ommin- und Ommatingruppe, eine neue Klasse von Naturfarbstoffen¹⁾.

Von ERICH BECKER, Berlin-Dahlem.

Als sehr günstiges Modell zur Untersuchung des Eingreifens der Gene in stoffliche Entwicklungsvorgänge hat sich die Augenpigmentbildung bei Insekten erwiesen. Es ließen sich Stoffe nachweisen, zu deren Bildung das Vorhandensein bestimmter Gene Voraussetzung ist und die ihrerseits bei den Versuchstieren (*Drosophila* und *Ephestia*) notwendige Glieder der zur Pigmentbildung führenden stofflichen Entwicklungskette sind²⁾. Wie wir nachweisen konnten, läßt sich einer dieser „Genwirkstoffe“ durch Kynurenin³⁾ und α -Oxy-tryptophan⁴⁾ ersetzen. Im Anschluß daran konnte DANNEEL zeigen, daß Kynurenin auch in vitro die Augen zur Ausfärbung bringt⁵⁾; die damit wahrscheinlich gewordene Funktion des Kynurenins als Chromogen des Augenpigments konnte durch quantitative Bestimmung des Verhältnisses Kynureninzufuhr/Pigmentbildung bei *Ephestia* bestätigt werden (BECKER, unveröffentlicht).

Die Untersuchung der natürlichen Augenpigmente hat nun gezeigt, daß die Augenpigmente von *Ephestia* einer-

ist ihr Redoxverhalten: Durch schwache Reduktionsmittel werden sie in eine tiefrote, offenbar semichinoide Form überführt, die sich schon in neutraler Lösung durch Luftsauerstoff wieder zur gelben Form reoxydieren läßt. Ein weiteres Charakteristikum dieser Farbstoffe ist ihre Halochromie; sie lösen sich in konzentrierter Mineralsäure ohne Veränderung (Ausnahme Salpetersäure) mit tief rot- bis blauvioletter Farbe. Fig. 1 zeigt das Spektrum des Augenfarbstoffes in oxydierter und reduzierter Form und in konzentrierter Schwefelsäure nach Messung im PULFRICH-Photometer. Das charakteristische Verhältnis der 3 Kurven kehrt im Prinzip bei allen Farbstoffen dieser Gruppe wieder. Weiter ist charakteristisch für die Ommatine ihre Stabilität gegen Säuren und eine ausgeprägte Alkaliempfindlichkeit, die teilweise so stark ist, daß schon bei p_H 9 bei Zimmertemperatur in kurzer Zeit irreversible Entfärbung eintritt.

Auch das Fluoreszenzverhalten kann zur Erkennung herangezogen werden. Unter der Analysenlampe zeigt sich nur in mineralaurer Lösung Fluoreszenz, unter allen anderen Bedingungen ist keinerlei Fluoreszenz zu beobachten. Die Farbstoffe ließen sich teilweise sehr gut kristallisiert erhalten; im che-

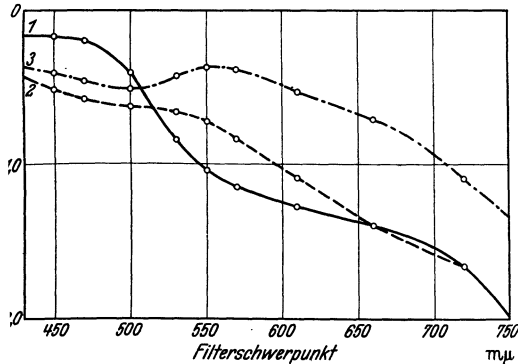


Fig. 1. Augenpigment (Phäommatin) von *Calliphora*, typische Farbkurven bei Messung im Stufenphotometer. 1. Oxydierte Form in Phosphat p_H 6,5. 2. Reduzierte Form in Phosphat p_H 6,5. 3. In konz. Schwefelsäure.

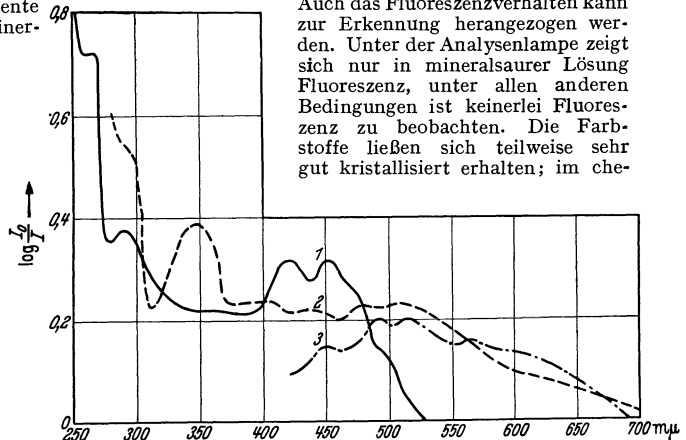


Fig. 2. Photoelektrisch aufgenommene Absorptionsspektren. 1. Eines basischen Ommatins aus den Exkreten von *Van. urticae* in oxydierter Form, 1,4 mg in 10 ccm Phosphat von p_H 6,5; $d = 0,121$ cm. 2. Von Skotommin aus den Augen von *Ephestia*, 1,281 mg in 10 ccm $n/2$ -Soda; $d = 0,508$ cm. 3. Von der reduzierten Form eines sauren Ommatins aus dem Flügelpigment von *Van. urticae*, 1,4 mg in 10 ccm Phosphat von p_H 6,5; $d = 0,121$ cm.

seits und *Drosophila* andererseits trotz gleicher Chromogene verschieden sind⁶⁾. Die weitere Untersuchung dieser Pigmente hat aber ergeben, daß sie trotz ihrer augenfälligen Verschiedenheit nicht nur in ihrer Genese, sondern auch in ihrer Konstitution nahe miteinander verwandt sein müssen, und daß sie sich auf Grund charakteristischer Eigenschaften als eine neue Klasse von Naturfarbstoffen definieren lassen. Sie besitzen nicht nur als Augen-, sondern auch als Körperfarbstoffe im ganzen Stamm der Arthropoden weite Verbreitung; ihr Vorkommen auch in anderen Tierstämmen ist wahrscheinlich.

Die Farbstoffe vom Typus des *Drosophila*-Augenpigments, die ich *Ommatine* genannt habe⁶⁾, sind im Tier in der Regel in mehr oder weniger reduzierter Form an einen den Skleroproteinen nahestehenden Träger gebunden; das Chromoprotein erfährt bei der Denaturierung deutlich einen Umschlag oder eine Vertiefung seiner Farbe nach rot. Sie werden nach ihrer Abspaltung bei der Aufarbeitung meist in ihrer oxydierten Form als in Lösung gelbe bis rötlichgelbe Farbstoffe erhalten. Ihre charakteristischste Eigenschaft

mischen wie im analytischen Verhalten lassen sich stärker saure und stärker basische Einzelfarbstoffe unterscheiden. Die analytische Zusammensetzung ist ähnlich der der Gallenfarbstoffe, nur viel sauerstoffreicher; strukturelle Beziehungen sind aber nicht wahrscheinlich. Das lichtelektrisch gemessene Absorptionsspektrum eines oxydierten Ommatins zeigt Fig. 2, Kurve 1, eines anderen Ommatins in reduziertem Zustand Fig. 2, Kurve 3.

Die Farbstoffe vom Typus des *Ephestia*-Augenpigments, die ich *Ommine* genannt habe⁶⁾, sind höher molekular als die Ommatine und im Gegensatz zu ihnen nicht dialysabel. Sie sind im Löslichkeitsverhalten, in ihrer polymeren Natur, in einer ausgesprochenen Reaktionsträgheit und einer deutlichen Empfindlichkeit gegenüber starken Oxydationsmitteln den Melaninen so ähnlich, daß alle früheren Untersucher sie für Melanine hielten. Doch sind sie von diesen durch folgende Eigenschaften auch mikro- und histochemisch einwandfrei zu trennen: Sie sind nicht dunkelgelbbraun wie Melanine, sondern deutlich tiefdunkelviolettbraun und lösen sich bei Zimmertemperatur sehr leicht in absoluter Ameisensäure und in verdünnten Alkalien mit intensiv roter Farbe; auch in mineralsaurem Alkohol und heißer 2 n-Schwefelsäure sind die Ommine im Gegensatz zu den Melaninen recht gut löslich. Oxydiert man die ungelöste Pigmentgranula oder die rote Lösung in Ameisensäure mit einer Spur Nitrit, so wird der Farbstoff hellgelb; nachfolgende Reduktion mit Hyposulfit ergibt wieder tiefrote Färbung

¹⁾ Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie (Abt. Kühn). Eingegangen den 28. März 1941.

²⁾ Zusammenfassung: BECKER, Naturwiss. 26, 433 (1938). — PLAGGE, Erg. Biol. 17, 105 (1939).

³⁾ BUTENANDT, WEIDEL u. BECKER, Naturwiss. 28, 63 (1940).

⁴⁾ BUTENANDT, WEIDEL u. BECKER, Naturwiss. 28, 447 (1940).

⁵⁾ DANNEEL, Biol. Zbl. (im Druck) (1941).

⁶⁾ BECKER, Biol. Zbl. 59, 597 (1939).

(Melanin dagegen wird, wenn es überhaupt reagiert, durch Hyposulfit stark aufgehellt, durch Nitrit wieder zur dunklen Stufe oxydiert). Dieses Redoxverhalten und das Spektrum zeigen (Fig. 2, Kurve 2), daß die Ommine grundsätzlich der reduzierten Form der Ommatine gleichen; bei ihnen ist, anscheinend infolge der Polymerisation, die reduzierte Form so stabilisiert, daß sie sich auch in alkalischer Lösung nur langsam autoxydiert. Während das Spektrum von dem des Melanins deutlich verschieden ist, ist die analytische Zusammensetzung der Ommine der des Melanins recht ähnlich, andererseits steht sie auch der Ommatine nahe. Die Halochromie ist nicht so charakteristisch wie die der Ommatine.

Die Ommatine und Ommine sind also chemisch vor allem durch ein gemeinsames Chromogen und durch ihr Redoxverhalten als zusammengehörig und als Vertreter einer neuen Naturfarbstoffgruppe gekennzeichnet. Diese Zusammenghörigkeit und Sonderstellung zeigt sich auch physiologisch, indem sie für bestimmte Pigmentsysteme typisch sind und sich innerhalb dieser Systeme von Tier zu Tier wechselnd vertreten können.

Ommine kommen bei den *Insekten* nicht nur als Augenpigmente, sondern, z. B. bei *Odonaten*, auch im Pigmentssystem des Körpers vor. Ommatine treten bei vielen Insekten als Augenpigment an Stelle der Ommine oder kommen im Auge gemeinsam mit diesen vor. Daneben spielen sie als Körperpigmente eine große Rolle. Es gehören in diese Gruppe die Flügel- und Exkretpigmente der *Vanessen* (die im Gegensatz zu den Angaben von v. LINDEN⁷⁾ keinerlei

⁷⁾ v. LINDEN, Pflügers Arch. 98, 1 (1903).

Gallenfarbstoffreaktion zeigen) und anderer Schmetterlinge, Hautpigmente von Schmetterlingsraupen, rote und braune Pigmente von *Odonaten*, die Mehrzahl der Pigmente der MALPIGHISCHEN Gefäße und der Hüllepitheien von Hoden und Vasa deferentia, das rotbraune Pigment im Pigmentgewebe von *Nematoceren*larven, das rotbraune Pigment überwinternder *Chrysopa*-Weibchen. Bei der Wanderheuschrecke hat CHAUVIN ein Pigment der Haut⁸⁾ und der Exkrete⁹⁾ unter dem Namen *Acridioxanthin* beschrieben, das ein typisches Ommatin ist; das dunkle Farbwechselfigment von *Dixippus* ist dasselbe Ommatin wie im Auge des gleichen Tieres. Bei den *Krebsen* ist das Augenpigment teils Ommatin teils Ommine; die früher als „Melanophoren“ beschriebenen Chromatophoren enthielten in den meisten bisher untersuchten Fällen lediglich Ommatine verschiedenen Individualcharakters, seltener kommt daneben Ommine vor. Bei *Spinnen* wurde Ommatin nicht nur als Augenpigment gefunden, sondern auch das bisher für ein Melanin gehaltene braune oder rote Hypodermispigment wurde als Ommatin erkannt.

Es ist wahrscheinlich, daß zumindest Ommatine auch bei anderen Tierstämmen auftreten. Das von HOROWITZ¹⁰⁾ bei dem marinen Wurm *Urechis caupo* als Atmungspigment beschriebene Epigment dürfte nach seiner Beschreibung ein Ommatin sein. Es scheint also aussichtsreich, die weitere Verbreitung dieser Pigmente zu untersuchen.

⁸⁾ CHAUVIN, C. r. Acad. Sci. Paris 207, 1018 (1938).

⁹⁾ CHAUVIN, C. r. Soc. Biol. Paris 130, 1194 (1939).

¹⁰⁾ HOROWITZ, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. 26, 161 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Die Beziehungen zwischen Stagnationseffekt, photooxydativer Chlorophyllzerstörung und funktionellem Sonnenstich bei Wasserpflanzen.

In früheren Arbeiten¹⁾ über die Inaktivierung der Photosynthese durch Sonnenlicht bei extremen Schattenpflanzen sind wir im Gegensatz zu der Ansicht von EMERSON²⁾ sowohl bei einem Farn wie bei Braun- und Rotalgen, hier besonders durch den Vergleich mit starklichtresistenten Typen, zu der Auffassung gelangt, die rasch einsetzenden funktionellen Hemmungen hätten nichts mit einem Mangel in der CO₂-Versorgung zu tun, müßten vielmehr auf Verschiedenheiten in der Lichtempfindlichkeit gewisser Eiweißkomplexe innerhalb der Architektur der Farbstoffproteide bzw. des Stromas der Plastiden gegenüber kurzwelligen Strahlen beruhen. Inzwischen hat GESSNER³⁾ bei einer unserer früheren Versuchspflanzen, dem Schattenfarn *Trichomanes radicans*, die Bedeutung eines Stagnationseffektes bei der submersen Behandlung aufgedeckt und sieht eine photodynamische Chlorophyllzerstörung im Sinne der Hypothese von NOACK⁴⁾ als Kernpunkt unseres funktionellen „Sonnenstichs“ an. Damit ist das für eine vergleichende Beurteilung physiologischer Gestalten im Bereich der Schwachlichtpflanzen wesentliche Kennzeichen einer rein photisch bedingten Lichthemmung der Chloroplasten erneut fraglich geworden. Ich habe daher den Fragenkreis einer eingehenden experimentellen Analyse bei submers lebenden Blütenpflanzen unterworfen und sowohl die *Lichtlähmung* wie die *Lichtbleichung* bei Ausschaltung eines Stagnationseffektes geprüft.

In ausgesprochenem Gegensatz zu den Angaben GESSNERS³⁾ zeigen extreme Schattentypen, wie *Aponogeton ulvaceus* und *Ottelia*, an klaren Tagen im Sonnenlicht unmittelbar unter der Wasseroberfläche anstatt des für submerse Blütenpflanzen ganz allgemein behaupteten Parallelismus von Strahlungs- und Leistungskurve einen *spiegelbildlichen* Verlauf der Kurven. Die Depression der Photosynthese kann selbst bei Bestrahlung in fließendem Leitungswasser von beträchtlicher Karbonathärte im Verlauf einer einzigen Stunde bis zur Unterschreitung des Kompensationspunktes führen. Auch wenn die Blätter in Assimilationskammern mit 1/4-stündigem Wasserwechsel der UV-reichen Gesamtstrahlung einer Ultra-Vitalux-Lampe oder der Hanauer „Höhensonne“ in einer Entfernung von 50 cm ausgesetzt sind, zeigen extreme Schattentypen, die vorher im Violett- und UV-freien Anteil dieser Strahlung stundenlang normal

assimilierten, den von *Delesseria*, Schatten-*Dictyota* und Tiefen-*Laminaria* her bekannten Verlauf der Depressionskurve. Dabei bleiben die Zellen auch bei *Ottelia* während der ersten Stunde selbst auf der ungeschützten Oberseite am Leben, und vergleichende Prüfungen des Chlorophyllgehaltes entsprechend behandelter Kontrollen zeigen eindeutig, daß die photooxydative Farbstoffzerstörung *viel später* und erst zu einer Zeit einsetzt, da die photosynthetische Leistung schon auf wenige Prozente des Ausgangswertes oder sogar unter den Kompensationspunkt gesunken ist. Die rasch einsetzende Verfärbung des Blattes beruht also ausschließlich auf einer Verlagerung der Chloroplasten, nicht auf einem Schwund des Chlorophylls. Übrigens läßt sich beweisen, daß auch diese Verlagerung der inneren absorbierenden Oberfläche gerade bei supraoptimaler Bestrahlung keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Photosynthese ausübt.

Werden die Fensterglasdeckel der Assimilationskammern durch Uviolglas und Quarzglas ersetzt, so beschleunigt das zwar die Hemmung der Photosynthese, aber an dem Sachverhalt der *sekundären* Chlorophyllzerstörung; wird auch durch den ungehinderten Zutritt des kürzerwelligen UV nichts geändert. Eine in Uviolglaskammern unter der Ultra-Vitalux-Lampe im Verlauf einer Stunde erreichte völlige Ausschaltung des positiven Assimilationsüberschusses kann später im langwelligen Anteil der Strahlung völlig überwunden werden. Die Versuche ergeben keinerlei Anhaltspunkte dafür, daß die Inaktivierung der Photosynthese im UV-reichen Starklicht nur durch einen Stagnationseffekt und zwangsläufig damit verknüpfte photooxydative Chlorophyllzerstörung gleichsam vorgetäuscht sei. Sie sprechen vielmehr für die Existenz einer wirklichen *Lichtlähmung* der Photosynthese als einer *primären* photochemischen Wirkung des kurzwelligen Anteils der starken Strahlung auf lichtempfindliche Plastiden und deren biochemische Architektur.

Halle a. d. S., Botanisches Institut der Universität, den 26. März 1941.
C. MONTFORT.

¹⁾ MONTFORT, Jb. Bot. 84 (1936) — MONTFORT u. FÖCKLER, Planta (Berl.) 28 (1938) — FÖCKLER, Jb. Bot. 87 (1938).

²⁾ EMERSON, Cold Spring Harbor Symposia Quant. Biol. 3 (1935) — Photosynthesis. Ann. Rev. Biochem. 6 (1937). — EMERSON u. GREEN, J. gen. Physiol. 17 (1934).

³⁾ GESSNER, Protoplasma (Berl.) 34 (1940).

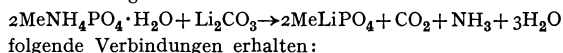
⁴⁾ NOACK, Z. Bot. 17 (1925).

⁵⁾ GESSNER, Jb. Bot. 86 (1938).

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $\text{MeLi}[\text{PO}_4]$ und den Silikaten der Olivin-Monticellit-Reihe.

Nachdem B. GOSSNER und H. STRUNZ¹⁾ am Triphylin $\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn})[\text{PO}_4]$ und C. O. BJÖRLING und A. WESTGREN²⁾ am Triphylin, Ferro-Sicklerit (Li, Mn'') (Fe''') $[\text{PO}_4]$ und am Heterosit ($\text{Mn}''', \text{Fe}''')$ $[\text{PO}_4]$ gezeigt haben, daß diese Mineralien mit dem Olivin $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$ bzw. dem Monticellit $\text{MgCa}[\text{SiO}_4]$ isotyp sind, war zu erwarten, daß noch eine Reihe weiterer PO_4 -Verbindungen existiert, die in demselben Gitter kristallisieren; und zwar solche Verbindungen $\text{LiMe}[\text{PO}_4]$, bei denen Me ein zwei- oder dreiwertiges Kation ist, dessen Ionenradius in der Nähe des Radius des Mg'' -Ions (0,78 Å) oder des Ca'' -Ions (1,06 Å) oder zwischen beiden Werten liegt.

Aus Mischungen von Verbindungen $\text{MeNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ mit Li_2CO_3 ließen sich durch Erhitzen auf etwa 800° nach der Gleichung:



folgende Verbindungen erhalten:
 $\text{NiLi}[\text{PO}_4]$ gelb; $\text{MgLi}[\text{PO}_4]$ farblos; $\text{CoLi}[\text{PO}_4]$ violett-rosa;
 $\text{ZnLi}[\text{PO}_4]$ farblos; $\text{MnLi}[\text{PO}_4]$ durch teilweise Oxydation des Mangans zu MnO_2 rötlichbraun; $\text{CuLi}[\text{PO}_4]$ grün; $\text{CdLi}[\text{PO}_4]$ farblos; $\text{CaLi}[\text{PO}_4]$ farblos.

Die Isotypie dieser Verbindungen mit Olivin wurde durch Vergleich von Debyeaufnahmen erbracht. Es zeigte sich, daß die Aufnahmen der Ni-, Mg- und Co-Verbindungen vollkommen der von Olivin entsprechen. Die Zn-Verbindung ergab ein den eben genannten sehr ähnliches Diagramm. Die Mn- und Cu-Verbindungen entsprechen vollkommen der von Lithiophililit $\text{Li}(\text{Mn}''', \text{Fe}''')$ $[\text{PO}_4]$, dessen Aufnahme große Ähnlichkeit mit der von Olivin hat, was der Einordnung von H. STRUNZ³⁾ entspricht. Das Diagramm der Cd-Verbindung ließ sich zwischen dem von Triphylin und Monticellit einordnen. Die Aufnahme der Ca-Verbindung entsprach der von Monticellit. Außerdem ergaben $\text{Mg}_3[\text{PO}_4]_2$ und ein Produkt, das durch Zusammensintern von Li_3PO_4 und 3 Mol $\text{FeNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ bei Zutritt von Luft erhalten wurde und wahrscheinlich die Zusammensetzung $\text{Li}_3\text{Fe}_3''[\text{PO}_4]_4$ hatte, Aufnahmen, die sicher in diese Reihe gehören, deren Einordnung aber erst nach weiteren Untersuchungen erfolgen kann.

Für die Überlassung kleiner Mengen von Monticellit, Triphylin und Lithiophililit für die Vergleichsaufnahmen bin ich Herrn Prof. RAMDOHR und Herrn Dr. STRUNZ vom Mineralogischen Institut zu Dank verpflichtet.

Die Untersuchungen mußten aus äußeren Gründen vorzeitig abgebrochen werden und werden später fortgesetzt.
 Berlin, Chemisches Institut der Universität, den 26. März 1941. ERICH THILO.

¹⁾ B. GOSSNER u. H. STRUNZ, Z. Krist. (A) 83, 415 (1932).
²⁾ C. O. BJÖRLING u. A. WESTGREEN, Geol. Fören. Stockholm; Förh. 60, 67 (1938).
³⁾ H. STRUNZ, Z. Krist. (A) 102, 71 (1939).

Über die Isotypie zwischen Phosphaten der allgemeinen Zusammensetzung $(\text{Me}_1)_3(\text{Me}_2)_2[\text{PO}_4]_3$ und den Silikaten der Granatgruppe.

Wie W. BUBECK und F. MACHATSCHKI¹⁾ gezeigt haben, ist der Berzeliit $(\text{Ca}, \text{Na})_3(\text{Mg}, \text{Mn})_2[\text{AsO}_4]_3$ isotyp mit Granat $\text{Ca}_3(\text{Al}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]_3$. Es war daher zu erwarten, daß auch eine große Zahl von Phosphaten geeigneter Zusammensetzung, nämlich solche, die gleichzeitig 3 größere und 2 kleinere Kationen auf 3 $[\text{PO}_4]$ -Gruppen enthalten, im Gitter der Granate kristallisieren. Um dies nachzuweisen, wurden durch Zusammenschmelzen und Tempern der Schmelze bei etwa 500° bisher die beiden folgenden Verbindungen hergestellt: 1. $\text{Na}_3\text{Al}_2[\text{PO}_4]_3$ und 2. $\text{Ca}_2\text{Na} \cdot \text{Mg}_2[\text{PO}_4]_3$. Die Verbindung (1) nach: $\text{Na}_3\text{PO}_4 + 2\text{AlPO}_4 = \text{Na}_3\text{Al}_2[\text{PO}_4]_3$, die Verbindung (2) nach: $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{CaNaPO}_4 + \text{CaCO}_3 = \text{Ca}_2\text{NaMg}_2[\text{PO}_4]_3 + \text{CO}_2$.

Durch Vergleich von Debyeaufnahmen ergab sich, daß die Al-Verbindung (1) einer Aufnahme von Kalk-Eisen-Ton-Granat, die der Mg-Verbindung (2) einer Aufnahme von Kalk-Eisen-Granat entspricht. Die Verbindung (2) erwies sich außerdem als vollkommen isotrop; die Substanz (1) bestand aus einem isotropen Hauptanteil, enthielt aber noch eine kleine Menge eines schwach (spannungs)doppeltbrechenden Glases.

Für die Überlassung einer Probe von Kalk-Ton-Granat zur Anfertigung einer Vergleichsaufnahme bin ich Herrn Dr. STRUNZ zu Dank verpflichtet.

Auch diese Untersuchungen mußten vorzeitig unterbrochen, sollen aber ebenfalls fortgesetzt und weiter ausgedehnt werden.

Berlin, Chemisches Institut der Universität, den 26. März 1941. ERICH THILO.

¹⁾ W. BUBECK u. F. MACHATSCHKI, Z. Krist. (A) 90, 470 (1931).

Über die „isolierte Liniengruppe“ in den 4300 Å-Banden im CH- und CD-Spektrum.

In einer Mitteilung in dieser Zeitschrift berichtet E. FAGERHOLM¹⁾ über eine isolierte Liniengruppe im CD-Spektrum bei 4319,7 Å, die der ähnlichen Gruppe bei 4324 Å im CH-Spektrum entspricht. — Diese Linien konnten bisher nicht mit den 4300 Å-Banden in Beziehung gebracht werden, und FAGERHOLM war der Ansicht, daß es sich hier um ein neues Bandensystem des CH bzw. CD handle; aus der Kürze der Banden schloß er auf einen Übergang von einem wenig stabilen Zustand.

Im Laufe einer eingehenden Untersuchung des gesamten CH- und CD-Spektrums wurden die Banden bei verschiedenen Anregungsbedingungen und hoher Auflösung untersucht; im Leuchten des blauen Kernes einer Sauerstoff-Acetylenflamme erscheint die obenerwähnte Liniengruppe des CH besonders gut entwickelt. Die Analyse bewies, daß es sich um den Q-Zweig der (2,2)-Bande des $A^2\Delta \rightarrow X^2\Pi$ -Systems handelt; auch die entsprechenden R- und P-Linien konnten zwischen den, allerdings viel stärkeren Linien der (0,0)- und (1,1)-Banden identifiziert werden. Die aus der Bande berechneten Kombinationsdifferenzen stimmen mit denen, die man auf Grund der (0,0)- und (1,1)-Banden extrapoliert, überein, was die Richtigkeit der Deutung als (2,2)-Bande beweist. Wegen der bekannten²⁾ Prädissoziation des $A^2\Delta$ -Termes bei ung. 30000 cm^{-1} bricht die Termfolge des $v = 2$ -Schwingungszustandes bei Tiefdruckanregung schon bei niedrigen Rotationsquantenzahlen ab, wodurch FAGERHOLMS Befund bezüglich der Kürze der Banden, ferner seine Vermutung seines wenig stabilen oberen Zustandes erklärt wird.

Budapest, Physikalisches Institut der Königl. Ungarischen Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften, den 28. Februar 1941. L. GERÖ. R. SCHMID.

¹⁾ E. FAGERHOLM, Naturwiss. 25, 106 (1937).
²⁾ L. GERÖ, Physica 7, 155 (1940).

Beugungspolarisatorische Messungen an gedehnten und kontrahierten Mesenchymkulturen in vitro.

Bei der polarisationsmikroskopischen Analyse der submikroskopischen (leptonischen) Struktur des Mesenchyms ist aus dem unterschiedlichen Verhalten nach mechanischer Dehnung und thermischer Kontraktion auf das Vorkommen von Hauptvalenzkettenkomplexen (Prämicellen) geschlossen worden¹⁾, welche bei zunehmender Zugbeanspruchung parallelisiert und dann analog dem Übergang von α - in β -Keratin²⁾ entfaltet werden, bei thermischer Kontraktion aber einknicken. Durch neue Versuche an Gewebefragmenten der Mantelhöhle von *Helix aspersa* ist die optische Anisotropie jetzt durch Messungen der Doppelbeugung (Beugungspolarisation, Dityndallismus, Pseudodichroismus³⁾) nachgewiesen worden. Die quantitativen Ermittlungen werden am besten an den als Interferenzphänomen bei der verschiedenen Abbeugung transmittierten oder reflektierten Lichtes parallel und senkrecht zur Hauptdimension der leptonischen Teilchen auftretenden Streifen in einem Polarisator nach F. SAVART untersucht; eine brauchbare Versuchsanordnung hat KOENIGSBERGER⁴⁾ angegeben. Sobald das Objekt mit leptonischer Gitterstruktur auf den Objektisch des Mikroskops gebracht wird, erscheinen die vorher in der Mitte des Gesichtsfeldes tiefschwarz erkennbaren SAVARTschen Interferenzstreifen von wechselnder Schärfe und können durch Bewegungen einer um die horizontale Achse drehbaren Glasplatte, welche zwischen SAVART-Plättchen und Nicol angebracht ist und je nach dem Winkel zwischen der Flächennormalen und dem Lichtstrahl eine variierende Polarisation bewirkt, zum Verschwinden gebracht werden. Diese Stellung der Glasplatte wird an einer nach einer Methode von KOENIGSBERGER empirisch geeichten Vor-

richtung mit Zeiger und Skala abgelesen, d. h. der verlangte *Polarisationsfaktor* $\Pi = \frac{I_p}{I_u + I_p}$ aus den Intensitäten des unpolarisierten (I_u) und des polarisierten Anteils (I_p) des vom Objekt durchgelassenen bzw. reflektierten Lichtes für die zwei senkrecht zueinander polarisierten Lichtschwingungen gemessen. Durch Herabsetzung der Wellenlänge des benutzten Lichtes läßt sich der beugungspolarisatorische Effekt verstärken, so bei Gebrauch eines 4 mm dicken Ultraviolett-schwarzglases (Schott & Gen.), das als ein einfaches selektives Filter zur Darstellung nahezu monochromatischen Lichtes (λ 366 m μ) dient, um $\sim 25 \div 40$ %.

Auch wenn an den Mesenchymkulturen in vitro die theoretische Empfindlichkeitsgrenze der KOENIGSBERGERschen Versuchsanordnung nicht erreicht wird, gelangt man doch zu gut reproduzierbaren Werten des Polarisationsfaktors. Wenn man die Gallerten mit den Explantaten nach der Technik von DOLJANSKI und ROULET⁵⁾ mittels ausziehbarer Glasrahmen unter konstanter, gerichteter Spannung bringt, läßt sich eine anfangs langsame, dann aber relativ plötzliche Zunahme des beugungspolarisatorischen Effekts bis zu einem (weit streuenden) Grenzwert des Polarisationsfaktors nachweisen. Das ist auffallend, weil die Doppelbeugung sonst mit abnehmender Schichtdicke sinkt⁶⁾, und kann am ehesten als Folge des Ausrichtens und nachfolgender Entfaltung der leptonischen Teilchen gedeutet werden. Durch thermische Beeinflussung der Kulturen in vitro mittels Eintauchens der Dehnungsrahmen in heißes Wasser resultiert zusammen mit einer Kontraktion der Explantate eine Verminderung der Doppelbeugung bis nahe an den initialen Wert. Spaltet man die gedehnten Explantate in der Dehnungsrichtung, so kann man die Beugungspolarisation nach Anpassen der Messungsvorrichtung an den Gebrauch reflektierten Lichtes in einem *Ultrapak*-system auch an den beiden Schnittflächen messen und dabei die *fibrillare Ausbildung der leptonischen Teilchen* überzeugend demonstrieren, indem sich fibrillare und plättchenförmige Teilchen darin unterscheiden, daß jene in zwei, letztere in drei Dimensionen des Raumes eine höhere Be-

ugungspolarisation als in der bzw. in den beiden anderen zeigen⁷⁾. Das Cytoplasma der Mesenchymzellen dürfte sich also gleich früher untersuchten Objekten wie eine Nicht-NEWTONsche Flüssigkeit verhalten⁸⁾.

Bremen, Kolonial- und Überseemuseum, den 29. März 1941. H. H. PFEIFFER.

1) H. H. PFEIFFER, Naturwiss. 28, 317 (1940).

2) Neuere Zusammenfassungen: W. J. SCHMIDT, Nova Acta Leopoldina (Halle) 7, 1, 10 (1939) — Verh. dtsh. zool. Ges. 41, 303, 312 (1940). — W. T. ASTBURY in E. BAMANN u. K. MYRBÄCK, Die Methoden der Enzymforschung, S. 498, 503f. Leipzig: Georg Thieme 1940. — FR. DUSPIVA in F. F. NORD u. R. WEIDENHAGEN, Handbuch der Enzymologie 1, 26f. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1940.

3) PFEIFFER, Naturwiss. 27, 389 (1939) — Experimentelle Cytologie, S. 146, 215. Leiden: Chron. bot. Comp. 1940.

4) JOH. KOENIGSBERGER, Z. Mikrosk. 28, 34 (1911). — F. WEIGERT, Optische Methoden der Chemie, S. 479, 524f. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1927. — F. KOHLRAUSCH, Praktische Physik, 17. Aufl., S. 431, 462. Leipzig: B. G. Teubner 1935. — H. H. PFEIFFER, Z. Altersforsch. 2, 15 (1940) — Arch. Physique biol., sous presse (1941).

5) L. DOLJANSKI u. FR. ROULET, Roux' Arch. 131, 512, 516 (1934).

6) PFEIFFER, Chron. Bot. 5, 156 (1939) — Naturwiss. 27, 389 (1939).

7) PFEIFFER, Kolloid-Z. 92, 182, 188 (1940).

8) PFEIFFER, Proc. 6. internat. Congr. Amsterdam 2, 43 (1935) — Nature 138, 1054 (1936) — Physics 7, 302 (1936) — Fujii Jubil. Vol. 701. Tokyo: Maruzen Co. 1937 — Verh. dtsh. zool. Ges. 39, 106 (1938) — Experimentelle Cytologie, S. 36f. Leiden: Chron. Bot. Comp. 1940. — W. SEIFRIZ, Science (N. Y.) 88, 21 (1938). — A. FREY-WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate, S. 73. Berlin: Gebr. Borntraeger 1938. — W. J. SCHMIDT, Protoplasma (Berl.) 29, 435, 438 (1938) u. 34, 237, 262 (1940) — Verh. dtsh. zool. Ges. 41, 303, 347 (1940). — DUSPIVA, l. c. II, 33f.

Besprechung.

MITTMANN, OTFRID, *Erbbiologische Fragen in mathematischer Behandlung*. XI, 265 S. (m. 46 Abb.), 16 cm \times 24 cm. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1940. Preis geb. RM. 22.—.

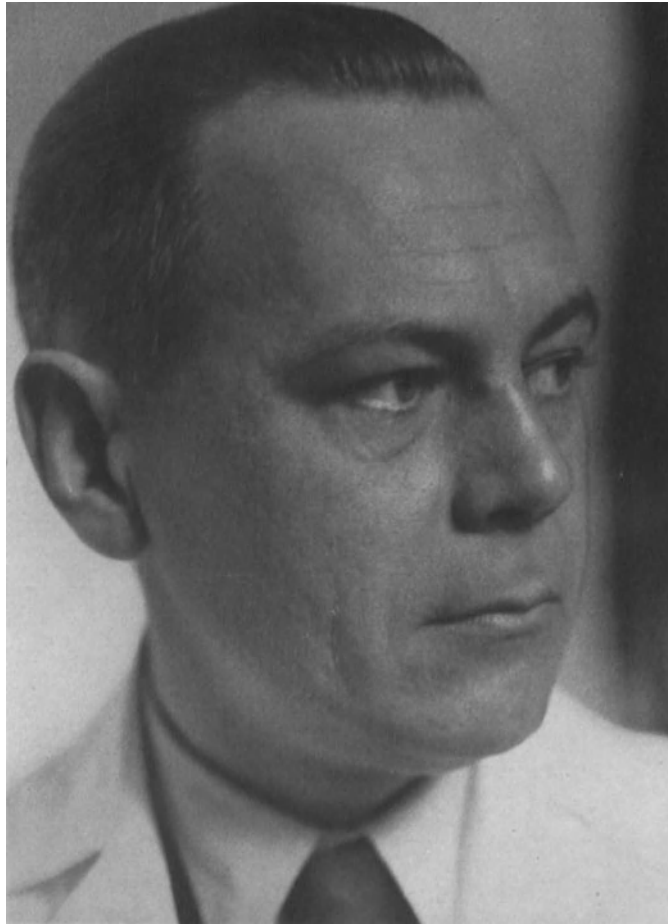
1938 erschien von KOLLER¹⁾ ein Buch ähnlichen Inhalts, das sich vorzugsweise an Mathematiker richtete. Dem gegenüber soll das vorliegende, wie sowohl dem Vorwort wie dem Geleitwort A. KÜHN'S zu entnehmen ist, hauptsächlich für Biologen bestimmt sein. Es behandelt zwei sowohl derzeit wie überhaupt wichtige Fragenbereiche desjenigen Teils der Erbwissenschaft, der mathematischer Darstellung am leichtesten zugänglich ist, — beide aber, was die Auswahl der Teilfragen wie das benutzte Schrifttum anbelangt, in einer ziemlich subjektiven Weise. Dies soll keinen Vorwurf bedeuten, denn der Titel des Buches läßt eine solche Auswahl und Darstellung ohne weiteres vermuten.

Nach dem einleitenden Kapitel über die Grundlagen des Mendelismus, das wohl mehr für Mathematiker als für Biologen gedacht ist, folgt der Hauptabschnitt „Bevölkerungstheorie“. Die Erbkonstanz bei Panmixie und Fehlen von Selektion, die Auswirkungen von starker und schwacher Auslese sowie die Folgen von Inzucht und Gattenwahl werden für 1 Allel ausführlich, für Sonder- und verwickeltere Fälle kurz abgehandelt. Im zweiten Hauptkapitel „Erbstatistik“ bringt Verf. hauptsächlich Eigenes, und zwar die mathematische Fundierung und Weiterführung des Kühn-Henke-Verfahrens zum Entscheid, ob ein Merkmalsunterschied ein- oder mehrpaarig bedingt ist. Diese Methode hat hauptsächlich für Merkmale Bedeutung, die sich graduell manifestieren. Aus der

Phänotypenverteilung der beiden elterlichen Reinerassen, der der F_1 sowie nach Möglichkeit auch derjenigen der beiden Rückkreuzungsgenerationen wird eine F_2 -Erwartungskurve konstruiert und mit der empirischen F_2 -Kurve verglichen. Eine Weiterführung dieses Prinzips stellt das Θ -Klassenverfahren des Verfassers dar. Je ein Beispiel, das u. a. auch die umfangreiche Rechenarbeit erkennen läßt, ist beigegeben. In diesem Kapitel wird ferner auch die Prüfung auf Koppelung zweier Merkmale behandelt, leider ohne Berücksichtigung der meist sehr guten angelsächsischen Methoden. Seinen Schluß bildet ein willkommener Abschnitt über Erbbehftung (Erbbelastung) von Einzelindividuen. Angehängt ist dem Buche ein 42 Seiten langes Kapitel, welches dem mathematisch wenig vorgebildeten Leser das notwendige Rüstzeug (vor allem Wahrscheinlichkeitsrechnung) vermitteln soll und das einwandfrei und didaktisch gut geschrieben ist.

Der mit dem ganzen Gebiet noch wenig Vertraute wird also in diesem Buche „erbbiologische Fragen“ „mathematisch behandelt“ finden, wie es der Titel verspricht, zwar etwas subjektiv ausgewählt und ebenso dargestellt, aber so, daß er bei gutem Willen sich erfolgreich einarbeiten kann. Auch dem Erfahrenen wird manche Darstellung willkommen sein, völlig abgesehen von der Zusammenfassung der Erbmethodik bei sich graduell ausprägenden Merkmalen. Leider ist (nach Ansicht des Ref.) die mathematische Symbolik für den zu erwartenden Durchschnittsleser etwas verwickelt (viele Indices!) und drucktechnisch bisweilen reichlich unzweckmäßig. WILHELM LUDWIG, Halle.

1) Vgl. Naturwiss. 1940, 613.



Fuss

Phot. Erich Retzlaff, Berlin-Tempelhof.

Lehre und Forschung.

Eduard Zintl †.

Am 17. Januar 1941 starb, wenige Tage vor der Vollendung seines 43. Lebensjahres, der Professor der Chemie, der Vorstand des Institutes für Anorganische und Physikalische Chemie an der Technischen Hochschule Darmstadt EDUARD ZINTL. Sofort nach seinem Tode wurde seinem neuerbauten, vor der Eröffnung stehenden Institut durch den Reichsstatthalter in Hessen die Bezeichnung *Eduard Zintl-Institut* verliehen. Diese Ehrung lenkte die allgemeine Aufmerksamkeit auf ein Hochschulinstitut, das seine Entwicklung der Verbindung von Lehre und Forschung verdankt. Es ist deshalb gerade in dieser Zeitschrift, die sich nicht nur an Chemiker, sondern an alle naturwissenschaftlich interessierten Kreise wendet, gerechtfertigt, Gedenkworte für EDUARD ZINTL mit der allgemeinen Frage nach dem Verhältnis von Lehre und Forschung zu verbinden. Diese Frage ist eine Grundfrage des wissenschaftlichen Fortschritts. Jeder akademische Lehrer muß sie sich stellen. In der Art aber, wie der Einzelne sie beantwortet, kommen wesentliche Züge seines Charakters zum Ausdruck. So wird es möglich, an Hand dieser Frage auch Wesen und Leistung ZINTLS zu verstehen, ohne daß sofort sehr viele Einzelheiten aus seinen experimentellen Arbeiten mit herangezogen werden. Ein Abschnitt aus diesen Arbeiten ist in dem anschließenden Bericht von F. LAVES beschrieben. Eine vollständige Würdigung des Mannes und seines Werks wird später durch einen ausführlichen biographischen Bericht der Deutschen Chemischen Gesellschaft, deren Vizepräsident ZINTL war, erfolgen.

München 1923¹⁾—1928.

ZINTLS akademische Laufbahn begann in München. Er war Assistent am Chemischen Laboratorium der Bayrischen Akademie der Wissenschaften, erhielt 1925 die *venia legendi* für Chemie und bekleidete schließlich die Stelle eines Kurators, mit der Unterrichtsverpflichtungen im chemischen Praktikum für Mediziner verbunden waren. Als engster Mitarbeiter O. HÖNIGSCHMIDS, des Leiters des Deutschen Atomgewichtslaboratoriums, beteiligte er sich an Neu- und Erstbestimmungen wichtiger Atomgewichte (Brom, Zirkon, Antimon, Silber — Hafnium nach dessen Entdeckung —, Gold nach der vermeintlichen Umwandlung von Quecksilber in Gold). In selbständigen Arbeiten entwickelte er Methoden der quantitativen Analyse (potentiometrische Titration).

¹⁾ Promotion ZINTLS.

Die Aufgaben und der Geist des Atomgewichtslaboratoriums bestimmten nachhaltig ZINTLS Arbeits- und Denkweise, sein später immer gleichbleibendes Bestreben, auf Grund einfacher Fragestellungen zahlenmäßig faßbare Stoffkenntnisse mit vollkommenen apparativen Hilfsmitteln zu erwerben. „Jedem hat es Nutzen gebracht, durch HÖNIGSCHMIDS Schule exakten Arbeitens gegangen zu sein“. Mit diesem Satz sprach ZINTL 1938 in einer Festschrift für seinen Lehrer seinen Dank aus. Die Erinnerungen an seine Münchener Zeit haben vielen Erzählungen ZINTLS einen warmen Grundton gegeben.

Durch die fundamentale Bedeutung, welche Atomgewichte für die Kennzeichnung chemischer Elemente und damit für die Beschreibung stofflicher Vorgänge haben, ist die Atomgewichtsforschung, auch wenn sie als ein Spezialgebiet erscheinen mag, durch viele Fäden mit der vordersten Front der Naturwissenschaft verbunden. Infolgedessen brachte der Aufenthalt im Atomgewichtslaboratorium auch für ZINTL allgemeine Anregungen. Er ging über rein analytische Fragestellungen hinaus, fand neue chemische Verbindungen [Salze der hydrosalpetrigen Säure $H_2NO_2^1$] und beschäftigte sich mit Aufgaben des chemischen Unterrichts. In dieser Zeit entstand ein kleines Lehrbuch: „Einführung in das Studium der anorganischen Chemie“²⁾, das ZINTL später selbst kritisierte, das aber doch bezeichnende Züge seiner Lehrweise enthielt. Er schränkte darin die Vermittlung stofflicher Einzel Tatsachen sehr weitgehend ein und bemühte sich vor allem um definitionsartige Formulierungen von Grundbegriffen. Der Aufbau des Textes entsprach ungefähr dem damals üblichen Aufbau einführender chemischer Vorlesungen. Die Stoffbeschreibung begann auch hier mit der Luft; die Volumengesetze der Gase wurden jedoch schulmäßiger und dementsprechend für den Anfänger klarer als in den damals meist gelesenen einführenden Lehrbüchern der Chemie abgeleitet. Ähnliches galt für die Ionenlehre. Über die Struktur kristallisierter Stoffe wurde noch wenig gesagt. Es ist aber für jeden, der ZINTL als Vortragenden aus der Münchener Zeit kannte, reizvoll, gerade den kleinen wohlgesetzten Abschnitt über das „Verhalten von Röntgenstrahlen gegen Kristalle“ nachzulesen; er wird Vorbilder erkennen, die ZINTLS Vortragsweise damals beeinflussten, und er wird seine

¹⁾ Berichte 61, 189 (1928).

²⁾ Verlag Enke 1923.

Tonart heraushören. Im Vorwort spiegeln sich die damaligen Verhältnisse im Unterricht wider:

„Die moderne anorganische Chemie ist angewandte physikalische Chemie, und diese Einstellung wird dann am leichtesten in Fleisch und Blut übergehen, wenn sie schon durch den ersten Unterricht angebahnt wird. Die Erkenntnis, daß etwa das Vertrautsein mit der AVOGADROSCHEN Hypothese und ihren Konsequenzen oder der Iontheorie zu Anfang wichtiger ist als ein erschöpfendes Wissen in der Systematik, hat sich noch nicht überall durchgesetzt. Andererseits ist es undiskutabel, das chemische Lehrgebäude auf die Lehre vom Atombau und unser äußerst spärliches Wissen vom Wesen der chemischen Kräfte gründen zu wollen, wie dies vereinzelt gefordert wird“.

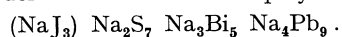
Nach dem Erscheinen des Buches wurde unter den Studenten des Münchener Laboratoriums darüber diskutiert. Von vielen wurde die Bemerkung, die moderne anorganische Chemie sei angewandte physikalische Chemie, noch als „recht modern“ empfunden.

Freiburg 1928—1933.

1928 übernahm ZINTL als außerordentlicher Professor die Leitung der anorganischen Abteilung im chemischen Laboratorium der Universität Freiburg i. Br. Hier entwickelte sich die reinste Form der Verbindung von Lehr- und Forschungstätigkeit. Mit der erfrischenden Lebendigkeit des Experimentators nützte ZINTL den gegebenen nicht sehr großen Raum seiner Abteilung bis zum Äußersten aus. Er lebte mit seinen Assistenten und Doktoranden im Laboratorium und konnte, ohne durch äußere Verpflichtungen viel abgelenkt zu werden, die einzelnen Versuche stetig leiten. Gerade so haben alle, die dabei waren, selbständig arbeiten gelernt.

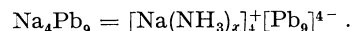
Unter den im Freiburger Laboratorium ausgeführten Arbeiten kann eine Untersuchung über „Salzartige Verbindungen und intermetallische Phasen des Natriums in flüssigem Ammoniak¹⁾“ als besonders bezeichnend für ZINTLS Entwicklung und gleichzeitig für die damalige Entwicklung der anorganischen Chemie angesehen werden. In dieser Untersuchung kommt sinnfällig der Übergang von der Chemie der Lösungen, welche mit der Chemie der Gase die anorganische Chemie bis in das 20. Jahrhundert beherrscht hatte, zu der Chemie der unlöslichen kristallisierten Stoffe, die seit 1912 durch das Bekanntwerden der Röntgenstrahleninterferenzen an Kristallen neu belebt werden konnte, zum Ausdruck:

Diejenigen Elemente, welche in den großen Perioden des natürlichen Systems der Elemente 1—4 Stellen vor den Edelgasen stehen, bildeten in Lösungen von Natrium in flüssigem Ammoniak lösliche, salzartige Komplexverbindungen von der Art der bekannten Natriumpolysulfide, z. B.:



¹⁾ Z. physik. Chem. A 154, 1 (1931).

Es handelte sich dabei um Ammine elektrolitisch dissoziierter polyanioniger Salze, z. B.:



Ihre Zusammensetzung und ihre Ionenbildung konnte mit den für gelöste Stoffe bewährten Methoden der potentiometrischen Titration und der elektrolytischen Überführung nachgewiesen werden. Allerdings mußten diese Methoden zuerst für die besonderen Bedingungen bei dem Arbeiten mit flüssigem Ammoniak als Lösungsmittel apparativ umgestaltet werden. Bei der Verdampfung des Ammoniaks gingen die Salzeigenschaften des komplexen Natriumpolyplyumbids $[\text{Na}(\text{NH}_3)_x]_4^+ [\text{Pb}_9]^{4-}$ verloren; das Poly-Anion $[\text{Pb}_9]^{4-}$ wurde aufgespalten, und es entstand das kubische Atomgitter einer Legierungsphase, in dem eine Verbindung Na_4Pb_9 nicht mehr abgegrenzt werden konnte; diese Legierung eines Alkali-metalls durfte also nicht als Komplexverbindung aufgefaßt werden.

Wurden für analoge Umsetzungen des in Ammoniak gelösten Natriums Elemente verwandt, die in den großen Perioden des natürlichen Systems 5—7 Stellen vor einem Edelgas stehen, dann bildeten sich sofort unlösliche, legierungsähnliche Stoffsysteme, z. B.:

Natrium-Thallium, Natrium-Quecksilber, Natrium-Gold.

Ihre Struktur war wesentlich verschieden von der Struktur der gelösten polyanionigen Salze. Sie konnte nur röntgenographisch aufgeklärt werden. In dem System Natrium-Thallium erschien die Verbindung NaTl als kubisches Atomgitter. Jedes Thalliumatom bildete den Mittelpunkt eines Würfels, an dessen 8 Ecken 4 Natrium-atome und 4 Thalliumatome lagen. Die Thallium-atome und die Natriumatome hatten gleiche Atomradien. Das NaTl -Atomgitter wurde Modell für die Struktur ähnlich zusammengesetzter Legierungen mit unedlen Metallkomponenten; da es sich als ein Gebäude aus gleich großen, sich berührenden Kugeln auffassen ließ, konnten aus den röntgenographisch vermeßbaren Atomabständen unmittelbar die Atomradien beider Komponenten berechnet werden; dies bedeutete einen wichtigen Beitrag für die allgemeine Kristallstrukturlehre.

Diese Versuche bildeten den Ausgangspunkt der systematischen Untersuchungen über intermetallische Verbindungen, welche bald im Zusammenhang mit ZINTLS Namen genannt zu werden pflegten, deren Erforschung später (1938) den Anlaß zur Verleihung der Liebig-Denk Münze an ZINTL durch den Verein Deutscher Chemiker gab. Nicht mehr einzelne auffallende Stoffe, sondern die Gesetzmäßigkeiten, welche den Aufbau von Stoffgruppen beherrschten, wurden Gegenstand seines Interesses. Dieses Interesse wurde nicht durch gegebene experimentelle Möglichkeiten eingeschränkt. Es lockte ZINTL, Schwierigkeiten bei der präparativen Herstellung von reinen Stoffen

zu überwinden. Ein schönes Beispiel dafür bildeten Versuche über salzartige Hydride der Alkali- und Erdalkalimetalle; diese Verbindungen waren teilweise bekannt, doch wurden sie erst jetzt analysenrein hergestellt und strukturell vollständig beschrieben¹⁾.

In den Vorlesungen, die ZINTL in Freiburg zu halten pflegte (Spezielle Anorganische Chemie, Theoretische Grundlagen der Analytischen Chemie) wurde die Neigung, im Unterricht stoffliche Einzelheiten zurück- und Grundbegriffe herauszustellen, noch deutlicher als in seinem Münchener Lehrbuch. Dies zeigte schon der Titel seiner Vorlesung über analytische Chemie. Er kam mit verhältnismäßig wenigen Experimenten aus. Seine Auswahl und Ordnung der Gegenstände war nicht die einzige Lösung, die hier denkbar ist; er erreichte jedoch eine Übersicht, die den selbständigen Studenten zur eigenen Fortbildung anregte. Er wollte nicht vorlesen, was nachzulesen war. In seiner Darstellung der anorganischen Chemie erschien jetzt die Kristallstrukturlehre nicht mehr als eingeschobener Abschnitt, sondern als eine der Grundlagen für die Beschreibung anorganischer Stoffe.

Darmstadt 1933—1941.

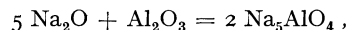
1933 wurde ZINTL als ordentlicher Professor für Chemie und als Vorstand des Instituts für Anorganische Chemie an die Technische Hochschule Darmstadt berufen. Er ließ für dieses Institut die Bezeichnung „Institut für Anorganische und Physikalische Chemie“ einführen, setzte einen Leiter für eine Physikalisch-Chemische, einen Leiter für eine Anorganisch-Analytische Abteilung ein und machte durch diese Organisation die eingeschlagene Arbeitsrichtung nach außen sichtbar.

Seine Lehr- und Forschertätigkeit war zunächst die natürliche Fortsetzung des in Freiburg Begonnenen. Er hatte jetzt auch die Aufgabe, die einführende Vorlesung in die Chemie zu halten, die vielerorts den Titel Anorganische Chemie trägt. Er nannte sie „Grundzüge der Experimentalchemie“. Darauf aufbauend las er „Anorganische Chemie“; die dafür übliche und einschränkende Bezeichnung *Spezielle* Anorganische Chemie fiel fort. So erschien die anorganische Chemie nicht als Einführung in die organische Chemie oder als ein abgeschlossenes Kapitel der allgemeinen Chemie, wie es die Vorlesungsverzeichnisse früher oft vermuten ließen; sie erschien als ein in Ausdehnung begriffenes Wissensgebiet mit eigener Gesetzlichkeit und eigenen Fragestellungen, wie es der tatsächlichen Entwicklung entsprach.

Von den intermetallischen Verbindungen führten zahlreiche natürliche Beziehungen zu weiteren Stoffgruppen, Oxyden und Salzen, die ZINTL vornehmlich mit den Methoden der Kristallstrukturanalyse untersuchte. Aber auch weiterhin

gingen jeder Strukturuntersuchung sorgfältige präparative und analytische Arbeiten voraus. Dadurch hat ZINTL nicht nur die systematische Strukturlehre anorganischer Verbindungen, sondern auch die experimentelle Methodik der anorganischen Chemie wesentlich bereichert. Als ein einzelnes Beispiel der aus dem Darmstädter Institut hervorgegangenen Arbeiten kann eine Untersuchung über „Orthosalze¹⁾“ herausgegriffen werden. Mit diesem Beispiel läßt sich die Eigenart der angewandten präparativen und theoretischen Methoden wenigstens andeuten:

Salze von Sauerstoffsäuren entstehen (schon bei tiefen Temperaturen) durch Reaktion von Säuren mit Basen, oder (bei höheren Temperaturen) durch Reaktion von Säureanhydriden mit Basenanhydriden. Bei der Umsetzung von Natriumoxyd (einem Oxyd von stark basischem Charakter) mit Aluminiumoxyd (einem Oxyd von schwach saurem Charakter) entstand z. B. bei 500° nach



Natriumorthoaluminat, welches natriumreicher als das bisher bekannte Natriumaluminat NaAlO_2 ($= \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$) war. Dieser Reaktionstyp führte zu einer größeren Zahl neuer Orthosalze, deren Existenz röntgenographisch nachgewiesen werden mußte. Die Bildung von Orthosalzen war verständlich oder vorauszusehen, wenn die Bindungsart bzw. die Polarisation des Sauerstoffs in den Oxyden und die Koordinationsverhältnisse in den Oxyden und in den Orthosalzen betrachtet und daraus qualitativ die Energiebilanz der Umsetzungen abgeleitet wurden. Bei diesen Salzbildungen



werden Sauerstoffbrücken im Säureanhydrid durch Aufnahme von Sauerstoffionen aus dem Basenanhydrid gelöst. Diese Erkenntnis gab gleichzeitig ein Bild von der Struktur glasartiger Oxyde, die der röntgenographischen Strukturuntersuchung nicht ebenso unmittelbar wie kristallisierte Stoffe zugänglich sind. Die Oxyde von Elementen, deren Ionen infolge ihrer Größe und ihrer Ladung Sauerstoffionen wenig polarisieren, sind salzartig; sie bilden Koordinationsgitter und damit leicht kristallisierende Stoffe (Natriumoxyd). In den Oxyden von Elementen, deren Ionen infolge geringerer Größe und höherer Ladung Sauerstoffionen stärker polarisieren, werden die Sauerstoffionen von benachbarten Ionen gleich stark beansprucht; es bilden sich Sauerstoffbrücken und damit makromolekulare Gebilde, die sich schwerer zum Kristallgitter ordnen, also glasartige Phasen bilden können (Siliciumdioxid). Oxyde solcher Elemente, in denen schließlich die Sauerstoffionen durch sehr kleine und hochgeladene Ionen so stark einseitig

¹⁾ Z. physik. Chem. B 14, 265 (1931); 15, 416 (1932).

¹⁾ Z. anorg. Chem. 236, 372 (1938).

polarisiert werden, daß abgrenzbare Moleküle entstehen, sind leichtflüchtig; sie bilden Molekülgitter und damit wieder leicht kristallisierende Stoffe (Kohlendioxyd). Es ergab sich, daß die Eigenschaften der Oxyde, Gläser zu bilden, an spezielle Voraussetzungen, d. h. an eng begrenzte Zahlenwerte für das Verhältnis von Ladung und Größe der an ihrem Aufbau beteiligten Ionen gebunden sind.

Fortschritte der Forschung bedingen Fortschritte in der Gestaltung des Unterrichts. Dadurch, daß in Hochschulinstituten Lehre und Forschung organisatorisch verbunden sind, werden an ihnen die Formen des Unterrichts besonders schnell durch die Entwicklung der Forschung beeinflusst, und nur dadurch ist es auch möglich, schnell wechselnden Anforderungen an die Ausbildung des Nachwuchses schnell zu genügen. Diese allgemeinen Bemerkungen galten ganz besonders für das von ZINTL geleitete Institut. Ein äußerliches Kennzeichen der neueren Entwicklung chemischer Forschung wurde die Zunahme der Raumbeanspruchung der apparativen Hilfsmittel. Dementsprechend begannen auch die Raumbedürfnisse der Unterrichtsabteilungen zu wachsen, denn auch die Studierenden mußten den Gebrauch der neueren apparativen Hilfsmittel erlernen können. Dazu aber war nicht nur Erweiterung des Unterrichtsraumes, sondern vor allem eine Auflockerung und Neugestaltung des Unterrichtsplanes notwendig. So entstanden in Darmstadt gleichzeitig Entwürfe für ein weiträumiges, modern ausgestattetes Lehr- und Forschungsinstitut und für einen neuen Ausbildungsgang für Chemiker. Dieser sah vor dem Beginn der wissenschaftlichen Arbeiten auf Neuland in Form der Diplom- oder Doktorarbeiten eine Grundausbildung und eine Ausbildung für Fortgeschrittene vor; durch die letztere sollten die Studierenden einen Überblick über die neueren Arbeitsmethoden erlangen, bevor sie einen kleinen Ausschnitt aus der Chemie selbständig bearbeiteten. Der Entwurf für den Ausbildungsgang fand seine Verwirklichung später in der durchgreifenden Studienreform, welche das Reichserziehungsministerium unter Berücksichtigung der an deutschen technischen Hochschulen und Universitäten vorliegenden Erfahrungen für die Fachrichtung Chemie durchführte. Den Entwurf für ein Lehr- und Forschungsinstitut konnte ZINTL selbst mit der großzügigen Unterstützung

durch die Regierung in dem Neubau des Instituts für Anorganische und Physikalische Chemie verwirklichen, der 1937 begann. Dieser Neubau wurde Zeugnis für ZINTL's organisatorische Kraft. Die ganze Anlage des Instituts wurde ein Sinnbild für den Stand der anorganischen Chemie und für die Einheit von Lehre und Forschung.

Einen besonders bemerkenswerten Vorgang in ZINTL's Leben bedeutete die Ausdehnung seiner Tätigkeit auf Arbeitsgebiete der chemischen Industrie. Er wurde Mitarbeiter der I. G. Farbenindustrie A.G. Dies brachte eine neue Betonung seiner stofflichen Interessen mit sich, die wieder nicht ohne Rückwirkung auf den Unterricht blieb. Der Einfluß der Industrie auf die Tätigkeit eines akademischen Lehrers besteht nicht darin, daß die Forschung am Hochschulinstitut den Charakter einer einseitigen Zweckforschung erhält, sondern darin, daß die Grundlagenforschung erweitert und die Lehre dieser Erweiterung angepaßt wird. Noch allgemeiner gilt diese Bemerkung für diejenige Ausrichtung von Forschung und Lehre, welche in Deutschland durch die Aufstellung des Vierjahresplanes eingeleitet wurde und für die gerade auch bei ZINTL innere Bereitschaft und praktische Voraussetzungen bestanden.

ZINTL steckte sich in den drei Lebensabschnitten, die sich durch die Entwicklung seiner Stellung ergaben, zunehmend größere Ziele: In München waren einzelne analytische Methoden und einzelne Stoffe Gegenstand seiner experimentellen Arbeiten, Formulierungen bestehender Grundbegriffe Gegenstand seines didaktischen Interesses. In Freiburg begann er Gesetzmäßigkeiten für den Aufbau größerer Stoffgruppen zu ermitteln und die Ausbildung des Nachwuchses dem Fortschritt der Forschung anzupassen. In Darmstadt bereitete er eine Entwicklung von Lehre und Forschung vor, durch die sein Institut für alle im Bereich seines Faches entstehenden Aufgaben gerüstet werden sollte. Wer seine Leistungen überblickt, dem wird die Frage, ob nun wirklich die „moderne anorganische Chemie angewandte physikalische Chemie“ sei, recht nebensächlich erscheinen. Er wird in ZINTL in erster Linie den erfolgreichen Chemiker sehen, der sich bei seinem Vorgehen von der Freude an der Herstellung, an der Beschreibung und an der Anwendung von Stoffen leiten ließ. Darmstadt, im März 1941. H. W. KOHLSCHÜTTER.

Eduard Zintl's Arbeiten über die Chemie und Struktur von Legierungen.

Von F. LAVES, Göttingen.

„Der Fernerstehende, der nur die Fortschritte der empirischen Metalltechnik vor Augen hat, wird vielleicht nach dem Nutzen solcher Arbeit fragen. Wir treiben aber auch in der Wissenschaft eine Politik auf weite Sicht, und wir erstreben durch Grundlagenforschung eine umfassende Theorie, weil sie uns dem höchsten Ziel aller Wissen-

schaft näherbringt. Es besteht darin, Neues vorzusagen. Für die Metallkunde wird sich dann die Möglichkeit zur planmäßigen Synthese metallischer Bau- und Werkstoffe mit vorgegebenen Eigenschaften eröffnen. Damit aber wird alle Grundlagenforschung letzten Endes zur Zweckforschung auf weite Sicht.“

Mit diesen Worten beschloß ZINTL seinen wissenschaftlichen Hauptvortrag auf der Reichsarbeitstagung der Deutschen Chemiker in Bayreuth im Juni 1938. In diesem Vortrag (28) über „Intermetallische Verbindungen“ gab er einen allgemeinen Überblick über Kräfte, welche die Bildung und mengenmäßige Zusammensetzung metallischer Phasen bedingen. Zweck dieser Zeilen ist es, einem weiteren Kreise vor Augen zu führen, einen wie gewaltigen Anteil EDUARD ZINTL mit seinen Mitarbeitern an der Entwicklung der wissenschaftlichen Metallkunde und Metallchemie gehabt hat. Bei der Abfassung dieser Zeilen war aber nicht nur an den Fernerstehenden gedacht, sondern ich glaube auch, daß eine zusammengefaßte Darstellung des ZINTLSchen Werkes und seines Ideengutes dem von Nutzen ist, der sich speziell für Metalle und Legierungen interessiert. Auch hier werden die ZINTLSchen Gedanken und die ZINTLSche Arbeitsmethode nicht nur die weitere Grundlagenforschung erfolgreich beeinflussen können, sondern auch die Zweckforschung. Vorgreifend sei schon jetzt auf die Vorstellungen ZINTLS hingewiesen, welche die Kräfte zwischen stark unedlen Metallen (Alkalien und Erdalkalien) und den „Anionenbildnern“ (z. B. Blei) betreffen (2): Wird doch hierdurch der härtende Einfluß des Natriums im Blei verständlich und erschließen sich doch durch derartige Erkenntnisse mannigfache Wege, die man zwecks Lösung analoger Fragestellungen mit Erfolg beschreiten wird.

Die Fähigkeit der Elemente zur Bildung negativer Ionen und über die Zintl-Grenze.

Eines der Hauptprobleme ZINTLS und seiner Mitarbeiter, welches in den meisten der Metallarbeiten (1—30) behandelt wird, ist die folgende Fragestellung:

Welche Elemente des periodischen Systems können sich elektronegativer verhalten? Daß die Elemente, welche im periodischen System 1 Stelle vor einem Edelgas stehen (also die Halogene F, Cl, Br, J), als einfach negativ geladene Anionen auftreten, war bekannt. Ebenfalls wußte man, daß Elemente 2 Stellen vor einem Edelgas (also O, S, Se, Te) zweifach negativ geladene Anionen bilden können. Hingegen war über das Verhalten der Elemente 3 Stellen vor einem Edelgas (also N, P, As, Sb, Bi) nur wenig bekannt, und über die Elemente 4 Stellen vor einem Edelgas (also C, Si, Ge, Sn, Pb) wußte man praktisch gar nichts. Zwar schloß bereits PANETH aus dem Umstande, daß alle die Elemente 1—4 Stellen vor einem Edelgas valenzmäßig zusammengesetzte flüchtige Hydride bilden, daß diesen Elementen die Fähigkeit gemeinsam sei, 1—4fach negative Anionen zu bilden. Von Elementen, die mehr als 4 Stellen vor einem Edelgas stehen, waren — abgesehen von Bor — keine derartigen flüchtigen Hydride bekannt.

ZINTL versuchte nun, auf einem anderen Wege, den wir gleich kennenlernen wollen, direkt festzustellen, wo die Grenze liegt zwischen solchen

Elementen, die fähig sind, Anionen zu bilden, und solchen, die zur Anionenbildung nicht mehr befähigt sind. Die ersteren wurden von ihm *Anionenbildner* genannt. Er kommt zu folgender Feststellung (6):

In den großen Perioden des Systems sind nur jene Elemente zur Bildung negativer Ionen in Verbindungen befähigt, die 1—4 Stellen vor den Edelgasen stehen. Es ergibt sich also die durch Tabelle 1 zum Ausdruck gebrachte Grenze, von der wir ihrer Wichtigkeit wegen in diesem Bericht noch oft sprechen werden und die wir zweckmäßig kurz als Zintl-Grenze bezeichnen.

Tabelle 1. Elemente der großen Perioden des Periodischen Systems, welche 1 bis 7 Stellen vor einem Edelgas stehen.

			Anionenbildner				Edelgase
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	X
Au	Hg	Tl	Pb	Bi			Em

↑
Zintl-Grenze

Der Nachweis glückte ZINTL durch die Herstellung salzartiger Verbindungen von Alkalimetallen, insbesondere des Natriums, mit As, Sb, Bi, Ge, Sn und Pb in flüssigem Ammoniak (1—3). Die Salznatur der Verbindungen ergab sich aus dem Verhalten ihrer Lösungen bei Stromdurchgang, ihre Zusammensetzung durch potentiometrische Titration und Analysen. Tabelle 2 zeigt die mit Na

Tabelle 2. Übersicht über die in flüssigem Ammoniak nachgewiesenen Salze.

Zintl-Grenze						
I	II	III	IV	V	VI	VII
					Na ₂ S Na ₂ S ₂ Na ₂ S ₃ Na ₂ S ₄ Na ₂ S ₅ Na ₂ S ₆ Na ₂ S ₇	NaCl
(Cu)	Na—Zn	—		Na ₃ As Na ₃ As ₃ Na ₃ As ₅ Na ₃ As ₇	Na ₂ Se Na ₂ Se ₂ Na ₂ Se ₃ Na ₂ Se ₄ Na ₂ Se ₅ Na ₂ Se ₆	NaBr
(Ag)	Na—Cd	—	Na ₄ Sn ₉	Na ₃ Sb Na ₃ Sb ₃ Na ₃ Sb ₇	Na ₂ Te Na ₂ Te ₂ Na ₂ Te ₃ Na ₂ Te ₄	NaI (NaI ₃)
Na—Au	Na—Hg	NaTl	Na ₄ Pb ₇ Na ₄ Pb ₉	Na ₃ Bi Na ₃ Bi ₃ Na ₃ Bi ₅		
Intermetallische Phasen			Salze und „Polyanionige Salze“. Die Salze sind schwer, die polyanionigen Salze leicht löslich in Ammoniak			

gefundenen Verbindungen. Außer den sog. Grundkörpern Na_3As , Na_3Sb , Na_3Bi , welche streng valenzmäßig zusammengesetzt sind, wurden Salze gefunden, die erheblich weniger Alkali enthielten als der valenzmäßigen Zusammensetzung entspricht. Deren Aufbau konnte analog dem Bau der sog. Polysulfide gedeutet werden, wie Tabelle 3 zeigt. Diese Verbindungen bezeichnete ZINTL „Polyanionige Salze“. In diesen polyanionigen Salzen werden also die Anionen folgendermaßen aufgebaut sein: Um ein Zentralatom mit n -fach negativer Ladung (wobei n angibt, wieviel Stellen der betreffende Anionenbildner vor einem Edelgase steht) sind ungeladene Atome derselben Anionenbildner koordiniert, so daß der gesamte Komplex n -fach negativ geladen in Erscheinung tritt. Auffällig ist, daß die Koordinationszahl — wie deutlich aus Tabelle 3 hervorgeht — immer gerade ist. Bezüglich dieser Formulierung der in ammoniakalischen Lösung gefundenen Salze sei aber bereits jetzt ausdrücklich bemerkt, daß sich diese Formulierung lediglich auf den Zustand der Verbindungen in ammoniakalischer Lösung und der daraus zu erhaltenden Ammine beziehen soll. Entzieht man z. B. dem gelösten Salz „ Na_3Bi_3 “ das Lösungsmittel völlig, so erhält man ein Produkt der Zusammensetzung NaBi , für welches die Formulierung „ Na_3Bi_3 “ nicht mehr gilt. Wir kommen darauf noch zurück.

Interessant ist die Feststellung ZINTL'S, daß die Polysalze durchweg in flüssigem Ammoniak

Tabelle 3. Konstitution der in flüssigem Ammoniak aufgefundenen (bereits in Tabelle 2 zusammengestellten) „Polyanionigen Salze“.

Empirische Formel	Konstitution	Bezeichnung	Koordinationszahl des Zentralatoms im Anion
Na_3As_3	$\text{Na}_3 [\text{As}(\text{As})_2]$	Na-Triarsenid	2
Na_3As_5	„ $[\text{As}(\text{As})_4]$	„ -Pentaarsenid	4
Na_3As_7	„ $[\text{As}(\text{As})_6]$	„ -Heptaarsenid	6
Na_3Sb_3	„ $[\text{Sb}(\text{Sb})_2]$	„ -Triantimonid	2
Na_3Sb_7	„ $[\text{Sb}(\text{Sb})_6]$	„ -Heptaantimonid	6
Na_3Bi_3	„ $[\text{Bi}(\text{Bi})_2]$	„ -Triwismutid	2
Na_3Bi_5	„ $[\text{Bi}(\text{Bi})_4]$	„ -Pentawismutid	4
Na_4Sn_9	$\text{Na}_4 [\text{Sn}(\text{Sn})_8]$	„ -Enneastannid	8
Na_4Pb_7	„ $[\text{Pb}(\text{Pb})_6]$	„ -Heptaplumbid	6
Na_4Pb_9	„ $[\text{Pb}(\text{Pb})_8]$	„ -Enneaplumbid	8

löslich sind, hingegen ihre Grundkörper Na_2S , Na_2Se , Na_2Te , Na_3As , Na_3Sb und Na_3Bi sich durch Schwerlöslichkeit auszeichnen (1). Dies ist energetisch leicht verständlich, denn die koordinierten Atome des Polyanions schwächen natürlich die anziehenden Kräfte des negativ geladenen Zentralions.

Viel Mühe wurde von ZINTL darauf verwandt, analoge, in Ammoniak lösliche Salze der Alkalien mit Elementen zu erhalten, die mehr als 4 Stellen vor einem Edelgase stehen, also mit Elementen der 1., 2. und 3. Nebengruppe. Wie aus der

Tabelle 2 hervorgeht, wurden in diesen Fällen niemals salzartige Lösungen erhalten. Es wurden immer nur Produkte gefunden, welche sich röntgenographisch identisch erwiesen mit Produkten, die man durch Zusammenschmelzen entsprechender reiner Metalle erhält. Man könnte einwenden, dieser Befund spreche nicht gegen Anionenbildung. Denn es wäre ja möglich, daß diese „Salze“ praktisch unlöslich seien und daß man bei einer Strukturbestimmung der betreffenden Legierungen die Anionen bzw. Polyanionen erkennen könne. ZINTL und Mitarbeiter haben nun derartige Strukturbestimmungen in großer Zahl ausgeführt (vgl. Tabelle 8), jedoch niemals das Auftreten von Polyanionen gefunden. Aus diesen Strukturbestimmungen, von welchen im folgenden noch des öfteren die Rede sein wird, ergab sich (1):

Die in Ammoniak nachgewiesenen unlöslichen Reaktionsprodukte des Natriums mit Elementen 5 bis 7 Stellen vor den Edelgasen haben keine Komplexstruktur mehr wie die polyanionigen Salze; es sind intermetallische Phasen mit Atomgittern.

Auf eine wichtige Tatsache sei schon hier hingewiesen. Betrachten wir in Tabelle 2 den rechten Teil, so bemerken wir, daß keine Verbindung bekannt ist, die *mehr* Na enthält, als zur Absättigung der Valenz notwendig ist. Das gleiche beobachten wir bei den festen Li-Verbindungen der Tabelle 6 sowie den Mg-Verbindungen der Tabelle 5. Andererseits *wird* aber diese valenzmäßige Grenzzusammensetzung meist erreicht bei Verbindungen mit den sog. „Anionenbildnern“, d. h. also mit Elementen, die 1–4 Stellen vor einem Edelgase stehen, hingegen nicht bei Verbindungen mit Elementen, die mehr als 4 Stellen vor einem Edelgase stehen.

Wie gesagt, kann die valenzmäßige Zusammensetzung nicht immer erreicht werden. Z. B. existiert, wie wir noch später sehen werden, eine Legierung Na_4Sn nicht, hingegen eine solche der Zusammensetzung $\text{Na}_{15}\text{Sn}_4$ (21). Ähnlich verhalten sich manche Germanium- und Bleiverbindungen. Hieraus kann auf ein Nachlassen der heteropolaren Bindungskräfte geschlossen werden, je mehr sich der Anionenbildner bezüglich seiner Stellung im periodischen System von den Edelgasen entfernt. In diesem Zusammenhang ist folgende Feststellung ZINTL'S bemerkenswert (1):

„Scheinbar ist die Fähigkeit zur Legierungsbildung mit Natrium und anderen sehr unedlen Metallen im periodischen System ziemlich scharf abzugrenzen. Unseres Wissens ist keine als Verbindung anzusprechende Legierungsphase des Natrium mit einem Element der sog. Übergangreihen Sc-Ni, Y-Pd, La-Pt und Ac-U bekannt. Die spärlichen Angaben der Literatur hierüber scheinen höchstens auf eine geringe Mischkristallbildung zu deuten. Kupfer und Silber, die ja an der Grenze solcher Übergangreihen stehen, leiten vielleicht dazu über. Nach E. QUERZIGH bildet Silber mit Natrium nur mehr Mischkristalle.“

Da diese Bemerkung ZINTL'S bereits ziemlich weit zurückliegt (1931) und inzwischen manche,

Tabelle 4.

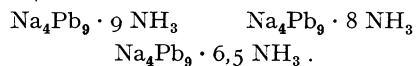
Es bildet	Verbindungen mit	Keine Verbindungen mit
Li	Mg, Ca, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Al, Ga, In, Tl, Sn, Pb, As, Sb, Bi, S	K, Na, Rb, Cs, Fe, Cu
Na	K, Cs, Au, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, S, Se, Te	Li, Rb, Mg, (Ca), Fe, Cu, Ag, (B), Al
K	Na, (Pt?), Au, Zn, Cd, Hg, Tl, Sn, Pb, Sb, As, Bi, S, Se, Te	Li, Rb, Cs, Mg, Fe, Al
Rb	Au, Hg, S	Li, Na, K, Cs, Fe
Cs	Na, Au, Cd, Hg, S	Li, K, Rb, Fe

in diesem Zusammenhang interessierende Systeme nicht zuletzt durch ZINTL und seine Mitarbeiter neu untersucht worden sind, gebe ich in Tabelle 4 eine Zusammenstellung der bislang untersuchten Systeme der Alkalien geordnet danach, ob Verbindungen auftreten oder nicht. Ich stütze mich dabei auf die Werke von HANSEN¹⁾ und JÄNECKE²⁾. Die Tabelle zeigt deutlich, wie richtig bereits damals von ZINTL die Legierungsfreudigkeit unedler Metalle beurteilt wurde.

Konstitution und Kristallstruktur der Legierungen von Alkali- und Erdalkalimetallen.

Nach Feststellung der im flüssigen Ammoniak existierenden salzartigen Verbindungen zwischen Alkalien und Anionenbildnern war es natürlich naheliegend, zu vergleichen, ob die im Ammoniak gefundenen Verbindungen identisch seien mit denen, die man durch einfaches Zusammenschmelzen der Komponenten erhält. Hier stellte ZINTL (2) nun fest, daß erhebliche Unterschiede zwischen den Verbindungen im Ammoniak und den durch Zusammenschmelzen erhaltenen bestanden. Die Unterschiede waren schon rein formelmäßig sehr deutlich. Z. B. wurden im System Na-Pb im Ammoniak lediglich die Verbindungen Na₄Pb₉ und Na₄Pb₇ gefunden, hingegen kannte man als Legierung die intermetallischen Phasen Na₄Pb, Na₅Pb₂, Na₂Pb, NaPb und Na₂Pb₅. Es stimmte also weder die Anzahl noch die stöchiometrischen Zusammensetzungen der „Verbindungen“ überein.

ZINTL (2) versuchte nun, die in Ammoniak gelösten Salze „Na₄Pb₇“ und „Na₄Pb₉“ durch Entzug des Lösungsmittels auszukristallisieren. Dabei bemerkte er, daß die festen Rückstände Ammoniak enthielten, es bildeten sich also Ammine. Beim kontinuierlichen Entzug des Ammoniaks konnten z. B. beim Na₄Pb₉ folgende Stufen beobachtet werden.



¹⁾ M. HANSEN, Aufbau der Zweistofflegierungen. Berlin 1936.

²⁾ E. JÄNECKE, Handbuch aller Legierungen, Nachtrag. Berlin 1940.

„Die festen Ammine haben *kein metallisches Aussehen*, sind also wahrscheinlich noch salzartig gebaut.“ „Ferner ist hervorzuheben, daß die Ammine von Na₄Pb₉ und Na₄Sn₉ keine Anzeichen einer Kristallisation erkennen lassen, sondern als lackartige Rückstände beim Eindampfen der Lösungen erhalten werden.“ Daß derartige Ammine amorph zu sein scheinen, wurde röntgenographisch (3) wahrscheinlich gemacht. Die festen Ammine lösen sich in flüssigem Ammoniak äußerst leicht wieder auf (2).

„Entzieht man den Amminen das Ammoniak durch Abpumpen, so hinterbleiben schließlich graue, außerordentlich luftempfindliche Pulver, die unter Druck Metallglanz annehmen; es findet bei diesem Prozeß der *Übergang einer salzartigen Verbindung zur intermetallischen Phase* statt.“

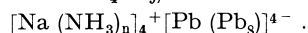
Es war nun natürlich interessant festzustellen, ob in dem Produkt der Zusammensetzung Na₄Pb₉, welches durch völliges Abpumpen des Ammoniaks hergestellt war, die in Lösung festgestellten Polyanionenkomplexe [Pb₉]⁴⁻ auch noch vorhanden sind.

Diese Frage klärte ZINTL durch röntgenographische Untersuchungen, indem er die Atomordnungen in den ammoniakfreien Produkten bestimmte. Nachdem er in mehreren Fällen festgestellt hatte, daß die durch Ammoniakentzug hergestellten Produkte dieselben Röntgendiagramme lieferten wie solche, die durch einfaches Zusammenschmelzen der Komponenten erhalten wurden, so genügte es zur Klärung dieser Frage in den meisten Fällen, die entsprechenden Zweistoffsysteme röntgenographisch zu erforschen.

Bleiben wir zunächst noch bei der Besprechung unseres Beispiels der Na₄Pb₉-Verbindung, so ergab die Röntgenanalyse folgendes: Die Na- und Pb-Atome besetzen die Punkte eines kubisch flächenzentrierten Gitters, sind also gleich angeordnet wie die Cu-Atome im Kupferkristall. Jedoch sind die Na- und Pb-Atome nicht in statistischer Unordnung auf die Punkte des Gitters verteilt, sondern sind in gewisser Weise geordnet, und zwar derart, daß die Eckpunkte des Würfels mit Na besetzt sind, hingegen die Flächenmitten vorwiegend mit Blei. Irgendwelche Komplexe sind also in dem Gitter nicht mehr zu erkennen. (Diese für Na₄Pb₉ gefundene Kristallstruktur ist die gleiche, wie sie auch z. B. das AuCu₃ besitzt. Bemerkenswert ist, daß die Na-Pb-Verbindung bei dem für diesen Typ idealen Atomverhältnis NaPb₃, bei welchem dann alle Ecken nur von Na und alle Flächenmitten nur von Pb besetzt wären, nicht existiert. Wie ZINTL und HARDER (2) fanden, erstreckt sich der Homogenitätsbereich dieser Phase von 28–32 Atomprozent Na und ist identisch mit der bereits erwähnten Phase, die von früheren Bearbeitern des Systems Na-Pb mit Na₂Pb₅ bezeichnet wurde. Na₂Pb₅ würde bei 28,5 Atomprozent Na liegen.)

ZINTL (2) kommt nun zu folgender Erklärung der experimentellen Feststellungen: Im flüssigen

Ammoniak sind die Natriumionen von Ammoniak umgeben entsprechend folgender Formulierung dieser salzartigen Verbindungen (als Beispiel diene wieder das Na_4Pb_9).



Durch das umgebende Ammoniak wird der „Radius“ der Natriumionen vergrößert und eine stärkere Annäherung von Kation zu Anion verhindert. Die polarisierende oder deformierende Wirkung der Natriumionen auf das komplizierte Polyanion wird also durch die Ammoniakmoleküle geschwächt. Sobald aber das Ammoniak entfernt ist, äußert sich der deformierende Einfluß der freien Natriumionen im Abbau dieses Komplexes unter Bildung eines Atomgitters.

Die deformierende Wirkung des ammoniakfreien Natriumions ist also zu groß, als daß Polyanionen des Bleis existieren könnten. Da nun feste Natriumpolysulfide in wasserfreier Form zweifellos existieren, so muß beim Übergang von S über Se, Te, As, Sb, Bi und Sn zum Pb die Komplexstruktur der Natriumverbindungen in die Legierungsstruktur mit Atomgitter umschlagen. Wie ZINTL weiterhin gemeinsam mit DULLENKOPF fand (3), liegen die Verhältnisse in den Systemen Na-Sb und Na-Bi ganz wie beim Na-Pb.

Bemerkenswert sind die Schlußfolgerungen, die ZINTL aus dem Vergleich der Atomabstände in diesen Legierungen mit denjenigen im elementaren Zustande in bezug auf die Bindungskräfte zieht. Er sagt:

„Wie auch die Natur der metallischen Bindung sein mag, jedenfalls wird man beispielsweise im metallischen Blei eine symmetrische Verteilung der negativen Ladungsgebiete zwischen zwei benachbarten Atomen anzunehmen haben; ersetzt man aber eines dieser Bleiatome durch ein Natriumatom, so muß die Ladungsverteilung bis zu einem gewissen Grade unsymmetrisch werden. Die Bindung der Atome in einer Natrium-Bleilegierung wird infolge dieser Polarisation nicht mehr von rein „metallischem“ Typus sein, sondern in Richtung auf die salzartige Bindung etwas davon abweichen. Blei- und Natriumatome werden also in der Legierung entgegengesetzte kleine Effektivladungen aufweisen, und man kann sich in Verfolgung dieses rohen Bildes vorstellen, daß sich daraus eine verstärkte Anziehung und infolgedessen eine Abstandsverminderung ergibt (damit steht die Härtung des Bleies mit Hilfe kleiner Mengen von Alkali- und Erdalkalimetallen im Zusammenhang).“

Es ist bereits gesagt, daß sich die Na-Sb- und die Na-Bi-Verbindungen prinzipiell analog den Na-Pb-Verbindungen verhalten. Als Beispiel hierfür sei nur kurz auf die in flüssigem Ammoniak nachgewiesene Verbindung (vgl. Tabelle 2 und 3)



hingewiesen.

Pumpt man das Ammoniak ab, so bleibt als Rückstand ein Produkt der Zusammensetzung

NaBi, welches sich röntgenographisch (3) als im AuCu-Typ kristallisierend erwies. AuCu kristallisiert in einer tetragonalen Überstruktur des kubisch flächenzentrierten Gitters, also in einer typischen Atomstruktur. Bi_3 -Komplexe sind daher nicht erkennbar.

Auch sei noch bemerkt, daß nicht jeder im flüssigen Ammoniak nachgewiesenen Verbindung eine ammoniakfreie Legierung gleicher Zusammensetzung entspricht, ebensowenig wie das Umgekehrte der Fall ist.

Es hat nach dem bislang Gesagten den Anschein, als ob die durch die Versuche im flüssigen Ammoniak festgestellte Grenze, welche die „Anionenbildner“ von solchen Elementen scheidet, die keine Anionenbildner sind, im Bereich der Legierungen nicht mehr zu beobachten sei. Denn einerseits kristallisiert das Na_4Pb_9 genau so wie das CaTl_3 , andererseits liegt das Pb rechts von der Zintl-Grenze, das Tl aber links von der Zintl-Grenze. Es scheint also so, daß Legierungen mit Komponenten rechts von der Zintl-Grenze grundsätzlich gleiche Strukturen haben wie solche mit Komponenten links von der Zintl-Grenze.

Das umfangreiche, von ZINTL und Mitarbeitern geschaffene kristallstrukturelle Material von Legierungen unedler Elemente (s. Tabelle 8) zeigt jedoch, daß sich die Elemente rechts von der Zintl-Grenze bezüglich Legierungsbildung wesentlich von den Elementen links der Zintl-Grenze unterscheiden. Hiervon soll im folgenden die Rede sein.

Das Wesentliche dieser Unterscheidungsmerkmale erkennt man am besten beim Betrachten der Tabelle 5, in welcher der unedle Partner das Magnesium ist. In dieser Tabelle sind sämtliche bisher bekannten Verbindungen des Magnesiums mit den Elementen aufgenommen, die 1–7 Stellen vor einem Edelgas stehen (mit Ausnahme der 1. und 2. Periode). Es fällt sofort auf, daß die Elemente rechts der Zintl-Grenze, also die „Anionenbildner“, nur valenzmäßig zusammengesetzte Verbindungen bilden. Hingegen bilden die Elemente links der Zintl-Grenze (abgesehen von Mg_5Ga_2 , Mg_5In_2 , Mg_5Tl_2) ziemlich zufällig erscheinende stöchiometrische Verhältnisse. Allein schon diese Tatsache spricht deutlich für die ZINTLSche Auffassung.

ZINTL erkannte aber eine noch weiterreichende Gesetzmäßigkeit. Er stellte nämlich fest, daß alle Magnesiumverbindungen rechts der Zintl-Grenze Kristallstrukturen besitzen, die charakteristisch sind für typisch salzartige Verbindungen. Es handelt sich um die unter 1–7 angeführten Strukturtypen der Tabelle 5. Hingegen haben die Magnesiumverbindungen links der Zintl-Grenze — soweit sie bestimmt sind — Strukturen, die für Metalle und Legierungen charakteristisch sind. Sie haben die in Tabelle 5 unter 8–16 angeführten Strukturtypen.

ZINTL (12) schloß dann weiter: Wenn sich die Grenze zwischen Anionenbildnern und echten Me-

Tabelle 5. Verbindungen des Magnesiums mit Elementen 1 bis 7 Stellen vor einem Edelgas.
Zintl-Grenze

I	II	III	IV	V	VI	VII
		Mg ₄ Al ₃ (8) MgAl (9) Mg ₃ Al ₄ Mg Al ₃ (10)	Mg ₂ Si (7)	Mg₃P₂ (5)	MgS (3)	MgCl ₂ (1)
Mg ₂ Cu MgCu ₂ (14)	Mg ₇ Zn ₃ MgZn Mg ₂ Zn ₃ MgZn ₂ (11) Mg ₂ Zn ₁₁	Mg₅Ga₂ Mg₂Ga MgGa MgGa_{1+z}	Mg₂Ge (7)	Mg₃As₂ (5)	MgSe (3)	MgBr ₂ (2)
∞ Mg ₃ Ag MgAg (13)	Mg ₃ Cd (12) MgCd MgCd ₃ (12)	Mg₅In₂ Mg₂In MgIn (15) MgIn₂ (16)	Mg ₂ Sn (7)	Mg₃Sb₂ (6)	MgTe (4)	MgI ₂ (2)
Mg ₃ Au Mg ₅ Au ₂ Mg ₂ Au MgAu (13)	Mg ₃ Hg Mg ₂ Hg MgHg (13) ∞ MgHg ₂	Mg₅Tl₂ Mg₂Tl MgTl (13)	Mg ₂ Pb (7)	Mg₃Bi₂ (6)		
Strukturen, charakteristisch für Metalle und Legierungen			CaF ₂ -Typ	Mn ₂ O ₃ - u. La ₂ O ₃ -Typ	NaCl- u. ZnS- (Wurtzit-) Typ	CdCl ₂ - u. CdI ₂ -Typ
Strukturen, charakteristisch für salzartige Verbindungen						

- (1): CdCl₂-(C 19-) Typ;
(2): CdI₂-(C 6-) „
(3): NaCl-(B 1-) „
(4): ZnS-(B 4-) „
(5): Mn₂O₃-(D 5₃-) „
(6): La₂O₃-(D 5₂-) „
(7): CaF₂-(C 1-) „
(8): α Mn-(A 12-) „
(9): def. (A 12-) „

- (10): wahrscheinlich isomorph Cu₄Cd₃;
(11): MgZn₂-(C 14-) Typ;
(12): hex. dicht. K.P. (A 3-Typ) mit geordneter Atomverteilung (DO₁₉-Typ);
(13): CsCl-(B 2-) Typ;
(14): MgCu₂-(C 15-) Typ;
(15): CuAu-(L 1₀-) „
(16): AuCu₃-(L 1₂-) „

Die **fett gedruckten** Verbindungen wurden von ZINTL und Mitarbeitern untersucht. Literaturangaben entnehme man Tabelle 8. Die übrigen wurden dem Werk von HANSEN (l. c.) oder später erschienenen Arbeiten entnommen: Mg-Al: Laves, Z. Metallk. 30, 232 (1938); Mg-Zn: Laves, Naturwiss. 27, 454 (1939); Mg-Ag: Ageew, Ref. im Ch. Zbl. 1939, I, 3691.

tallen in dieser Weise auch kristallchemisch bemerkbar macht, so liegt es nahe, das Auftreten solcher für salzartige Verbindungen charakteristischer Strukturtypen (NaCl-, La₂O₃-, CaF₂-Typ usw.) mit der Bindungsart in Zusammenhang zu bringen. Wenn auch eine eindeutige Zuordnung zwischen Strukturtyp und Bindungsart nicht besteht, so wird man zweifellos gesetzmäßige Beziehungen zwischen beiden erwarten. Sicherlich sind die in Tabelle 5 aufgeführten Vertreter der für salzartige Verbindungen charakteristischen Strukturen nicht alle aus Ionen aufgebaut. Da aber meist¹⁾ nur solche Verbindungen in diesen Strukturtypen auftreten, die ein anionenbildendes Element enthalten, so kann man auf ein gemein-

¹⁾ Als von ZINTL diese Gesetzmäßigkeiten erkannt wurden, konnte er statt „meist“ „nur“ schreiben. Inzwischen sind aber, einerseits durch C. D. WEST (AuAl₂), andererseits durch ZINTL, HARDER, HAUCKE (22) mehrere Verbindungen gefunden, die im CaF₂-Typ kristallisieren, aber keinen Anionenbildner enthalten (AuGa₂, AuIn₂, PtAl₂, PtGa₂, PtIn₂). Wir werden darauf noch zurückkommen.

sames Merkmal ihrer Bindungscharaktere schließen. ZINTL unterscheidet rein aus klassifikatorischen Gründen *metallische Strukturen* (es sind die links der Zintl-Grenze auftretenden) und „*nicht-metallische*“ *Strukturen* (es sind die rechts der Zintl-Grenze auftretenden) und bringt die Unterschiede der Konstitution mit solchen der Bindungsart in Zusammenhang. Die metallischen Eigenschaften von Vertretern dieser nicht-metallischen Strukturen werden mit der bei Salzen gefundenen lichtelektrischen Leitfähigkeit verglichen.

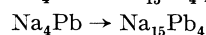
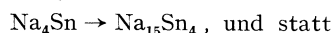
Außer den anlässlich der Besprechung von Tabelle 5 erwähnten „nichtmetallischen“ Strukturen im Sinne ZINTLS wurden von ZINTL-KAISER (6) noch einige weitere hierhergehörige Strukturtypen genannt: NiAs- und Pyrit-Struktur. Auch wäre hier noch die später von BRAUER-ZINTL (23) ermittelte Struktur des Na₃As (isomorph dazu ist Li₃Sb, Li₃As, Li₃P, Na₃Bi, Na₃Sb, Na₃P, K₃Bi, K₃Sb, K₃As) zu nennen. Na₃As kristallisiert sehr ähnlich dem La₃F (Tysonit), hat also eine typisch nichtmetallische Struktur.

In der eben erwähnten Arbeit von ZINTL-KAISER (6) wird zu dieser Fragestellung weiterhin gesagt:

„Die Zahl der Beispiele ließe sich noch erhebliche vermehren. Zweifellos kommt nicht allen diesen Verbindungen ein Ionengitter zu, aber man gewinnt den Eindruck, als sei die Stabilität solcher Gittertypen mit der Fähigkeit einer Komponenten zur Bildung negativer Ionen verknüpft. Ist dies richtig, und beschränken wir uns den obengeschilderten Versuchsdaten entsprechend auf die großen Perioden des Systems, so kann man erwarten, daß alle genannten Strukturen nur bei solchen Verbindungen anzutreffen sind, die ein Element 1—4 Stellen vor den Edelgasen enthalten. Es handelt sich hier vorerst um keine Regel, sondern nur um eine Vermutung, die noch mit Hilfe zahlreicher Strukturbestimmungen geprüft werden muß. Von besonderem Interesse sind dabei die Elemente an der Grenze der Anionenbildner, also Ge, Sn und Pb auf der einen Seite, Ga, In und Tl auf der anderen.“ „Eine überzeugende Entscheidung für oder gegen die oben ausgesprochene Vermutung wird am leichtesten bei jenen Kristallarten herbeizuführen sein, deren Zusammensetzung nicht von der Wertigkeit der Komponenten abhängt. (Die Mg-Verbindungen aller Elemente 1—4 Stellen vor den Edelgasen sind der Wertigkeit entsprechend zusammengesetzt.) So dürften die Verbindungen des Nickelarsenids sich vielleicht besonders dazu eignen, eine Grenzlinie zwischen Metallen und metalloidschen Elementen auch kristallchemisch nachzuweisen. In den großen Perioden waren bisher Se, Te, As, Sb, Bi, aus der IV. Gruppe nur Sn als Partner von NiAs-Strukturen bekannt. Untersuchungen von A. HARDER haben ergeben, daß ebenfalls PtBi und PtPb die in Rede stehende Konstitution haben, während PtTl eine andere Struktur aufweist“ (vgl. dazu Lit. 16 und 20).

Während es nach diesen Untersuchungen den Anschein hat, daß die NiAs-Struktur nur bis zur Zintl-Grenze existiert, ergab sich bei Versuchen von H. J. WALLBAUM und mir, daß es auch noch In-haltige NiAs-Strukturen ($\sim \text{Ni}_2\text{In}$ und $\sim \text{Cu}_2\text{In}$) gibt. Hierüber wird an anderer Stelle berichtet werden. Man gewinnt danach den Eindruck, daß die Zintl-Grenze verschieden stark in Erscheinung tritt, je nach der Art „Kationen“ und wohl auch des Milieus, in welchem die Beobachtungen gewonnen werden. Bei Verbindungen im flüssigen Ammoniak ist sie äußerst scharf, desgleichen bei Legierungen des Magnesiums. Bei den Legierungen der Alkalimetalle läßt sich zum Teil eine gewisse Unschärfe beobachten und bei den NiAs-Strukturen, die als „Kationen“ Übergangsmetalle sowie Cu und Au enthalten, ist sie stark verwischt. Hiermit mag zusammenhängen, daß das Übergangsmetall Pt sowie Au die Verbindungen $\{\text{Pt}, \text{Au}\}\{\text{Al}, \text{Ga}, \text{In}\}_2$ mit CaF_2 -Struktur bilden, obwohl die Partner Al, Ga, In nicht mehr zu den Anionenbildnern gehören (Vgl. die Anmerkung auf S. 249).

Die gewisse Unschärfe, die sich bei den Legierungen der Alkalimetalle bemerken läßt, wurde bereits von ZINTL-HARDER (21) erkannt und diskutiert. Es war von ZINTL die Regel aufgestellt worden, daß sich die Gruppe der zur Anionenbildung befähigten Elemente auch in der Zusammensetzung ihrer binären Verbindungen mit unedlen Metallen hervorhebt: die jeweils an unedlem Metall reichsten Verbindungen seien nach den bis dahin vorliegenden Angaben valenzmäßig zusammengesetzt. Diese Feststellungen gründeten sich neben den röntgenographischen Untersuchungen ZINTL'S und seiner Mitarbeiter im wesentlichen auf thermoanalytische Messungen früherer Bearbeiter. Beispielsweise sollten die intermetallischen Verbindungen Na_4Sn und Na_4Pb existieren. Eine eingehende röntgenographische Strukturbestimmung und sehr genaue chemische Analysen ergab jedoch, daß statt



zu schreiben sei. Vom $\text{Na}_{15}\text{Pb}_4$ wurde festgestellt, daß es im $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ -Typ kristallisiert, vom $\text{Na}_{15}\text{Sn}_4$, daß es sehr wahrscheinlich eine dem $\text{Cu}_{15}\text{Si}_4$ -Typ ähnliche Struktur besitzt. ZINTL-HARDER schreiben zu dieser ihrer Feststellung folgendes:

„Die aus dem Schmelzfluß erhältlichen Na-reichsten Verbindungen des Sn und Pb zeigen also schon deutliche Abweichungen von der valenzmäßigen Zusammensetzung. In der Gruppe der negativen Anionen sind Sn^{4-} und Pb^{4-} am leichtesten polarisierbar. Beim Übergang etwa von NaI zu Na_2Te , Na_3Bi und schließlich zur Na-reichsten Verbindung des Pb wird infolgedessen die Asymmetrie der Ladungsverteilung zwischen beiden Teilchensorten geringer. Beim Halogenid ist die valenzmäßige Zusammensetzung eine Folge der diskreten, ganzzahligen Ionenladungen, zum Aufbau eines elektrisch neutralen Kristalls müssen hier die Teilchen in einem ganzzahligen Mengenverhältnis zusammentreten. Beim Plumbid ist dagegen die Polarisierung schon so weit gediehen, daß die Bedingung der Elektroneutralität auch bei kleinen Abweichungen von der Zusammensetzung Na_4Pb erfüllt werden kann und die Valenzregeln ihre strenge Gültigkeit verlieren.“

ZINTL kommt zu dem Satz:

„Die Valenzregeln bezeichnen für binäre Natriumverbindungen von Elementen 1—4 Stellen vor den Edelgasen bei völlig geordneter Atomverteilung eine obere Grenze des Natriumgehaltes, die im Fall stärkerer (Ionen-)Polarisation unter Umständen nicht ganz erreicht wird.“

Daß diese obere Grenze von Legierungen der Alkalimetalle mit den Elementen rechts der Zintl-Grenze tatsächlich meist erreicht wird, soll Tabelle 6 zeigen, welche eine Zusammenstellung der bis jetzt bekannten Verbindungen des Lithiums bringt. Soweit die Kristallstrukturen bekannt sind (mit Ausnahme des Li_3Ag und Li_2S sowie der Li-Halogenide verdanken wir deren Kenntnis ZINTL und

Tabelle 6. Verbindungen des Lithiums mit Elementen 1 bis 7 Stellen vor einem Edelgas.

Zintl-Grenze
↓

I	II	III	IV	V	VI	VII
Keine Verbindungen Li-Cu	Weitgehende Mischkristallbildung Li-Mg	Li ₂ Al LiAl (6)		Li ₃ P (3)	Li ₂ S (2) Li ₂ S ₂	LiCl (1)
	LiZn (6) LiZn ₂ ∞ Li ₂ Zn ₈ (10) ∞ LiZn ₃₋₈ (7)	LiGa (6)		Li ₃ As (3)	Li ₂ Se (2)	LiBr (1)
Li ₃ Ag (12) LiAg (5)	Li ₃ Cd (8) LiCd (6) LiCd ₃ (7)	LiIn (6)	Li ₄ Sn Li ₇ Sn ₂ Li ₅ Sn ₂ Li ₂ Sn LiSn LiSn ₂	Li ₃ Sb (3, 4)	Li ₂ Te (2)	LiI (1)
∞ LiAu	Li ₆ Hg Li ₃ Hg (4) Li ₂ Hg LiHg (5) LiHg ₂ LiHg ₃ (11)	Li ₄ Tl Li ₃ Tl Li ₅ Tl ₂ Li ₂ Tl LiTl (5)	Li ₄ Pb Li ₇ Pb ₂ Li ₃ Pb Li ₅ Pb ₂ LiPb	Li ₃ Bi (4) LiBi (9)		

- (1): NaCl-(B 1-) Typ;
 (2): CaF₂-(C 1-) „
 (3): Na₃As-Typ, ähnlich dem LaF₃ (Tysonit-) Typ (DO₁₈-Typ);
 (4): BiF₃-(DO₉-)Typ;
 (5): CsCl-(β-Messing-) Typ (B 2-Typ);
 (6): NaTl-(B 32-)Typ;

- (7): hex. K.P., Mg-(A 3-)Typ;
 (8): kub. K.P., Cu-(A 1-) Typ;
 (9): CuAu-(L 1₀-)Typ;
 (10): Lage der Zn-Atome ist bestimmt;
 (11): hex. dicht. K.P.(A 3-Typ) mit geordneter Atomverteilung (DO₁₉-Typ);
 (12): γ-Messing (D 8₁₋₃-Typ).

Die **fett gedruckten** Verbindungen wurden von ZINTL und Mitarbeitern untersucht. Literaturangaben entnehme man Tabelle 8. Die übrigen wurden dem Werke von HANSEN (l. c.) entnommen.

seinen Mitarbeitern), ist das in der Tabelle 6 vermerkt. Auch hier ergab sich erstens, daß die lithiumreichsten Verbindungen rechts der Zintl-Grenze valenzmäßig zusammengesetzt sind, zweitens, daß sie „nichtmetallische“ Strukturen im Sinne ZINTL'S haben und drittens, daß die Verbindungen links der Zintl-Grenze weder valenzmäßig¹⁾ zusammengesetzt sind noch „nichtmetallische“ Strukturen haben.

Daß rechts der Zintl-Grenze außer den valenzmäßig zusammengesetzten Verbindungen noch andere Verbindungen mit geringerem Alkaligehalt auftreten, widerspricht nach ZINTL (14) keineswegs der Erwartung, daß die Grenze zwischen Anionenbildnern und echten Metallen auch kristallchemisch hervortrete. Bei den Magnesiumverbindungen liegen die Verhältnisse besonders einfach, weil Magnesium mit den Elementen rechts der Zintl-Grenze jeweils *nur eine* Verbindung gibt, die valenzmäßig zusammengesetzt ist (s. Tabelle 5). Alkalimetalle, auch Ca, Sr, Ba liefern mit einem Anionenbildner häufig mehrere Verbindungen; aus den bisher vorliegenden Untersuchungen läßt sich aber schon erkennen, daß meist die an edlem Metall reichste Verbindung eines solchen

¹⁾ Höchstens beim Li₆Hg könnte man an eine valenzmäßige Zusammensetzung denken, was aber wohl ein Zufall sein dürfte.

Systems eine den Valenzgesetzen entsprechende Zusammensetzung hat. *Bezüglich Stöchiometrie und Struktur binärer Alkali- und Erdalkaliverbindungen wird also die Abgrenzung der Anionenbildner bei den alkali- und erdalkalireichsten Verbindungen nachzuweisen sein.*

Beziehungen zwischen Kristallstruktur und Valenzelektronenkonzentration.

Die Tatsache, daß die Zusammensetzung der alkalireichsten Legierungsphasen der Elemente 5 bis 7 Stellen vor den Edelgasen — also der Elemente links der Zintl-Grenze — anscheinend völlig unregelmäßig ist, veranlaßte ZINTL, zahlreiche Strukturen derartiger Verbindungen röntgenographisch zu untersuchen. Bei den alkalireichsten Verbindungen mit Elementen rechts der Zintl-Grenze war ja kein Zweifel, daß die Valenzkräfte oder — anders ausgedrückt — die Anzahl der Valenzelektronen einen bestimmenden Einfluß auf Zusammensetzung und Kristallstruktur ausüben.

Es war zu hoffen, irgendwelche Beziehungen zwischen Anzahl der Valenzelektronen und Kristallbau zu finden, zumal ja schon früher von HUME-ROTHERY die Regel aufgestellt war, daß die Bildung gewisser Strukturtypen an ein bestimmtes Verhältnis der Valenzelektronen zu Atomen geknüpft sei.

Tabelle 7. Valenzelektronenkonzentration kubisch raumzentrierter Legierungsphasen.

	Li	Na	Be	Mg	Ca	Sr	Zn	Cd	Al	La	Ce	Pr	Nd	Sn	Ti	Sb	Bi	Pd
Fe									3/2						2			
Co			I						3/2						2			
Ni			I				I		3/2						2			
Ru															2			
Pd			I												2			
Os															2			
Cu			3/2				3/2		3/2					3/2				1/2
Ag	I			3/2			3/2	3/2		2	2	2						
Au				3/2			3/2	3/2										
Mg													5/2					
Zn	3/2																	
Cd	3/2									5/2	5/2	5/2			3			
Hg	3/2			2						5/2	5/2	5/2						
Al	2												3					
Ga	2																	
In	2	2																
Tl	2	2		5/2	5/2	5/2				3	3	3				4	4	

Die fett gedruckten Zahlen entsprechen Verbindungen, die von ZINTL und Mitarbeitern gefunden wurden. Literaturangaben entnehme man Tabelle 8. Die Tabelle ist eine Erweiterung der Tabelle 12 aus der Arbeit von ZINTL und BRAUER (10) durch später hinzugekommene Strukturbestimmungen. Literaturangaben findet man (bis auf die von JANDELLI 1938 untersuchten La-, Ce-, Pr-Legierungen und die von LAVES-WALLBAUM 1939 untersuchten Ti-Legierungen) in den Strukturberichten.

Das reiche von ZINTL und Mitarbeitern beigebrachte röntgenographische Material (siehe Tabelle 8) führte hier allerdings mehr zu negativen als zu positiven Aussagen.

Bereits bei seinen ersten Untersuchungen über den Gitterbau alkalihaltiger Legierungen stellte er anlässlich der Strukturbestimmung des NaTl (4) fest, daß es Verbindungen mit kubisch raumzentrierter Anordnung der Atomschwerpunkte gibt, welche eine Valenzelektronenkonzentration haben, die nicht mit der von der Hume-Rothery-Regel geforderten übereinstimmt. HUME-ROTHERY hatte nämlich u. a. gefunden, daß die Atome einer Verbindung dann eine kubisch raumzentrierte Anordnung bilden (z. B. CuZn, Cu₃Al usw.), wenn das Verhältnis Zahl der Valenzelektronen/Zahl der Atome = 3/2 ist. NaTl, auf dessen Gitterbau wir noch zu sprechen kommen, hat aber eine derartige raumzentrierte Anordnung, hingegen entfallen 4 Valenzelektronen auf 2 Atome. Durch hieran anschließende systematische Untersuchungen, insbesondere gemeinsam mit G. BRAUER, kam ZINTL zu folgender Feststellung (10):

„Läßt man vorläufig den Fall PdCu¹⁾ außer Betracht, so treten Abweichungen von der Valenzelektronenkonzentration 3/2 bei den Legierungen des Li, Na, Mg, Ca, Sr auf. Wir stellen also fest, daß die bisher bekannten Gesetzmäßigkeiten über den Zusammenhang von Gitterbau und Valenzelektronenkonzentration auf Legierungen sehr unedler Metalle keine Anwendung finden, zumindest nicht in ihrer jetzigen Form.“

¹⁾ Dieser Fall widerspricht nämlich nicht der Hume-Rothery-Regel, da sich herausgestellt hat, daß die Übergangsmetalle (also Pd) wechselnde Wertigkeiten haben können.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die bis heute bekanntgewordenen Verbindungen mit kubisch raumzentrierter Struktur und zugehöriger Valenzelektronenkonzentration.

Tabelle 8. Zusammenstellung der von ZINTL und Mitarbeitern röntgenographisch untersuchten metallischen Phasen.

A. Verbindungen von Alkalien, Erdalkalien, seltenen Erden mit „Anionenbildnern“, d. h. Elementen, die 1 bis 4 Stellen vor einem Edelgase stehen.

Li{H,D} (36); Li₂{O, S, Se, Te} (33); Li₃N (34); Li₃{P, As, Sb} (23); Li₃Bi (14); LiBi (14). NaH (32); Na₂{O, S, Se, Te} (33); Na₃{P, As, Sb, Bi} (23); Na{Sb, Bi} (3); Na₁₅{Sn, Pb}₄ (21); NaPb₃ (2); KH (32); K₂{O, S, Se, Te} (33); K₃{As, Sb, Bi} (23); KBi₂ (5); RbH (32); CsH (32); Mg₃{P, As, Sb, Bi}₂ (12); Mg₂Ge (6); {Ca, Sr, Ba}H₂ (35); Ca{Sn, Pb}₃ (9); SrPb₃ (9); Ce{Sn, Pb}₃.

B. Verbindungen von Alkalien und Erdalkalien mit Elementen, die 5 bis 7 Stellen vor einem Edelgase stehen.

LiAl (18); Li{Ga, In, Tl, Zn, Cd, Hg, Ag} (10); Li₃Zn₇ (15); LiZn₉ (15); Li₃Cd, LiCd₃ (13); Li₃Hg, LiHg₃ (17); NaTl (4); NaIn (11); {Na, K}Zn₁₃ (25); Na₂Au, NaAu₂ (24); {K, Rb, Cs}Cd₁₃ (25); Mg₅{Ga, In, Tl}₂, Mg₂{Ga, In, Tl}, Mg{Ga, In, Tl}, MgGa_{1+x}, MgIn₂ (27); MgTl (10); Mg{Hg, Au} (19); CaTl (10); CaTl₃ (9); Ca{Zn, Cu}₅ (30); SrTl (10).

C. Verbindungen von Übergangsmetallen (inkl. Cu, Au) mit Al, Ga, In, Tl.

{Nb, Ta, Zr}Al₃ (29); ThAl₃ (26); {Pt, Au} {Al, Ga, In}₂ (22); CuGa₂, Cu₄Ga (20); PtTl (16).

D. Sonstiges.

La (8); SiS₂ (37).

Einfluß geometrischer Bedingungen auf die Kristallstruktur der Legierungen.

Auch an einem anderen Strukturtyp konnte ZINTL nachweisen, daß bei Legierungen sehr unedler Elemente die Anzahl der Valenzelektronen keinen deutlichen Einfluß auf die Bildung bestimmter Strukturtypen ausübt, nämlich bei dem kubisch-flächenzentrierten Gitter mit geordneter Atomverteilung (AuCu₃-Typ; L 1₀-Typ). Es war von diesem Typ bereits die Rede anläßlich der Legierung Na₄Pb₃. Im gleichen Typ kristallisieren nach ZINTL und NEUMAYR (9): CaPb₃, SrPb₃ (leicht tetragonal deformiert), CePb₃, CaTl₃, CaSn₃, CeSn₃. Von einem Einfluß der Valenzelektronenkonzentration scheint also keine Rede zu sein. ZINTL vermutet, daß in diesem Falle geometrische Bedingungen eine Rolle spielen und stellt fest, daß derartige AuCu₃(AB₃)-Gitter dann auftreten, wenn die aus dem Elementzustand ermittelten Radien der Bedingung

$$r_B \leq r_A - \leq 2,4 r_B$$

genügen (9). Daß diese Bedingung auch für in diesem Typ kristallisierende Verbindungen gilt, die früher oder später von anderer Seite gefunden wurden, zeige folgende Zusammenstellung: PdCu₃, PtCu₃, AgPt₃ (JOHANSSON, LINDE); MgIn₂ [HAUCKE (27)]; AlNi₃ (WESTGREN, ALMIN); AlFe₃ (mit 4 bis 6 % C; MORRAL); LaPb₃, LaSn₃, PrPb₃, PrSn₃ (ROSSI); SiNi₃ (OSAWA); TiPt₃, TiZn₃, AuTi₃ (LAVES, WALLBAUM); sehr ähnlich diesem Typ kristallisiert TiAl₃ (FINK, VAN HORN, BUDGE); TaAl₃, NbAl₃, ZrAl₃ [BRAUER (29)]; TiGa₃ (LAVES, WALLBAUM).

Ein weiteres Beispiel vom Einfluß des Größenverhältnisses der Legierungspartner wurde von ZINTL und HARDER (5) im KBi₂ erkannt. KBi₂ kristallisiert genau so wie das MgCu₂. ZINTL und HARDER bemerkten, daß das Auffälligste, was beiden im gleichen Typ kristallisierenden Verbindungen gemeinsam zu sein scheint, das Größenverhältnis der Komponenten ist.

Einen ebenfalls erheblichen Einfluß des Größenverhältnisses der Bausteine fand ZINTL bei den Vertretern des von ihm entdeckten NaTl-Typs. Man kann diesen Typ wohl als eine der interessantesten Strukturen bezeichnen, die wir heute kennen. Der Aufbau sei daher etwas ausführlicher beschrieben. [vgl. dazu Fig. 1 (4)]. NaTl kristallisiert kubisch und enthält 16 Atome in der Zelle in folgenden Lagen:

Thallium	o o o, ½ ½ o, o ½ ½, ½ o ½
	¼ ¼ ¼, ¾ ¾ ¾, ¼ ¾ ¾, ¾ ¼ ¾
Natrium	½ ½ ½, o o ½, ½ o o, o ½ o
	¾ ¾ ¾, ¼ ¼ ¾, ¾ ¼ ¼, ¼ ¾ ¼

Man erkennt folgendes: 1. Na- und Tl-Atome besetzen kongruente Atomlagen (denn die Lage der Na-Atome geht aus derjenigen der Tl-Atome durch Verschiebung um ½ ½ ½, also um eine halbe Raumdiagonale) hervor. 2. Sowohl Na-Atome für sich wie Tl-Atome für sich bilden eine Anordnung

wie die C-Atome im Diamant. 3. Diese beiden Diamantgitter des Tl und des Na sind derart ineinandergesetzt (um ½ ½ ½ verschoben), daß die Gesamtstruktur eine Überstruktur des kubisch-raumzentrierten Gitters bildet. Man sieht das anschaulich am besten aus Fig. 1:

Jedes Atom hat 8 nächste Nachbarn im Abstand einer viertel Raumdiagonale. Die Anzahl der Nachbarn ist also gleich derjenigen im CsCl-Typ (= CuZn-Typ [β -Messing-Typ]). Während aber im CsCl-Typ jedes Cs von 8 Cl umgeben ist und jedes Cl von 8 Cs, ist beim NaTl die Koordination derart, daß jedes Na 4 Na- und 4 Tl-Nachbarn hat und jedes Tl umgekehrt 4 Tl- und 4 Na-Nachbarn. Die Anordnung der Atome im NaTl-Typ spricht also durchaus gegen eine etwaige Annahme.

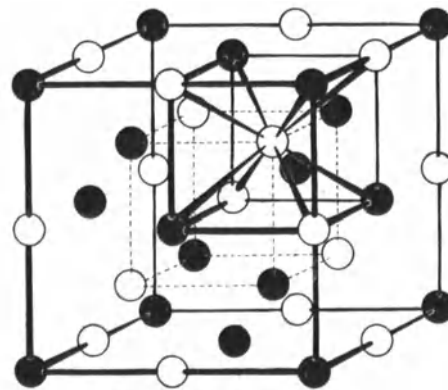


Fig. 1. Struktur des NaTl.

die Verbindung verdanke ihre Existenz wesentlich anziehenden Kräften zwischen Na-Atomen und Tl-Atomen. Denn wenn derartige Kräfte von bestimmendem Einfluß wären, so wäre nicht einzusehen, warum das NaTl nicht im CsCl-Typ kristallisieren würde. Es scheinen hier also starke Bindungskräfte zwischen gleichartigen Atomen beteiligt zu sein.

Von ZINTL und Mitarbeitern wurde gefunden, daß auch noch folgende Verbindungen im NaTl-Typ kristallisieren:

LiZn, LiCd, LiAl, LiGa, LiIn, NaIn. Anläßlich der Bestimmung des LiAl durch ZINTL und WOLTERS DORF wurden unter Berücksichtigung der Atomabstände in den NaTl-Gittern folgende Vorstellungen entwickelt (18):

„Offensichtlich ist es die edlere Atomsorte B (Zn, Cd, Al, Ga, In, Tl), die allein die Gitterdimensionen bestimmt, während die Alkaliatome Li oder Na in erster Näherung keinen Einfluß haben. Es erwächst daraus die Vorstellung eines aus Atomen B gebildeten und das Kristallgebäude tragenden Gerüsts, dessen Lücken von Li- oder Na-Teilchen ausgefüllt sind“. „Das Gerüst aus B-Atomen ist ein Diamantgitter, wie es für sich allein mit C-, Si-, Ge- oder Sn-Atomen besteht, die alle durch 4 Valenzelektronen ausgezeichnet sind. Die Atome von Al, Ga, In, Tl haben je ein Elektron zu wenig, um ein Diamantgitter bilden zu können. Dieses Defizit kann aber durch Einbau

von je 1 Atom Li oder Na (1 Valenzelektron pro Atom) pro Atom Al, Ga, In oder Tl ausgeglichen werden; es entsteht dann ein Diamantgitter aus den letztgenannten Atomen, in dessen Lücken die Rumpfe der elektronliefernden Alkaliatome eingelagert sind. Daß unter solchen Umständen die Raumbeanspruchung der Alkaliatome erheblich geringer ist als im freien Metall, wird ebenfalls verständlich, denn ihre Funktion im Kristallverband liegt ja in Richtung des Übergangs zum viel kleineren Alkaliion. LiZn und LiCd ordnen sich freilich diesen Vorstellungen nicht unter, doch fällt auf, daß gerade diese beiden Phasen unter allen Verbindungen mit NaTl-Struktur durch ihre rote Farbe hervortreten, was vielleicht mit besonderen Atomzuständen zusammenhängen mag⁴.

Wie schon erwähnt, ist mit der Legierungsbildung — insbesondere wenn eine der Komponenten stark unedel ist —, oft eine starke Kontraktion der Atomabstände zu bemerken. D. h. die Atomabstände sind kleiner (bisweilen bis zu etwa 15%) als man sie durch Addition der aus dem Elementzustand ermittelten Atomradien berechnet. Analoge Erscheinungen wurden von BILTZ und WEIBKE raumchemisch festgestellt. Da es jedoch hier zu weit führen würde, die Ergebnisse ZINTL'S im einzelnen zu diskutieren, sei lediglich auf die in diesem Zusammenhang wichtigsten Arbeiten hingewiesen: 4, 9, 10, 11, 14, 18, 19, 22, 23, 29. Lediglich einige Sätze allgemeiner Bedeutung seien hier angeführt:

„Unter den Legierungskomponenten, die zu stark verminderten Atomabständen führen, finden wir die gleichen Metalle wieder, die auch zu Abweichungen von der Valenzelektronregel Anlaß geben“ (10, S. 264).

Es zeigt sich, „daß bei größeren Unterschieden in der Polarisierbarkeit der Legierungskomponenten die Konzentration der Valenzelektronen nicht mehr für die Struktur maßgebend zu sein scheint (ob es stets auf die Unterschiede der Polarisierbarkeit ankommt, müssen erst — im Gang befindliche — Untersuchungen über Legierungen aus zwei unedlen Komponenten zeigen)“ (10, S. 267).

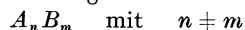
„Solche Differenzen übersteigen bei weitem die sonst beobachtete Veränderlichkeit der Radien. Man darf deshalb die Radien unedler Metalle auch nicht in erster Näherung als konstant betrachten“ (10, S. 267).

„Es folgt daraus, daß sich unedle Atome bei der Legierungsbildung um so stärker kontrahieren, je größer sie selbst und je kleiner ihre edleren Partner sind.“

Anti-Isomorphie-Beziehungen.

Schließlich seien noch kurz die Beziehungen gestreift, die von ZINTL insbesondere gemeinsam mit G. BRAUER (23) zwischen den Legierungen mit „nichtmetallischen“ Strukturen einerseits und den salzartigen Verbindungen andererseits aufgefunden wurden.

Die auffällige Erscheinung, daß chemische Verbindungen der allgemeinen Formel



dieselbe Kristallstruktur haben können, wenn einerseits A positiv und B negativ, andererseits A negativ und B positiv geladen ist, wurde seinerzeit von V. M. GOLDSCHMIDT mit Antiisomorphie bezeichnet. Früher war Antiisomorphie nur beim Flußspat-Typ bekannt:

Fluorit-Typ	Antifluorit-Typ
CaF ₂	SLi ₂
	SiMg ₂

Von ZINTL wurden nun bei Verbindungen mit Elementen rechts der Zintl-Grenze 4 weitere Fälle dieser interessanten Antiisomorphie gefunden:

Mn ₂ O ₃ -Typ:	Sc ₂ O ₃ usw.
Anti-Mn ₂ O ₃ -Typ:	As ₂ Mg ₃ , P ₂ Mg ₃
La ₂ O ₃ -Typ:	La ₂ O ₃
Anti-La ₂ O ₃ -Typ:	Sb ₂ Mg ₃ , Bi ₂ Mg ₃
Tysonit-Typ:	LaF ₃
Anti-Tysonit-Typ:	AsNa ₃ usw.
BiF ₃ -Typ:	BiF ₃
Anti-BiF ₃ -Typ:	BiLi ₃ , SbLi ₃

Ja, es gelang sogar für die Morphotropie der in Anti-Typen kristallisierenden Verbindungen ähnliche Einflüsse geltend zu machen, wie sie von GOLDSCHMIDT für die Morphotropie salzartiger Verbindungen gefunden wurden: *den Einfluß der Radienquotienten der an der Verbindung beteiligten Komponenten.*

Für die Verbindungen A₃B mit A = (Li, Na, K)⁺ und B = (N, P, As, Sb, Bi)³⁻ wurde gefunden, daß wenn

$R_{A^+}/R_{B^{3-}} < \sim 0,38$	Li ₃ Bi-Typ,
$> 0,38$ und $< 0,59$	Na ₃ As-Typ,
$> 0,59$	Li ₃ N-Typ

auftritt. Bei dieser Gelegenheit wurden aus den A₃B-Gittern die Radien¹⁾ der B³⁻ Ionen ermittelt:
N³⁻ P³⁻ As³⁻ Sb³⁻ Bi³⁻
1,29 1,86—2,11 1,93—2,24 2,08—2,38 2,12—2,47.

Die Erscheinungen der Antiisomorphie gehen sogar derart weit, daß die Mischkristallbildung (23, S. 329) SrF₂ (Fluorit-T) — LaF₃ (Tysonit-T) antiisomorph nachgemacht werden konnte durch SeNa₂ (Antifluorit) — AsNa₃ (Antitysonit).

Zusammenfassung der von ZINTL gefundenen Regeln und Gesetzmäßigkeiten.

Fassen wir in kurzen Worten den vorstehenden Bericht zusammen, so ergibt sich als Kern der ZINTL'schen Untersuchungen folgende Tatsache:

1. In den großen Perioden des Periodischen Systems der Elemente verhalten sich die Ele-

¹⁾ Wie weit diesen Radien eine Bedeutung zukommt, die über diejenige einer praktischen Rechengröße hinausgeht, läßt sich noch nicht entscheiden. ZINTL selbst sagt hierzu an anderer Stelle (14), wo er ausführt, daß Li₃Bi zweckmäßig als Ionengitter zu betrachten sei: „Selbstverständlich soll damit nicht behauptet werden, Li₃Bi sei aus idealen Ionen Li⁺ und Bi³⁻ aufgebaut; die Komponenten werden nur in dieser Verbindung entschieden polaren Charakter tragen.“

mente 1—4 Stellen vor einem Edelgase bezüglich vieler Eigenschaften wesentlich anders als diejenigen Elemente, welche 5—7 Stellen vor einem Edelgase stehen (vgl. Tabelle 1). Es erwies sich daher für diesen Bericht zweckmäßig, zwischen den Elementen Ge, Sn, Pb einerseits und Ga, In, Tl andererseits eine Grenze zu ziehen, welche *Zintl-Grenze* genannt wurde.

2. Es wurde durch die ZINTLSchen Untersuchungen erwiesen, daß die Elemente rechts der Zintl-Grenze Anionen bilden können, links der Grenze hingegen nicht.

3. Es wurde weiterhin erwiesen, daß sich die Elemente rechts der Zintl-Grenze in ihren legierungsbildenden Eigenschaften wesentlich anders verhalten als diejenigen links der Grenze: Die Elemente rechts der Grenze sind zu valenzmäßig zusammengesetzten Verbindungen mit stark unedlen Elementen befähigt, die Elemente links der Grenze hingegen nicht.

4. Die eben genannten valenzmäßig zusammengesetzten Verbindungen von Elementen rechts der Zintl-Grenze zeichnen sich durch 2 wichtige Eigenschaften aus, die es angezeigt erscheinen lassen, sie durch die Bezeichnung *Zintl-Phasen* besonders zu markieren.

a) Zintl-Phasen kristallisieren in „nicht-metallischen“, typisch salzartigen Strukturen (Anti-fluorit, Anti-Mn₂O₃, Anti-La₂O₃, Anti-Tysonit, Anti-BiF₃).

b) Zintl-Phasen sind jeweils diejenigen Phasen des betreffenden Legierungssystems, welche die größte Menge an unedlen Komponenten enthalten.

5. Durch die Strukturbestimmung vieler Legierungen stark unedler Elemente, insbesondere des Lithiums und des Natriums, wurden außer den vorstehend aufgeführten Feststellungen grundlegende Ergebnisse kristallchemischer und kristallstruktureller Natur gewonnen, welche wichtige Einblicke in den Bindungsmechanismus von Legierungen ermöglichen.

Literatur.

(1) ZINTL, J. GOUBEAU, W. DULLENKOPF, Salzartige Verbindungen und intermetallische Phasen des Natriums in flüssigem Ammoniak. *Z. physik. Chem. A* **154**, 1—46 (1931). — (2) ZINTL, A. HARDER, Polylumbide, Polystannide und ihr Übergang in Metallphasen. *Z. physik. Chem. A* **154**, 47—92 (1931). — (3) ZINTL, W. DULLENKOPF, Polyantimonide, Polywismutide und ihr Übergang in Legierungen. *Z. physik. Chem. B* **16**, 183—194 (1932). — (4) ZINTL, W. DULLENKOPF, Über den Gitterbau von NaTl und seine Beziehung zu den Strukturen vom Typus des β -Messings. *Z. physik. Chem. B* **16**, 195—205 (1932). — (5) ZINTL, A. HARDER, Gitterstruktur von KBi₂. *Z. physik. Chem. B* **16**, 206—212 (1932). — (6) ZINTL, H. KAISER, Über die Fähigkeit der Elemente zur Bildung negativer Ionen. *Z. anorg. u. allg. Chem.* **211**, 113—131 (1933). — (7) ZINTL, S. NEUMAYR, Gitterstruktur des Indiums. *Z. Elektrochem.* **39**, 81—84 (1933). — (8) ZINTL, S. NEUMAYR, Kristallstruktur des β -Lanthan. *Z. Elektrochem.* **39**, 84—86 (1933). — (9) ZINTL, S. NEU-

MAYR, Über Legierungsphasen vom Typus NaPb₃. *Z. Elektrochem.* **39**, 86—97 (1933). — (10) ZINTL, G. BRAUER, Über die Valenzelektronenregel und die Atomradien unedler Metalle in Legierungen. *Z. physik. Chem. B* **20**, 245—271 (1933). — (11) ZINTL, S. NEUMAYR, Über den Gitterbau von NaIn und die Deformation der Atome in Legierungen. *Z. physik. Chem. B* **20**, 272—275 (1933). — (12) ZINTL, E. HUSEMANN, Bindungsart und Gitterbau binärer Magnesiumverbindungen. *Z. physik. Chem. B* **21**, 138—155 (1933). — (13) ZINTL, A. SCHNEIDER, Konstitution der Li-Cd-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **41**, 294—297 (1935). — (14) ZINTL, G. BRAUER, Konstitution der Li-Bi-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **41**, 297—303 (1935). — (15) ZINTL, A. SCHNEIDER, Röntgenanalyse der Li-Zn-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **41**, 764—767 (1935). — (16) ZINTL, A. HARDER, Struktur der Pt-Tl-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **41**, 767—771 (1935). — (17) ZINTL, A. SCHNEIDER, Röntgenanalyse der Li-Amalgame. *Z. Elektrochem.* **41**, 772—774 (1935). — (18) ZINTL, G. WOLTERS DORF, Gitterstruktur von LiAl. *Z. Elektrochem.* **41**, 876—879 (1935). — (19) G. BRAUER, W. HAUCKE, Kristallstruktur der intermetallischen Phasen Mg Au und Mg Hg. *Z. physik. Chem. B* **33**, 304—310 (1936). — (20) ZINTL, O. TREUSCH, Röntgenanalyse der Galliumbronzen. *Z. physik. Chem. B* **34**, 225—237 (1936). — (21) ZINTL, A. HARDER, Zur Stöchiometrie binärer Natriumlegierungen. *Z. physik. Chem. B* **34**, 238—254 (1936). — (22) ZINTL, A. HARDER, W. HAUCKE, Legierungsphasen mit Fluoritstruktur. *Z. physik. Chem. B* **35**, 354—362 (1937). — (23) G. BRAUER, E. ZINTL, Konstitution von Phosphiden, Arseniden, Antimoniden und Wismutiden des Lithiums, Natriums und Kaliums. *Z. physik. Chem. B* **37**, 323—352 (1937). — (24) W. HAUCKE, Konstitution der Na-Au-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **43**, 712—719 (1937). — (25) E. ZINTL, W. HAUCKE, Konstitution der intermetallischen Phasen. *Z. Elektrochem.* **44**, 104—111 (1938). — (26) G. BRAUER, Kristallstruktur intermetallischer Verbindungen des Al mit Ti, Zr, Th, Nb, Ta. *Naturwiss.* **26**, 710 (1938). — (27) W. HAUCKE, Über Legierungen des Magnesiums mit Gallium, Indium und Thallium. *Naturwiss.* **26**, 577 (1938). — (28) E. ZINTL, Intermetallische Verbindungen. *Angew. Chem.* **52**, 1—6 (1939). — (29) G. BRAUER, Über die Kristallstruktur von {Ti, Nb, Ta, Zr}Al₃. *Z. anorg. u. allg. Chem.* **242**, 1—22 (1939). — (30) W. HAUCKE, Kristallstruktur von CaZn₅ und CaCu₅. *Z. anorg. u. allg. Chem.* **244**, 17—22 (1940). — (30a) ZINTL, HARDER, NEUMAYR, Über die Herstellung von Debye-Scherrer-Diagrammen luftempfindlicher Legierungen. *Z. physik. Chem. A* **154**, 92—96 (1931). — (31) ZINTL, H. H. v. BAUMBACH, Über Natriumoxyd. *Z. anorg. u. allg. Chem.* **198**, 88—101 (1931). — (32) ZINTL, A. HARDER, Über Alkalihydride. *Z. physik. Chem. B* **14**, 265—284 (1931). — (33) ZINTL, HARDER, DAUTH, Gitterstruktur der Oxyde, Sulfide, Selenide, Telluride des Lithiums, Natriums und Kaliums. *Z. Elektrochem.* **40**, 588—593 (1934). — (34) ZINTL, BRAUER, Konstitution des Lithiumnitrids. *Z. Elektrochem.* **41**, 102—107 (1935). — (35) ZINTL, HARDER, Konstitution der Erdalkalihydride. *Z. Elektrochem.* **41**, 33—52 (1935). — (36) ZINTL, HARDER, Gitterdimensionen des Lithiumhydrids LiH und des Lithiumdeuterids LiD. *Z. physik. Chem. B* **28**, 478—480 (1935). — (37) ZINTL, LOOSEN, Siliziumdisulfid, ein anorganischer Faserstoff mit Kettenmolekülen. *Z. physik. Chem. A* **174**, 301—311 (1935).

Kurze Originalmitteilung.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Trimethylammoniumjodid und Trimethylsulfoniumjodid.

Nach den Triäthylverbindungen¹⁾ wurden nun die Trimethylverbindungen röntgenographisch untersucht, zugleich mit dem Trimethylammoniumjodid auch das Bromid.

I. Trimethylammoniumjodid — und Bromid.

a) Jodid: WAGNER²⁾ hat die Messungen durchgeführt. Er fand:

monoklin-prismatisch:

$$a : b : c = 0,663 : 1 : 0,943 \quad \beta = 118^\circ 26'.$$

Die noch vorhandenen Kristalle WAGNERS wurden zu den Röntgenaufnahmen benützt. Aus Drehaufnahmen (Cu Ka-Strahlung, Kameraradius 57,3 mm) ergab sich

$$a = 5,57 \text{ \AA}, \quad b = 8,42 \text{ \AA}, \quad c = 7,93 \text{ \AA}.$$

$$[110] = 10,11 \text{ \AA} (\sqrt{a^2 + b^2} = 10,10 \text{ \AA}).$$

$$[011] = 11,68 \text{ \AA} (\sqrt{b^2 + c^2} = 11,57 \text{ \AA}).$$

Daraus ergibt sich in guter Übereinstimmung mit WAGNER

$$a : b : c = 0,661 : 1 : 0,942.$$

Mit dem spez. Gewicht 1,924 (WAGNER) ist dann

$$Z = 2,04 \sim 2.$$

(010) reflektiert nur in geraden Ordnungen, die übrigen Indizes sind normal. Da ein Piezoeffekt (wenigstens mit der Empfindlichkeit unseres Apparates) nicht feststellbar war, so ist als Raumgruppe $C_{2h}^2 - C_{2v/m}$ anzunehmen.

b) Bromid: Auch hier wurden WAGNERS Kristalle benützt.

$$a = 5,41 \text{ \AA}, \quad b = 8,16 \text{ \AA}, \quad c = 7,35 \text{ \AA},$$

daraus:

$$a : b : c = 0,663 : 1 : 0,901.$$

In der *c*-Achse ist die Verschiedenheit mit WAGNERS Werten

$$a : b : c = 0,665 : 1 : 0,914; \quad \beta = 117^\circ 9'$$

etwas größer.

Mit dem spez. Gewicht 1,594 ist

$$Z = 1,99 \sim 2.$$

Die Raumgruppe ist wie beim Jodid C_{2h}^2 .

Bromid und Jodid sind isomorph. Das Chlorid soll nach WAGNER mit den beiden nicht isomorph sein. Die von WAGNER beschriebenen Kristalle waren leicht zu erhalten, aber alle Versuche, die zerfließlichen Kristalle auf irgendeine Weise für die Röntgenuntersuchung haltbar zu machen, waren bisher vergeblich.

II. Trimethylsulfoniumjodid.

Die Verbindung wurde selbst hergestellt aus $(CH_3)_2S + CH_3J$ durch Kochen am Rückflußkühler unter Wasserzusatz. Durch langsames Abdunsten aus Wasser

wurden Kristalle erhalten, die jedoch durchwegs schlechte Flächen zeigten. Daß $(CH_3)_3SJ$ vorlag, ergab sich aus einer Jodbestimmung.

Auf Grund von Drehaufnahmen wurde die der Ammoniumverbindung entsprechende Aufstellung gewählt. Es ergab sich aus Messungen:

$$\text{Monoklin: } a : b : c = 0,747 : 1 : 1,111; \quad \beta = 126^\circ 51'.$$

An Flächen fanden sich: $\{001\} \{100\} \{011\} \{102\} \{111\}$.

Die Röntgenaufnahmen waren nicht so gut wie bei der Ammoniumverbindung. Sie ergaben:

$$a = 5,96 \text{ \AA}, \quad b = 8,00 \text{ \AA}, \quad c = 8,95 \text{ \AA}.$$

$$[110] = 9,95 \text{ \AA}; \quad (\sqrt{a^2 + b^2} = 9,78 \text{ \AA}).$$

$$[011] = 11,94 \text{ \AA}; \quad (\sqrt{b^2 + c^2} = 12,01 \text{ \AA}).$$

$$a : b : c = 0,745 : 1 : 1,118.$$

Mit dem spez. Gewicht 1,922, das nach der Schwebemethode bestimmt wurde, ist

$$Z = 1,95 \sim 2.$$

Nur (010) reflektiert in geraden Ordnungen, die übrigen Indizes sind normal. Ein Piezoeffekt war nicht feststellbar. Die Raumgruppe ist also $C_{2h}^2 - C_{2v/m}$.

III. Beziehung zwischen Trimethylammonium- und Trimethylsulfoniumjodid.

Die gefundenen Werte zeigen die kristallographische Ähnlichkeit der beiden Verbindungen:

Trimethylammoniumjodid Trimethylsulfoniumjodid

$$a = 5,57 \text{ \AA}$$

$$a = 5,96 \text{ \AA}$$

$$b = 8,42 \text{ \AA}$$

$$b = 8,00 \text{ \AA}$$

$$c = 7,93 \text{ \AA}$$

$$c = 8,95 \text{ \AA}$$

$$= 118^\circ 26'$$

$$= 126^\circ 51'$$

Nur bei der *c*-Achse ist der Unterschied etwas größer. Auch die Raumgruppe stimmt überein.

Die vermutete Ähnlichkeit besteht bei den Methylverbindungen ebenso wie bei den Äthylverbindungen. Es sei noch darauf hingewiesen, daß bezüglich der *b*-Achse zwischen Methyl- und Äthylverbindungen eine weitgehende Annäherung besteht.

Die gemischten Methyl- und Äthylverbindungen, also $(C_2H_5)(CH_3)_2SJ$ und $(C_2H_5)_2(CH_3)SJ$ wurden ebenfalls dargestellt und analytisch bestimmt. Es gelang jedoch bis jetzt trotz vieler Versuche nicht, brauchbare Kristalle zu erhalten. Auch $(CH_3)_3SCl$ und $(CH_3)_3SBr$ waren nicht genügend beständig.

München, Mineralogisches Institut der Universität, den 24. März 1941. F. MUSSGNOG.

¹⁾ Naturwiss. 1940, H. 23, 366.

²⁾ Z. Krist. 43, 170 (1907).

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

2. Mai 1941

Heft 18

Ergebnisse und Probleme aus der Chemie, physikalischen Chemie und Physik der makromolekularen Stoffe¹⁾.

VON E. HUSEMANN, E. PLÖTZE und G. V. SCHULZ, Freiburg i. Br.

Einleitung.

Beginnend mit der Entdeckung GRAHAMS, daß die kleinsten Teilchen einiger Stoffe von solcher Größe sind, daß sie durch Membranen nicht diffundieren können, hat sich ein gewaltiges Gebiet der organischen Chemie entwickelt, die Chemie der makromolekularen Verbindungen. Es gibt heute fast kein Teilgebiet der niedermolekularen organischen Chemie, das nicht seine natürliche Fortsetzung in den Bereich makromolekularer Stoffe besäße. Unter den aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen, den Alkoholen, Äthern, Säuren, Estern, Halogenverbindungen, Aminen, den Nichtelektrolyten und Elektrolyten kommen Stoffe in großer Anzahl vor, deren Molekulargewichte in den Bereich von 10^6 bis 10^7 hineingehen. Eine Reihe der biologisch wichtigsten Stoffe (Proteine, Polysaccharide) sowie Verbindungen, die heute in chemischen Industrien größten Ausmaßes hergestellt werden (Kunststoffe, Zellstoff, Isoliermaterialien, Buna usw.), gehören hierzu, so daß sich eine zunehmende Zahl von wissenschaftlichen und technischen Laboratorien fast aller Staaten mit der Erforschung der chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Stoffklasse beschäftigt.

Als erster zog EMIL FISCHER die Möglichkeit in Betracht, daß eine Reihe von Naturstoffen aus sehr großen Molekülen bestünden, deren Atome durch die normalen Valenzen der organischen Chemie zusammengehalten würden. Er erkannte die Polypeptidstruktur der Eiweißstoffe und vermutete, daß deren Molekulargewichte bis in die Größenordnung von etwa 5000 (bezogen auf $O_2 = 32$) reichten. Im zweiten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts fand man jedoch durch Messung der Diffusion und des osmotischen Druckes, daß die Teilchengrößen bedeutend über die von FISCHER angenommenen hinausgingen. Gleichzeitig ergab die Anwendung der Röntgenmethode, daß die Elementarzellen dieser Verbindungen von gleicher Größe waren wie die der bekannten niedermolekularen Stoffe. Veranlaßt durch den gleichzeitigen Aufschwung, den damals die Kolloidwissenschaft nahm, wandte man sich daher allgemein von den FISCHERSchen Gedankengängen ab und entwickelte die Vorstellung, daß die Teilchen der Proteine, Polysaccharide usw. aus relativ kleinen Molekülen bestünden, die durch andersartige Kräfte als die normalen Haupt-

valenzen zusammengehalten würden. Diese Kräfte sollten gleichzeitig die besonderen äußeren Eigenschaften dieser Stoffe (die hohe Viskosität ihrer Lösungen, ihr eigenartiges Verhalten im festen Zustand usw.) erklären. Demgegenüber vertrat seit 1926 H. STAUDINGER (1), angeregt durch Untersuchungen an synthetischen Hochpolymeren, die Auffassung, daß die Teilchen dieser Verbindungen Moleküle von außerordentlicher Größe seien, deren Bau im Sinne der KÉKULÉschen Strukturlehre zu beschreiben sei. Nicht durch besondere Kräfte, sondern vorwiegend durch die Größe der Moleküle seien die Sondereigenschaften dieser Stoffklasse bedingt. Diese Auffassung konnte sich zunächst nur sehr schwer durchsetzen, doch heute sind die Gedankengänge STAUDINGERS auch von seinen damaligen Gegnern [z. B. HESS (2), K. H. MEYER (3, 4)] im wesentlichen angenommen worden.

Das neue Gebiet erforderte naturgemäß die Entwicklung neuartiger Methoden. Beispielsweise trat bei der Molekulargewichtsbestimmung an die Stelle der Kryoskopie die Messung des osmotischen Druckes, des Sedimentationsgleichgewichts und der Sedimentationsgeschwindigkeit in der Ultrazentrifuge sowie der Viskosität. Die organische Chemie erhielt nun die scharf umrissene Aufgabe, die Größe und den chemischen Bau der Moleküle dieser Verbindungen zu erforschen und die chemischen Prozesse aufzuklären, durch die makromolekulare Stoffe (in vitro und in vivo) entstehen. Aufgabe der physikalischen Chemie war es dann, zu zeigen, wie sich aus der Größe und der speziellen Konstitution dieser Stoffe ihre besonderen Eigenschaften ergeben. Es zeigte sich dabei allgemein, daß diese nicht auf neuartigen Kräften beruhten, sondern daß für das Verhalten makromolekularer Stoffe dieselben Kraftwirkungen und Gesetzmäßigkeiten maßgebend sind, die bereits an den niedermolekularen Stoffen beobachtet wurden, nur quantitativ verändert durch die besondere Größe der Moleküle. Chemie und physikalische Chemie sind daher im hoch- und niedermolekularen Bereich identisch; verschieden sind nur (und zwar nur zum Teil) die angewandten Methoden.

Charakteristisch für das Gebiet ist die Notwendigkeit einer besonders engen Zusammenarbeit von chemischer und physikalisch-chemischer Forschung. Verschiedentlich mußte die physikalische Chemie die Methoden liefern, um an die Bearbeitung der Konstitutionsfragen heranzukommen. Andererseits war die exakte Erforschung quantitativer Gesetzmäßigkeiten daran gebunden, daß

¹⁾ Herrn Professor H. STAUDINGER zu seinem 60. Geburtstag gewidmet.

zunächst die chemischen Grundlagen geklärt waren.

Im folgenden wird versucht, die Grundlagen des Gebietes unter besonderer Berücksichtigung der Methoden und der oft neuartigen Beweisführung darzustellen. Um den Umfang des Artikels nicht zu sehr anschwellen zu lassen, sind die Elektrolyteigenschaften der makromolekularen Stoffe nicht behandelt worden. Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen sind also die hochmolekularen Nichtelektrolyte und die Proteine, sofern sie sich im isoelektrischen Zustand befinden.

I. Konstitution und chemische Eigenschaften makromolekularer Stoffe.

1. Vorbemerkung.

Das Gebiet der makromolekularen Chemie umfaßt alle Stoffe, deren Moleküle mehr als etwa 1000 durch Hauptvalenzen verknüpfte Atome enthalten. Die untere Grenze des Molekulargewichts liegt also bei etwa 10000. Nach oben sind die Werte unbegrenzt; bisher wurden mit Sicherheit Molekulargewichte von mehreren Millionen nachgewiesen.

Eine der wichtigsten Aufgaben der makromolekularen Chemie besteht darin, die Konstitution dieser großen Gruppe von Substanzen aufzuklären, d. h. genau wie bei niedermolekularen Stoffen, die Anzahl und Lage der einzelnen Atome im Molekül zu bestimmen, um eine Strukturformel aufstellen zu können. Zur Erreichung dieses Zieles mußten vielfach neue Methoden ausgearbeitet werden, da die üblichen Verfahren sich wegen der ungewöhnlichen Molekülgröße nicht verwenden ließen.

Im folgenden werden zuerst einige begriffliche Unterschiede zwischen der niedermolekularen und der makromolekularen Chemie erläutert und einige Besonderheiten, die sich aus der Molekülgröße ergeben, behandelt.

Die anschließende Besprechung der Konstitutionsaufklärung makromolekularer Stoffe gliedert sich, entsprechend dem Aufbau aus kleinen Grundbausteinen — den Grundmolekülen — in die Bestimmung des allgemeinen Bauprinzips (Grundmoleküle und ihre Verknüpfungsart, Größe und Gestalt der Moleküle) und die Untersuchung der für die einzelnen Stoffe charakteristischen Einzelheiten (Sondergruppen und Verzweigungen).

2. Besonderheiten bei der Konstitutionsaufklärung makromolekularer Stoffe.

Der Begriff einer makromolekularen Verbindung ist in vielen Fällen weiter gefaßt als bei niedermolekularen Substanzen. Während sich herausgestellt hat, daß die meisten Eiweißstoffe Moleküle bestimmter Größe besitzen, etwa analog den Fettsäuren oder Farbstoffen, umfaßt bei den hochpolymeren Stoffen die Bezeichnung nicht eine einzelne Molekülart, sondern eine Gattung. Unter Cellulose versteht man beispielsweise die gesamte polymerhomologe Reihe der Glucosane, in denen

Glucosereste in linearer Anordnung β -glucosidisch in 1,4-Stellung verknüpft sind¹⁾. Zur Charakterisierung einer bestimmten Cellulose ist also noch die Angabe des Polymerisationsgrades, d. h. der Anzahl der Grundmoleküle, notwendig. Außerdem enthalten diese Substanzen nicht nur Moleküle einer Größe, sondern sind oft polymerhomologe Gemische [STAUDINGER (1)]. Die Polymerisationsgrade sind also Durchschnittswerte, und zur exakten Definierung einer Substanz gehört die Angabe der Verteilung der einzelnen Molekülgrößen in dem Gemisch [G. V. SCHULZ (5)].

Die Bestimmung der Molekulargewichte kann nicht wie bei niedermolekularen Stoffen durch kryoskopische oder ebullioskopische Messungen vorgenommen werden, da die Effekte zu klein sind. Man verwendet zu diesem Zweck daher osmotische oder viskosimetrische Messungen sowie Untersuchungen in der Ultrazentrifuge. (Vgl. Teil II.) Wichtig ist es ferner, die Form der Makromoleküle zu bestimmen, da wegen der großen Anzahl der Grundmoleküle je nach der Art ihrer Verknüpfung (kettenförmig, verzweigt oder vernetzt) Makromoleküle ganz verschiedener Gestalt und damit auch verschiedener Eigenschaften entstehen können. Außer den obengenannten Methoden zur Molekulargewichtsbestimmung, die auch hierüber Aufschluß geben, werden noch Messungen der Strömungsdoppelbrechung und Diffusion verwendet.

Wenn man bedenkt, daß es makromolekulare Substanzen gibt, die Molekulargewichte von mehreren Millionen besitzen, so erscheint es beinahe unmöglich, die Lage der einzelnen Atome im Molekül zu bestimmen. Die Konstitutionsaufklärung wird jedoch dadurch ermöglicht, daß die einzelnen Grundmoleküle nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten miteinander verknüpft sind. Sind diese bekannt, so kann man grundsätzlich eine Strukturformel aufstellen, und es ist nur noch eine Prüfung auf einzelne abweichende Bindungen und Sondergruppen notwendig. Auch hier müssen häufig Spezialmethoden angewendet werden, da der Anteil einer einmal im Molekül vertretenen Gruppe am Gesamtmolekül sehr gering sein kann. Beträgt er z. B. bei einem Molekulargewicht von 1000 10%, so sinkt er bei einem Wert von 100000 auf 0,1% herab, ist also analytisch kaum zu erfassen. Andererseits sind aber so geringe Mengen nicht ohne Einfluß auf die Eigenschaften der Substanzen. So kann man beispielsweise durch Zugabe von 0,02% Divinylbenzol zu Styrol ein Polymerisat erzeugen, das zum Unterschied vom leicht löslichen Polystyrol unlöslich ist [STAUDINGER, HEUER und HUSEMANN (6)]; ebenfalls genügen ganz geringe Spuren von Sauerstoff, um löslichen Kautschuk in unlöslichen überzuführen, da sich zwischen den Fadenmolekülen Sauerstoffbrücken bilden. [STAUDINGER und LEUPOLD (7).]

¹⁾ Vgl. Tabelle 1 und Formel II auf Seite 263.

Eine eindeutige Bestätigung für eine Konstitutionsformel ist bei niedermolekularen Substanzen erbracht, wenn der durch übersichtliche Synthese hergestellte Stoff mit der untersuchten Substanz in einigen Eigenschaften, insbesondere im Schmelzpunkt, übereinstimmt. Diese Kontrollmöglichkeit fällt bei makromolekularen Stoffen weg, denn es ist unmöglich, mehrere tausend Grundmoleküle stufenweise zu verknüpfen. Bei dem Versuch Proteine zu synthetisieren, gelangte z. B. EMIL FISCHER (8) durch mühevollen Arbeit bis zu einem Molekulargewicht von etwa 1200, einem Wert, der, wie wir heute wissen, um mehr als eine Größenordnung unterhalb des der nativen Proteine liegt. Abgesehen davon, sind Schmelzpunktbestimmungen zur Charakterisierung makromolekularer Stoffe nicht geeignet, da diese Substanzen teilweise wie Gläser innerhalb eines Intervalls erweichen oder sich unterhalb des Schmelzpunktes zersetzen.

Auch bei der *Reindarstellung* der Substanzen macht sich ein Unterschied zwischen hoch- und niedermolekularen Stoffen geltend. Umkristallisationen, die in der niedermolekularen Chemie häufig ausgeführt werden, sind bei makromolekularen Stoffen in der Regel nicht möglich; an ihre Stelle treten Umfällungen durch Eingießen der Lösungen in ein Nichtlösungsmittel (Fällungsmittel). Zur Abtrennung von niedermolekularen Anteilen werden Dialysen oder Elektrodialysen ausgeführt. Die Trennung von ähnlichen Stoffen, die sich in der Löslichkeit unterscheiden, erfolgt durch fraktionierte Fällungen — stufenweise Zugabe von Nichtlösungsmitteln oder Elektrolyten zur Lösung — oder mittels der präparativen Ultrazentrifuge. Die Anforderungen, die an die Reinheit der Substanzen gestellt werden, sind auf makromolekularem und niedermolekularem Gebiet etwa gleich. Die Forderung einer einheitlichen Molekülgröße fällt bei polymolekularen Stoffen selbstverständlich weg.

3. Identifizierung der Grundmoleküle und Bestimmung der Art ihrer Verknüpfung.

Die makromolekularen Verbindungen lassen sich in 2 Gruppen teilen. Die erste umfaßt diejenigen Verbindungen, in denen sich nur ein Grundmolekül wiederholt; sie werden als hochpolymer bezeichnet. Es gehören hierher viele Polysaccharide, Kautschuk und Balata sowie Polymerisations- und Kondensationsprodukte. In die zweite Gruppe fallen diejenigen Verbindungen, deren Moleküle verschiedenartige Grundmoleküle enthalten, also z. B. Eiweißstoffe, die komplexen Polysaccharide¹⁾, Mischpolymerisate und viele Polykondensationsprodukte.

Die Konstitution hochpolymerer Verbindungen ist bekannt, wenn das Grundmolekül und die Art der Verknüpfung festgestellt ist, während bei den anderen Substanzen auch die Reihenfolge der Grundmoleküle bestimmt werden muß. Es ist aus diesem Grunde verständlich, daß die Unter-

¹⁾ Über die Einteilung in einfache und komplexe Polysaccharide vgl. TOLLENS-ELSNER, Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1935, S. 533.

suchung der Substanzen der ersten Gruppe weiter fortgeschritten ist. Insbesondere haben die Polymerisationsprodukte aus einem Monomeren wegen ihrer übersichtlichen Struktur und ihrer Beständigkeit in den grundlegenden Untersuchungen STAUDINGERS (9) als Modellsubstanzen für die komplizierter gebauten und häufig empfindlichen Naturstoffe gedient.

Zur Bestimmung der Grundmoleküle werden die makromolekularen Verbindungen durch Säuren oder Fermente hydrolysiert (Polysaccharide und Eiweißstoffe), oxydativ abgebaut (Kautschuk) oder thermisch depolymerisiert (Polymerisate) und die monomeren Spaltstücke nach den üblichen Methoden identifiziert. Der sicherste Beweis dafür, daß ein Spaltstück als Grundmolekül am Aufbau der Substanz beteiligt ist, ist dann erbracht, wenn die verschiedenen Spaltungsmethoden zum gleichen Endprodukt führen.

Das Ergebnis einer großen Zahl von Untersuchungen läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

Bei der Hydrolyse von Polysacchariden wurden bisher die 4 Hexosen — Glucose, Mannose, Galaktose und Fructose — und die beiden Pentosen — Xylose und Arabinose — identifiziert (10). Die Mehrzahl der Polysaccharide gehört zur Gruppe der eigentlichen hochpolymeren Verbindungen. Beispielsweise enthalten Cellulose, Stärke, Glykogen und Lichenin nur Glucose, die Mannane aus Steinnüssen und Orchideenknollen nur Mannose, und Inulin, Irisin und Graminin nur Fructose. Zu den komplexen Polysacchariden (10) gehören dagegen das Konjak-Mannan, das Mannose und Glucose zu gleichen Teilen enthält, die Xylane verschiedener Herkunft, in denen Arabinose neben Xylose nachgewiesen wurde (11, 12), ferner das Arabogalaktan aus Lärchenholz, das neben Galaktose 11% Arabinose enthält (13). Kautschuk und Balata enthalten als einzigen Baustein Isopren, da bei der Ozonisation nur Lävulin-aldehyd aufgefunden wurde [HARRIES (14)].

Viel komplizierter als bei Polysacchariden und Kautschuk liegen die Verhältnisse bei Eiweißstoffen, unter deren Hydrolyseprodukten bis jetzt etwa 30 Aminosäuren aufgefunden wurden. Genaue Bausteinanalysen, die jetzt auf optischem Wege relativ einfach durchzuführen sind (15), haben ergeben, daß in den Molekülen der Proteine zahlreiche Aminosäuren nebeneinander enthalten sind. Durch diese Tatsache wird die Konstitutionsaufklärung der Eiweißstoffe sehr erschwert, und es scheint beinahe unmöglich zu sein, in einem derartig komplizierten Molekül die Lage der einzelnen Atome zu bestimmen. Jedoch hat sich gezeigt, daß die Aminosäuren nach ganz bestimmten Gesetzmäßigkeiten angeordnet sind, so daß sich kleinere oder größere Gruppen periodisch im Molekül wiederholen (vgl. S. 268). Dieser Befund, auf den später genauer eingegangen wird, rückt die vollständige Konstitutionsaufklärung der Eiweißmoleküle in den Bereich der Möglichkeit.

Das Verknüpfungsprinzip der Grundmoleküle läßt sich durch verschiedene Methoden aufklären. Der sicherste Beweis besteht in der Isolierung und Identifizierung von zwei- und mehrgliedrigen Bruchstücken unter den Abbauprodukten, in denen also noch eine oder mehrere der ursprünglichen Bindungen vorhanden sind. Bei den *Eiweißstoffen* hat bekanntlich EMIL FISCHER (8) die Verknüpfung der Aminosäuren durch Polypeptidbindung auf Grund eines Vergleiches solcher Spaltstücke mit synthetischen Polypeptiden bewiesen.

Bei *Polysacchariden* konnte in ähnlicher Weise aus dem Auftreten von Cellobiose, Cellotriose, Cellotetraose usw. unter den Abbauprodukten der Cellulose geschlossen werden [WILLSTÄTTER und ZECHMEISTER (16)], daß die Glucosereste in 1,4-Stellung β -glucosidisch verknüpft sind. Bei Stärke und Glykogen muß dagegen α -glucosidische Bindung vorliegen, da bei dem Abbau Maltose entsteht. Die Verknüpfung der Monosen an den Kohlenstoffatomen 1 und 4 liegt bei der Mehrzahl der Polysaccharide vor. Eine Ausnahme stellt z. B. das Inulin dar, bei dem nach HAWORTH (17) 1,2-Bindung vorliegt.

Bei *Polymerisationen* ergibt sich die Bindungsart im allgemeinen aus dem Verschwinden der Doppelbindung des Monomeren während der Polymerisation. Auf die Identifizierung der Spaltstoffe wird in anderem Zusammenhang eingegangen.

Die Bindungsart in den *Polykondensaten* ist leicht festzustellen, da die sog. funktionellen Gruppen der Ausgangsprodukte, an denen die Kondensation erfolgt (bei Oxyssäuren z. B. Hydroxyl- und Carboxylgruppen) im Verlauf der Reaktion verschwinden [KIENLE, CAROTHERS (18)].

Die wichtigsten Bindungsprinzipien makromolekularer Stoffe sind in Tabelle 1 zusammen-

gestellt. Man ersieht aus der Übersicht, daß bei Polymerisationen Kohlenstoffketten entstehen, während z. B. bei Polysacchariden die einzelnen Zuckerreste durch Sauerstoffbrücken verknüpft sind. Eiweißstoffe und synthetische Polykondensate enthalten Polypeptid- bzw. Esterbindungen.

4. Bestimmung des chemischen und physikalischen Molekulargewichtes.

Methoden. Unter dem Molekulargewicht versteht man in der makromolekularen ebenso wie in der niedermolekularen Chemie das Gewicht der Summe aller durch Hauptvalenzen gebundenen Atome bezogen auf $O_2 = 32$. Die Bestimmung dieser Größe erfolgt genau wie auf niedermolekularem Gebiet durch Kombination physikalischer und chemischer Methoden; nur treten wegen der Größe der Moleküle an die Stelle von Kryoskopie und Ebullioskopie osmotische Bestimmungen, Untersuchungen in der Ultrazentrifuge [SVEBERG (19)] und Viskositätsmessungen [STAUDINGER (9)]. Durch diese physikalischen Methoden läßt sich das Gewicht in den Lösungen vorhandenen Einzelteilchen bestimmen, das sog. physikalische Molekulargewicht. Die Frage, ob in einem Teilchen alle Atome hauptvalenzmäßig gebunden sind, d. h. ob chemisches und physikalisches Molekulargewicht übereinstimmen, ist in der Regel bei niedermolekularen Substanzen leicht zu beantworten, da aus der Synthese die Bindungsart der Atome bekannt ist. Bei makromolekularen Verbindungen fällt dieses Kriterium weg. Eine Entscheidung über die Bindungsart der Grundmoleküle läßt sich hier auf Grund der verschiedenen Festigkeit von Haupt- und Nebenvalenzbindungen treffen. Ein chemisches Molekül

Tabelle 1. Bindungsarten bei makromolekularen Stoffen.

Grundmolekül	Makromolekül	Art der Bindung
$\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{R} \\ \text{Vinylderivat} \end{array}$	$\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{R} \quad \quad \text{R} \quad \quad \text{R} \quad \quad \text{R} \\ \text{Vinylpolymerisat} \end{array}$	Kohlenstoffkette
$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 \\ \text{Isopren} \end{array}$	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}- \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \\ \text{Kautschuk (Polyisopren)} \end{array}$	Kohlenstoffkette mit Doppelbindungen
$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ \text{Monosaccharid} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{CH}_2\text{OH} \\ \text{Polysaccharid} \end{array}$	Glucosidbindung
$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{COOH}$ <p>Oxysäure</p>	$\text{HO}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OOH}$ <p>Polyester</p>	Esterbindung
$\begin{array}{c} \text{NH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{R} \\ \text{Aminosäure} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \text{R} \quad \quad \text{R} \\ \text{Protein} \end{array}$	Polypeptidbindung

ändert sein Grundskelett nicht, wenn die zwischenmolekularen Kräfte durch Substitution einzelner Gruppen oder Verwendung anderer Lösungsmittel variiert werden, da die Hauptvalenzbindungen sehr fest sind. Anders verhalten sich Mizellen, d. h. Aggregate kleinerer Moleküle, die durch VAN DER WAALSsche Kräfte zusammengehalten werden. Die Kräfte sind an bestimmte Gruppen gebunden; verändert man diese durch Substitution, dann tritt ein Zerfall in die Moleküle ein. So sind z. B. Fettsäuren

STAUDINGER (21) auf Grund von derartigen Überlegungen die „polymeranalogen Umsetzungen“ ausgearbeitet. Der Methode liegt folgendes Prinzip zugrunde. Es werden an makromolekularen Verbindungen chemische Umsetzungen durchgeführt und die Polymerisationsgrade von Ausgangsstoff und Umsetzungsprodukt (osmotisch, viskosimetrisch oder mittels der Ultrazentrifuge) bestimmt. Erhält man in beiden Fällen gleiche Werte, so ist damit bewiesen, daß die physikalischen Molekular-

Tabelle 2. Polymeranaloge Umsetzungen an Kartoffelstärken.

Stärken ¹⁾		Stärketriacetate		Methylstärken aus Triacetaten		Methylacetylstärken		Stärken aus Triacetaten	
M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
30 000	185	55 000	190	36 000	200	—	—	30 000	185
62 000	380	111 000	390	—	—	—	—	—	—
91 000	560	150 000	540	112 000	570	136 000	590	92 000	570
152 000	940	275 000	960	—	—	—	—	140 000	870

in organischen Lösungsmitteln zu Doppelmolekülen assoziiert. Verestert man die Carboxylgruppen, so tritt die Bildung von Doppelmolekülen nicht mehr ein, da die wirksamen Gruppen hierdurch blockiert werden. Ganz ähnlich wirkt sich ein Wechsel des Lösungsmittels aus, da die Bildung von Aggregaten von der Größe der VAN DER WAALSschen Kräfte zwischen den gelösten Molekülen untereinander und zwischen Molekülen von Lösungsmittel und gelöstem Stoff abhängt (vgl. Teil II).

Bekannt sind die Verhältnisse bei Seifen (20). In Wasser bilden sich wegen der überwiegenden Anziehungskräfte der Ketten aufeinander Mizellen; in organischen Lösungsmitteln tritt jedoch ein Zerfall in Einzelmoleküle ein, da die gegenseitigen Anziehungskräfte überwunden werden.

Im gleichen Sinne wirkt sich eine Temperaturerhöhung aus. So nimmt z. B. bei Kongorot, Seifen und Gelatine das Mizellgewicht mit steigender Temperatur ab.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß es unter geeigneten Bedingungen gelingen muß, eine eindeutige Entscheidung zwischen Molekülen und Mizellen zu treffen. Zu diesem Zweck wurden von

gewichte mit den chemischen übereinstimmen. Als besonders übersichtliches Beispiel seien Umsetzungen an einer polymerhomologen Reihe hydrolytisch abgebauter Stärken angeführt [STAUDINGER und HUSEMANN (22)]. Die wichtigsten Daten sind in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Die Tabelle 2 zeigt, daß es gelingt, die Hydroxylgruppen der Stärken zu acetylieren, die Acetate in Methyläther überzuführen und die noch verbleibenden Hydroxylgruppen wieder zu acetylieren, ohne daß dadurch eine Veränderung des Polymerisationsgrades erfolgt. Gleichfalls läßt sich das Acetat durch Verseifen in das Ausgangspolysaccharid zurückverwandeln. In der Tabelle bedeutet M das osmotisch bestimmte Molekulargewicht, P den Polymerisationsgrad. Bei diesen Vorgängen ändern sich die Moleküle in chemischer Hinsicht ganz erheblich, wie ein Vergleich der Grundmolekulargewichte und der Löslichkeiten der einzelnen Glieder der Umsetzungsreihe in der Tabelle 3 zeigt.

Auch ein Wechsel des Lösungsmittels bewirkt keine Änderung des Polymerisationsgrades. So wurden — um bei dem genannten Beispiel zu bleiben — die Stärkeacetate in Aceton und Chloro-

Tabelle 3. Änderungen der Grundmoleküle der Stärke bei polymeranalogen Umsetzungen.

	Stärke ¹⁾	Stärketriacetat	Methylstärke	Methylacetylstärke
Grundmolekül	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ -\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{CH} \quad \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CCOO} \quad \text{OOCCH}_3 \\ \quad \\ -\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{CH} \quad \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OOCCH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OCH}_3 \\ \quad \\ -\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{CH} \quad \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OCH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{CCOO} \quad \text{OCH}_3 \\ \quad \\ -\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{CH} \quad \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{OCH}_3 \end{array}$
Grundmolekulargewicht	162	288	190	232
Löslich in	Natronlauge Formamid Chloralhydrat	Chloroform Aceton	Wasser Chloroform	Aceton Chloroform

¹⁾ Die in dieser Spalte angeführte polymerhomologe Reihe von Stärken wurde durch hydrolytischen Abbau und Fraktionierung hergestellt.

form, die Methylstärken in Wasser und Chloroform und die Methylacetylstärke in Aceton und Chloroform osmotisch gemessen. Immer wurde der gleiche Durchschnittspolymerisationsgrad gefunden.

Diese Untersuchungen beweisen eindeutig, daß die osmotisch wirksamen Teilchen in den Lösungen von Stärken und Derivaten Einzelmoleküle und keine Mizellen sind. Der gleiche Beweis wurde in ähnlicher Weise für eine Reihe weiterer Polysaccharide, für Kautschuk und Balata sowie einige Polymerisate erbracht (vgl. Tabelle 4). Zur Erhöhung der Beweiskraft wurden die polymeranalogen Umsetzungen nicht nur an einem Produkt, sondern jeweils an mehreren Gliedern der polymerhomologen Reihen durchgeführt. Der Bereich, innerhalb dessen die Polymerisationsgrade variiert wurden, ist in der 3. Spalte angegeben.

Tabelle 4. Polymeranaloge Umsetzungen an makromolekularen Stoffen.

Ausgangsstoff	Polymeranalogenes Derivat	Polymerisationsgrade von bis
Polyinden (23)	Hydropolyinden	20— 53
Polystyrol (24)	Hydropolystyrol	
Polyvinylacetat (25)	Polyvinylalkohol	870—1770
Kautschuk (26)	Hydrokautschuk	
Balata (26)	Hydrobalata	750
Cellulose (27)	Celluloseacetat	190—1770
Cellulose (28)	Cellulosenitrat	76—2000
Stärke (22)	Stärkeacetat	190—1760
Glykogen (29)	Glykogenacetat	400—5000
Lichenin (30)	Licheninacetat	260— 365
Salepmannan (31)	Mannannitrat	46—1200
Xylan (32)	Benzylacetylxylylan	150
Arabo-Galaktan (32)	Arabo-Galaktanacetat	218— 267

Die Polymerisationsgrade der einzelnen Produkte wurden in den meisten Fällen osmotisch bestimmt. Bei Cellulosen erzielte man die Resultate durch Viskositätsmessungen, da die Lösungen für osmotische Bestimmungen zu luftempfindlich sind. KRAEMER und LANSING (34) bestätigten die Ergebnisse bei Untersuchungen von Cellulose und Celluloseacetat in der SVEDBERGSchen Ultrazentrifuge. Der makromolekulare Bau der Nitrocellulose ergibt sich außerdem aus den osmotischen Messungen in verschiedenen Lösungsmitteln, die A. DOBRY (35) durchführte, wobei sich stets die gleichen Molekulargewichte ergaben. Auch durch Temperaturerhöhung findet in den Lösungen von Nitrocellulose und Polystyrol keine Verkleinerung der Teilchen statt [G. V. SCHULZ (36)].

Bei Eiweißstoffen ist die Frage nach dem Bau der Teilchen noch nicht ganz geklärt. Durch osmotische Messungen [SÖRENSEN (37), ADAIR (38), BURK u. GREENBERG (39)] und insbesondere durch Untersuchungen in der Ultrazentrifuge [SVEDBERG (19)] wurde nachgewiesen, daß die Teilchengewichte sehr hoch sind. Für Hämocyanine ergaben sich z. B. Werte von 6,7 Millionen und für

Virusproteine solche bis zu 20 Millionen. Die Frage, ob hier Einzelmoleküle oder Mizellen vorliegen, ist jedoch noch nicht entschieden. Die Beantwortung wird dadurch erschwert, daß in vielen Eiweißstoffen Disulfidbindungen vorhanden sind, die leicht reversibel in SH-Gruppen übergehen. Eine Unterscheidung zwischen Haupt- und Nebervalenzbindungen ist aus diesem Grunde nicht durch polymeranaloge Umsetzungen zu treffen, sondern durch genaue Untersuchungen über das evtl. Auftreten neuer SH- oder anderer Gruppen bei Aufspaltungen. Die Labilität von Eiweißstoffen geht z. B. aus Arbeiten von BURK und GREENBERG sowie STEINHARDT (39) hervor, welche zeigten, daß die Teilchen vieler Proteine bei Zusatz von Harnstoff in charakteristischer Weise zerfallen; z. B. wird Hämoglobin genau halbiert. Auch andere Substanzen wirken dissoziierend auf Proteine ein. Helixhämocyanin zerfällt z. B. nach BROHULT (40) in Lösungen von Glucose, Rohrzucker und Pentaerythrit sowie Glycerin. Bei diesen Aufspaltungen wurde in manchen Fällen das Auftreten neuer SH-Gruppen beobachtet, so daß man eine Spaltung von Disulfidbindungen annehmen muß. Bei manchen Stoffen gelang dieser Nachweis jedoch nicht. Möglicherweise bewirken hier eiweißfremde Moleküle oder Nebervalenzbindungen an bestimmten Gruppen den Zusammenhalt der Teilchen. PEDERSEN (19) nimmt als Arbeitshypothese an, daß die Einheiten von 17600 bzw. 35200, die stabil sind, durch einen nichtproteinartigen „Kitt“ zusammengehalten werden. Die Rolle der verknüpfenden Substanzen sollen z. B. die Nukleinsäuren und die Kohlehydrate und Phosphatide spielen, die als Sondergruppen in den Proteinen enthalten sind (vgl. S. 269).

Endgruppenbestimmung. Eine weitere Methode zum Vergleich von chemischem und physikalischem Molekulargewicht besteht in der quantitativen Erfassung des Gehaltes einer Substanz an Endgruppen oder auch Fremdgruppen, die nur 1- bzw. 2-mal im Molekül enthalten sind. Das Prinzip derartiger Methoden sei an Polyoxymethylen erläutert:

Formel I.



Wie aus der Formel I ersichtlich ist, sind an beiden Kettenenden Hydroxylgruppen, während sich innerhalb der Kette Methylengruppen und Sauerstoffatome abwechseln. Da jedes Molekül unabhängig vom Molekulargewicht zwei Hydroxylgruppen besitzt, nimmt deren Anteil am Gesamtmolekül mit steigender Kettenlänge ab. Die quantitative Erfassung dieser Endgruppen kann aus diesem Grunde zur Bestimmung des Polymerisationsgrades benutzt werden.

STAUDINGER und Mitarbeiter (41), die als erste eine derartige Methode bei makromolekularen Verbindungen ausarbeiteten, gingen folgendermaßen vor. Sie stellten durch Fraktionieren eine polymerhomologe Reihe von Polyoxymethylen-dimethyläthern her und bestimmten an jedem Glied der Reihe den Gehalt an Methoxyl und Formalde-

hyd bei der Zersetzung. Die aus diesen Werten errechneten Molekulargewichte wurden mit den durch kryoskopische Messungen erhaltenen verglichen. Aus der Übereinstimmung der nach beiden Methoden gewonnenen Daten ergab sich, daß bei den Polyoxymethylenen physikalisches und chemisches Molekulargewicht identisch sind (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5. Polyoxymethyldimethyläther.

Formaldehydgehalt		Methyläthergehalt		Mol.-Gew.	
berechnet	gefunden	berechnet	gefunden	chemisch	kryoskop.
%	%	%	%		
79,6	79,2	20,4	18,5	226	240
87,8	86,9	12,2	12,4	376	360
93,7	92,7	6,3	5,5	736	650
98,1	98,0	1,9	1,9	2446	2490
98,5	98,4	1,5	1,6	3046	2950

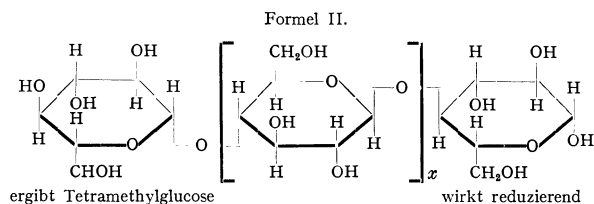
Derartige Endgruppenbestimmungen sind in der Folgezeit besonders in der Polysaccharidchemie häufig angewendet worden. Bei der Beurteilung der Ergebnisse muß jedoch berücksichtigt werden, daß ganz bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen, wenn Irrtümer vermieden werden sollen (42). Es muß in jedem Fall nachgewiesen werden, daß die „Endgruppe“ nur 1- bzw. 2mal im Molekül vorhanden ist. Die Nichtbeachtung dieser Voraussetzung hat z. B. dazu geführt, daß E. SCHMIDT (43) aus dem Carboxylgehalt von 0,28% für die Cellulose einen Polymerisationsgrad von 96 berechnete, in der irrigen Annahme, daß diese eine einbasische Säure sei. Ebenso hielten HAWORTH und Mitarbeiter (44) die beiden Polysaccharide Stärke und Glykogen für Assoziationsprodukte kurzer Ketten vom Polymerisationsgrad 25—30 bzw. 12—18 wegen ihres hohen „Endgruppengehaltes“. Die entsprechenden Gruppen sind jedoch, wie unten näher ausgeführt wird, infolge von Verzweigungen mehrmals im Molekül enthalten, so daß die Schlußfolgerungen völlig verfehlt sind. Ferner muß sichergestellt sein, daß die gesuchte Gruppe wirklich im Molekül vorhanden ist. Diese Voraussetzung ist bei nativen Stoffen nur sehr schwer zu erfüllen. Es ist also nicht zulässig, aus dem Fehlen der Endgruppe auf sehr hohe Molekulargewichte zu schließen, wie z. B. K. HESS (45) bei Baumwollcellulose.

Liegen jedoch unverzweigte Fadenmoleküle mit bekannten Endgruppen vor, so besitzen derartige chemische Molekulargewichtsbestimmungen als Kontrolle für die physikalischen Methoden große Bedeutung.

Es sollen hier einige Beispiele gebracht werden, in denen derartige Bestimmungen erfolgreich durchgeführt wurden. In der polymerhomologen Reihe der Polyoxydekansäuren, die an einem Kettenende eine Carboxylgruppe tragen, bestimmten CAROTHERS und VAN NATTA (46) durch Titration die Carboxylgehalte und berechneten daraus die Molekulargewichte. Sie stellten fest, daß die so erhaltenen Werte mit den kryoskopischen übereinstimmten. Zu dem gleichen

Ergebnis kamen STAUDINGER und NUSS (47) an Polyoxyundekansäuremethylestern. Auch hier stimmten die aus den Methoxygehalten berechneten chemischen Molekulargewichte mit den physikalischen überein, wenn unverzweigte Ketten vorhanden waren.

Polysaccharide besitzen entsprechend der Formel II am einen Ende ein reduzierendes Grundmolekül, am anderen einen Zuckerrest, der vier freie Hydroxylgruppen besitzt gegenüber drei Hydroxylgruppen bei den Mittelgliedern der Kette. Beide Endgruppen sind zur Bestimmung des Molekulargewichtes verwendet worden.



BERGMANN und MACHEMER (47 a) haben beispielsweise versucht, durch Titration mit Hypojodid die reduzierende Gruppe zu bestimmen. Es findet jedoch hierbei ein Abbau statt, so daß zu niedrige Werte erhalten werden. Mit einer ähnlichen Methode gelang es STAUDINGER und EDER (48) unter besonders milden Bedingungen Endgruppenbestimmungen an Cellulosen bis zu einem Molekulargewicht von 15000 durchzuführen. Die dabei erhaltenen Werte stimmten mit den durch osmotische und viskosimetrische Messungen erhaltenen überein.

Eine Methode zur Bestimmung der nicht-reduzierenden Endgruppe wurde von HAWORTH und MACHEMER (49) ausgearbeitet. Die Autoren stellten den Methyläther her, unterwarfen ihn der Hydrolyse und trennten die geringe Menge Tetramethylglucose, die aus der Endgruppe stammt, von der Trimethylglucose ab. Auch hier erhält man nur Mindestwerte, die jedoch bei Cellulosen mit den auf anderen Wegen erhaltenen Molekulargewichten in der Größenordnung übereinstimmen. Die andersartigen Ergebnisse bei Stärke und Glykogen werden später behandelt.

Bei Proteinen, die im allgemeinen einen komplizierteren Bau besitzen, lassen sich Endgruppenbestimmungen nicht durchführen. Die Bestimmung von Mindestmolekulargewichten gelingt jedoch in analoger Weise durch quantitative Erfassung von Fremdelementen oder Gruppen, die nur in geringer Menge im Protein vorhanden sind (50). Bei vielen Substanzen eignet sich die Bestimmung des Schwefelgehaltes zu diesem Zweck, bei Hämoglobinen die von Eisen. Auch seltene Aminosäuren lassen sich verwenden, wenn die Analysen mit der notwendigen Genauigkeit durchgeführt werden können. Die sichersten Resultate werden durch einen Vergleich der durch Bestimmung verschiedener Gruppen gefundenen Werte erhalten; es lassen sich hierdurch manche niedrigen Werte ausscheiden, da jedes Atom mindestens einmal im Eiweißmolekül vorhanden sein

muß. Die auf diesem Wege ermittelten Mindestmolekulargewichte liegen in den meisten Fällen unterhalb der mit der Ultrazentrifuge bestimmten Werte. Bei Eieralbumin, Hämoglobin und Kasein wurde Übereinstimmung erzielt [COHN, HENDRY und PRENTISS (51)]. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit dem oben erwähnten Strukturvorschlag von PEDERSEN.

Molekulargewichte natürlicher und synthetischer makromolekularer Stoffe. Die große Anzahl der nach verschiedenen Methoden durchgeführten Molekulargewichtsbestimmungen ermöglicht es heute einen Überblick über die Polymerisationsgrade von natürlichen und synthetischen makromolekularen Stoffen.

Für Naturstoffe lassen sich in vielen Fällen nur Mindestwerte angeben, da die Isolierung und Reinigung häufig mit einem Abbau der Moleküle verbunden ist (Kautschuk, Cellulose, Stärke, Glykogen, Lichenin). Die Molekulargewichte des Xylans und der Mannane kommen den nativen Produkten zu, da bei der Isolierung kein Abbau stattfindet (Tabelle 6).

Tabelle 6. Molekulargewichte und Polymerisationsgrade von Polysacchariden und Kautschukarten.

Substanz	Molekulargewicht	Polymerisationsgrad
Cellulose aus Baumwolle (52)	480000	3000
Cellulose aus Holz (53)	240000	1500
Stärke (22)	280000	1700
Glykogen (29)	320000	2000
Salepmannan (31)	210000	1300
Lichenin (30)	60000	350
Arabo-Galaktan aus Lärchenholz (32)	35000	220
Mannan aus Fichtenholz (32)	26000	160
Xylan aus Buchenholz (32)	21000	150
Inulin aus Dahlienknollen (54)	5000	30
Kautschuk (26)	290000	5000
Guttapercha (26)	135000	2000
Balata (26)	100000	1500

Aus der Tabelle 6 ist zu erkennen, daß die Polymerisationsgrade von Cellulose, Stärke, Glyko-

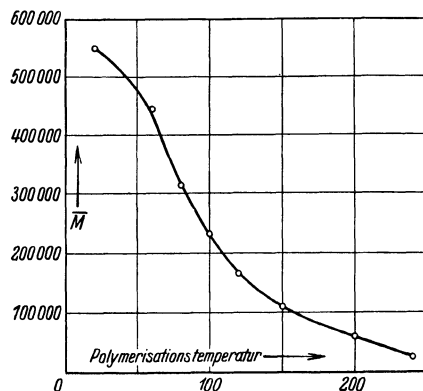


Fig. 1. Mittleres Molekulargewicht von Polystyrolen in Abhängigkeit von der Polymerisationstemperatur.

gen, Salepmannan und den Kautschukarten in der gleichen Größenordnung liegen, während Lichenin, die Xylane und Fichtenmannan sowie die Fructosane sehr viel kleinere Moleküle besitzen.

Bei synthetischen Polymerisations- und Polykondensationsprodukten hängen die Polymerisationsgrade weitgehend von den Herstellungsbedingungen ab. Die Fig. 1 erläutert diese Tatsache bei Polystyrolen. Es werden umso höhermolekulare Produkte erhalten, bei je niedriger Temperatur die Polymerisation durchgeführt wurde [SCHULZ und HUSEMANN (55)].

Anders liegen die Verhältnisse bei Polykondensationen. Bei Verwendung von Monomeren mit zwei funktionellen Gruppen, z. B. Oxy Säuren, bei denen nur Fadenmoleküle entstehen können, bildet sich ein Kondensationsgleichgewicht [SCHULZ (55 a)], auf Grund dessen nur Produkte mit relativ niederen Molekulargewichten entstehen können¹⁾. Da die Reaktion auf einer Wasserabspaltung beruht, werden die Polymerisationsgrade um so größer, je höher die Polymerisationstemperatur ist und je besser dabei das Reaktionswasser abgeführt wird. Als Beispiel seien die Versuche von KRAEMER und VAN NATTA (46) an Polyoxydekansäuren angeführt.

Tabelle 7. Abhängigkeit des Molekulargewichtes von Polyoxydekansäuren von den Herstellungsbedingungen.

Herstellungsbedingungen	Molekulargewicht
1 ¹ / ₂ Stunden 150–175°	4 170
8 Stunden 200°, 1 mm Hg	
7 Stunden 120–175°, 1 mm Hg	
25 Stunden 225°, 1 mm Hg	9 331
30 Stunden 230° im Molekularkolben	
	20 700

Enthalten die Monomeren mehr als zwei funktionelle Gruppen, so bilden sich infolge von Vernetzungen dreidimensionale, meist unlösliche Makromoleküle. Als Beispiele seien die Glyptalharze aus Glycerin und Phtalsäure sowie die Bakelite aus Phenol und Formaldehyd erwähnt. Von den Naturstoffen gehört möglicherweise das Lignin zu dieser Gruppe von Polykondensaten [FREUDENBERG (56)].

Außerordentlich interessante Gesetzmäßigkeiten über die Teilchengewichte von Proteinen fanden SVEDBERG und Mitarbeiter (19) mit Hilfe der Ultrazentrifuge. Es ergab sich aus einer großen Zahl von Untersuchungen, daß bei löslichen Proteinen, insbesondere bei respiratorischen Eiweißstoffen, die Teilchengewichte ganzzahlige Vielfache von 17600 sind. Sie lassen sich durch die Gleichung $M = n \cdot 17600$ darstellen, wobei $n = 1, 2, 4, 6, 8, 16, 24, 48, 96, 192, 384$ (vgl. Tabelle 8).

Diese von SVEDBERG aufgefundenen Gesetzmäßigkeiten gilt zwar nicht ohne Ausnahmen, aber ihre Gültigkeit bis zu Teilchengewichten von 6,7 Milli-

¹⁾ Vgl. auch Teil II.

Tabelle 8. Vergleich der Teilchengewichte von Proteinen mit den berechneten Werten für $n = 2$ und 4 .

Protein	Teilchengewicht	Protein	Teilchengewicht
Zein	40000	Hämoglobin (Pferd)	68000
Laktoglobulin	38000	Hämoglobin (Mensch)	63000
Pepsin	37300	Serumalbumin (Pferd)	69000
Insulin	38000	Gelbes Ferment	80000
Ovalbumin	40500	Diphtherietoxin	72000
berechn. f. $n=2$	35200	berechnet für $n = 4$	70400

onen ist zu auffallend, als daß sie auf einem Zufall beruhen könnte.

Polymolekularität. Die durch Polymerisations- bzw. Polykondensationsvorgänge hergestellten makromolekularen Substanzen enthalten nicht Moleküle gleicher Größe, sondern sind polymerhomologe Gemische [STAUDINGER (4)]. Die genaue Untersuchung dieser als Polymolekularität¹⁾ bezeichneten Erscheinung hat zu interessanten Ergebnissen geführt. Durch quantitative Bestimmung der Menge der einzelnen Polymerisationsgrade in einem Polymerisat konnte G.V. SCHULZ (5) zeigen, daß die statistische Verteilung der Molekulargewichte in gesetzmäßiger Weise mit dem Bildungsmechanismus der Stoffe verknüpft ist. Die Fig. 2 zeigt die durch fraktionierte Fällung erhaltene Massenverteilungsfunktion eines Polystyrols, um den Grad der Uneinheitlichkeit zu veranschaulichen.

Die interessante Frage, ob die natürlichen makromolekularen Stoffe einheitlich oder polymolekular sind, ließ sich in vielen Fällen bereits beantworten. Die Mehrzahl der Eiweißstoffe besitzt nach den Untersuchungen in der Ultrazentrifuge Teilchen einheitlicher Größe. Zu den gleichen Ergebnissen führten fraktionierte Fällungen an Xylanen aus Stroh und Buchenholz sowie Mannan aus Fichtenholz [HUSEMANN (32)]; für Cellulosen ist diese Frage bisher nicht eindeutig entschieden worden, da es nicht gelang, sie ohne Abbau zu isolieren. Jedoch spricht der Befund von G. V. SCHULZ (5), daß eine Nitrocellulose viel einheitlicher ist als ein Polymerisat, dafür, daß auch hier Moleküle einheitlicher Länge gebildet wurden. Nach einer Untersuchung von STAUDINGER und KL. FISCHER (57) ist auch Kautschuk aus den Wurzeln von Pfaffenhütchen (EVONIMUS) einheitlich. Zu dem gleichen Ergebnis kommt SCHLUBACH (58) an einigen Fructosanen.

Anders verhalten sich die Reservopolysaccharide Stärke, Glykogen und das Salepmannan aus Orchideenknollen. Die letztgenannte wasserlösliche Substanz entspricht trotz schonender Isolierung in ihrer Polymolekularität etwa den Polymerisaten [HUSEMANN (31)]. Wegen der An-

¹⁾ Die Polymolekularität ist eine Stoffeigenschaft und kein Dispersitätszustand; es ist daher unzweckmäßig, polymolekulare Stoffe als polydispers zu bezeichnen [G. V. SCHULZ, Z. Elektrochem. **44**, 102 (1938)].

wesenheit eines mannanspaltenden Fermentes läßt sich jedoch nicht entscheiden, ob ursprünglich Moleküle verschiedener Kettenlänge gebildet wurden oder ob gleichgroße Moleküle vorhanden waren, die fermentativ abgebaut wurden, so daß immer ein Gleichgewicht zwischen Ab- und Aufbau besteht, dessen Lage durch die jeweiligen Bedürfnisse der Pflanze bestimmt wird.

Wie der pflanzliche und tierische Organismus es fertigbringt, Makromoleküle einheitlicher Größe zu erzeugen, wissen wir nicht. Vorgänge, die der Polymerisation oder Polykondensation entsprechen, sind nach dem oben Ausgeführten, nicht möglich. Einen Anhaltspunkt können vielleicht die Versuche von FORDYCE, LOVELL und HIBBERT (59) geben. Diesen Autoren gelang es, durch stufenweise Kondensation von Glykoldichlorid

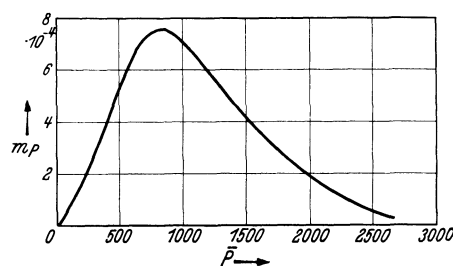


Fig. 2. Massenverteilungsfunktion eines Styrolpolymerisates vom mittleren Polymerisationsgrad 800 (m_p = Masse der Substanz vom Polymerisationsgrad P in 1 g Ausgangssubstanz)¹⁾.

mit dem Mononatriumsalz von Glykolen einheitliche Polyäthylenoxyde mit Polymerisationsgraden bis zu 186 zu synthetisieren. Bei dieser Synthese erhält man nur ganz bestimmte Molekulargewichte ohne die Zwischenglieder, so daß man sich die zahlenmäßige Gesetzmäßigkeit bei den Proteinen vielleicht durch ähnliche Vorgänge verständlich machen kann.

5. Die Form der Moleküle.

In vielen makromolekularen Stoffen sind mehrere tausend Grundmoleküle miteinander verknüpft. Die äußere Form der Moleküle hängt ganz wesentlich von der Anordnung dieser Monomeren ab. Durch lineare Anordnung bilden sich Fadenmoleküle, während durch Verzweigungen, Vernetzungen und möglicherweise salzartige Bindungen bei Eiweißstoffen dreidimensionale längliche oder kugelige Gebilde entstehen. Der große Einfluß, den diese äußere Form der Moleküle auf die Eigenschaften der Substanzen im festen und gelösten Zustand ausübt, ist am Beispiel von Cellulose, Stärke und Glykogen besonders gut zu erkennen. Alle drei Polysaccharide bestehen ausschließlich aus Glucosen. In der faserigen, schwer löslichen Cellulose sind die Grundmoleküle kettenförmig aneinandergereiht [SPONSLER und DORE (60) u. a.]. Im pulverigen leicht löslichen Glykogen besitzen die Mole-

¹⁾ G. V. SCHULZ und A. DINGLINGER, Z. physik. Chem. B **43**, 47 (1939).

küle jedoch infolge von Verzweigungen Kugelgestalt [STAUDINGER und HUSEMANN (29)]. Die Stärke mit verzweigten, jedoch länglichen Makromolekülen steht in ihren Eigenschaften zwischen den beiden Polysacchariden (22). Auf Grund dieser Unterschiede in der Molekülform führte STAUDINGER eine Einteilung in Sphäro- und Linear-kolloide durch (21).

Besonders stark wird durch die Form der Moleküle die Viskosität der Lösungen beeinflusst. Nachdem durch Modellversuche die Verhältnisse genau bekannt sind, lassen sich durch Viskositätsmessungen Aussagen über die Molekülgestalt machen.

Bei Stoffen mit kugelförmigen Molekülen ist die Viskosität der Lösungen nach EINSTEIN (61) unabhängig von der Teilchengröße:

$$\eta_{sp}/c = 0,0025 \cdot s. \quad (1)$$

η_{sp} = spezifische Viskosität = $\eta_{el} - 1$, c = Konz. in g/l, s = spez. Gewicht der gelösten Substanz.

Ganz anders verhalten sich langgestreckte Moleküle. Nach STAUDINGER (9) ist bei Fadenmolekülen die Viskositätszahl (η_{sp}/c -Wert) dem Polymerisationsgrad proportional.

$$\eta_{sp}/c = K_m \cdot P. \quad (2)$$

K_m ist in vielen Fällen innerhalb einer polymer-homologen Reihe konstant und kann als Maß für die Moleküllänge dienen. Die Bestimmung der Konstanten erfolgt durch Einsetzen der gemessenen Viskositätszahlen und der osmotisch oder mit der Ultrazentrifuge ermittelten Molekulargewichte in Gleichung (2). Sind die K_m -Werte bekannt, so lassen sich durch Viskositätsmessungen in einfacher Weise die Molekulargewichte bestimmen (vgl. Teil II).

Durch zahlreiche Untersuchungen im Freiburger Laboratorium sind die K_m -Konstanten einer großen Anzahl von Substanzen bekannt. Die Tabelle 9 gibt einen Überblick über die wesentlichsten Ergebnisse.

Eine Gruppe von Polysacchariden (Cellulose, Salepmannan, Xylane und Fichtenmannan) besitzt etwa übereinstimmende K_m -Konstanten in SCHWEIZERS Reagens. Da für die Cellulosemoleküle auch durch andere Methoden eine langgestreckte Form nachgewiesen wurde (Strömungsdoppelbrechung (63), Ultrazentrifuge (64)), muß man auch den anderen Polysacchariden die gleiche Molekülgestalt zuschreiben. Stärken sind, nach der 8fach kleineren Konstante zu schließen, wesentlich kompakter gebaut, d. h. es kommt mehr Masse auf die gleiche Länge. Noch stärker verkürzte Moleküle müssen im Arabo-Galaktan aus Lärchenholz vorhanden sein. Bei Glykogen ist schließlich die Viskosität unabhängig vom Molekulargewicht entsprechend der Gleichung (1), die Glykogenmoleküle müssen also Kugelgestalt besitzen. Diese letzte Feststellung ließ sich durch Sichtbarmachung der Einzelmoleküle von Glykogen sowie von dem stärker streuenden „angefärbten“ Jod-

Tabelle 9. K_m -Konstanten von makromolekularen Verbindungen.

Substanz	Lösungsmittel	$K_m \cdot 10^4$
<i>1. Polysaccharide</i>		
Cellulose (27) u. (28)	Schweizers Reagens	5,0
Salepmannan (31)	Schweizers Reagens	4,4
Xylan aus Stroh u. Buchenholz (32)	Schweizers Reagens	5,0
Mannan aus Fichtenholz (32)	Schweizers Reagens	4,4
Lichenin (30)	Schweizers Reagens	3,2
Stärke (22)	Formamid	0,63
Arabo-Galaktan aus Lärchenholz (32)	Wasser	0,25
<i>2. Kautschukarten</i>		
Balata (26)	Toluol	1,3
Guttapercha (26)	Toluol	1,7
Kautschuk (26)	Toluol	0,7—1,7 ¹⁾
<i>3. Polystyrole</i>		
<i>verschiedener Polymerisationstemperatur (62)</i>		
20°	Toluol	1,5
60°	Toluol	0,79
80°	Toluol	0,61
100°	Toluol	0,57
150°	Toluol	0,52
200°	Toluol	0,41

benzoylglykogen im Übermikroskop von RUSKA und von BORRIES (65) bestätigen [HUSEMANN und RUSKA (66)].

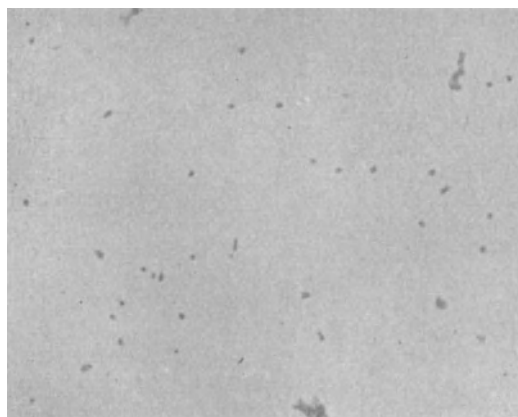


Fig. 3. Moleküle von *p*-Jodbenzoylglykogen vom Molekulargewicht 6 Millionen. Elektronenoptisch 14 000 : 1, Figur 28 000 : 1.

Auch bei Polymerisaten und Polykondensaten lassen sich durch Viskositätsmessungen Moleküle verschiedener Form feststellen. Polykondensate aus Monomeren mit zwei funktionellen Gruppen, z. B. Oxysäuren, Diaminen und Dicarbonsäuren, besitzen im allgemeinen Fadenmoleküle. Erst

¹⁾ STAUDINGER und FISCHER (26) führen die Schwankungen der K_m -Werte auf Verzweigungen und Vernetzungen zurück.

wenn die Herstellung bei höheren Temperaturen erfolgt, treten Nebenreaktionen auf. Die hierdurch entstandenen Molekülverzweigungen sind durch kleinere K_m -Werte erkennbar; in Übereinstimmung damit enthalten diese Produkte mehrere Endgruppen im Molekül [STAUDINGER, SCHMIDT und NUSS (67)].

In der Gruppe der Polymerisate sind die Verhältnisse am besten an Polystyrolen untersucht worden [STAUDINGER und G. V. SCHULZ (62)]. Hier ergab sich, daß die K_m -Werte innerhalb eines Polymerisats konstant sind, daß jedoch um so kleinere Werte gefunden werden, bei je höherer Temperatur die Polymerisation erfolgte. STAUDINGER und SCHULZ erklären diesen Befund durch die Annahme von Verzweigungen im Molekül, deren Entstehung durch Temperaturerhöhung begünstigt wird. Bei anderen Polymerisationsprodukten, den Polyvinylchloriden und Polymethacrylsäuremethylestern, sind die K_m -Werte innerhalb einer polymerhomologen Reihe nicht konstant, sondern nehmen mit steigendem Molekulargewicht kontinuierlich ab [STAUDINGER, WARTH und SCHNEIDERS (68)]. Ob hier ebenfalls Verzweigungen diesen Effekt bedingen oder ob die Moleküle gekrümmt sind, läßt sich bisher nicht entscheiden.

Auch die Proteine unterscheiden sich in der Form ihrer Teilchen. Nach den Untersuchungen in der Ultrazentrifuge (SVEDEBERG u. a.) durch Messung der Strömungsdoppelbrechung [BOEHM und SIGNER (69)] sowie aus der Viskosität ihrer Lösungen [POLSON (70), BURGERS (71)] lassen sich die Eiweißstoffe in globuläre (Sphäroproteine) und fibrilläre (Linearproteine) einteilen. Zur ersten Gruppe gehören die Albumine, Globuline und Hämocyane, zur zweiten Myosin, Seidenfibrin, Gelatine und die Tabakmosaikviren. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß die Linearproteine keine so einfache Kettenstruktur besitzen wie die Polyester oder Cellulose.

Die Angaben über die Teilchengestalt der Proteine konnten in 2 Fällen durch übermikroskopische Aufnahmen bestätigt werden. Es gelang KAUSCHE, PFANNKUCH und RUSKA (73), die einzelnen länglichen Tabakmosaikviren abzubilden, und v. ARDENNE (74) konnte die runden Teilchen von Hämocyane sichtbar machen.

Die äußere Form der Makromoleküle läßt sich also durch physikalische Methoden feststellen. Den chemischen Untersuchungen bleibt es überlassen, die Gründe für die verschiedene Molekülgestalt zu finden.

6. Spezielle Konstitutionsaufklärung.

Untersuchung auf andersartige Bindungen im Molekül. Die genaue Konstitutionsaufklärung makromolekularer Stoffe erfordert nicht nur die Kenntnis des Bindungsprinzips der Monomeren, sondern es muß genau untersucht werden, ob möglicherweise andere Bindungsarten in geringer Menge im Molekül vorhanden sind. Derartige Untersuchungen

sind sehr wichtig, da die Reaktionsmöglichkeiten insbesondere der Naturstoffe weitgehend durch solche Abweichungen beeinflußt werden. Da infolge der Größe der Moleküle der prozentische Anteil einer Bindung sehr klein sein kann, müssen die Methoden sehr verfeinert werden.

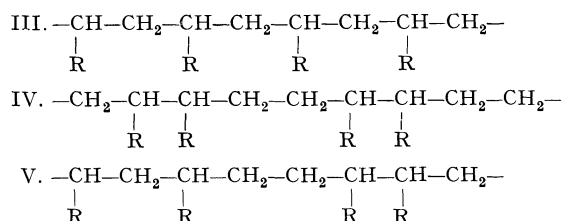
Am besten sind in dieser Hinsicht die Polysaccharide untersucht worden. Aus den Ergebnissen der hydrolytischen Spaltung der Stärke zogen FREUDENBERG, KUHN und Mitarbeiter (75) den Schluß, daß in den Stärkemolekülen ausschließlich α -glucosidische Bindungen vorhanden seien. Die Genauigkeit der Methode reichte jedoch nicht aus, um auszuschließen, daß auf etwa 20—30 normale Bindungen eine andersartige vorkommen kann. Diese Frage wurde durch eine genaue Untersuchung der Spaltstücke des Methyläthers ermöglicht. Bei unverzweigten Fadenmolekülen aus Glucoseresten erhält man 2,3,6-Trimethylglucose und in geringer Menge, je nach dem Molekulargewicht aus der einen Endgruppe 2,3,4,6-Tetramethylglucose. Bei Stärken wurden jedoch trotz des hohen Molekulargewichts 4—5% Tetramethylglucose und ebenfalls Dimethylglucose aufgefunden [HAWORTH und Mitarbeiter (44), HASSID (76), BELL (77), FREUDENBERG (78)]. Danach käme auf je 25—30 Glucosen eine Endgruppe. Da andererseits bewiesen ist, daß die Stärken sehr viel höhere Polymerisationsgrade besitzen, enthält jedes Molekül zahlreiche Endgruppen, muß also verzweigt sein [STAUDINGER und HUSEMANN (22)]. Die genaue Lage der Verzweigungsstellen läßt sich durch Identifizierung der Dimethylglucosen bestimmen. Aus dem Auftreten von 2,3-Dimethylglucose schließen FREUDENBERG und BOPPEL (78), daß die Seitenketten am Kohlenstoffatom 6 in der primären Alkoholgruppe angreifen. Diese etwa 4% einer anderen Bindungsart verändern die Eigenschaften der Substanz ganz wesentlich. Die Kugelgestalt der Glykogene kommt durch eine noch stärkere Verzweigung der Moleküle zustande [STAUDINGER und HUSEMANN (29)]. Auch in der Gruppe der Fructosane sind nach den Untersuchungen von SCHLUBACH (58) verzweigte und unverzweigte Produkte vorhanden.

Auf die Möglichkeit der Feststellung von andersartigen Bindungen durch fermentativen Abbau soll nur kurz hingewiesen werden. Beispielsweise gelang es MYRBÄCK und OERTENBLAD (79), unter den fermentativen Abbauprodukten der Stärke ein Trisaccharid aufzufinden, das keine Maltosebindungen enthält, also möglicherweise den Verzweigungsstellen entstammt.

Untersuchungen an Cellulosen, die in gleicher Art wie an Stärken durchgeführt wurden, hatten folgendes Ergebnis: Nach FREUDENBERG und Mitarbeitern (75) sind 90—95% der Bindungen β -glucosidisch. Verzweigungen sind nicht im Molekül vorhanden, da der Gehalt an Tetramethylglucose der Kettenlänge entspricht [HAWORTH und MACHEMER (49)]. Durch diese Versuche läßt

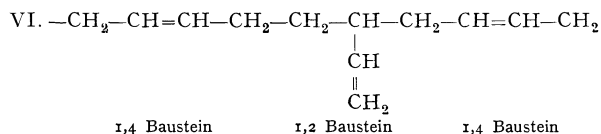
sich jedoch nicht ausschließen, daß innerhalb eines Moleküls einige andersartige glucosidische Bindungen vorhanden sind. Diese Frage wurde durch die Untersuchung der Kinetik des hydrolytischen Abbaues in konzentrierter Phosphorsäure und Verfolgung der Reaktion durch Viskositätsmessungen geklärt. Durch Verfeinerung der von EKENSTAM (80) zuerst angewandten Methode und Ausschaltung einiger Fehlerquellen kamen G. V. SCHULZ und H. J. LÖHMANN (81) zu dem Resultat, daß in Baumwollcellulosen vom Polymerisationsgrad 1500 keine Bindungen enthalten sind, die schneller gespalten werden als β -glucosidische. Gerade dieses Beispiel zeigt deutlich, daß es durch Anwendung spezieller Methoden gelingt, auch in die Feinheiten des Baues sehr hochmolekularer Stoffe einzudringen.

Anordnung der Grundmoleküle. Wenn das Verknüpfungsprinzip der Grundmoleküle bekannt ist, so sind noch Einzelheiten über die Art ihrer Anordnung zu klären. Bei Polymerisaten aus Vinylverbindungen mit einem Monomeren sind drei Anordnungsmöglichkeiten der Grundmoleküle denkbar, wie die schematischen Formeln zeigen:



Es ist zu prüfen, ob jeweils eines dieser Schemata zutrifft oder ob alle Möglichkeiten der Anordnung in den Makromolekülen vorkommen. Nach den bisher vorliegenden Untersuchungen trifft für die meisten Polymerisate die Formel III zu. STAUDINGER und STEINHOFFER (82), die als erste dieses Problem untersuchten, isolierten unter den thermischen Abbauprodukten von Polystyrol Dimere und Trimere, in denen sich CH_2 - und CHR -Gruppen abwechselten und deren Konstitution also nur mit einer Anordnung gemäß Formel III zu vereinbaren ist. Weitere Arbeiten in dieser Richtung wurden von MARVEL und Mitarbeitern (83) ausgeführt. Es ließ sich z. B. nachweisen, daß Polyvinylalkohole durch Perjodsäure nicht oxydiert werden. Es können also keine 1,2-Diglykole mit benachbarten Hydroxylgruppen vorhanden sein. Auch hier ist also Formel III als einzige in Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen, wie bereits STAUDINGER, FREY und STARK vermuteten (83a). Die Polymerisation von Butadien ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$) mit Alkalimetallen bzw. Alkalialkylen wurde von ZIEGLER und Mitarbeitern (84) eingehend untersucht. Durch einen Vergleich der hydrierten, relativ niedermolekularen Polymerisate mit synthetischen normalen Kohlenwasserstoffen ließ sich zeigen, daß nicht nur die 1,4-Addition stattfindet, sondern daß durch

Reaktion am Kohlenstoffatom 2 verzweigte Ketten entstehen (vgl. Formel VI).



Bei niedriger Temperatur bilden sich bevorzugt verzweigte Moleküle, während durch Temperaturerhöhung die Entstehung unverzweigter Ketten begünstigt wird.

Enthalten die Substanzen mehrere Grundmoleküle, so muß auch deren Reihenfolge festgestellt werden. Makromoleküle, die verschiedene Grundmoleküle enthalten, kann man in einfacher Weise dadurch herstellen, daß man ein Gemisch von 2 oder mehr Monomeren polymerisiert. Die einfachste Annahme, daß in einem solchen Fall eine statistische Verteilung der Grundmoleküle im Mischpolymerisat vorliegt, scheint nicht zuzutreffen. Es ergab sich nämlich aus Abbauprodukten eine regelmäßige Anordnung der Monomeren.

Ähnlich sind die Verhältnisse bei den Eiweißstoffen, die im allgemeinen eine größere Anzahl von Aminosäuren enthalten. Nachdem KOSSEL (85) gezeigt hatte, daß die Aminosäuren in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, gelang es WALDSCHMIDT-LEITZ (86), durch fraktionierten fermentativen Abbau ihre Reihenfolge in einem Protein zu bestimmen. Das Clupein aus Heringsmilch, das ein Molekulargewicht von etwa 1700 besitzt, enthält 10 Argininreste, 1 Molekül Prolin und 4 Monoaminosäuren. Von diesen 14 Peptidbindungen spaltet die Protaminase 2 und setzt dabei 2 Argininreste in Freiheit. In dem resultierenden Clupein hydrolysiert Trypsin 4 Bindungen, ohne Bildung freier Aminosäuren. In den auf diese Weise gebildeten Di- und Tripeptiden lassen sich die Bindungen durch weitere Fermente bestimmen. Durch eine Kombination dieser Ergebnisse läßt sich die Konstitution von Clupein folgendermaßen angeben (87):



(M = Monoaminosäure, P = Prolin, A = Arginin).

Auch in anderen Proteinen, z. B. Ovalbumin, Hämoglobin und Fibrin, sollen nach BERGMANN

Tabelle 10. Anzahl der Aminosäuremoleküle in einem Eiweißmolekül.

Aminosäure	Hämoglobin (Kalb)	Ovalbumin	Fibrin
Asparaginsäure . . .	32	16	32
Glutaminsäure . . .	16	36	72
Prolin	12	—	32
Zystin	3	4	9
Methionin	—	12	12
Tyrosin	12	8	—
Tryptophan	—	—	18
Arginin	12	12	32
Lysin	36	12	48
Histidin	32	4	12

und NIEMANN (88) die Aminosäuren periodisch angeordnet sein. Nach ihren Angaben sind die Anzahlen der Aminosäuren in einem Eiweißmolekül Vielfache von 2 und 3. Die kleinste Zahl, in der sie ohne Rest enthalten sind, ist $288 = 2^5 \cdot 3^2$. Aus diesem Polymerisationsgrad von 288 errechnet sich durch Multiplikation mit 120, dem durchschnittlichen Molekulargewicht der Aminosäuren, für das Protein ein Molekulargewicht von 34560. Dieser Wert stimmt genau mit den in der Ultra-zentrifuge gefundenen Teilchengewichten überein.

Sondergruppen. Die makromolekularen Verbindungen enthalten häufig Sondergruppen verschiedenster Art. Bekannt ist der Phosphorsäuregehalt von Stärke und Glykogen sowie das Vorkommen von Kiesel- und Schwefelsäure in Pflanzenschleimen. Der Einfluß, den solche Gruppen auf die Eigenschaften der Stoffe ausüben, läßt sich am Salepmannan aus Orchideenknollen erkennen. Dieses wasserlösliche Polysaccharid enthält auf etwa 10 Mannosen 1 Acetylrest esterartig gebunden [HUSEMANN (31)]. Entfernt man diese Gruppe durch Verseifung, so erhält man „reines“ Mannan, das in Wasser vollständig unlöslich ist, ähnlich einer hochmolekularen Cellulose. Das Beispiel zeigt, wie wichtig es ist, derartige Sondergruppen aufzufinden.

Auch die Cellulosen sind keine reinen Polysaccharide. Insbesondere durch die zahlreichen Untersuchungen von E. SCHMIDT und Mitarbeitern (43) wurde festgestellt, daß die Buchen-cellulose 0,28 % Carboxyl und 0,197 % Methoxyl enthält. Es kommt also auf etwa 96 Glucose-reste je 1 Carboxyl- und 1 Methoxylgruppe. Die Annahme, daß dieser Gehalt an Sondergruppen ein Charakteristikum aller Cellulosen sei, hat sich jedoch nicht bestätigt [O. H. WEBER (89)]. Die Bedeutung dieser Sondergruppen ist noch nicht bekannt. Die Feststellung, daß die Polysaccharide aus verholzten Zellen besonders reich daran sind, legt die Annahme nahe, daß sie die Verknüpfung der einzelnen Zellbausteine bewirken.

Von außerordentlicher Bedeutung sind die Sondergruppen in den Eiweißstoffen, da sich gezeigt hat, daß sie die Ursache für die spezifischen Reaktionen der Proteine sind. Aus diesem überaus umfangreichen und teilweise noch ungeklärten Gebiet seien hier nur einige Beispiele angeführt. So enthalten die Proteine der Zellkerne Nukleinsäuren, das Eieralbumin, Globuline und Collagen Glucosamin. Besonders bei den Fermenten haben sich bereits interessante Ergebnisse gezeigt, die einen Einblick in den außerordentlich komplizierten Mechanismus dieser Substanzen gewähren. Nach WILLSTÄTTER (90) bestehen Fermente aus einer Trägersubstanz, dem Apoferment [ALBERS (91)], das sich in allen bisher untersuchten Fällen als Eiweißstoff erwiesen hat, und der prosthetischen Gruppe oder dem Co-Ferment. Nach WARBURG (92) bedingt das Co-Ferment die spezifische Wirkungsweise des Ferments (Dehydrierung, Esterspaltung usw.), das Apoferment die Substratspezifität. Über die Art der Bindung beider Komponenten aneinander

ist noch wenig bekannt. Bei der Zymase läßt sich eine Abtrennung der prosthetischen Gruppe bereits durch Dialyse herbeiführen [HARDEN und YOUNG (93)]; hier liegt also mit Sicherheit Nebervalenzbildung vor. In einigen Fällen konnten die Co-Fermente bereits identifiziert werden. Nach WARBURG (92) spielt bei den Hydrierungen Nikotinsäureamid diese Rolle, bei Oxydationen in den Fermenten Katalase und Peroxydase das Hämin. Auch Vitamine können in Kombination mit Eiweißträgern als Ferment wirken; bekannt ist z. B. das phosphorylierte Laktoflavin (B_2) im gelben Atmungsferment (94). Für die Fermentwirkung ist nicht allein die prosthetische Gruppe verantwortlich, wie man anfänglich angenommen hat, sondern auch der Eiweißstoff. Verkleinert man z. B. die Proteinmoleküle durch fermentativen Abbau, so verliert die Substanz ihre Wirksamkeit (95). Eine genauere Kenntnis der Konstitution der Eiweißstoffe wird einen wichtigen Beitrag zur Kenntnis der Wirkungsweise der Fermente, insbesondere der Substratspezifität, liefern.

Aus diesem Überblick über den heutigen Stand der Forschung auf dem Gebiet der makromolekularen Chemie geht hervor, daß es auf Grund von zum Teil durchaus neuartigen Methoden bereits gelungen ist, einen weitgehenden Einblick in den Aufbau der makromolekularen Stoffe zu gewinnen, daß aber gleichzeitig noch viele Fragen sowohl auf dem Gebiete der synthetischen wie der natürlichen Stoffe der Lösung harren. (Fortsetzung folgt.)

Literaturzitate.

- (1) H. STAUDINGER, Ber. dtsh. chem. Ges. **59**, 3019 (1926). — (2) K. HESS, Chemie der Cellulose. Leipzig 1927. Ber. dtsh. chem. Ges. **73**, 1076 (1940). — (3) K. H. MEYER, Angew. Chem. **41**, 935 (1928). — (4) K. H. MEYER u. Mitarb., Helv. chim. acta, **23**, 865 (1940). — (5) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. B **32**, 27 (1936). — (6) H. STAUDINGER u. W. HEUER, Ber. dtsh. chem. Ges. **67**, 1164 (1934). — H. STAUDINGER u. E. HUSEMANN, Ber. dtsh. chem. Ges. **68**, 1618 (1935). — (7) H. STAUDINGER u. E. O. LEUPOLD, Die hochmolekularen organischen Verbindungen, S. 442. Berlin: Julius Springer 1932. — (8) E. FISCHER, Ber. dtsh. chem. Ges. **46**, 3253 (1913); **52**, 809 (1918). — (9) H. STAUDINGER, Die hochmolekularen organischen Verbindungen. Berlin: Julius Springer 1932. — (10) Vgl. in TOLLENS-ELSNER, Kurzes Handbuch der Kohlehydrate. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1935. — (11) HAWORTH, HIRST u. OLIVER, J. chem. Soc. (Lond.) **1934**, 1917. — (12) W. VOSS, R. BAUER u. L. PFIRSCHKE, Liebigs Ann. **534**, 135 (1938). — (13) L. W. WISE u. F. C. PETERSEN, Ind. a. Eng. Chem., Analyt. Ed. Physics **22**, 362 (1930); **25**, 184 (1933). — (14) C. HARRIES, Ber. dtsh. chem. Ges. **37**, 2708 (1904); **38**, 3985 (1905). — (15) A. WINTERSTEIN, in Klein, Handbuch der Pflanzenanalyse **4**, 1. — (16) R. WILLSTÄTTER u. L. ZECHMEISTER, Ber. dtsh. chem. Ges. **62**, 722 (1929). — (17) W.N. HAWORTH u. A. LEARNER, J. chem. Soc. (Lond.) **130**, 619 (1928). — (18) R. H. KIENLE, Ind. a. Eng. Chem., Analyt. Ed. Physics **22**, 590 (1930) — J. amer. chem. Soc. **51**, 509 (1928). — (19) THE SVEDBERG u. K. O.

- PEDERSEN, Die Ultrazentrifuge. Leipzig: Th. Steinkopff 1940. — (20) Vgl. E. LEDERER, Die Kolloidchemie der Seifen. Leipzig: Th. Steinkopff 1932. — (21) H. STAUDINGER, Organische Kolloidchemie. Leipzig: Th. Steinkopff 1940, S. 113, 147. — (22) H. STAUDINGER u. E. HUSEMANN, Liebigs Ann. **527**, 195 (1937). — (23) H. STAUDINGER, H. JOHNER, G. SCHIEMANN u. V. WIEDERSHEIM, Helvet. chim. Acta **12**, 962 (1929). — (24) H. STAUDINGER u. V. WIEDERSHEIM, Ber. deutsch. chem. Ges. **62**, 2406 (1929). — (25) H. STAUDINGER u. H. WARTH, J. prakt. Chem. **155**, 261 (1940). — (26) H. STAUDINGER u. E. O. LEUPOLD, Ber. deutsch. chem. Ges. **67**, 304 (1934) — KL. FISCHER, J. prakt. Chem. **157**, 19 (1940). — (27) H. STAUDINGER u. G. DAUMILLER, Liebigs Ann. **529**, 219 (1937). — (28) H. STAUDINGER u. R. MOHR, Ber. deutsch. chem. Ges. **70**, 2296 (1937). — (29) H. STAUDINGER u. E. HUSEMANN, Liebigs Ann. **530**, 1 (1937). — (30) H. STAUDINGER u. B. LANTZSCH, J. prakt. Chem. **156**, 65 (1940). — (31) E. HUSEMANN, J. prakt. Chem. **155**, 241 (1940). — (32) E. HUSEMANN, J. prakt. Chem. **155**, 13 (1940). — (34) E. O. KRAEMER u. W. D. LANSING, J. physik. Chem. **39**, 153 (1935). — (35) A. DOBRY, J. Chim. physique etc. **31**, 568 (1934); **32**, 46 (1934). — (36) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A **180**, 1 (1937). — (37) S. P. L. SÖRENSEN, Hoppe-Seylers Z. **106**, 1 (1919). — (38) G. S. ADAIR, Proc. roy. Soc. A **109**, 292 (1925); B **120**, 422 (1936). — (39) BURK u. GREENBERG, J. biol. Chem. **87**, 197 (1930); **98**, 353 (1932); J. STEINHARDT, Nature (London) **138**, 800 (1936). — (40) BROHULT, in SVEDBERG u. PEDERSEN, Die Ultrazentrifuge. — (41) H. STAUDINGER u. W. KERN, Die hochmolekularen organischen Verbindungen. Berlin: Julius Springer 1932, S. 224. — (42) E. HUSEMANN, Papierfabrikant **36**, 559 (1938). — (43) E. SCHMIDT u. Mitarbeiter, Ber. deutsch. chem. Ges. **70**, 2345 (1937). — (44) W. N. HAWORTH u. Mitarbeiter, J. chem. Soc. (Lond.) **1932**, 372; **1935**, 1205; **1214**, 1299. — (45) K. HESS u. F. NEUMANN, Ber. deutsch. chem. Ges. **70**, 721 (1937). — K. HESS u. K. H. LUNG, Ber. deutsch. chem. Ges. **70**, 1259 (1937). — (46) E. O. KRAEMER u. F. J. VAN NATTA, J. physik. Chem. **36**, 3186 (1932). — W. H. CAROTHERS u. F. J. VAN NATTA, J. amer. chem. Soc. **55**, 4714 (1933). — (47) H. STAUDINGER u. O. NUSS, J. prakt. Chem., **157**, 283 (1941). — (47a) M. BERGMANN u. H. MACHEMER, Ber. deutsch. chem. Ges. **63**, 316 (1930). — (48) H. STAUDINGER u. K. EDER, J. prakt. Chem., im Druck. — (49) W. N. HAWORTH u. H. MACHEMER, J. chem. Soc. (Lond.) **1932**, 2270. — (50) Vgl. PAULI-VALKO, Kolloidchemie der Eiweißkörper. Leipzig: Th. Steinkopff 1933, S. 205. — (51) E. I. COHN, I. L. HENDRY u. A. M. PRENTISS, J. biol. Chem. **63**, 721 (1925). — (52) H. STAUDINGER, Papierfabrikant **36**, 373, 381, 473, 481. — (53) H. STAUDINGER, E. DREHER u. I. JURISCH, Ber. deutsch. chem. Ges. **70**, 2502 (1937). — (54) W. N. HAWORTH, E. L. HIRST u. E. G. V. PERCIVAL, J. chem. Soc. (Lond.) **1932**, 2384. — (55) G. V. SCHULZ u. E. HUSEMANN, Z. physik. Chem. B **34**, 187 (1936). — (55a) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A **182**, 127 (1938). — (56) K. FREUDENBERG, Tannin, Cellulose, Lignin. Berlin: Julius Springer 1933, S. 131. — (57) H. STAUDINGER u. KL. FISCHER, J. prakt. Chem., im Druck. — (58) Vgl. z. B. H. H. SCHLUBACH u. C. BANDMANN, Liebigs Ann. **540**, 285 (1939). — (59) R. FORDYCE, E. L. LOVELL u. H. HIBBERT, J. amer. chem. Soc. **61**, 1905 (1939). — (60) O. L. SPONSLER u. W. H. DORE, Kolloid Symposium Monograph **4**, 174 (1926). — (61) A. EINSTEIN, Ann. physique **4**, 19, 289 (1906). — (62) H. STAUDINGER u. G. V. SCHULZ, Ber. deutsch. chem. Ges. **68**, 2336 (1935). — (63) R. SIGNER u. H. GROSS, Z. physik. Chem. A **165**, 161 (1933). — (64) R. SIGNER u. P. VON TAVEL, Helvet. chim. Acta **21**, 544 (1938). — (65) B. VON BORRIES u. E. RUSKA, Naturwiss. **27**, 577 (1939). — (66) E. HUSEMANN u. H. RUSKA, J. prakt. Chem. **156**, 1 (1940) — Naturwiss. **28**, 534 (1940). — (67) H. STAUDINGER u. H. SCHMIDT, J. prakt. Chem. **155**, 129 (1940) und Anm. 47. — (68) H. STAUDINGER u. J. SCHNEIDERS, Liebigs Ann. **541**, 151 (1939). — (69) G. BOEHM u. R. SIGNER, Helvet. chim. Acta **14**, 1370 (1932). — (70) A. POLSON, Kolloid-Z. **88**, 51 (1939). — (71) J. M. BURGERS, Zbl. **1940** II, 636. — HAUROWITZ u. MARX, Kolloid-Z. **71**, 198 (1935); vgl. auch Anm. 69. — (73) G. A. KAUSCHE, F. PFANKUCH u. H. RUSKA, Naturwiss. **27**, 292 (1939). — (74) M. VON ARDENNE, Naturwiss. **28**, 113 (1940). — (75) K. FREUDENBERG, W. KUHN u. Mitarbeiter, Ber. deutsch. chem. Ges. **63**, 1510 (1930); **65**, 484 (1932); **66**, 19 (1933). — (76) W. Z. HASSID u. J. L. CHAIKOFF, J. biol. Chem. **123**, 755 (1938). — (77) D. I. BELL, Biochem. J. **31**, 1683 (1937). — (78) K. FREUDENBERG u. H. BOPPEL, Naturwiss. **28**, 264 (1940); Ber. deutsch. chem. Ges. **73**, 609 (1940). — (79) K. MYRBÄCK u. B. OERTENBLAD, Svensk chem. Tidskr. **50**, 284 (1938). — (80) A. AF EKENSTAM, Über die Celluloselösungen in Mineralsäuren. Lund 1936. — (81) G. V. SCHULZ u. H.-J. LÖHMANN, J. prakt. Chem. **157**, 238 (1941). — (82) H. STAUDINGER u. A. STEINHOFER, Liebigs Ann. **517**, 35 (1935). — (83) C. S. MARVEL u. C. E. DENNOON, J. amer. chem. Soc. **60**, 1045 (1938). — (83a) H. STAUDINGER, K. FREY u. W. STARK, Ber. deutsch. chem. Ges. **60**, 1782 (1927). — (84) K. ZIEGLER u. Mitarbeiter, Liebigs Ann. **511**, 13 (1934); **542**, 90 (1939). — (85) A. KOSSEL u. H. D. DAKIN, Hoppe-Seylers Z. **41**, 414 (1904). — (86) E. WALDSCHMIDT-LEITZ, Hoppe-Seylers Z. **197**, 213 (1931); **236**, 181 (1935). — (87) K. FELIX u. MAGER, Z. physiol. Chem. **249**, 111 (1937). — (88) M. BERGMANN u. C. NIEMANN, J. biol. Chem. **110**, 471 (1935); **118**, 301 (1937); **122**, 577 (1938). — (89) O. H. WEBER, J. prakt. Chem. Staudinger-Sonderheft 1941. — (90) R. WILLSTÄTTER, Hoppe-Seylers Z. **123**, 5, 59 (1922). — (91) H. ALBERS, Z. angew. Chem. **1936**, 448. — (92) WARBURG, CHRISTIAN u. GRIESE, Biochem. Z. **274**, 116 (1934). — (93) HARDEN u. YOUNG, Proc. chem. Soc. **21**, 189 (1905). — (94) WARBURG u. CHRISTIAN, Naturwiss. **20**, 688 (1922); Biochem. Z. **263**, 288 (1934). — (95) NORTHROP, J. gen. Physiol. **17**, 165 (1933).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Konvektive Anreicherung gelöster Stoffe.

Anlässlich eines Versuches, die CLUSSIUSsche Thermo-diffusion¹ für die Trennung von chemisch gleichartigen Proteinen ungleichen Molekulargewichts anzuwenden, haben wir ein eigentümliches Konvektionsphänomen beobachtet. Die in Frage stehende Erscheinung könnte möglicherweise

für die Erzeugung hochkonzentrierter Lösungen von empfindlichen Stoffen eine gewisse Bedeutung erlangen, und so glauben wir, eine kurze Mitteilung darüber könnte von Interesse sein.

Eine Hämoglobinlösung wurde in einer dünnen, vertikal stehenden Schicht (0,1—0,5 mm) zwischen zwei Temperierkammern eingeschlossen. Als trennende Wand dienten

Mikroskopdeckgläser (Dicke 0,14 mm), und die Dicke der Lösungsschicht wurde durch eine Gummipackung bestimmt. Die äußeren Wände der Temperierkammern waren aus gewöhnlichem Glas, so daß man durch die rote Schicht sehen konnte. Die Höhe der Schicht war 14 mm, die Breite 40 mm. Durch die Temperierkammern wurde kaltes (10°) und warmes (40°) Wasser geleitet. Mit Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit der Gläser bedeutet das etwa 10° Temperaturdifferenz zwischen kalter und warmer Wand der Lösungsschicht. Bei der Zusammensetzung des Apparates wurden kleine Luftblasen in dem Zwischenraum erzeugt, die fest zwischen den Deckgläsern lagen. Fig. 1 zeigt das schöne Konvektionsphänomen, das schon nach einigen Minuten auftritt. Von den Blasen laufen Streifen konzentrierter Hämoglobinlösung nach unten und verdünnter nach oben. Die Länge der Streifen erreichte 3—4 mm. Nach einigen Stunden hatte der Effekt eine beträchtliche Konzentrationserhöhung am Boden des Apparates erzeugt und eine entsprechende Verdünnung im oberen Teil. Die Anreicherung im unteren Teil konnte so weit gehen, daß sich ein Brei von Hämoglobin bildete. Der Brei löste sich spielend in Wasser, und es konnte keine Denaturierung beobachtet werden. Aus einer halbgesättigten Lösung von Kupfersulfat wurden große Kristalle gewonnen.

Die Luftblasen sind für das Phänomen nötig. Kleine Tropfen von Toluol oder Quecksilber geben keinen Effekt.

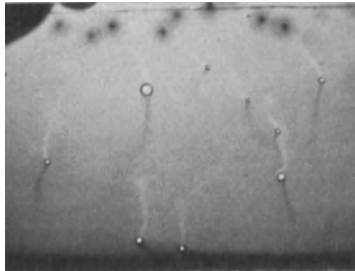


Fig. 1. Konvektionsstreifen in einer Hämoglobinlösung mit einer Konzentration von 10%. Dicke der Schicht 0,1 mm. Temperaturdifferenz zwischen den Innenseiten der Glaswände etwa 10°. 2¹/₂mal Vergrößerung. Die nichtfokussierten schwarzen Punkte am oberen Rand rühren von Blasen in der Außenkammer her.

Um diesen Konzentrierungseffekt besser ausnützen zu können, wurde ein größerer Apparat gebaut mit einer Höhe von 10 cm, einer wirksamen Fläche von etwa 130 cm² und planen Wänden aus vernickeltem Messing. Um die Luftblasen zu erzeugen und an ihrem Platz festzuhalten, wurde die eine Wand mit etwa 300 kleinen, halbsphärischen Ausbohrungen von 1 mm Durchmesser versehen. Die Luftblasen konnten auch durch Fettklumpchen auf einem grobporigen Tüllstück erzeugt werden, das zwischen die Wände hineingelegt wurde. Durch die Maschen des Netzes wurden die Blasen festgehalten. Die kleinen Ausbohrungen gaben jedoch gleichmäßigere Verteilung der Blasen. Der Apparat war unten mit einem Rohr für Entleerung versehen. Nach beendetem Versuch wurden Portionen der Lösung dadurch abtropfen gelassen und die Konzentration durch Eindunsten bestimmt. Es hat sich gezeigt, daß eine 10proz. Hämoglobinlösung nach 20 Stunden am Boden eine Konzentration von mehr als 20% erreicht hatte. Eine 3¹/₂proz. NaCl-Lösung gab nach 28 Stunden 12% NaCl am Boden. Hierfür waren natürlich beträchtliche Energiemengen verbraucht worden.

Wir glauben, das Phänomen ganz einfach wie folgt erklären zu können. Das Lösungsmittel destilliert von der warmen Wand zur kalten durch die Blase, und dadurch entsteht eine Konzentrationserhöhung an der warmen und eine Erniedrigung an der kalten Wand. Durch Konvektion entstehen dann die Streifen. Dieser Konvektion wirken die Temperaturdifferenzen in der Lösung entgegen. Die Dichtedifferenz, die durch eine Konzentrationsdifferenz von z. B. 3% Hämoglobin entsteht (~0,75%), ist jedoch so groß wie die durch 30° Temperaturerhöhung (10—40°) erzeugte, so daß die Konvektion aus Konzentrationsdifferenzen überwiegen kann.

Ein Lösungsmittel mit negativem thermischem Ausdehnungskoeffizient würde bessere Resultate der Konzentrierung geben, denn dann würden ja die Dichtedifferenzen durch Konzentrierung und Temperaturdifferenzen in derselben Richtung wirken. Wir haben Versuche mit Wasser zwischen 0° und +4° gemacht, aber die möglichen Temperatur- und Dampfdruckdifferenzen sind so klein, daß keine merkbare Verbesserung der Versuchsergebnisse erreicht wird.

Die beschriebene Methode kann zur raschen und milden Anreicherung gelöster Stoffe dienen, speziell von Proteinen und anderen Substanzen, die wärmeempfindlich sind oder leicht denaturiert werden.

Upsala (Schweden), Physikalisch-Chemisches Institut der Universität, den 19. März 1941.

NILS GRALÉN. THE SVEDBERG.

¹) K. CLUSIUS u. G. DICKEL, Naturwiss. 26, 546 (1938) — Z. physik. Chem. B 44, 397 (1939).

Über experimentelle chromatische Adaptation bei grünen und braunen Meeresalgen.

Wir haben schon früher¹⁾ gezeigt, daß grüngefärbte, einzellige Chlorophyceen in der Ausnutzung farbigen Lichtes bei gleicher und die Photosynthese begrenzender Intensität (300—500 Lux) sich wesentlich anders verhalten, als braungelbe, zentrische Meeresdiatomeen. Grüne Algen assimilierten und wuchsen im grünen Licht am schlechtesten, braune am besten. Beide Algen nutzen mit größtem Vorteil die ihrer Eigenfarbe komplementäre Lichtqualität, so wie das von MONTFORT²⁾ bereits für Phaeophyceen behauptet worden war. Dies wurde als Folge der Mitwirkung des Carotinoidkomplexes bei der Lichtausnutzung gedeutet. Wenn solche Algen längere Zeit hindurch in intensitätsgleichem farbigem Licht kultiviert werden, so verändern sie zum Teil sichtbar ihre Eigenfarbe. Diatomeen werden im grünen Licht dunkelbraun, im roten aber gelblich. Sie verändern aber auch ihre photosynthetische Lichtausnutzung. So bleibt der Quotient $\frac{\text{Photosynthese im grünen Licht}}{\text{Photosynthese im roten Licht}}$ (bei 500 Lux) nicht gleich, z. B.:

Vorkultur	Chlorella (Grünalge)	Chaetoceras (gelbbraune Diatomee)
Im roten Licht	0,65	1,12
Im grünen Licht	0,81	1,26
Im blauen Licht	0,81	1,21

Daraus ergibt sich in großen Zügen, daß die Leistung der Algen in jenem Licht am größten ist, in dem sie kultiviert worden sind. Die Leistungsänderung scheint mit der Änderung der Eigenfarbe zusammenzuhängen. Solche experimentelle chromatische Adaptation ist von Blau- und Rotalgen seit langem bekannt. Sie konnte dort auf eine Veränderung des Verhältnisses verschiedener, assimilatorisch wirksamer Porphinfarbstoffe zurückgeführt werden. HARDER SIMONIS und BODE³⁾ haben ähnliche, in quantitativer Hinsicht jedoch wesentlich schwächere Erscheinungen auch bei höher organisierten Pflanzen beobachtet (Helodea, Fontinalis). Diese Arbeiten werden durch unsere Untersuchungen gesichert. Die Diatomeen besitzen im Gegensatz zu den grünen Pflanzen neben Carotinoiden nur einen Porphinfarbstoff (Chlorophyll a⁴⁾). Bei ihnen kann die chromatische Adaptation deshalb nur auf einer Änderung des Carotinoidkomplexes oder auf einer Verschiebung des Verhältnisses Chlorophyll a

beruhen. Obwohl dahingestellt bleiben muß, ob es sich dabei in erster Linie um eine quantitative Änderung der molaren Konzentration der einzelnen Pigmente oder um eine qualitative Änderung des molekularen Gefüges eines hypothetischen Chlorophyll-Carotinoid-Träger-Komplexes

¹) Planta (Berl.) 30, 289 (1939); 31, 726 (1941) — Ber. dtsch. bot. Ges. 58, 151 (1940).

²) Kieler Meeresforsch. 2, 301 (1938); 3, 17 (1938).

³) Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, VI. 2, 129 (1936); 3, 129, 135 (1938). — Jb. Bot. 89, 208 (1940).

⁴) A. SEYBOLD u. K. EGLE, Jb. Bot. 86, 50 (1938).

handelt, sehen wir in unseren Versuchen einen weiteren Beweis zugunsten der Vorstellung, daß die Carotinoide bei der Lichtausnutzung im Zuge der Photosynthese eine wichtige Rolle mitspielen. Beachtlich ist, daß die Umstellung des chromatischen Apparates auf eine neue Lichtqualität nur sehr unvollkommen und auch recht langsam erfolgt.

Diatomeen werden im Rot keineswegs grün. Und trotz täglicher Zellteilung benötigen unsere Algen 1—3 Wochen, um das mögliche Ausmaß der Adaptation zu erreichen, niedere Lichtintensitäten vorausgesetzt.

Königsberg i. Pr., Botanisches Institut, den 28. März 1941.
K. MOTHES. H. SAGROMSKY.

Besprechung.

Festschrift für ELIS STRÖMGREN. *Astronomical Papers, dedicated to Elis Strömgren.* 348 S. u. 1 Bildnis. 20 cm × 26 cm. Preis: dän. Kr. 35.—.

Als ELIS STRÖMGREN am 31. Mai 1940 seinen 70. Geburtstag beging, waren die internationalen wissenschaftlichen Verbindungen durch die kriegerischen Auseinandersetzungen auf dem Kontinent bereits stark gestört. So ist es gekommen, daß dieser Tag weniger allgemeine Beachtung gefunden hat, als sonst bei der Bedeutung dieses Mannes gerade für die Pflege der internationalen Verbindungen wohl geschehen wäre. So ist auch die Festschrift verspätet erst zum Jahresende erschienen und mußte auf einige Beiträge verzichten, deren Verfasser durch die Zeitumstände an der Fertigstellung verhindert worden sind. Wenn trotzdem ein so stattlicher Band zustande gekommen ist, so ist das wohl nicht zuletzt dem frühzeitigen Bemühen LUNDMARKS zu verdanken, der selbst neben der allgemeinen Würdigung des Jubilars im Vorwort und einem Beitrag „On the Determination of Stellar Mass Values“ noch als Anhang eine umfassende Bibliographie des gesamten Schaffens von ELIS STRÖMGREN geliefert hat. Man wird ihm dafür ganz besonderen Dank wissen, denn diese Zusammenstellung vermittelt so recht einen Eindruck von der umfassenden wissenschaftlichen und organisatorischen Tätigkeit des nun offiziell in den Ruhestand Getretenen.

Unter den wissenschaftlichen Beiträgen nehmen die zur Himmelsmechanik, entsprechend der Hauptarbeitsrichtung STRÖMGRENS, einen großen Raum ein. GRAMMEL, Stuttgart, gibt einen „Beitrag zur Lösung des Dreikörperproblems“, HAGIHARA, Tokyo, eine „Application of Matrix Method to Integration Problems in Celestial Mechanics“; HEUMANN, Stockholm, greift ein altes STRÖMGRENSches Problem auf: „Über Bewegungsformen in Globular Clusters“; MÖLLER, Kopenhagen, ergänzt die auf den Gebrauch von Rechenmaschinen zugeschnittenen Methoden zur Lösung der KEPLERSchen Gleichung für den bisher noch nicht behandelten Bereich der Exzentrizitäten 0,7 bis 0,9; SUNDMAN, Helsingfors, befaßt sich mit einer „Démonstration nouvelle du Théorème de Poisson sur l'Invariabilité des grands Axes“; WINTNER, Baltimore, behandelt „Spherical Equidistributions and a Statistics of Polynomials which occur in the Theory of Perturbations“. Die allgemeinen Probleme der Dynamik von Sternsystemen kommen zur Sprache in den Aufsätzen von CHANDRASEKHAR, Yerkes Observatory: „The Fundamental Principles of Stellar Dynamics“, von EDDINGTON, Cambridge E.: „The Speed of Recesson of the Extragalactic Nebulae“ und von LINDBLAD, Stockholm: „On some Principal Questions in the Theory of the Galaxy and the Spiral Nebulae“, während spezielle Bahnbestimmungen spektroskopischer Doppelsterne in den Beiträgen von O. STRUVE, Yerkes Observatory: „The Spectroscopic Binary μ^1 Scorpii“ und JULIE M. VINTER-HANSEN, Lick Observatory: „The Multiple System of Castor“ behandelt werden.

Der Rest der Aufsätze gilt verschiedenen Gegenständen von zum Teil besonderer Aktualität. Aus dem Kreis der stellarastrophysikalischen Untersuchungen in Lund stammen: GYLLENBERG, „On the Frequency of Large Proper Motions“, HOLMBERG, „On the Relation between Luminosity and Mass for a Stellar System“, REIZ, „On the Fundamental Equation of Stellar Statistics“. Der interstellaren Absorption ist eine Untersuchung von WALLENQUIST, Upsala, „On the Space Reddening in the Sagittarius and Ophiuchus Regions of the Milky Way“ gewidmet. SCHÖNBERG, Breslau, teilt umfangreiche „Untersuchungen über die Jupiteratmosphäre“ mit.

Als einer der wertvollsten Beiträge zu der Festschrift darf wohl der von B. STRÖMGREN, Kopenhagen, „On the Chemical Composition of the Solar Atmosphere“ bezeichnet werden. Einmal ganz allgemein sachlich, weil hier eine der brennendsten Fragen der Astrophysik vorbildlich behandelt wird, zum anderen für E. STRÖMGREN im besonderen, weil sich hier der Sohn, in dessen Hände er beim Rücktritt vom Amt die Leitung der Kopenhagener Sternwarte übergeben durfte, erneut als Meister beweist.

Festschriften wie die vorliegende haben ihrer Natur nach uneinheitlichen Charakter. Das Wirken dessen, dem sie gewidmet ist, hat sich nicht darauf beschränkt, eine Reihe von Schülern heranzuziehen, die dann mehr oder weniger auf dem vom Lehrer erschlossenen Arbeitsgebiet weiter vordrangen. STRÖMGRENS Lebenswerk ist umfassender und hat neben dem einen Schwerpunkt, den Untersuchungen zum eingeschränkten Dreikörperproblem, noch einen zweiten, der ihn mit den Astronomen der ganzen Welt zusammenführte, in der Pflege des internationalen Gedankenaustausches. Seinem Bemühen ist es in erster Linie zu verdanken, wenn die Verbindung unter den Astronomen aller Länder selbst während des Weltkrieges nie abgerissen ist und der wichtige astronomische Telegrammverkehr hat aufrechterhalten werden können. In den für uns so schweren Nachkriegsjahren ist vor allem er es gewesen, der, lange Jahre Präsident der Astronomischen Gesellschaft, nie müde wurde, an der Ausgleichung von Gegensätzen und an der Beseitigung der Ausschließungsbestimmungen der Unionen zu arbeiten. Und auch heute, da wieder die auf internationalen Austausch angewiesene Arbeit bedroht ist, empfinden wir dankbar das Wirken der Zentralstelle für astronomische Telegramme in Kopenhagen.

So kommt es, daß der Gesamteindruck der Festschrift nicht bestimmt wird durch die Beiträge von Schülern, sondern mehr durch die von Freunden und Verehrern aus aller Welt. Und man darf sicher sein, daß, wenn ein Verzeichnis derer aufgestellt würde, die — unter günstigeren äußeren Umständen — gerne einen Beitrag geliefert hätten, kaum ein Name fehlte, der irgendwie Klang hat in der astronomischen Welt.

H. KIENLE, Potsdam.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

9. Mai 1941

Heft 19

Der Eötvös-Effekt und seine Anwendungen.

Von I. SZOLNOKI, Budapest.

Es ist eine bekannte Forderung der Galilei-Newton-Mechanik, daß ein Körper eine Gewichtsverminderung erfahren muß, wenn er sich auf der Erde nach Ost bewegt, dagegen wird sich sein Gewicht erhöhen, sobald seine Bewegung nach West gerichtet ist (1).

Was ist die Ursache dieser Gewichtsänderungen?

Das Gewicht der auf der Erde ruhenden Körper ist aus drei Kräften zusammengesetzt, und zwar: aus der Anziehungskraft der Erde, der zufolge der Rotation der Erde entstehenden Zentrifugalkraft und der Auftriebskraft der Luft. Von diesen Kräften ist die erste eine abwärts gerichtete, während die beiden anderen in entgegengesetzter Richtung wirken. In dem Augenblick, wo die Erde sich nicht weiter dreht, würde jeder irdische Körper durch das Aufhören der aus der Erdrotation entstehenden Zentrifugalkraft schwerer werden. Dieser Gewichtszuwachs wäre zwar nicht bedeutend, doch immerhin bemerkbar. Z. B. auf dem Äquator 300 g pro 100 kg. Nun wächst bei Bewegungen nach Ost die Zentrifugalkraft an, bei solchen nach West verringert sie sich, im ersten Fall muß also der sich bewegende Körper leichter, im letzteren dagegen schwerer werden.

Diese gewichtsändernde Wirkung der an der Erdoberfläche stattfindenden Bewegungen ist längst bekannt, und daß dieselbe doch nach Baron ROLAND EÖTVÖS benannt wurde, ist darauf zurückzuführen, daß wir die ersten durch Erfahrung und Versuche gewonnenen Beweise für die durch die Bewegung verursachten Gewichtsänderungen diesem bedeutenden ungarischen Physiker zu verdanken haben.

Hierüber schreibt Eötvös wie folgt:

„Professor HECKERS zwei denkwürdige Fahrten auf hoher See: die erste im Jahre 1901 auf dem Atlantischen Ozean, die zweite vom 23. III. 1904 bis zum 8. IV. 1905 auf dem Indischen Ozean und dem Großen Ozean, erregten das Interesse eines jeden sich mit Fragen über Schwere beschäftigenden Fachmannes. So auch meines.

Bald bemerkte ich, daß bei Berechnung der Resultate der Einfluß der Schiffsbewegung, der sich bei der sonst erreichten Genauigkeit mit gewissen im voraus berechneten Werten hätte fühlbar machen müssen, diesen Voraussetzungen nicht entsprach.

Zur Hebung aller Zweifel war nun die neue Durchsicht und neue Berechnung auch des älteren Beobachtungsmaterials wünschenswert. Professor Dr. HECKER aber, an den ich mich mit der Bitte wandte, eine solche Neuberechnung zu veranlassen, tat noch ein übriges. Es gelang seiner allen

Schwierigkeiten gewachsenen Rührigkeit, die damalige russische Regierung zur Ausrüstung einer neuen Expedition zu gewinnen, und im Mai des Jahres 1908 führte er neue Fahrten und neue Messungen auf dem Schwarzen Meere aus, teilweise dieselben Wege auf der Meeresoberfläche, aber in entgegengesetzten Richtungen, befahrend“. Die Differenzen der Gesamtbewegung gegen Ost und gegen West erreichten hier nahezu 45 km pro Stunde. Die daraus entstandene Gewichtsänderung war so groß, daß sie bei den angestellten Messungen auffallen mußte. „So wurde dann aus den scheinbaren Widersprüchen, die HECKERS Berechnungen auf hoher See wachzurufen schienen, die erste tatsächliche Bestätigung der alten Theorie gewonnen“ (1).

Auch andere machten unmittelbar vor dem Weltkrieg bei ihren Expeditionen auf hoher See dieselben Erfahrungen, welche Eötvös' Hypothese unterstützten, und so wurde die auf Gewichtsänderung durch Bewegung beruhende Erscheinung kurz „der Eötvös-Effekt“ benannt. Zu dieser Zeit war Eötvös bereits bemüht, die gewichtsändernde Wirkung der Bewegung durch Laboratoriumsversuche zu beweisen. Zu diesem Zwecke bediente er sich einer empfindlichen Waage, welche er auf einer Scheibe drehte. Wenn der Balken der Waage eine nordsüdliche Richtung einnimmt, bewegt sich die eine Schale nach Ost und wird leichter, die andere nach West und nimmt an Gewicht zu. Der Balken der Waage muß daher umkippen. Wenn nun die Rotationsdauer so gewählt wird, daß dieselbe mit der Schwingungsdauer des Balkens gleich ist, so „... müssen periodische Schwingungen auftreten, die durch Multiplikation stets anwachsend, einen durch die Dämpfungskraft begrenzten maximalen Grenzwert erreichen. Es ist dies der Fall erzwungener Schwingungen, wie er sich bei der Resonanz ergibt, deren Theorie von HELMHOLTZ in seiner theoretischen Physik so meisterhaft behandelt wird“ (1).

Das ist Eötvös' Versuch mit dem sich drehenden Waagebalken, durch den er unter Anwendung des Grundsatzes der Resonanz die durch Bewegung verursachte Gewichtsänderung in einfacher Weise veranschaulichte. Eötvös' Apparat ist in seiner letzten Form nichts weiter als ein 12 cm langer, an den beiden Enden mit Gewichten belasteter Balken, welcher auf Achatkeilen schwingt. Der Balken wurde in 20 Sekunden um die vertikale Achse gedreht. Eötvös verfolgte bei seinen weiteren Versuchen das Ziel, mit dem rotierenden Waagebalken an der betreffenden Stelle die durch die Erddrehung entstehende Geschwindigkeit un-

mittelbar zu messen. Er ging von dem Grundgedanken aus, daß, wenn der Waagebalken sich mit einer bekannten Geschwindigkeit dreht und die Gewichtsänderung genau meßbar ist, aus diesen Daten die aus der Erddrehung entstehende Geschwindigkeit sich ergeben muß. Die Drehungsgeschwindigkeit erhielt der Waagebalken von einem astronomischen Uhrwerk, so daß dieselbe genau meßbar war, und die Größe der Gewichtsänderung hat Eötvös so festgestellt, daß er kleine Magnete auf den Waagebalken gelegt und in der Nähe desselben einen Elektromagneten angebracht hat. In dessen Spule wurde die Stärke des elektrischen Stromes so lange vermehrt, bis die magnetische Anziehung die Gewichtsänderung gerade wettmachte.

Wir wollen nun sehen, wie groß der Eötvös-Effekt ist und von welchen Faktoren er abhängt.

Beim Eötvös-Effekt ändert sich die Erdbeschleunigung, und so können wir denselben als eine Änderung der Erdbeschleunigung ausdrücken und mit dg bezeichnen. Daher ist

$$dg = - \frac{2Vv \cos e + v^2}{R},$$

wo V die aus der Erddrehung entstehende Geschwindigkeit, v die eigene Geschwindigkeit des auf der Erdoberfläche sich fortbewegenden Körpers, e den Winkel zwischen dieser letzteren relativen Bewegung und der östlichen Richtung und schließlich R den Halbmesser der Erde bedeutet.

Ist $V = 0$, was am Nord- und am Südpol der Erde zutrifft, so ist

$$dg = - \frac{v^2}{R}.$$

Wenn dagegen der Wert von v sehr gering ist, wie die Bewegung des Schiffes bei der Hecker-Expedition — 6 m/sec — oder beim Eötvös-Versuch — 1 cm/sec — so kann das Quadratglied fortgelassen werden und dann ist

$$dg = - \frac{2Vv \cos e}{R}.$$

Betrachten wir diese Formeln näher, so können wir sehen, daß die Gewichtsänderung zunächst von der geographischen Breite bzw. von der aus der Erddrehung entstehenden Geschwindigkeit abhängt.

In Tabelle 1 folgt eine Zusammenstellung der zu den einzelnen Breiten gehörenden, aus der Erddrehung entstehenden Geschwindigkeiten und jener dg -Werte, welche einer Geschwindigkeit von 10 m/sec entsprechen:

Tabelle 1.

Geogr. Breite	0°	15°	30°	45°	60°	75°
V	465	449	403	329	233	120 m/sec
dg (10 m/sec)	0,15	0,14	0,13	0,10	0,07	0,04 cm/sec ²

Der dg -Wert hängt in hohem Maße von der relativen Geschwindigkeit ab. Tabelle 2 zeigt die Änderungen der dg -Werte bei 45° geographischer

Breite in Promill, bei Bewegungen nach östlicher Richtung ($e = 0^\circ$).

Tabelle 2.

v	1	5	10	50	100 m/sec
dg	0,01	0,05	0,10	0,56	1,32 ⁰ / ₁₀₀

Ist v groß genug, so kann die Gewichtsverminderung ebenso groß sein wie die Anziehungskraft. In diesem Fall kann der Körper über der Erdoberfläche frei schweben. Diese großen Geschwindigkeiten, bei welchen die daraus entstehende Zentrifugalkraft das Gewicht ausgleicht, sind aus Tabelle 3 ersichtlich:

Tabelle 3.

	Auf dem Äquator	45° geogr. Br.	Auf dem Nord- u. Südpol
gegen Ost	7,4 km/sec	7,6 km/sec	8,0 km/sec
gegen West	8,4 km/sec	8,2 km/sec	8,0 km/sec

Der dg -Wert ist auch von der Richtung der relativen Bewegung abhängig, welche wir mit dem von der östlichen Richtung gemessenen Winkel e bezeichnen.

Ist $e = 180^\circ$, so entspricht $\cos e = -1$ und in diesem Falle ist

$$dg = \frac{2Vv}{R} - \frac{v^2}{R}.$$

Wenn daher $\frac{1}{2}v = V$ ist, also die Geschwindigkeit der relativen Bewegung gerade das Doppelte der aus der Erddrehung entstehenden Geschwindigkeit beträgt, so ist $dg = 0$, was soviel bedeutet, daß keine Gewichtsänderung eintritt. Eine solche unterbleibt auch in dem Fall, wenn die Geschwindigkeit eine nach westlicher Richtung wirkende Komponente besitzt und die Werte von e und v die Gleichung

$$2V \cos e + v = 0$$

befriedigen. Man kann also behaupten, daß zu jeder Richtung der westlichen Hälfte der Windrose eine Geschwindigkeit gehört, bei welcher keine Gewichtsänderung eintritt. Diese „neutralen“ Geschwindigkeiten sind für 45° geographische Breite in Tabelle 4 zusammengestellt:

Tabelle 4.

Winkel e	180°	165°	150°	135°	120°	105°
neutrale Geschwindigkeit	658	636	570	465	329	170 m/sec

Wenn wir schließlich sehr genaue Werte berechnen wollen, so müssen wir berücksichtigen, daß der Halbmesser der Erde zufolge der Abplattung von der geographischen Breite und von dem Winkel e abhängig ist.

Der Eötvös-Effekt tritt bei der gewöhnlichsten physischen Erscheinung, bei der Bewegung der schweren Körper, auf. Die Bewegung der schweren Körper wird von der Physik so behandelt, als wenn die Erde stillstehen würde, und so ist bei

diesen Formeln eine Berichtigung erforderlich, damit dieselben mit der Theorie und — falls es sich um große Geschwindigkeiten handelt — mit der Praxis übereinstimmen.

Nachstehend wollen wir einige Formeln vorführen, um zu zeigen, in welcher Weise die durch den Eötvös-Effekt geforderten Berichtigungen vorzunehmen sind.

Beim horizontalen Wurf beträgt die Geschwindigkeit des Körpers

$$C = \sqrt{c^2 + v_e^2},$$

wo c die Geschwindigkeit in horizontaler Richtung und v_e die durch den Fall entstehende Geschwindigkeit bedeutet, welche bei sich drehender Erde

$$v_e = (g + dg_c) t$$

ist, wo t die Zeitdauer der Bewegung und dg_c die von der waagerechten Geschwindigkeit, c abhängige Änderung der Erdbeschleunigung bedeutet. Demgemäß wird ein mit derselben Geschwindigkeit waagerecht geschleudertes Körper nach Ablauf derselben Zeitspanne in westlicher Richtung mit einer größeren Geschwindigkeit sich fortbewegen, als nach Ost.

Bei schiefer Wurf beträgt die Distanz deswurfes auf stillstehender Erde

$$X = \frac{c^2}{g} \sin 2\alpha,$$

wo c die Geschwindigkeit deswurfes und α der mit der waagerechten Ebene eingeschlossene Winkel deswurfes ist. Bei sich drehender Erde gilt die folgende Formel:

$$X_v = \frac{c^2}{g + dg} \sin 2\alpha,$$

$$\text{wo } dg = - \frac{2 V c \cos \alpha \cos \epsilon + c^2 \cos \alpha^2}{R}.$$

Ein nach östlicher Richtung geschleudertes Körper wird daher bei derselben Anfangsgeschwindigkeit in weiterer Entfernung zu Boden fallen als beim Wurf nach West.

Auf einer schiefen Ebene beträgt die Geschwindigkeit des Körpers bei stillstehender Erde:

$$v^2 = 2 s g,$$

wo s die Höhe der schiefen Ebene bedeutet. Bei sich drehender Erde ist aber

$$v_1^2 = 2 s (g + dg);$$

es wird also nach Ost bei derselben Höhe der schiefen Ebene eine größere Geschwindigkeit auftreten als gegen West.

Ein Körper erhält eine andere Bewegungsenergie, wenn er mit derselben Geschwindigkeit nach Ost, als wenn er nach West geschleudert wird. Die Energie einer Masse m beträgt bei waagerechtem Wurf nach östlicher bzw. westlicher Richtung nach Ablauf der Zeit t

$$E = \frac{1}{2} m [c^2 + (g + dg)^2 t^2].$$

Der Unterschied der Bewegungsgeschwindigkeiten zwischen westlicher und östlicher Richtung:

$$dE = 2 m g dg t^2.$$

Dies steht anscheinend im Widerspruch mit dem Grundsatz der Erhaltung der Energie, welcher jedoch auch für diesen Fall gültig ist, wenn wir denselben wie folgt auslegen: Das Trägheitsmoment der Erde wollen wir mit T , die Winkelgeschwindigkeit ihrer Drehung mit O , die Masse des auf der Erde ruhenden Körpers mit m und deren aus der Erddrehung entstehende Geschwindigkeit mit V bezeichnen. So beträgt die Bewegungsenergie der Erde und des darauf ruhenden Körpers zusammen

$$E_s = \frac{mV^2}{2} + \frac{1}{2} O^2 T.$$

Wenn wir nun die Masse m nach Ost schleudern, so erhält die Erde auf Grund des Prinzips der gleichen Wirkung und Rückwirkung einen Stoß in westlicher Richtung, und so verringert sich die Winkelgeschwindigkeit um einen sehr geringen Wert. Sobald der geschleuderte Körper wieder auf die Erde zurückfällt, so wird diese kleine Verringerung ausgeglichen, so daß der Gesamtwert der Energien unverändert bleibt. Der entsprechende Fall tritt auf bei einem Wurf nach westlicher Richtung. Der hier auftretende Energieüberschuß ist also nur ein scheinbarer bzw. derselbe bezieht sich bloß auf den geschleuderten Körper, nicht aber auf das Gesamtsystem.

Auch bei Flüssigkeiten muß der Eötvös-Effekt zur Geltung gelangen, wenn dieselben in östlicher bzw. westlicher Richtung strömen. Bei einer Strömung nach Ost verringert sich das spezifische Gewicht der Flüssigkeit, wogegen es bei einer Strömung nach westlicher Richtung wächst. Im Falle einer Wirbelbewegung muß an der einen Seite des Wirbels, wo die Flüssigkeit mit geringerem spezifischem Gewicht sich bewegt, die Oberfläche der Flüssigkeit höher sein.

Eine ähnliche Erscheinung muß bei den Luftwirbeln zutage treten. Bei demselben Luftdruck wird gegen Ost sich eine dichtere Luftmasse bewegen als nach West, falls im übrigen Temperatur und Dampfdruck ganz gleich sind. Bewegt sich dagegen — wie z. B. auf einem Schiff — der Quecksilberluftdruckmesser, so sind die folgenden Berichtigungen anzuwenden, und zwar müssen dieselben bei Bewegung nach Ost der Höhe der Quecksilbersäule zugerechnet, bei Wertbewegung von derselben in Abzug gebracht werden (3).

Tabelle 5.

Geogr. Breite	10	20	30 m/sec
0°	0,11 mm	0,22 mm	0,34 mm
15	0,10	0,21	0,33
30	0,09	0,19	0,30
45	0,08	0,16	0,24
60	0,07	0,12	0,18

Auch die Erdbeschleunigung auf der Erdoberfläche muß im Sinne des Eötvös-Effektes einer Berichtigung unterworfen werden, da infolge der durch die Erddrehung verursachten relativen Bewegungen die auf die Sonne bezogene Zentrifugalkraft eine halbtägige Periode zeigt. Diese periodische Änderung ist im Juni und im Dezember am stärksten, dann ist nämlich das Gewicht eines jeden auf der Erde ruhenden Körpers zu Mittag und zu Mitternacht um $\frac{1}{100\,000}$ kleiner als um 6 Uhr morgens oder abends (2).

In der Technik sind die von dem Eötvös-Effekt geforderten Berichtigungen hauptsächlich bei der Bewegung der Flugzeuge und der Geschosse zu berücksichtigen.

Bei den üblichen und erzielbaren Geschwindigkeiten der Flugmaschinen treten bei ostwestlichem Flug folgende, auf 1000 kg gerechnete Gewichtsänderungen auf (4):

Tabelle 6.

Geschwindigkeit	50	60	70	80	90	100	200	300 m/sec
	180	216	252	288	324	360	720	1080 km/Std.
Gewichtsänderung	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	2,7	4,6 kg bei 45° geogr. Br.

Demgemäß ist ein mit einer 720 kg-Geschwindigkeit nach Ost sich fortbewegendes Flugzeug um den 185. Teil seines Gewichtes leichter, als wenn dasselbe eine westliche Fahrtrichtung hätte. Es ist möglich, daß bei einer längeren Flugdauer der Eötvös-Effekt sich auch beim Benzinverbrauch bemerkbar macht. Besonders beim Aufstieg kann sich eine bedeutende Differenz der durch die Flugmaschine geleisteten Arbeit zwischen der östlichen und der westlichen Richtung ergeben. Wenn eine Maschine mit einer Geschwindigkeit von 360 km pro Stunde unter einem Winkel von 24° bis zu einer Höhe von 6 km aufsteigt, so ist für je 1000 kg des Maschinengewichtes in östlicher Aufstiegsrichtung um 13 200 kg-Meter Arbeit weniger Energie erforderlich als in entgegengesetzter Richtung. Es tauchte der Gedanke auf, ob der Eötvös-Effekt nicht etwa zur Messung der Fluggeschwindigkeit verwendet werden könnte (5). Grundsätzlich ist dies nicht völlig ausgeschlossen, obzwar der Umstand, daß der Eötvös-Effekt von der Richtung der Bewegung in hohem Maße abhängt und in der Nordsüdrichtung sehr gering ist, den Gebrauch eines solchen Meßapparates sehr schwerfällig machen würde.

Am stärksten tritt der Eötvös-Effekt bei den Artilleriegeschossen zutage (6). Bei den hier üblichen Geschwindigkeiten v treten die in Tabelle 7 angegebenen Erdbeschleunigungsänderungen auf.

Diese Änderungen der Erdbeschleunigung beziehen sich auf die nach östlicher Richtung liegende Geschwindigkeitskomponente. Gleichzeitig drücken sie die Gewichtsänderung auch in Promill aus, bzw. wir können die genauen Werte derselben aus den obigen Ziffern durch Multiplizieren mit 1,02 gewinnen. Wie wir sehen, können

Tabelle 7.

v geogr. Br.	400	500	600	700	800	900	1000 m/sec
0°	8,4	11,2	14,4	17,9	21,6	25,9	30,3 cm/sec ²
15	8,2	11,0	14,1	17,6	21,3	25,4	29,9
30	7,6	10,3	13,2	16,6	20,2	24,1	28,3
45	6,6	9,1	11,9	14,9	18,3	22,2	26,0
60	5,4	7,6	10,0	12,8	15,9	19,3	23,0
75	4,0	5,8	8,0	10,3	13,1	16,1	19,5

Gewichtsänderungen bei den obigen Geschwindigkeiten auch 3% erreichen. Falls es sich also um Geschosse mit so großer Wirkungsweite oder Geschwindigkeit handelt, wo der Eötvös-Effekt bedeutend ist, so ist es ratsam, bei den ballistischen Formeln den Wert der Erdbeschleunigung nach Berichtigung mit den aus obiger Tabelle ersichtlichen Änderungen zu verwenden.

Die Berücksichtigung der Erddrehung finden wir in CRANZ' Kompendium (S. 182) bei der folgenden Formel:

$$x = \frac{v^2 \sin 2a}{g} + \frac{4}{3} O \cos b \frac{v^2}{g} \sin a (3 \cos^2 a - \sin^2 a),$$

wo x die Länge der Flugbahn, v die Geschwindigkeit des Geschosses, a den Abflugwinkel, O die Winkelgeschwindigkeit der Erddrehung, b die geographische Breite und g die Erdbeschleunigung bedeutet. Diese Formel, welche sich auf luftleeren Raum bezieht, geht von POISSONS Gleichungen aus und stellt auch die durch die Erddrehung verursachte geometrische Wirkung dar. Wie nämlich bereits GALILEI erkannte, steigt zufolge der Erddrehung ein östliches Ziel während der Dauer des Schusses, wogegen ein westliches während dieser Zeit sinkt. Der Eötvös-Effekt und die geometrische Wirkung der Erddrehung wirken also bei einer östlich gelegenen Flugbahn in entgegengesetzter Richtung. Wenn daher der Abflugwinkel größer ist als 60°, so wird die Flugbahn — im Vergleich mit der Flugbahnlänge bei unbeweglicher Erde — kürzer, während sie sich verlängert, wenn der Abflugwinkel unter 60° bleibt. Bei diesem Abflugwinkel beträgt nämlich die in die horizontale Richtung fallende Geschwindigkeitskomponente nur die Hälfte der originalen, und so ist auch der auftretende Eötvös-Effekt ein wesentlich geringerer. Je flacher die Flugbahn ist, eine je größere Geschwindigkeit das Geschöß besitzt und je mehr sich die Richtung desselben der westöstlichen nähert, desto größer ist die durch die Bewegung hervorgerufene Gewichtsänderung, d. h. dieselbe muß sich hauptsächlich an Frontabschnitten geltend machen, welche in nordsüdlicher Richtung laufen, wo bei gleichen Pulverladungen die Flugbahn nach Osten länger sein wird als nach Westen.

Literatur.

(1) R. Eötvös, Experimenteller Nachweis der Schwereänderung, die ein auf normal geformter Erdoberfläche in östlicher oder westlicher Richtung bewegter Körper durch diese Bewegung erleidet. Ann.

Physik 59, 743 (1919). — (2) I. SZOLNOKI, Die Anwendung des Eötvös-Effektes im sich bewegenden Sonnensystem. Ann. Physik 67, 73 (1922) — Astronomische Nachr. Nr. 5168, 127. — (3) I. SZOLNOKI, Die Anwendungen des Eötvös-Effektes in der Atmosphäre. Meteor. Z. 1923, 28. — (4) I. SZOLNOKI, Az Eötvös-

hatás alkalmazása az aviatikában. Az Aero 1922, 166. — (5) I. CSADA, Az Eötvös-féle jelenségen alapuló abszolút sebességmérő készülékről. Az Aero 1923, 16. — (6) I. SZOLNOKI, Az Eötvöshatás technikai alkalmazásai. A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönyének Havi Füzetei 1923, 18.

Versuch einer Analyse der Oxybiose wirbelloser Tiere.

VON OTTO HARNISCH, Kiel.

In einer Reihe von Arbeiten der letzten Jahre habe ich den Standpunkt vertreten, daß eine Analyse des Sauerstoffverbrauchs der Wirbelloser notwendig und fruchtbar sei. Ich empfahl zu scheiden: 1. den O_2 -Verbrauch „normaler“ oxybiotischer Energiegewinnung des ruhenden Tieres, das zuvor keine Prozesse anaerober Energiegewinnung gehabt hat, die *primäre Oxybiose*, und 2. den Sauerstoffverbrauch, der in der Erholungsatmung nach vorangegangener Anaerobiose hinzutritt und in irgendeiner Form der Überwindung von Schädigung dient, die durch die Anaerobiose bedingt ist, die *sekundäre Oxybiose*. Folgende Merkmale veranlaßten mich zu dieser Scheidung: 1. Die Größenordnung der primären Oxybiose wird durch die arbeitende Zelle bestimmt und ist vom Partialdruck des Sauerstoffs im Medium unabhängig, solange auch tiefere Gewebsschichten ausreichend mit dem Gas versorgt sind. Die Größe der sekundären Oxybiose dagegen wird prinzipiell vom Sauerstoffpartialdruck des Mediums bestimmt. 2. Die Oxydation wird in der primären Oxybiose durch zellgebundene Katalysatoren bewerkstelligt, in der sekundären Oxybiose hingegen ist ein besonderes nichtzellgebundenes Oxydans (oder mehrere solche) wirksam.

In meinen einschlägigen Einzelarbeiten ist infolge der fortschreitenden Entwicklung meiner Anschauung manches enthalten, was ich heute nicht mehr aufrechterhalte oder doch in seiner Bedeutung anders einschätze. Wenn auch damit zu rechnen ist, daß die Weiterarbeit an diesem Problem noch dieses oder jenes in neuem Licht erscheinen lassen wird, so ist es doch lohnend, im folgenden einen zusammenfassenden Überblick über das bislang Erreichte zu geben, der mir auch Gelegenheit geben soll, der — bisher ziemlich spärlichen — Stellungnahme anderer Forscher zu antworten.

Die Objekte meiner Untersuchungen waren bislang Würmer und Insektenlarven. Von Würmern wurden einige Endoparasiten (*Fasciola hepatica*, *Ascaris lumbricoides*, *Triaenophorus nodulosus*, *Moniezia expansa*, *Abothrium rugosum* und *crassum*, *Bothriocephalus bipunctatus*) und einige frei lebende Formen (*Planaria gonocephala*, *Tubifex tubifex*), von Insekten besonders eingehend die Larve von *Chironomus thummi*, ferner die von *Tanytarsus* und von *Ephemera vulgata* untersucht. Es mag gewagt erscheinen, aus Befunden an so wenigen Tierformen eine allgemeine Gesetzmäßigkeit abzuleiten; jedoch ist zu betonen, daß die meisten grundsätzlichen Erkenntnisse durch das Studium des Verhaltens nur weniger Arten ge-

wonnen wurden. Die Tatsache, daß an systematisch sich verhältnismäßig fernstehenden Formen prinzipiell Übereinstimmendes gefunden wurde, stützt die Vermutung, daß eine allgemeinere Gesetzmäßigkeit erkannt worden ist. Allerdings glaube ich aus gelegentlichen Prüfungen an anderen Tierformen folgern zu müssen, daß die untersuchten Tiere besonders günstige Objekte waren, die die fragliche Gesetzmäßigkeit besonders klar erkennen lassen.

Es seien nun die Tatsachen, die meiner Ansicht nach die Annahme des Vorhandenseins einer besonderen sekundären Oxybiose fordern, näher geschildert und diskutiert. Auf die Besonderheit der Oxybiose während aerober Phase, die vorangegangener Anaerobiose folgt, wurde ich zuerst durch die Untersuchung des Sauerstoffverbrauchs normalerweise anaerob lebender Endoparasiten (*Fasciola*, *Ascaris*, *Triaenophorus*) in sauerstoffhaltigem Medium aufmerksam. Seine Größe ist nämlich stets vom Sauerstoffpartialdruck des Mediums abhängig (vgl. HARNISCH 1932b, 1933). Diese Tatsache glaubte ich anfänglich, da ich damals noch von der Allgemeingültigkeit des „Alles-oder-nichts-Gesetzes“ der Oxybiose überzeugt war, mit der Massigkeit dieser Tiere erklären zu müssen. Es zeigte sich jedoch, daß starke Verkürzung der Diffusionsstrecke (Pressen des Tiermaterials durch Seidengaze) die Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck in keiner Weise vermindert, sondern — wenigstens bei einigen Formen — noch verstärkt! Dies drängte zu der Annahme, daß hier ein grundsätzlich anderer Oxydationsmechanismus als in der sonst zu beobachtenden Atmung „normaler“, ruhender Gewebe vorliegt. Wenn — wie demnach zu vermuten ist — Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck kennzeichnend ist für eine aerobe Periode, die anaerobem Leben folgt, so ist zu erwarten, daß auch die normalerweise von der Sauerstoffspannung unabhängige Größe der Oxybiose frei lebender Tiere vom Partialdruck abhängig wird, wenn sie durch vorangegangene Anaerobiose zu gesteigerter „Erholungsatmung“ geworden ist. Entsprechende Untersuchungen an *Tubifex* (HARNISCH 1935a), der Larve von *Chironomus thummi* (HARNISCH 1936), der Larve von *Ephemera* (HARNISCH 1939) und an *Planaria gonocephala* (HARNISCH 1935b) bestätigten diese Vermutung: Es ließ sich zeigen, daß die Atmungsgröße von Individuen, die zuvor unter respiratorisch günstigen Bedingungen ge-

lebt haben, weitgehend von der Sauerstoffspannung des Mediums unabhängig oder (*Planaria*) nur leicht abhängig ist, daß sie dagegen nach einer, je nach der Tierart wechselnd langen, das Tier noch nicht irreversibel schädigenden Anaerobiose vom Sauerstoffpartialdruck abhängig wird. An *Planaria gonocephala* läßt sich auch durch längeres Verweilen des Tiers in respiratorisch optimalem Medium die Abhängigkeit der Atmungsgröße von der Sauerstoffspannung des Mediums nicht beheben; sie ist jedoch nach (kurzer) Anaerobiose wesentlich stärker ausgeprägt.

In Fig. 1 wird die Abhängigkeit der Erholungsatmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck in Kur-

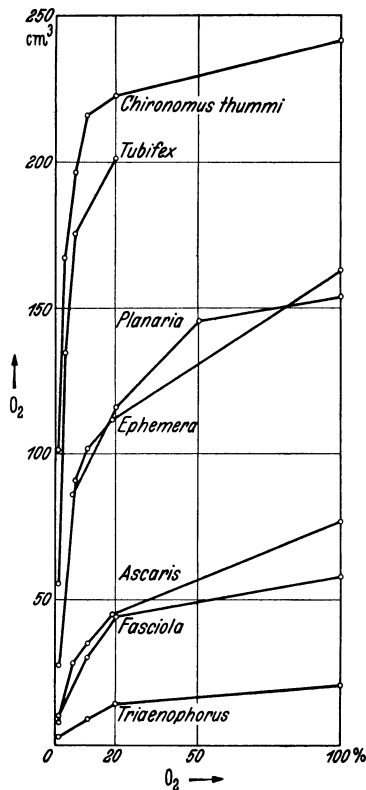


Fig. 1. Abhängigkeit der Atmungsgröße vom O₂-Partialdruck bei einigen frei lebenden Tieren nach erzwungener Anaerobiose und bei einigen Endoparasiten. Abszisse: Sauerstoffspannung des Mediums in Prozent einer Atmosphäre, Ordinate: Atmungsgröße in Kubikmillimeter pro 1 g Frischgewicht und 1/2 Stunde.

ven dargestellt. Die Abszisse ist die Sauerstoffspannung des Mediums in Prozenten einer Atmosphäre, die Ordinate der Sauerstoffverbrauch auf 1 g Tiergewicht und 1/2 Stunde berechnet.

Zum Verständnis der Kurven ist zu bemerken: 1. Bei *Chironomus*, *Tubifex* und *Planaria* stimmt die Atmungsgröße verschiedener Individuen bzw. verschiedener Individuenportionen leidlich überein, so daß einfach die ermittelten Werte zur Konstruktion der Kurven verwandt werden konnten. Bei *Ephemera* dagegen variierten im Verlauf der Untersuchung auch die an Tieren aus respiratorisch günstigem Medium

gemessenen Werte nicht unwesentlich. Bei zuvor einer Anaerobiose unterworfenen Tieren war jedoch die prozentuale Veränderung der Atmungsgröße unter dem Einfluß veränderten Partialdrucks übereinstimmend. Zur Zeichnung der Kurven habe ich daher für die Atmungsgröße bei 21% O₂ den ermittelten Durchschnittswert eingesetzt und die anderen Punkte nach der durchschnittlichen prozentualen Veränderung gegenüber gleichzeitig gemessenen Werten unter Luft errechnet, als ob die Vergleichswerte stets den Durchschnittswert gehabt hätten. — Von den untersuchten Endoparasiten zeigt nur das Material von *Fasciola* unter Luft so weitgehend konstante Atmungsgröße, daß die Kurve einfach nach den gemessenen Werten gezeichnet werden konnte. Bei *Ascaris* und besonders *Triaenophorus* hingegen wechselte diese unter 21% O₂ von Material zu Material so erheblich, daß anders vorgegangen werden mußte. In Fig. 1 sind daher die Kurven dieser Tiere nicht auf Grund der Durchschnittswerte des Gesamtmaterials, sondern auf Grund einiger ausgewählter Messungen, die unter Luft gut übereinstimmende Atmungsgrößen zeigten, gezeichnet. Diese Kurven haben natürlich nur demonstrativen Wert für die durch die Gesamtheit der Messungen erwiesene Tatsache, daß der Partialdruck des Mediums stets von Einfluß auf die Gestaltung der Atmungsgröße ist.

2. In der Erholungsphase nach Anaerobiose unterliegt — wenigstens unter höherem und mittlerem Sauerstoffpartialdruck — die Atmungsgröße meist rascher Verminderung im Verlauf der Messung. Wenn man die Gestaltung der Atmungsgröße unter wechselndem Partialdruck in einer Kurve darstellen will, darf man daher wohl für niedere Sauerstoffpartialdrücke die Durchschnittswerte längerer Messung verwenden, für höhere hingegen nur die Anfangswerte. Des öfteren — namentlich bei *Tubifex* und Endoparasiten — sinkt unter hohem Sauerstoffpartialdruck die Größe der Erholungsatmung so schnell, daß unter reinem Sauerstoff sehr bald geringere Werte als unter Luft gefunden werden. Besonders bei *Tubifex* war mitunter schon der erste Wert der Messung unter reinem Sauerstoff geringer als der Wert der Messung unter Luft. Der Verlauf der Kurve von *Tubifex* zwischen 21 und 100% O₂ wurde daher nicht gezeichnet.

Infolge der soeben geschilderten Schwierigkeit exakter Messung der Atmungsgröße unter Sauerstoffpartialdrücken, die über den der Luft hinaus erhöht sind, habe ich, abgesehen von *Planaria*, zwischen 21 und 100% O₂ keine Messungsetappen mehr gelegt. Der gezeichnete Teil der Kurven zwischen diesen Sauerstoffspannungen ist daher sicher stets zu steil.

Für die frei lebenden Formen wird zum Vergleich in Fig. 2 die Gestaltung der Atmungsgröße unter wechselndem Partialdruck an Tieren, die zuvor unter respiratorisch günstigsten Bedingungen (in mit Sauerstoff gesättigtem Wasser) gelebt hatten, in Kurven, die denen der Fig. 1 entsprechen, verfolgt. Man sieht, daß bei *Chironomus*, *Tubifex* und *Ephemera* die Atmungsgröße bis zu ziemlich niederem Partialdruck (bis zur „kritischen Sauerstoffspannung“) hinab praktisch unabhängig von der Sauerstoffspannung ist. Nur bei *Planaria* ist eine, wenn auch wesentlich weniger ausgeprägte Abhängigkeit noch vorhanden.

Vergleich der beiden Figuren zeigt deutlich, daß die Atmungsgröße von Tieren, die eine

Anaerobiose durchgemacht haben, gesteigert und nunmehr deutlich vom Partialdruck abhängig geworden ist. Ebenso ist der Sauerstoffverbrauch, den Endoparasiten, die normalerweise anaerob leben, bei Gegenwart des Gases zeigen, vom Partialdruck abhängig. In Fällen, in denen diese Abhängigkeit nicht durch kurvenmäßige Darstellung der Durchschnitte aller Messungswerte wiedergebbar ist, ist doch die Abhängigkeit der Atmungsgröße von der Sauerstoffspannung durch die einzelnen Vergleichsmessungen überzeugend erwiesen. Es sei darauf hingewiesen, daß — wie Fig. 1 zeigt — der Sauerstoffverbrauch der Endoparasiten wesentlich geringer ist als der frei lebender Tiere, die zuvor eine Anaerobiose durchgemacht haben.

Es ist nun die Frage zu diskutieren, inwieweit diese Befunde verallgemeinert werden dürfen. Bezüglich der Endoparasiten möchte ich annehmen, daß die Formen, die vorwiegend anaerob zu leben gezwungen sind, sich wie die untersuchten Arten verhalten. Nicht sicher ist mir dies für diejenigen Parasiten, die wahrscheinlich zeitweise frei leben (z. B. Diphylobotriiden). Diese zeigen manchmal auffallend hohen Sauerstoffverbrauch, und es ist — wie später noch zu erwähnen sein wird — fraglich, ob ihre Oxybiose ganz von einem zellfreien Oxydant gesteuert wird. An frei lebenden Formen habe ich — abgesehen von *Planaria* — Formen mit guten, zumeist sogar sehr guten Mechanismen der Sauerstoffaufnahme untersucht. Bei der Larve von *Ephemera* sind diese verhältnismäßig am geringsten entwickelt; immerhin ist infolge des Besitzes der Tracheenkiemen eine ziemlich große respiratorische Oberfläche vorhanden. Zudem lebt das Tier in Medien mit verhältnismäßig guter Sauerstoffversorgung. *Tubifex* und die Larve von *Chironomus thummi* leben zwar in respiratorisch ziemlich ungünstigen Medien, sie besitzen aber in verhältnismäßig großer, leicht durchlässiger Oberfläche und im Hämoglobin gute Hilfsmittel der Sauerstoffaufnahme. Bei diesen Formen ist daher im Versuch die Bedingung rein primärer Oxybiose durch einige Zeit währendem Aufenthalt in respiratorisch optimalem Medium (Sauerstoff) verhältnismäßig leicht zu erreichen. Auch in der Natur wird der entsprechende Zustand offenbar angestrebt, allerdings — wenigstens in der warmen Jahreszeit — nie ganz erreicht; denn aus dem Freien eingebrachte Tiere haben im Sommer stets deutlich gesteigerte Erholungsatmung.

Vielfach scheint aber der Fall verwirklicht zu sein, den wir bei *Planaria* fanden: Es finden offenbar auch dann, wenn das Tier unter respiratorisch günstigen Bedingungen lebt, anaerobe Prozesse der Energiegewinnung statt, die ständige, vom Sauerstoffpartialdruck abhängige sekundäre Oxybiose bedingen. So ist wohl am besten die auch bei Tieren, die unter respiratorisch günstigen Bedingungen gelebt haben, nicht selten zu beobachtende Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom

Partialdruck des Gases zu erklären. Als Beispiele solcher Tiere möchte ich nur nennen: die Larve von *Tenebrio molitor*, deren Sauerstoffverbrauch nach den Messungen THUNBERGS (1905) leichte, aber immerhin deutliche Abhängigkeit vom Partialdruck auch unter erhöhter Sauerstoffspannung zeigt, und den Regenwurm, dessen Atmungsgröße auch nach Aufenthalt in respiratorisch günstigem Medium nach den gründlichen Untersuchungen KRÜGERS (1940) zwischen 21 und 5% O₂ wechselnd, aber stets deutlich vom Partialdruck abhängig ist. Abhängigkeit der Atmungsgröße von der Sauerstoffspannung des Mediums findet sich — wie das Verhalten der *Tenebrio*-Larve zeigt — nicht nur bei massigen Tieren, bei denen ungenügende Versorgung tieferer Gewebsschichten mit Sauerstoff wahrscheinlich ist, sondern auch bei Tierformen, für die man durchaus ausreichende Sauerstoffversorgung annehmen muß. In diesem Zusammenhang sei auf das eigenartige Verhalten

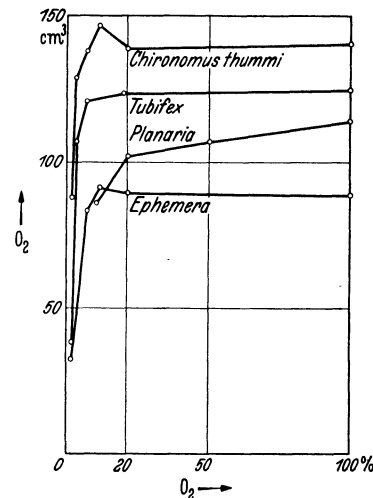


Fig. 2. Abhängigkeit der Atmungsgröße vom O₂-Partialdruck bei einigen frei lebenden Tieren nach Aufenthalt in respiratorisch günstigem Medium. Abszisse: Sauerstoffspannung des Mediums in Prozent einer Atmosphäre, Ordinate: Atmungsgröße in Kubikmillimeter pro 1 g Frischgewicht und 1/2 Stunde.

der Trypanosomen hingewiesen. Obwohl diese in strömendem Wirbeltierblut, also in respiratorisch denkbar günstigem Medium leben, haben sie aerobe Glykogenspaltung (v. BRAND 1932, 1933); außerdem zeigen sie aber auch Sauerstoffverbrauch (v. FENEVESSY 1924, 1928), dessen Verhalten gegenüber veränderter Sauerstoffspannung noch nicht untersucht ist. Es ist also durchaus wahrscheinlich, daß Prozesse anaerober Energiegewinnung auch bei Wirbellosen in manchen Fällen selbst dann getätigt werden, wenn sie nicht durch Sauerstoffmangel erzwungen sind. Hierdurch wird auch unter aeroben Bedingungen ständige Erholungsatmung und damit Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Partialdruck bedingt.

Wenn ich somit die Anschauung vertrete, daß vielfach die Abhängigkeit des Sauerstoffverbrauchs vom Sauerstoffpartialdruck des Mediums durch das Vorhandensein von Prozessen sekundärer Oxybiose verursacht sei, so soll dies keineswegs besagen, daß jede entsprechende Beobachtung so zu erklären ist. Massigkeit des Tierkörpers kann auch, rein durch die Verlangsamung der Sauerstoffdiffusion, Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck vortäuschen. Dies konnte bis zu einem gewissen Grade für Anthozoen erwiesen werden (HARNISCH 1932a); ferner gilt es für die nicht seltenen Fälle, in denen nach Veränderung des Partialdrucks des Mediums vorübergehende Veränderung des Sauerstoffverbrauchs zu beobachten ist. Diese ist offenbar durch verhältnismäßig langsame Angleichung der Sauerstoffspannung der Gewebe an das veränderte Medium und dadurch verändertes Sauerstoffkonzentrationsgefälle zwischen Medium und Gewebe, das für das Ausmaß des Diffusionsprozesses maßgeblich ist, bedingt (vgl. LEINER 1937, v. BUDDENBROCK 1938). Besteht der Verdacht, daß die Massigkeit für die Partialdruckabhängigkeit der Atmungsgröße verantwortlich ist, so muß geprüft werden, ob Verkürzung der Diffusionsstrecke durch Zerkleinerung der Gewebe die Abhängigkeit der Atmungsgröße von der Sauerstoffspannung des Mediums behebt oder doch wenigstens erheblich mindert. (Leider ist dieser methodischen Forderung kaum entsprochen worden.)

Gegen die Stichhaltigkeit meiner Ausdeutung der Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck des Mediums hat v. BUDDENBROCK (1939 S. 587) Bedenken geäußert. Er geht dabei von der Tatsache aus, daß bei verschiedenen Tierformen die kritische Sauerstoffspannung verlagert wird, wenn der Sauerstoffverbrauch durch Erhöhung der Temperatur gesteigert wird. Als dann ist schon bei höheren Sauerstoffspannungen die Diffusion und nicht der Sauerstoffbedarf der Gewebe der die Größe der Sauerstoffaufnahme limitierende Faktor. Folgende Beispiele hierfür seien wiedergegeben: v. BUDDENBROCK und v. ROHR (1923) fanden, daß die kritische Sauerstoffspannung von *Dixippus morosus* unter 10° etwa bei 5%, unter 15° etwa bei 7,5%, unter etwa 25° dicht bei 10% Sauerstoff einer Atmosphäre liegt. LINDEMANN (1935a) fand, daß die kritische Sauerstoffspannung von *Gammarus fasciatus* unter 10° bei 3,78%, unter 18° bei 6,525% liegt, und daß bei 26° die Atmungsgröße bei allen untersuchten Sauerstoffspannungen durch die Sauerstoffspannung des Mediums bestimmt wird. Der gleiche Autor fand (1935b) an *Hirudo* die kritische Sauerstoffspannung unter 10° bei etwa 1,2%, unter 17° bei etwa 2,9%, unter 24° bei etwa 3,5%, unter 30° bei etwa 5%, unter 34° schließlich bei 5,5% O₂ einer Atmosphäre.

Wir sehen aus diesen Daten, daß die Verlagerung der kritischen Sauerstoffspannung bei *Hirudo*, also bei der einzigen untersuchten Form, der im

Hämoglobin ein respiratorisches Hilfsmittel für die Sauerstoffaufnahme zur Verfügung steht, trotz der Massigkeit des Körpers verhältnismäßig gering ist, keinesfalls durchgehende Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Partialdruck zur Folge hat, wie sie bei Tieren nach Anaerobiose gefunden wurde. Zum andern ist die zur Verlagerung der kritischen Sauerstoffspannung notwendige Steigerung der Atmungsgröße, soweit aus den Daten der Literatur erkannt werden kann, ziemlich erheblich. Bei *Dixippus* wird nach den Manometerausschlägen, die v. BUDDENBROCK und v. ROHR angeben, bei 30° mindestens 3 mal soviel veratmet wie bei 10°. Demgegenüber ist festzustellen, daß bei den von mir besonders untersuchten Formen (*Tubifex*, Larve von *Chironomus thummi*) die Atmungsgröße während der Erholung kaum verdoppelt ist; bei *Planaria* und der Larve von *Ephemera* ist die Steigerung sogar noch geringer, und die Endoparasiten haben überhaupt nur ziemlich geringen Sauerstoffverbrauch. — Ferner ist zu betonen, daß prinzipielle Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck nach Anaerobiose gerade bei 2 Formen gefunden wurde, die sehr wenig massig sind und zudem Hämoglobin besitzen.

Somit mag es von vornherein wenig wahrscheinlich sein, daß die in diesen Fällen während der Erholung gefundene Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck einfach durch die Steigerung der Atmungsgröße erklärt werden kann. Die wirksamen respiratorischen Mechanismen dürften wenigstens bei *Tubifex* und *Chironomus* die Befriedigung noch weit größeren Sauerstoffbedarfs ermöglichen.

Es stehen aber auch Tatsachen zur Verfügung, die den soeben besprochenen Einwand direkt widerlegen. Bei Endoparasiten mindert erhebliche Verkürzung der Diffusionsstrecke durch feine Zerkleinerung des Tiermaterials die Abhängigkeit der Atmungsgröße von der Sauerstoffspannung keineswegs, eher tritt diese alsdann noch deutlicher hervor. Es ist also ausgeschlossen, daß die Diffusionsgeschwindigkeit für die während der Erholungsatmung beobachtete Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck verantwortlich ist¹⁾.

Von ausschlaggebender Bedeutung für die Erkenntnis des Wesens der in der Erholungsphase zu beobachtenden „sekundären Oxybiose“ ist schließlich die Tatsache, daß sie durch ein zellfrei wirksames Oxydans der Leibeshöhlenflüssigkeit katalysiert wird (HARNISCH 1937a, b). Diese Tatsache wurde zuerst durch Untersuchungen an der Larve von *Chironomus thummi* erkannt. Wenn man *Chironomus*-Larven, die zuvor unter respiratorisch optimalen Bedingungen gelebt haben, fein zerschneidet, die Schnittstücke mit isotoner Kochsalzlösung (0,85%) wäscht und alsdann ihren

¹⁾ Auch zerkleinertes Material von *Chironomus*-Larven hat, wenn es in Hämolymphe suspendiert wird, von der Sauerstoffspannung abhängige Atmungsgröße.

Sauerstoffverbrauch bei Suspension in der gleichen Lösung mißt, so erscheint die Atmungsgröße der Schnittstücke gegenüber der ganzen Tiere kaum verändert. Die Schnittstücke verbrauchten im Durchschnitt 145,9 cmm O₂ (pro 1 g und 1/2 Stunde). Dieser Wert entspricht dem, was sonst an intakten Larven aus respiratorisch günstigem Medium gefunden wurde. Führt man dagegen das gleiche Experiment mit Larven durch, die zuvor einer Anaerobiose von 16–24 Stunden unterworfen waren, so zeigen die gut gewaschenen und in Kochsalzlösung suspendierten Schnittstücke Atmungsgrößen, die durchaus den Werten entsprechen, die an Schnittstücken von Tieren aus respiratorisch günstigem Medium gemessen wurden. (Der Durchschnittswert war wohl nur zufällig unwesentlich geringer = 131,6 cmm.) Intakte Larven nach Anaerobiose zeigten aber in gleichzeitigen Messungen den üblichen erheblich erhöhten Wert von im Durchschnitt 246,41 cmm O₂ (pro 1 g und 1/2 Stunde). Während also bei Larven aus respiratorisch günstigem Medium kein wesentlicher Unterschied zwischen der Atmungsgröße ganzer Tiere und der durch Waschen von der Leibeshöhlenflüssigkeit befreiter, in indifferentem Medium suspendierter Schnittstücke besteht, ist der Unterschied zwischen der Atmungsgröße entsprechend behandelter und suspendierter Schnittstücke von Larven nach Anaerobiose und entsprechenden intakten Tieren erheblich. Dies beruht darauf, daß die Schnittstücke in indifferentem Medium nicht die erhöhte Atmungsgröße von Larven in Erholungsatmung, sondern nur den niederen Sauerstoffverbrauch von Larven, die keine Anaerobiose durchgemacht haben, aufweisen. Suspendiert man dagegen die Schnittstücke nicht in indifferentem Medium, sondern in Hämolymphe von Anaerobiosetieren, die zuvor durch ein Asbestfilter (EK-Schicht) gesogen und so von zelligem Material befreit wurde, so tritt wieder ein Sauerstoffverbrauch von der Größenordnung der Atmung intakter Tiere in der Erholungsphase auf (im Durchschnitt = 238,41 cmm O₂ pro 1 g und 1/2 Stunde)¹⁾.

Gut gewaschene Preßteilchen von *Ascaris* zeigten, in Kochsalzlösung suspendiert, in mehr als der Hälfte der Fälle überhaupt keinen Sauerstoffverbrauch mehr; in den übrigen Fällen war die Atmungsgröße unter diesen Bedingungen — von einem Einzelfall abgesehen — nur klein, meist sogar sehr klein, und blieb hinter der ganzen Wurmstücke erheblich zurück. Bei Suspension entsprechend behandelter Preßteilchen in zellfreier Leibeshöhlenflüssigkeit von *Ascaris* hingegen trat Sauerstoffverbrauch auf, der meist ein Mehrfaches der Atmungsgröße unzerteilter Stücke betrug. Die gleiche Gesetzmäßigkeit wurde an gut gewaschenen und in Kochsalzlösung bzw. im ersten Gewebsfiltrat suspendierten Preßteilchen der Ce-

stoden *Moniezia expansa*, *Abothrium crassum* und *rugosum* gefunden¹⁾. Man darf mit gutem Grund annehmen, daß der Sauerstoffverbrauch von Preßteilchen dieser Endoparasiten, wenn sie gänzlich von Leibeshöhlen- bzw. Gewebsflüssigkeit befreit sind, erloschen ist, dagegen wieder voll auftritt, wenn diese Körperflüssigkeiten wieder zugegen sind. Wenn gelegentlich auch bei Suspension der Preßteilchen in indifferentem Medium noch ein wechselnd großer Rest von Sauerstoffverbrauch vorhanden ist, so ist dies sicher dem Umstand zuzuschreiben, daß es ziemlich schwierig ist, die zwischen den Zellen sitzende Flüssigkeit restlos zu entfernen. Die Tatsache, daß — namentlich bei *Ascaris* — der Sauerstoffverbrauch gewaschener Preßteilchen in Körperflüssigkeit gegenüber dem unzerteilter Stücke erheblich gesteigert ist, ist ebenfalls verständlich, da bei dem feinzerteilten Material, auf das eine verhältnismäßig große Menge Leibeshöhlenflüssigkeit einwirkt, wesentlich andere Bedingungen vorliegen als an unzerteilten Stücken. Bei den untersuchten Cestoden ist unter den entsprechenden Bedingungen die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs gegenüber dem ganzen Ketten oder Kettenstücke weniger erheblich; dies ist durchaus verständlich, da im „Gewebsfiltrat“ die Körperflüssigkeit wesentlich verdünnt ist.

Somit ist erwiesen, daß die Oxybiose der untersuchten Endoparasiten ganz, die der frei lebenden Tiere nach Anaerobiose, soweit sie über die Atmungsgröße von Tieren, die zuvor keine Anaerobiose durchgemacht haben, gesteigert ist, von einem besonderen zellfrei arbeitenden Oxydant katalysiert wird. Der Umstand, daß in der Erholungsatmung ein zellfrei arbeitendes Oxydant wirksam ist, macht die Abhängigkeit ihrer Größe vom Sauerstoffpartialdruck verständlich. Oxydanten, deren Arbeit vom Sauerstoffpartialdruck abhängig ist, sind bekannt: Urikase (BATELLI und STERN 1909), Tyramin- und Xantinoxidase (KOHN 1937), so daß die Existenz eines entsprechenden oxydierenden Systems in der Erholungsatmung nichts völlig Absonderliches darstellt.

Der Nachweis, daß die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs während der Erholung durch ein besonderes zellfreies Oxydant (oder durch ein System solcher) katalysiert ist, beweist, daß in der Erholungsatmung nicht etwa die Gesamtoxybiose anderen Charakter erhalten hat, sondern daß zu der Oxybiose, die die in respiratorisch günstigem Medium lebenden Tiere allein haben, der „primären Oxybiose“, eine besondere, die „sekundäre Oxybiose“, hinzugetreten ist, die durch vorangegangene Anaerobiose hervorgerufen wird. Die durch v. BUDDENBROCK vorgeschlagene Er-

¹⁾ Die Abhängigkeit der Atmungsgröße vom Sauerstoffpartialdruck tritt ebenfalls nur bei Suspension der Schnittteilchen in Hämolymphe auf.

¹⁾ Preßteilchen von *Bothriocephalus bipunctatus* zeigen zumeist noch verhältnismäßig hohen Sauerstoffverbrauch. Es muß vorläufig dahingestellt bleiben, ob bei ihnen die Entfernung der Gewebsflüssigkeit besonders schwierig ist oder ob bei dieser Form primäre Oxybiose vorhanden ist.

klärung meiner Befunde muß auf Grund der soeben geschilderten Tatsachen abgelehnt werden.

Man bezeichnet die nach Anaerobiose auftretende gesteigerte Erholungsatmung oft als „Sauerstoffschuld“ („oxygen debt“). Dieser Terminus fußt auf der Auffassung, daß in der Erholung der Sauerstoffverbrauch „nachgeholt“ wird, der während der Anaerobiose ausgefallen ist. Dies wäre so zu verstehen, daß während „normaler“ Oxybiose ein beträchtlicher Teil des Sauerstoffverbrauchs dazu dient, die Produkte auch unter aeroben Bedingungen ablaufender Spaltungsprozesse zum Verschwinden zu bringen. Fehlt während Anaerobiose der Sauerstoff, so tritt Anreicherung der Spaltungsprodukte ein, und während nachfolgender aerober Phase muß die ausgefallene oxybiotische Arbeit an den Spaltprodukten anaerober Prozesse durch gesteigerten Sauerstoffverbrauch nachgeholt werden.

Die Sauerstoffbilanz während und nach kurzfristiger Anaerobiose kann als Stütze dieser Auffassung angesehen werden: Versuche an *Periplaneta* (DAVIS und SLATER 1926, 1928), an *Planorbis* und *Arenicola* (BORDEN 1931). Für meine Versuche mit langfristiger Anaerobiose (an *Tubifex* und der Larve von *Chironomus thummi*) vermag ich zwar keine exakte Bilanz zwischen dem während der Anaerobiose ausgefallenen und dem während der Erholung mehr veratmeten Sauerstoff zu geben, aber ich glaube kaum, daß diese beiden Größen identisch sind. Bei den Larven von *Chironomus thummi* z. B. müßte während einer Anaerobiose von 24 Stunden ein Defizit von etwa 3300 cmm Sauerstoff entstanden sein. Da die Atmung in der Erholung etwa um 80 cmm (pro $\frac{1}{2}$ Stunde) gesteigert ist, müßte, um die entstandene Sauerstoffschuld zu begleichen, etwa 40 Stunden lang entsprechend erhöhte Atmung beibehalten werden. Die Erfahrung zeigt aber, daß die Erholungsatmung ihre Größenordnung sehr rasch vermindert und schon nach wenigen Stunden im wesentlichen abgeklungen ist. Entsprechendes ergibt sich für *Tubifex*.

Man kann daran denken, daß dieser Gegensatz darauf hinweist, daß es — wie v. BUDDENBROCK (1939) annimmt — 2 Arten von Anaerobiose gibt: einmal „verkappte Oxybiose mit verhinderter Restitutionsphase“, zum anderen „echte Anaerobiose“, in der besondere anaerobe Prozesse herrschen, die unter aeroben Bedingungen nicht ablaufen. Der erste Fall würde bei *Periplaneta*, *Lumbricus*, *Planorbis* und *Arenicola*, der zweite bei *Tubifex* und *Chironomus* verwirklicht sein. Ohne die Möglichkeit des Bestehens eines solchen Gegensatzes abstreiten zu wollen, möchte ich doch meinen, daß gegenwärtig noch keine Daten vorhanden sind, die eine solche Annahme als notwendig erscheinen lassen. Es ist zunächst zu betonen, daß eine exakte Sauerstoffbilanz gar nicht aufgestellt werden kann, da wir nicht wissen, wieviel des Sauerstoffverbrauchs während „normaler“ Oxybiose zur Beseitigung von Spaltungsprozessen

aerob ablaufender Gärungsprozesse (im weitesten Sinne) verwandt wird. Daß der gesamte aerobe Sauerstoffverbrauch so aufzufassen ist, erscheint doch reichlich fraglich, wird aber in den Bilanzrechnungen namentlich von DAVIS und SLATER angenommen. Eine wirkliche Klärung dieser Frage kann nur durch das Studium des chemischen Ablaufes der Spaltungsprozesse bei kurz- und langfristiger Anaerobiose und auch unter aeroben Bedingungen erzielt werden. Hierfür wird noch sehr viel Arbeit notwendig sein. Vorläufig möchte ich jedenfalls den Terminus „Sauerstoffschuld“ („oxygen debt“) vermeiden.

In früheren Arbeiten habe ich auf den respiratorischen Quotienten als wesentliches Kennzeichen der sekundären Oxybiose Wert gelegt. Dieser erscheint während der Erholungsatmung stets mehr oder minder erheblich erniedrigt. Ich glaubte anfänglich hierin einen Hinweis auf chemische Eigentümlichkeit des Prozesses der sekundären Oxybiose erblicken zu können. Spätere Messungen zeigten aber, daß bei *Tubifex* und auch bei der *Chironomus*-Larve der respiratorische Quotient der sekundären Oxybiose normal hohe Werte annimmt, wenn das gebotene Gasgemisch 10 bis 20 % CO₂ enthält. Während der Erholungsatmung liegt also offenbar Kohlendioxidretention vor: während der Anaerobiose ist aus Karbonaten des Tierkörpers CO₂ durch entstehende Säuren ausgetrieben worden; in der Erholung werden die entsprechenden Verbindungen wieder in Karbonate überführt, und hierdurch wird CO₂ retiniert, was sich in der Erniedrigung des respiratorischen Quotienten kundtut. Diese ist somit zwar ein gewisses Kennzeichen des Vorhandenseins sekundärer Oxybiose, sie erlaubt aber keinen Schluß auf die chemische Natur ihres Prozesses.

Die gewonnene Erkenntnis von der Sondernatur der sekundären Oxybiose gibt uns den Schlüssel für das Verständnis einiger gewöhnlich als respiratorische Hilfsmittel angesprochener Eigentümlichkeiten namentlich solcher Tiere, die in Medien leben, die wenigstens zeitweilig mangelhafte Versorgung des Tierkörpers mit Sauerstoff bedingen.

Der respiratorische Farbstoff Hämoglobin tritt bei Wirbellosen in verschiedenen systematischen Gruppen hin und wieder auf, und zwar besitzen den Farbstoff namentlich solche Tiere, die häufig Sauerstoffmangel zu leiden haben. Man hat daher stets daran gedacht, daß das Hämoglobin in irgendeiner Form das Leben in an Sauerstoff armem Milieu erleichtert. Zunächst kann man daran denken, daß der Farbstoff einen Sauerstoffspeicher für Zeiten des Sauerstoffmangels darstellt. Dieser Speicher kann jedoch nur für kurze Zeit die Fortführung des oxybiotischen Lebens im normalen Ausmaß ermöglichen. Bei *Arenicola marina* kann nach den Messungen und Berechnungen BARCROFTS (1924) die vom Hämoglobin gespeicherte Sauerstoffmenge etwa zur Aufrechterhaltung der Standardatmung während der — verhältnismäßig kurzen — Zeit, die sich der Wurm in seinen Röhren aufzuhalten pflegt, ausreichen. Berechnungen von LEITCH (1916) für die *Chironomus*-Larve ergaben dagegen, daß die

vom Hämoglobin gespeicherte Sauerstoffmenge nur für sehr kurze Zeit ausreichen kann, während die Larve sehr lange Zeit in Medien mit äußerst geringer Sauerstoffspannung lebt, ohne die Möglichkeit zu haben, ihr Hämoglobin neu mit Sauerstoff aufzuladen. Für viele in Frage kommende Tiere dürfte das gleiche gelten wie für die *Chironomus*-Larve. Die Speichertheorie kann keinesfalls eine allgemein befriedigende Erklärung für die ökologische Funktion des Hämoglobins der Wirbellosen geben, wenn auch hier und da es in diesem Sinne ausgenutzt werden mag.

Die Dissoziationskurve des Oxyhämoglobins der fraglichen Wirbellosen ist bei der für sie normalen Temperatur steil, mitunter sogar sehr steil, das Hämoglobin ist also schon bei ziemlich geringem Sauerstoffpartialdruck mit Sauerstoff gesättigt. Das bedeutet, daß das Oxyhämoglobin erst entladen werden kann, wenn die Sauerstoffspannung in den Geweben einen sehr geringen Wert erreicht hat, was erst bei niederem Sauerstoffpartialdruck des Mediums der Fall ist. Man hat daher angenommen, daß bei höherer Sauerstoffspannung des Mediums das Hämoglobin gar nicht am Sauerstofftransport beteiligt ist und erst bei niederem Sauerstoffpartialdruck des Mediums, wenn auch der der Gewebe entsprechend erniedrigt ist, beschleunigend in den Atmungsprozeß eingreift. Dadurch wird die kritische Sauerstoffspannung bei den Hämoglobin besitzenden Tieren erniedrigt, d. h. sie können ihren Standardstoffwechsel noch bei weit niedrigerer Sauerstoffspannung aufrechterhalten als hämoglobinlose Tiere. Messungen an *Tubifex* und an der Larve von *Chironomus thummi* bestätigten diese Folgerung; es zeigte sich aber, daß offenbar das ökologische Interesse an der Ausnutzung dieser Fähigkeit nur gering ist. Es ist bei der Larve von *Chironomus thummi* schon erhebliche Vorbehandlung in respiratorisch günstigem Medium notwendig, um Material zu erhalten, das die optimale Lage der kritischen Sauerstoffspannung zeigt; sonst beobachtet man gewöhnlich schon bei von Fall zu Fall wechselnden, oft wesentlich höheren Sauerstoffspannungen Verringerung der Sauerstoffaufnahme, was noch fortbestehendem Rest der vom Partialdruck abhängigen sekundären Oxybiose zuzuschreiben sein dürfte. KRÜGER (1940) fand, daß bei Regenwürmern, deren Hämoglobin durch CO-Vergiftung ausgeschaltet war, keineswegs die Sauerstoffaufnahme bei niederem Partialdruck (5%) mehr verlangsamt war als bei höherem Partialdruck (21%). Es ist also kaum anzunehmen, daß der soeben diskutierte Gesichtspunkt die Bedeutung des Hämoglobins für die wirbellosen Tiere erschöpfend erklärt.

Auf Grund von Messungen an mit Kohlenoxyd vergifteten Larven von *Chironomus thummi* habe ich (1936) einen neuen Gesichtspunkt für das Verständnis der Bedeutung des Hämoglobinbesitzes entwickelt. Während bei Larven in rein primärer Oxybiose nach Kohlenoxydvergiftung erst von etwa 6% O₂ im Medium an abwärts gegenüber normalen Tieren deutlich verringerter Sauerstoffverbrauch festzustellen ist, ist bei Larven in sekundärer Oxybiose (also nach Anaerobiose) schon bei der höchsten geprüften Sauerstoffspannung des Mediums (80% O₂) deutliche Unterlegenheit der Atmungsgröße der mit CO vergifteten Tiere zu beobachten, die von etwa 21% O₂ im Medium an abwärts noch wesentlich deutlicher in Erscheinung tritt. Es ist also, wenn das Oxydans der sekun-

dären Oxybiose wirksam ist, das Hämoglobin stets, auch bei hohem Sauerstoffpartialdruck, in den Prozeß der Atmung eingeschaltet. Auch für *Tubifex* konnte gezeigt werden, daß sekundäre Oxybiose im Gegensatz zu primärer Oxybiose auch beim Sauerstoffpartialdruck der Luft durch das Hämoglobin beschleunigt wird. KRÜGER (1940) findet, daß der Sauerstoffverbrauch mit Kohlenoxyd vergifteter Regenwürmer zwischen 21 und 5% O₂ im Medium durchweg gehemmt ist. Die Hemmung betrifft im Durchschnitt etwa ein Drittel des Sauerstoffverbrauchs normaler Würmer. KRÜGER lehnt meine soeben für *Chironomus* und *Tubifex* skizzierte Ausdeutung ab, da vor der Messung die Tiere ausreichend mit Sauerstoff versorgt waren, also keine durch das Medium bedingte Anaerobiose durchgemacht hatten. Wie oben dargelegt, ist für das Vorhandensein sekundärer Oxybiose aber keineswegs Vorgehen einer erzwungenen Anaerobiose unbedingte Voraussetzung. Es ist sicher, daß bei manchen Tieren auch ohne Sauerstoffmangel im Medium anaerobe Spaltungsprozesse ablaufen, die auch bei dauerndem Aufenthalt in respiratorisch günstigem Medium ständig sekundäre Oxybiose im Gefolge haben. Die — wie oben bereits erwähnt — ebenfalls von KRÜGER festgestellte Abhängigkeit der Atmungsgröße des Regenwurms vom Sauerstoffpartialdruck des Mediums legt die Vermutung nahe, daß auch das Hämoglobin des Regenwurms in den Prozeß sekundärer Oxybiose beschleunigend eingreift. Auch die Tatsache, daß nach KRÜGERS Messungen mit Kohlenoxyd vergiftete Regenwürmer einen höheren respiratorischen Quotienten haben als normale Regenwürmer, spricht für diese Annahme; da — wie oben ausgeführt — Erniedrigung des respiratorischen Quotienten ein Merkmal sekundärer Oxybiose ist, ist zu erwarten, daß Verlangsamung der sekundären Oxybiose sich in Erhöhung des respiratorischen Quotienten äußert. Es wäre sicher lohnend, nach dem Vorhandensein von Prozessen sekundärer Oxybiose beim Regenwurm zu fahnden.

Wenn ich somit die Ansicht vertrete, daß Beschleunigung der sekundären Oxybiose eine wichtige Aufgabe des Hämoglobins mancher Wirbellosen ist, so soll damit keineswegs gesagt sein, daß dies die einzige und „wahre“ Funktion des Hämoglobins dieser Tiere ist, um deretwillen es sozusagen vorhanden ist. Wie schon angedeutet, glaube ich, daß das Hämoglobin in mancherlei Prozesse, die vielleicht noch gar nicht alle erfaßt sind, eingreifen kann.

Ein weiteres Problem, für dessen Lösung die Berücksichtigung der durch sekundäre Oxybiose bedingten besonderen Verhältnisse wichtig sein kann, ist die Bedeutung von gemeinsam als „Atmungsorgane“ angesprochenen Oberflächenvergrößerungen namentlich wasserlebender Tiere. Die Larven von *Chironomus* haben an ihrem Hinterende ventral schlauchförmige Anhänge, die sog. Tubuli. Zumal die Hämolymphe durch innere Scheide-

wände gezwungen wird, bei ihrer Bewegung diese Schläuche zu passieren, bevor sie zum Herzen zurückkommt, lag die Annahme nahe, daß sie „Atmungsorgane“ sind. Es konnte aber weder von FOX (1920/21) noch von mir (1930) ein Einfluß dieser Bildungen auf die Atmungsgröße der Larven nachgewiesen werden. Es ist so gut wie sicher, daß diese negativen Befunde an Larven mit im wesentlichen primärer Oxybiose erhoben worden sind. Verwendet man jedoch für die Versuche Larven, die zuvor einer Anaerobiose unterworfen waren, so bedingt Ausschaltung der Tubuli auch Senkung der gesteigerten Atmungsgröße. Gegenüber der stark gesteigerten Atmungsgröße der Erholung, deren möglichst rasche Erledigung für den Organismus wichtig ist, ist die Oberfläche offenbar nicht mehr im Überschuß, was für die geringere primäre Oxybiose gilt. Auch bezüglich der Tubuli soll nicht behauptet werden, daß ihre Bedeutung mit der Beschleunigung der sekundären Oxybiose erschöpfend erkannt worden wäre. Es ist durchaus denkbar, daß sie auch sonst für den Austausch von — vielleicht gar nicht gasförmigen — Stoffen Bedeutung haben.

Der vorstehende Aufsatz sollte das Problem der notwendigen Analyse der Oxybiose wirbelloser Tiere rein nach physiologischem Gesichtspunkt behandeln. Zum Schluß möchte ich noch kurz auf die Bedeutung der sekundären Oxybiose für das Problem der Besiedlung von Lebensräumen mit geringem Sauerstoffpartialdruck zu sprechen kommen. Es ist mir sicher, daß diese namentlich für Bewohner flacherer Gewässer mit verhältnismäßig häufigen Schwankungen der Sauerstoffspannung eine ausschlaggebend wichtige Rolle spielt. Dagegen ist mir dies für Tiere, die in Medien mit dauernd oder doch für längere Zeit äußerst geringem Sauerstoffpartialdruck zu leben gezwungen sind, in neuerer Zeit fraglich geworden. Es scheint, daß für diese Formen eine anaerobe Regulation, die bereits im sauerstofffreien Medium eine Minderung der durch anoxybiotische Energiegewinnung bedingten Schädigung des Organismus bewirkt, wichtiger ist. Näheres hierüber und über die wechselnde ökologische Bedeutung anaerober Regulation und sekundärer Oxybiose kann zur Zeit noch nichts gesagt werden, da die diesbezüglichen Untersuchungen noch im Anfang stehen.

Literatur.

- F. BATELLI u. L. STERN, Untersuchungen über die Urikase in den Tiergeweben. *Biochem. Z.* **19** (1909). — J. BARCROFT and M. BARCROFT, The blood pigment of arenicola. *Proc. Roy. Soc. B* **96** (1924). — M. A. BORDEN, A Study of the Respiration and of the Function of the Haemoglobin in *Planorbis corneus* and *Arenicola marina*. *J. Mar. biol. Assoc. U. Kingd., N. s.* **17** (1930/31). — TH. v. BRAND, Studien über den Kohlehydratstoffwechsel parasitischer Protozoen I. *Z. Parasitenkde* **4** (1932) — Studien über den Kohlehydratstoffwechsel parasitischer Protozoen II. *Z. vergl. Physiol.* **19** (1933). — W. v. BUDDENBROCK, Über die Abhängigkeit der Atmung vom Sauerstoffdruck. *Nova Acta Leopoldina (Halle)*, N. F. **6** (1938) — Grundriß der vergleichenden Physiologie 2. Aufl. 2. Bd. Berlin 1939. — W. v. BUDDENBROCK u. v. ROHR, Die Atmung von *Dixippus morosus*. *Z. allg. Physiol.* **20** (1923). — B. v. FENEVESSY u. L. REINER, Untersuchungen über den respiratorischen Stoffwechsel der Trypanosomen. *Z. Hyg.* **102** (1924) — Atmung und Glykolyse der Trypanosomen II. *Biochem. Z.* **202** (1928). — H. MUNRO FOX, An investigation into the cause of the spontaneous aggregation of flagellates and into the reactions of flagellates to dissolved oxygen. *J. gen. Physiol.* **3** (1920/21). — O. HARNISCH, Daten zur Respirationphysiologie Hämoglobin führender Chironomidenlarven. *Z. vergl. Physiol.* **11** (1930) — Studien zur Physiologie des Gaswechsels von Tieren ohne Regulierung der Sauerstoffaufnahme bei wechselndem O₂-Partialdruck. *Z. vergl. Physiol.* **12** (1932a) — Untersuchungen über den Gaswechsel von *Fasciola hepatica*. *Z. vergl. Physiol.* **17** (1932) — Untersuchungen zur Kennzeichnung des Sauerstoffverbrauchs von *Triaenophorus nodulosus* und *Ascaris lumbricoides*. *Z. vergl. Physiol.* **19** (1933) — Versuch einer Analyse des Sauerstoffverbrauchs von *Tubifex tubifex*. *Z. vergl. Physiol.* **22** (1935a) — Zur Analyse des Sauerstoffverbrauchs einiger Wirbelloser. *Verh. dtsh. zool. Ges.* (1935b) — Primäre und sekundäre Oxybiose der Larve von *Chironomus thummi*. *Z. vergl. Physiol.* **23** (1936) — Über den Charakter der „Erholungsatmung“ nach Erzwungener Anaerobiose. *Z. vergl. Physiol.* **24** (1937a) — Zellfrei arbeitendes Oxydans im Gaswechsel von *Ascaris lumbricoides* und einigen Cestoden. *Z. vergl. Physiol.* **24** (1937b) — Die Funktion der präanalen Oberflächenvergrößerungen (Tubuli) der Larve von *Chironomus thummi* bei sekundärer Oxybiose. *Z. vergl. Physiol.* **24** (1937c) — Zur Analyse des Sauerstoffverbrauchs der Larven von *Cloeon dipterum* und *Ephemera vulgata*. *Z. vergl. Physiol.* **26** (1939). — H. J. KOHN, Tyramin Oxydase. *Biochemic. J.* **31**, 2 (1937). — F. KRÜGER, Beiträge zur Physiologie des Hämoglobins wirbelloser Tiere. I. Versuche über die Atmung normaler und mit Kohlenoxyd vergifteter Regenwürmer bei Temperaturen um 20°. *Z. vergl. Physiol.* **28** (1940). — M. LEINER, Die Atmung des kurzschnauzigen Seepferdchens (*Hippocampus brevisrostris*) und seiner Embryonen und Jungfische. *Z. vergl. Physiol.* **28** (1937). — J. LETCH, The function of Haemoglobin in Invertebrates with special reference to *Planorbis* and *Chironomus* larvae. *J. of Physiol.* **50** (1916). — V. F. LINDEMANN, The influence of a temperature upon the respiratory regulation of an amphipod crustacean (*Gammarus fasciatus*). *Anat. Rec.* **64** Suppl.-Bd. 82 (1935a) — The relation of temperature to respiratory regulation in the leech (*Hirudo medicinalis*). *J. physiol. Zool.* **8** (1935b). — T. THUNBERG, Der Gasaustausch einiger niederer Tiere in seiner Abhängigkeit vom Sauerstoffpartialdruck. *Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.)* **17** (1905).

Über die Bildung von Zirkon und Protactinium bei der Bestrahlung des Thoriums mit Neutronen¹⁾.

Von OTTO HAHN und FRITZ STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

In einer Arbeit über „einige weitere Produkte der Uranspaltung“ haben wir ein Zirkon-Isotop von 26 Tagen Halbwertszeit beschrieben, das sowohl bei der Verarbeitung des bestrahlten Urans selbst als auch in dem „aktiven Niederschlag“ der gasförmigen Uranspaltprodukte nachgewiesen wurde²⁾. Dabei kam uns der Verdacht, daß eine früher von MEITNER, STRASSMANN und HAHN³⁾ vor der Auffindung der Kernspaltung als Protactinium-Isotop von 25 Tagen angesprochene aus Thorium erzeugte Substanz vielleicht gar kein Protactinium, sondern vielleicht identisch sei mit dem bei der Uranspaltung aufgefundenen Zirkon-Isotop praktisch gleicher Halbwertszeit. Die chemische Abscheidung war nämlich für die beiden Produkte dieselbe: Fällung mit Phosphorsäure aus stark salzsaurem Lösung, wobei sowohl das Zirkon wie das Protactinium ausfallen, das Uran X aber in Lösung bleibt. Da vor der Auffindung der Kernspaltung an ein Zirkon nicht zu denken war, war der Schluß auf Protactinium zwingend.

Nachdem nun aber beim Thorium eine ganze Anzahl mit den Uranprodukten gleicher Bruchstücke nachgewiesen waren⁴⁾, konnten auch die beiden mit Phosphorsäure aus starker Salzsäure fällbaren 25- bzw. 26-Tage-Körper identisch sein. Daß wir das 25-Tage-Produkt aus Thorium bei unseren früheren Versuchen mit verlangsamten Neutronen gewonnen hatten, wogegen zur Spaltung des Thors eine Neutronenenergie von mindestens etwa 1,8 MeV⁵⁾ notwendig ist, war kein Beweis gegen diese Vermutung, denn neben den verlangsamten Neutronen waren sicher auch noch energiereiche vorhanden, und die Intensität des 25-Tage-Körpers war nur sehr gering.

Wir haben diese Fragen nunmehr nachgeprüft mit dem Ergebnis, daß das in der Arbeit von L. MEITNER und uns als Protactinium angesprochene, bei der Bestrahlung des Thoriums entstehende Produkt tatsächlich ein Protactinium-Isotop ist. Außerdem konnten wir das beim Uran zuerst von v. GROSSE und BOOTH⁶⁾ aufgefundene sehr intensive 17-Stunden-Zirkon beim Thorium sicher nachweisen. Auch das 26-Tage-Zirkon scheint zu entstehen; für eine Halbwertszeitbestimmung war aber seine Aktivität zu klein.

Die Versuche wurden sowohl mit unverlangsamten als auch mit verlangsamten Neutronen durchgeführt. Die dabei möglicherweise entstandenen Zirkon- und Protactinium-Isotope wurden gemeinsam gefällt und vom Thorium und allen anderen künstlichen und natürlichen aktiven Atomarten abgetrennt. Die Unterscheidung von Zirkon und Protactinium geschah dann

nach v. GROSSE¹⁾ durch fraktionierte Kristallisation von Zirkonoxychlorid. Das Protactinium wird dabei in den Laugen stark angereichert, das aktive Zirkon verteilt sich naturgemäß gleichmäßig auf das gewichtsmäßig zugesetzte inaktive Zirkon.

Der *Arbeitsgang* war folgender: Verwendet wurde unser seit vielen Jahren regelmäßig vom Mesothor befreites Thorium, dessen Gehalt an Radiothor nur noch ungefähr 2% der Gleichgewichtsmenge betrug. Bestrahlt wurde sowohl mit den unverlangsamten wie mit den verlangsamten Neutronen je etwa 100 Stunden. Das bestrahlte, bei 150° getrocknete Thoriumoxydhydrat wurde in so viel Salpetersäure gelöst, daß die Lösung etwa 3–5% freie Salpetersäure enthielt. Da die Abtrennung des Thoriums von den künstlich aktiven Umwandlungsprodukten in einer Weise erfolgen sollte, die ein bequemes Aufarbeiten des kostbaren Thor-Präparates gestattete, wurde die etwa 10 g Thorium enthaltende Lösung mit 50 mg Zirkonoxychlorid versetzt und das Thorium in der Siedehitze mit Oxalsäure gefällt. Ist der Säuregehalt zu gering, so besteht die Gefahr, daß Zirkon, Protactinium und seltene Erden zu erheblichem Betrage mitgerissen werden. In diesem Falle wird das Thoriumoxalat abfiltriert, in heißer Ammoniumoxalatlösung gelöst und durch Zusatz hinreichender Mengen Mineralsäure wieder gefällt.

Die vereinigten Filtrate werden mit Ammoniak gefällt; der Niederschlag, der neben Zirkon, Niob, kleinen restlichen Mengen Thorium, Protactinium, die seltenen Erden, einen Teil der Erdalkalien und der mit Schwefelwasserstoff fällbaren Elemente enthält, wird in Säure gelöst und erneut mit Ammoniak gefällt, um Reste von Oxalat zu entfernen; dann wird er wieder gelöst und die saure Lösung durch eine Fällung von Wismutsulfid von den mit Schwefelwasserstoff fällbaren Elementen befreit. Das Filtrat wird von Schwefelwasserstoff befreit; die Erdalkalien werden durch wiederholte Fällung des Zirkons mit karbonatfreiem Ammoniak bei Gegenwart von Barium und Strontium abgetrennt. Das Zirkon wird in möglichst wenig Säure gelöst und nach Zusatz von 10 mg Lanthanchlorid mit einigen Tropfen Flußsäure erwärmt. Es fallen die Erdfluoride und die kleinen restlichen Mengen von Thorium aus. Das Filtrat wird durch Abrauchen mit Schwefelsäure von Flußsäure, durch mehrfaches Umfällen mit Ammoniak von Sulfat befreit. Dann wird der gereinigte Oxydhydratniederschlag in 37proz. Salzsäure gelöst und die Lösung mit 500 mg Zirkonoxychlorid versetzt. Durch Zusatz von Salzsäure bzw. Salzsäure und Aceton wird das Zirkon fraktioniert gefällt und dadurch vom Protactinium und vom Niob getrennt.

Aus den Restlaugen wurden Protactinium und Niob mit Zirkonresten als Träger durch Ammoniak gefällt. Eine besondere Trennung des Protactiniums vom Niob durch Fällung vom Protactinium mit Zirkon als Träger durch Ammoniak aus schwefelsaurer Lösung bei Gegenwart von Wasserstoffsuperoxyd wurde nicht vorgenommen, da einmal die Intensität der Spaltprodukte beim Thorium im Vergleich mit den Anlage-

¹⁾ Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie in Dahlem. Eingegangen am 24. April 1941.

²⁾ OTTO HAHN u. FRITZ STRASSMANN, Naturwiss. 28, 549 (1940).

³⁾ L. MEITNER, F. STRASSMANN u. O. HAHN, Z. Physik 109, 538 (1938).

⁴⁾ Z. B. O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 27, 544 (1939).

⁵⁾ N. BOHR u. I. A. WHEELER, Physic. Rev. 56, 426 (1939).

⁶⁾ A. v. GROSSE u. E. T. BOOTH, Physic. Rev. 57, 564 (1940).

¹⁾ A. v. GROSSE, Ber. dtsh. chem. Ges. 61, 238 (1928).

rungsprodukten gering ist, andererseits aber bei den entsprechenden Spaltprodukten des Urans bisher nur ein Niob von ≈ 75 Min. Halbwertszeit als Folgeprodukt des Zirkons von 17 Stunden in bequem meßbarer Intensität isoliert werden konnte.

In der Fig. 1 bezieht sich *A* auf die Bestrahlung des Thors mit unverlangsamen, *B* auf die mit verlangsamen Neutronen. Wiedergegeben ist in Kurve *A* der Aktivitätsverlauf der ersten Zirkonoxychloridfraktion. Es handelt sich dabei ohne Zweifel im wesentlichen um das 17-Stunden-Zirkon. Die Zunahme während der ersten Stunden rührt von der Nachbildung des daraus entstehenden 75-Minuten-Niobs¹⁾ her. Die später allmählich eintretende Abweichung vom geradlinigen 17-Stunden-Zerfall (gestrichelte Gerade) rührt offenbar von kleinen Mengen des 26-Tage-Zirkons her. Die Aktivität ist aber zu klein, als daß eine sichere Halbwertszeitbestimmung möglich wäre.

Die zweite, an Gewicht wesentlich geringere Zirkonoxychloridfraktion zeigte ungefähr das gleiche Verhal-

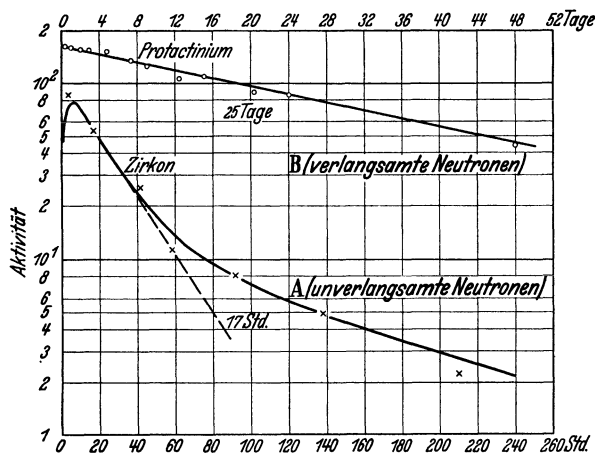


Fig. 1. Zirkon und Protactinium aus Thorium mit unverlangsamen bzw. verlangsamen Neutronen.

ten; die Aktivität war aber, wie zu erwarten, viel kleiner, so daß von der Wiedergabe der Abfallskurve abgesehen wird. Die letzte, vierte Fraktion, die kaum mehr Zirkon enthielt, war ebenfalls nur schwach aktiv, in ihrem Aktivitätsverlauf aber von der Kurve *A* durchaus verschieden. Die Aktivität nahm sehr langsam ab und rührte, wie dann durch den Versuch B bewiesen wird, von kleinen Mengen des 25-Tage-Protactiniums her.

Bei Versuch B wurde mit verlangsamen Neutronen bestrahlt. Nach dieser ebenso lang wie bei Versuch A

durchgeführten Bestrahlung war die Aktivität der ersten Zirkonoxychloridfraktion nur recht gering. Sie betrug nur etwa 10% der Aktivität in Kurve *A*. Ihr Verlauf entsprach aber etwa dem der Kurve *A*: also Anwesenheit geringer Mengen 17-Stunden-Zirkon. Die vierte, nur noch sehr wenig Zirkon enthaltende Fraktion zeigt dagegen eine ganz erhebliche Aktivität, die sich über längere Zeit gut messen ließ. Die Kurve *B* der Figur zeigt das Ergebnis: einen geradlinigen Abfall mit etwa 25 Tagen Halbwertszeit. Diese Substanz ist also kein Zirkon, sondern kann nur Protactinium sein. Es bildet sich aus dem bei der Bestrahlung des Thors mit verlangsamen Neutronen entstehenden Thor-Isotop von 25 Minuten Halbwertszeit¹⁾. Auch ohne die hier vorgenommene chemische Trennung des Protactiniums vom Zirkon zeigt die mit den verlangsamen Neutronen erzielte viel stärkere Intensität des 25-Tage-Körpers gegenüber dem 17-Stunden-Körper, daß es sich bei diesem 25-Tage-Körper nicht um ein Spaltprodukt handeln kann.

Es wurde schon erwähnt, daß die letzte, an Zirkon arme Fraktion des Versuchs A ebenfalls die 25-Tage-Abnahme, wenn auch recht schwach, zeigte. Dies beweist, daß auch bei der Bestrahlung des Thoroxhydrats mit *unverlangsamen* Neutronen ein gewisser Prozentsatz langsamer Neutronen wirksam war (z. B. durch den Wassergehalt des Thorpräparats). Daß andererseits die erste Zirkonfraktion des Versuchs B eine kleine Menge des 17-Stunden-Zirkons anzeigte, beweist, daß bei den verlangsamen Neutronen noch ein gewisser Prozentsatz schneller Neutronen vorhanden war, der zur nachweisbaren Kernspaltung des Thoriums ausreichte.

Zusammenfassung.

1. Der in einer früheren Mitteilung von MEITNER, STRASSMANN und HAHN für ein Isotop des Protactiniums angesprochene, bei der Bestrahlung des Thoriums mit verlangsamen Neutronen entstehende 25-Tage-Körper ist tatsächlich ein Protactinium, und nicht, wie wir nach der Auffindung der Kernspaltung vermuteten, ein Zirkon-Isotop etwa gleicher Halbwertszeit, das wir bei der Spaltung des Urans aufgefunden haben. Dieses letztere entsteht aber offenbar ebenfalls aus dem Thorium, wenn dieses mit unverlangsamen Neutronen bestrahlt wird.

2. Das von v. GROSSE und BOOTH bei der Spaltung des Urans zuerst nachgewiesene Zirkon-Isotop von 17 Stunden Halbwertszeit mit dem daraus entstehenden Niob von 75 Minuten bildet sich auch bei der Spaltung des Thoriums.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie.

¹⁾ A. v. GROSSE u. E. T. BOOTH, l. c.

¹⁾ L. MEITNER, F. STRASSMANN u. O. HAHN, l. c.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Zur Feinstruktur der Wasserstofflinien.

Unter diesem Titel habe ich in Heft 27 des vorigen Jahrganges der Naturwissenschaften (1940, 417—423) Abweichungen von der theoretischen Feinstrukturformel besprochen, welche von verschiedenen amerikanischen Beobachtern berichtet worden sind und nach S. PASTERNAK dahin gedeutet werden können, daß der 2s-Term um $0,03 \text{ cm}^{-1}$ nach höheren Energien von seiner theoretischen Lage aus verschoben werden solle. Es liegt nahe anzunehmen, daß diese Verschiebung, wenn sie reell ist, durch ein dem Coulombfeld des Protons überlagertes Kernfeld von geringer Reichweite hervorgerufen wird. Dieses Kernfeld wurde in der genannten

Note als ein unendlich steiler Potentialwall schematisiert, der in dem vom Protonenmittelpunkte aus gerechneten Abstände

$$r_q = \frac{r_0}{q}, \quad r_0 = \frac{e^2}{mc^2} = \text{Elektronenradius} \quad (1)$$

errichtet zu denken ist, wobei q eine verfügbare Zahl bedeutet. Das so entstehende modifizierte Keplerproblem wurde nach der SCHRÖDINGERSCHEN Theorie behandelt und ergab eine Änderung der Hauptquantenzahl n gegenüber ihrem ganzzahligen Wert beim gewöhnlichen Keplerproblem um

$$\Delta n = \frac{2\alpha^2}{q}, \quad \alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \text{Feinstrukturkonstante.} \quad (2)$$

Die zugehörige Termänderung ist sehr beträchtlich. Um sie dem eingangs genannten Betrage 0,03 anzupassen, müßte man q sehr groß, also die Reichweite des Kernfeldes äußerst klein machen. Anders ausgedrückt: Nach der SCHRÖDINGERschen Theorie ist die Feinstruktur *überempfindlich* gegen ein zum Coulombfeld hinzukommendes Kernfeld, letzteres als unendlich steiler Potentialwall behandelt.

Es wurde aber schon damals darauf hingewiesen, daß die Frage nicht vor das Forum der Schrödinger-, sondern vor das der Dirac-Gleichung gehört, weil die Schrödinger-Gleichung nur soweit zuverlässig ist, als Glieder von der Größenordnung α vernachlässigt werden dürfen.

Die Schwierigkeit bestand hierbei nicht so sehr darin, die erforderlichen modifizierten Lösungen der Dirac-Gleichung zu finden, als vielmehr darin, eine zulässige Grenzbedingung zwischen den Lösungen für das äußere Coulombfeld ($r > r_q$) und das innere Kernfeld ($r < r_q$) aufzustellen, da ja die früher gemachte Annahme eines unendlich steilen Potentialwalles im Bereich der Dirac-Gleichung unzulässig ist. Vielmehr müssen hier die Potentiale des inneren und äußeren Feldes stetig aneinander schließen. Wenn das innere Kernfeld speziell als abstoßendes Coulombfeld der Kernladung Ze angesetzt wird (Z beliebig verfügbar, je nach der gewünschten Steilheit), ergibt sich aus dieser Grenzbedingung:

$$\Delta n = \frac{2\alpha^4}{3q^2}(Z+1). \quad (3)$$

Im Gegensatz zu (2) ist Δn jetzt nur von der Ordnung α^4 . Die zugehörige Termänderung ist, bei zulässigen Werten von Z und q , *unbeobachtbar klein*. Anders ausgedrückt: Nach der DIRACschen Theorie ist die Feinstruktur *völlig unempfindlich* gegen kernphysikalische Abänderungen des Coulombfeldes.

Es muß aber betont werden, daß der Gegensatz eigentlich nicht heißt: DIRACsche und SCHRÖDINGERSche Theorie, sondern: *Stetiger* und *unstetiger* Potentialverlauf. Es hat sich nämlich gezeigt, daß man auch bei SCHRÖDINGERScher Rechnung die Formel (3) findet, wenn man dabei nur den von der Dirac-Theorie geforderten stetigen Potentialverlauf zugrunde legt.

Wir kommen hiernach zu dem Schluß, daß sich die angeblich beobachteten Feinstrukturabänderungen durch keine zulässige Abänderung des Coulombfeldes erklären lassen und möchten vermuten, daß sie noch nicht gesichert sind. Neue Beobachtungen nach verbesserter Methode (Atomstrahlen!) werden hoffentlich bald darüber Aufschluß geben.

Nachschrift: In den Proc. roy. Soc. vom 1. Februar 1940 lese ich, daß I. W. DRINKWATER, SIR OWEN RICHARDSON und W. E. WILLIAMS aus einer sorgfältigsten Analyse der Linien H_α und D_α mit dem Stufengitter den Schluß ziehen: „Es besteht bisher keine Sicherheit, daß die Feinstruktur wesentlich von den Werten abweiche, die man aus der Dirac-Gleichung berechnet.“

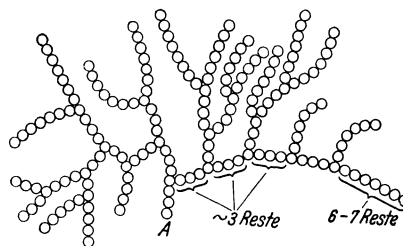
München, den 16. März 1941. A. SOMMERFELD.

Die Anordnung der Glucosereseste im Glycogen.

Wie HAWORTH, HIRST und ISHERWOOD¹⁾ gefunden haben, gibt methyliertes Glycogen bei der Säurespaltung neben 2,3,6-Trimethylglucose auch erhebliche Mengen 2,3,4,6-Tetramethyl- und 2,3-Dimethylglucose. Sie schließen daraus auf einen stark verzweigten Bau des Glycogens, wobei die Verknüpfung durch α 1,6-Bindungen zustande kommt. Versuche, die wir mit Glycogen und mit dem durch β -amylatischen Abbau entstehenden Restkörper angestellt haben, ergeben weiteren Einblick in die Konstitution.

MERCKSches Glycogen aus Miesmuscheln, dessen Endgruppengehalt von uns zu 9% bestimmt wurde (ein endständiger Glucoseresest auf 11 Glucosereseste) verliert beim Abbau mit reiner β -Amylase 47% an Substanz (als Maltose); pro Endgruppe werden also etwa 5 Glucosereseste abgebaut. In dem hinterbleibenden Dextrin fanden sich alle Endgruppen wieder: es enthält 18% Endgruppen, d. h. eine Endgruppe auf 5,5 Glucosereseste. Daraus kann man schließen, daß die äußeren Äste des Glycogenmoleküls, die dem Angriff des Enzyms ausgesetzt sind, aus durchschnittlich 5–7 Glucoseresesten in α 1,4 glucosidischer Bindung bestehen, von denen 5,5 durch β -Amylase abgespalten werden, während 1–2 an der Zweigstelle verbleiben und die „Endgruppen“ des Grendextrins liefern²⁾. Zwischen denjenigen Glucoseresesten, deren 6-Stellung durch einen Zweig besetzt

ist, können nur ganz kurze Ketten von durchschnittlich 3 Glucoseresesten mit freien 2,3,6-Hydroxylen liegen. Es ergibt sich also folgendes Schema für die Anordnung der Glucosereseste:



Schema der Anordnung der Glucosereseste im Glycogen.
o Glucoseresest, A aldehydisches Ende.

Es ist verständlich, daß bei einem solchen Bau die Parallellagerung längerer Kettenteile zu kristallinen Bündeln unmöglich ist, wodurch sich erklärt, daß Glycogen stets amorph ist, während bekanntlich Stärke Kristallinterferenzen zeigt.

Die *Unterschiede von Glycogen und Stärke* lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Stärke besteht aus polymerhomologen Gemengen von unverzweigten Molekülen (Amylose) und von verzweigten (Amylopektin). Die äußeren Äste des Amylopektins bestehen aus 15–18 Glucoseresesten, die inneren, zwischen den Verzweigungsstellen liegenden Kettenteile aus durchschnittlich 8–9 Glucoseresesten. Glycogen enthält nur verzweigte Moleküle, die sehr verschieden groß sein können und im natürlichen Zustande mit Eiweiß zu Symplexen vereinigt sind. Die äußeren Äste der verästelten Glycogenmoleküle sind 6–7 Reste lang, im Inneren zwischen den Zweigstellen sind nur ganz kurze Kettenteile von durchschnittlich 3 Glucoseresesten angeordnet.

Genf, Laboratoires de Chimie inorganique et organique de l'Université, den 17. März 1941. KURT H. MEYER.

¹⁾ J. chem. Soc. (Lond.) 1937, 577; 1939, 1914.

²⁾ Vgl. hierzu Helvet. chim. Acta 24, 217 (1941).

Bildung von Vitamin K in Colibakterien auf synthetischem Substrat.

Es ist von der Möglichkeit gesprochen worden, daß bei der bakteriellen K-Vitamin-Synthese irgendein Stoff als eine Art Provitamin notwendig ist. Von ANSBACHER¹⁾ wurde eine Nahrung zum Gebrauch bei der Standardisierung des K-Vitamins angegeben, welche eine bakterielle K-Vitamin-Synthese anscheinend nicht gestattet und u. a. eine Getreidemischung, die während einer Woche auf 120° gehalten wurde, enthält. Die Unfähigkeit dieser Mischung, K-Vitamin zu bilden, könnte in der Weise erklärt werden, daß das notwendige Provitamin durch die Erhitzung zerstört wurde.

Um die Existenz eines Provitamins zu untersuchen, haben wir K-Vitamin in Colibakterien von denselben Stämmen bestimmt, welche in der ersten Versuchsreihe auf einem natürlichen Substrat, in der zweiten auf einem synthetischen Substrat gezüchtet worden waren. In der ersten Versuchsreihe wurde eine Nährbouillon verwendet, die außer den nötigen Salzen und 2% Traubenzucker 0,5% N enthält, wovon drei Viertel von pepsinverdautem Kasein und ein Viertel von Hefeautolysat herrührt. Es wurde nicht mehr Kreide zugesetzt, als zur Neutralisierung der gebildeten Säuren notwendig war. Bei der zweiten Versuchsreihe wurde ein synthetisches Substrat verwendet, welches aus Leitungswasser bestand, dem pro Liter 7 g Asparagin, 10 g Ammoniumcitrat, 20 g Traubenzucker, 2 g K_2HPO_4 , 1 g $MgSO_4$, 1 g NaCl und 1 ccm einer Salzlösung, die 1% $FeCl_3$, 0,1% $ZnSO_4$ und 0,01% $CuSO_4$ enthält, zugesetzt wurde. Nach Beendigung der Gärung, die sich über 3 Wochen bei 30° erstreckte, wurden die Bakterien ausgeschleudert, gewaschen und wieder ausgeschleudert und im Vakuumexsikkator bei Zimmertemperatur getrocknet. Das K-Vitamin wurde dann nach der Methode von DAM und GLAVIND²⁾ bestimmt.

Die Resultate sind aus Tabelle 1 ersichtlich:

Bakterienstamm	Substrat	K-Einheiten pro Gramm Bakterien-trockenstoff	K-Einheiten pro Liter Nährlösung
Coli 1510	natürliches	1000	800
Coli 1560	„	1300	500
Coli 1510	synthetisches	1000	400
Coli 1560	„	1000	700

Weder in dem ursprünglichen Substrat, noch in der von Bakterien befreiten Kulturflüssigkeit konnte mit der angegebenen Methode K-Vitamin nachgewiesen werden.

Aus den Resultaten geht klar hervor, daß kein Provitamin bei der K-Vitaminbildung notwendig ist, sondern daß K-Vitamin aus einem Substrat, welches Asparagin, Citrat und Glucose als einzige organische Bestandteile enthält, gebildet werden kann.

Kopenhagen, Biochemisches Institut der Universität, den 31. März 1941. HENRIK DAM. JOHANNES GLAVIND. Biotechnisch-chemisches Laboratorium der Technischen Hochschule.

S. ORLA-JENSEN. ANNA D. ORLA-JENSEN.

¹⁾ S. ANSBACHER, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 44, 248 (1940).

²⁾ H. DAM u. J. GLAVIND, Biochemic. J. 32, 1018 (1938).

Die Temperaturabhängigkeit der Strömungsdoppelbrechung des Benzols.

Strömungsdoppelbrechungen wurden bisher in Anordnungen gemessen, bei denen die Flüssigkeit sich in einem engen Spalt zwischen zwei konzentrischen Zylindern befindet, von denen der äußere feststeht und der innere rotiert. Man erhält hierbei eine stabile Strömung mit etwa linearem Geschwindigkeitsgefälle in der Richtung des Radius nur bei

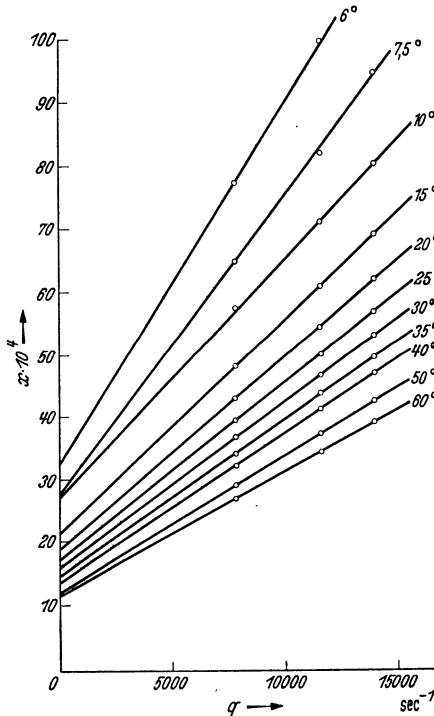


Fig. 1. Strömungsdoppelbrechung des Benzols bei versch. Geschwindigkeitsgefällen und Temperaturen.

kleinen REYNOLDSschen Zahlen, d. h. bei kleinen Drehzahlen und kleiner Spaltweite. Insbesondere ist der Messung bei großen Geschwindigkeitsgradienten dadurch eine Grenze gesetzt, daß zur Erhaltung einer laminaren Strömung mit

wachsender Umdrehungszahl die Spaltweite heruntersetzt werden muß. Es ist aber schon länger bekannt¹⁾, jedoch nicht beachtet worden, daß diese Einschränkung wegfällt, wenn man den inneren Zylinder festhält und den äußeren rotieren läßt. Nach Überwindung einer Reihe von Schwierigkeiten, die insbesondere der Forderung des flüssigkeitsdichten Einbaues der Glasfenster in Deckel und Boden des rotierenden Außenzylinders entgegenstanden, gelang es, eine derartige Apparatur zu konstruieren und die Strömungsdoppelbrechung von Benzol in einem Spalt von 2 mm Weite bis zu Geschwindigkeitsgefällen von 15 000 sec⁻¹ [gegenüber bisher etwa 4300 sec⁻¹ bei einem Spalt von 0,4 mm²⁾] zu untersuchen. Diese Grenze ist aber keine prinzipielle, sondern nur zur Zeit noch durch die Ausführung der genannten Dichtung gegeben, die oberhalb dieser Drehzahlen durchlässig wird. (Die Zentrifugalbeschleunigung beträgt hier

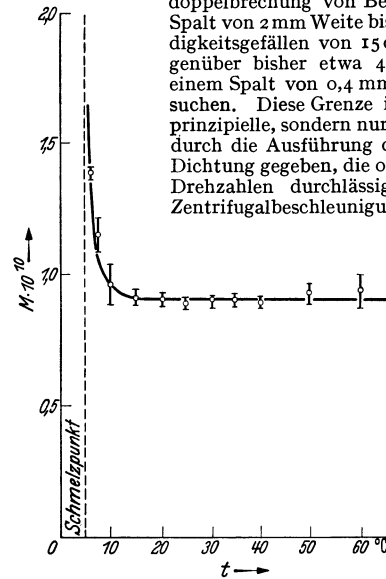


Fig. 2. MAXWELLSche Konstante des Benzols als Funktion der Temperatur.

bereits etwa 2000 g.) Da es bei dieser Anordnung zugleich gelang, die Temperatur zu messen und durch geeignete Kühlung auf jeden gewünschten Wert einzustellen, konnte die Strömungsdoppelbrechung des Benzols im ganzen Bereich zwischen Schmelzpunkt und Siedepunkt gemessen werden.

Fig. 1 zeigt die Doppelbrechung Δn (Gangunterschiede in Bruchteilen α der Wellenlänge) als Funktion des Geschwindigkeitsgefälles q . Der lineare Zusammenhang zwischen beiden Größen beweist die Stabilität der Strömung bis zu den höchsten verwendeten Gefällen. Die Steigung der Geraden gibt die sog. SADRONsche Konstante $M' = \frac{\Delta n}{q}$ des Benzols. Die Ordinatenabschnitte messen die Doppelbrechung der Glasfenster. Ihre Zunahme mit abnehmender Temperatur ist auf die zunehmende Sprödigkeit des zum Einlöten der an den Rändern versilberten, verkupferten und amalgamierten Glasplatten verwendeten Woodschen Metalles und die dadurch bedingten größeren Spannungen in den Glasplatten zurückzuführen.

In Fig. 2 ist die sog. MAXWELLSche Konstante des Benzols $M = \frac{\Delta n}{q \cdot \eta \cdot \eta}$ (n Brechungsindex, η Viskosität des Benzols) als Funktion der Temperatur dargestellt. In dem starken Ansteigen der MAXWELLSchen Konstante innerhalb der letzten 10° oberhalb des Schmelzpunktes kommt erstmalig der Einfluß der hier stark zunehmenden Nahordnung einer Flüssigkeit auf eine molekulare Konstante zum Ausdruck. Die Nahordnung des Benzols zeigt nach Röntgenuntersuchungen³⁾ die Tendenz der Anordnung der Benzolringe in Sechserkoordination innerhalb paralleler Ebenen und begünstigt so die Ausrichtung der Benzolringe durch das Strömungsgefälle.

Halle a. d. S., Institut für experimentelle Physik der Universität, den 1. April 1941. E. WINKLER. W. KAST.

¹⁾ G. I. TAYLOR, Phil. Trans. (A) 223, 289 (1923).

²⁾ W. BUCHHEIM, H. A. STUART u. H. MENZ, Z. Physik 112, 407 (1939).

³⁾ W. C. PIEREE, J. chem. Phys. 5, 717 (1937).

Konstruktive Mutationen bei Marchantia.

Vererbungsversuche zur Frage der Evolution der Lebermoose¹⁾.

Von H. BURGEFF, Würzburg.

Eine besondere Liebhaberei für vielgestaltige, systematisch schwierige Organismengruppen hat mich nach dem Ausgang des Weltkrieges zum Studium der *Marchantia polymorpha* geführt. Das paradoxe Ergebnis dieser Untersuchungen war das folgende: Nach Abtrennung zweier bisher als Varietäten unterschiedener, nahe verwandter Arten erwies sich die polymorphe Art als ein Musterbeispiel von Konstanz, als eine auf der gesamten nördlichen Hemisphäre verbreitete Art, deren Populationen keinerlei geographische Variation aufwiesen.

Immerhin konnte eine Anzahl von Mutationen beobachtet werden, über welche ich schon 1930 einmal berichtet habe. Die Klärung der Erblichkeitsverhältnisse war nicht einfach, da sich Sporentetraden nur mit den größten Schwierigkeiten isolieren ließen. Ein Teil der Mutationen erwies sich zudem als stark labil.

Gelegentlich meiner Tropenreise 1927/28 habe ich dann von Java, Sumatra und Luzon ein gutes Dutzend tropischer *Marchantia*-Arten in beiden Geschlechtern mitgebracht und seit damals weiterkultiviert. Bei ihnen waren alle Bedingungen für die Tetradenanalyse²⁾ gegeben; auch ließen sich ohne weiteres aus Füßen der Sporogone die bivalenten Regenerate erhalten, so daß Dominanz oder rezessives Verhalten der Merkmale am Gametophyten bestimmt werden konnte. Auch der cytologischen Untersuchung boten sich keine besonderen Schwierigkeiten.

Ich will Ihnen heute über einen Abschnitt aus meinen Arbeiten berichten, der mir besonders wichtig erscheint, aber leider nicht leicht darzustellen ist. Er stellt nämlich allerlei Anforderungen an das Vorstellungsvermögen der Zuhörer, die mit Form und Entwicklung der Lebermoose nicht vertraut sind.

Von den bestuntersuchten Objekten der Erblichkeitsforschung sind eine ungemein große Zahl

¹⁾ Vortrag, gehalten in Dahlem im Rahmen der „Biologischen Abende“ der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

²⁾ Bei manchen Lebermoosen und vielen anderen Haplonten bleiben die aus der Reduktionsteilung stammenden Gonen zu Vierergruppen oder Tetraden vereinigt, die sich aus den Sporangien isolieren oder „abfischen“ lassen. Nach Aufzucht der vier zu einer Tetrade gehörigen Individuen läßt sich an ihrem Phaenotypus der Gang der Reduktion bestimmen, insbesondere lassen sich über die Schicksale der bei den meiotischen Teilungen verteilten Chromatiden oder Chromatidenstücke Aussagen machen, die bei einigen Pilzen, Algen und Lebermoosen schon zur Aufstellung von Chromosomenkarten geführt haben.

von Mutationen bekannt geworden, die uns zeigen, daß ein Organismus nach vielerlei Richtungen variieren kann, Richtungen, die jedoch nur selten eine Aussage darüber zulassen, ob sie in der Entwicklung des betreffenden Organismus eine Rolle gespielt haben oder gar heute noch eine Rolle in der Evolution spielen. Bei *Marchantia*-Mutationen scheint das anders zu sein. Der Vergleich der Mutationsschritte mit den Evolutionsschritten läßt sich zudem leichter prüfen, weil über den Gang dieser Evolution bei den *Marchantiales* ganz bestimmte Vorstellungen gegeben sind, die, von RICHARD v. WETTSTEIN angedeutet, von GOEBEL entwickelt und bis ins einzelne ausgebaut, schließlich zur Hypothese der sog. *Reduktionsreihe der Marchantiales* zusammengefügt worden sind¹⁾.

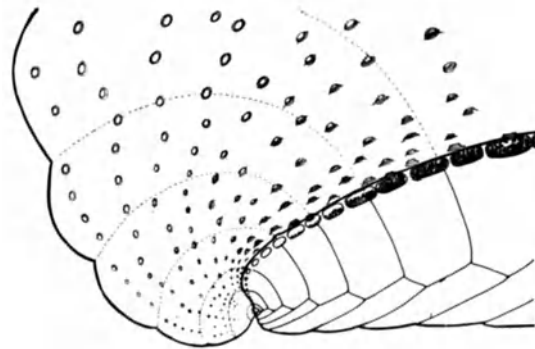


Fig. 1. Grobschematischer medianer Längsschnitt durch den *Marchantia*-Thallus mit anhängendem Flügel. Am vorderen Ende der Schnittfläche eine der „liegenden“ zweischneidigen Scheitelzellen mit ihren Segmenten. Die Ventralschuppen und Rhizoiden sind weggelassen. Auf dem Flügel sichtbare Stomata geben in ihrer reihenweisen Anordnung eine gewisse Vorstellung von der Art des Auswachsens der oberen Segmente. Die Segmentlinien müßten eigentlich durch einen Teil der Stomata laufen; sie sind viel unregelmäßiger als die punktierten Linien, die nur ihre ungefähre Lage angeben sollen. Weiteres im Text.

Die Beschreibung der Mutationen und die Deutung ihres entwicklungsgeschichtlichen Wertes erfordert eine gewisse Kenntnis des Thallusbaus, der sich von dem anderer systematischer Gruppen in höchst spezifischer Weise unterscheidet. Der Thallus von *Marchantia* hat eine Oberseite mit besonderem Assimilationsgewebe und eine Unterseite, die neben den wasseraufnehmenden und wasserleitenden Rhizoiden schützende Bauch-

¹⁾ K. GOEBEL, *Organographie der Pflanzen*, 3. Aufl., (1930) 2, 816 u. a. O.

schuppen trägt. Der Thallus wächst mit einer sog. Scheitelkante: Eine beschränkte Zahl von Scheitelzellen oder Initialen wird nach der Art des auf Fig. 1 dargestellten Schemas geteilt. Jede Initiale verhält sich wie eine „liegende“ zweiseitige Scheitelzelle mit abwechselnd nach unten und oben gegen die Horizontale geneigten Wänden, zu welchen parallel immer neue Segmente abgeschnitten werden. Von Zeit zu Zeit werden die Initialen durch vertikale Wände halbiert. Über den Charakter der Teile als den neuer Scheitel-

Archegonien sowie die Brutkörper, die in berandeten Brutbechern stehen. Antheridien und Archegonien sind in besonderen Antheridien- oder Archegonienständen vereinigt. Ein solcher Stand wird am Vegetationsscheitel angelegt, die Anlage durch Streckung eines intercalaren Stiels gehoben; der obere Teil, der „Hut“ des Standes, entsteht durch wiederholte Gabelung. Seine Zweige tragen beim Antheridienstand auf der Oberseite die Mündungen der ins Gewebe versenkten Antheridien. Beim Archegonienstand sind die fertilen Zweige nach unten gegen den Träger des Standes eingekrümmt, so daß die innerhalb besonderer Hüllorgane stehenden Archegonien scheinbar auf die Unterseite verschoben sind. Die am Hut sichtbaren „Strahlen“ sind Doppelbildungen je zweier vorstehender Randauswüchse der fertilen weiblichen Lappen. Strahlen der männlichen und weiblichen Stände sind also nicht homolog.

Die Form der Strahlen der weiblichen Hüte ist ein wichtiges systematisches Merkmal: Fig. 2 zeigt die Thalli und weiblichen Stände von 4 tropischen Marchantia-Arten, die alle 4 untereinander fertil sind. Bastarde dieser Arten bilden das Material, welches die zu besprechenden Mutationen geliefert hat.

Daß es sich wirklich um Arten handelt, erhellt aus der — bei Haplonten — in der F_1 -Generation erfolgenden polymorphen Aufspaltung, die bei allen möglichen Kreuzungen beobachtet wird (Fig. 3).

Zahlreiche Gene müssen bei den Eltern verschieden sein. Versuche zur Analyse besonders auffälliger Artmerkmale haben zu keinem vollen Erfolg geführt. Es hat sich gezeigt, daß diese Merkmale weitgehend pleiogen sind. Die aus der Artmerkmalskombination resultierende Variabilität hält sich in gewissen Grenzen; die Varianten sind durch gleitende Übergänge miteinander verbunden. Ganz anders verhalten sich nun die in diesem Material auftretenden Mutationen. Ihre Wirkungen sind viel bedeutender und gehen weit über die „interspezielle“ Variabilität hinaus.

Eine Reihe von ihnen sei in möglichster Kürze beschrieben.

Mut. prolifer (Abkürzung: „pro“) (Fig. 4).

Die fertilen Lappen der männlichen Stände (4a) wachsen fort, werden vegetativ, „vergrünen“, um meist unmittelbar darauf wieder fertil zu werden. Proliferie der Stände ist die Folge. Bei den weiblichen Ständen kommt es seltener zur Proliferie (4b), doch lassen sich die pro-♀♀ leicht an den verbreiterten, nach unten eingekrümmten Strahlenrändern erkennen. Der Übergang vom sterilen zum fertilen Thallus ist sehr auffällig. Im männlichen Geschlecht besteht er in einem Hochwachsen des die Antheridien umgebenden Assimilations-

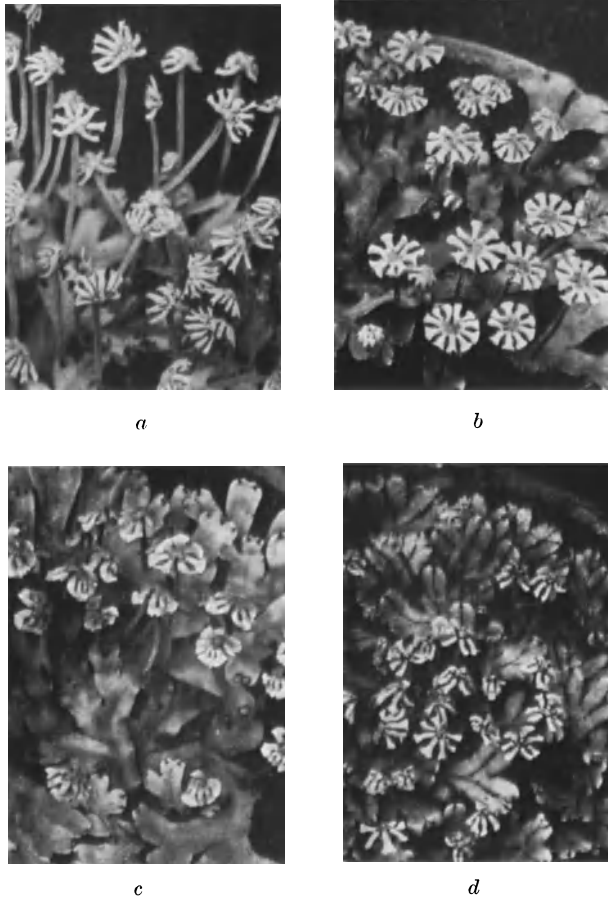


Fig. 2. Individuen der 4 Arten im ♀ Geschlecht, deren Kreuzungen das mutierende Material lieferten: a) *calcarea* Burgeff i. l., b) *emarginata* v. *multiradia* Schiffner, c) *palmatoides* Burgeff i. l., d) *stenolepida* Herzog i. l. (Alles nat. Gr.)

zellen oder abgeleiteter Segmente entscheidet allein die Lage zur Medianebene. Der Thallus verzweigt sich von Zeit zu Zeit, indem seitlich der Mediane liegende Segmente den Charakter von Scheitelzellen erhalten und auswachsen.

Aus den oberen Segmenten der Initialen entstehen die Assimilationskammern und der größere Teil des Thallus, aus den unteren die Bauchschuppen mit den Rhizoiden. Aus den oberen gehen auch alle Arten von Fortpflanzungs- und Vermehrungsorganen hervor, die Antheridien und

gewebes, beim ♀♀ in scharfer Abwärtskrümmung der fertilen oder fertil gewordenen Lappen (4c und d). Bei

mut. helix („he“) bleiben die fertilen Lappen der Stände fortwachsend fertil und verzweigen sich. Folge der vorher beschriebenen Thallusreaktion ist die Einrollung der Lappen und ihrer Ränder, welche letztere zu schneckenförmig gerollten Gebilden werden (Fig. 5).

Fig. 6 zeigt die Aufspaltung einer Kreuzung *helix*-♀ × *prolifer*-♂: *Pro he* × *pro He* mit den Kombinationen *Pro he*, *pro He*, *pro he* und *Pro He*, die auf der Figur nach den Merkmalen bezeichnet sind als „typica“ (= *Pro He*), *pro, he*, *pro he* in beiden Geschlechtern.

Fig. 7 und 8 geben Reihen derselben mutierten Form aus dem arthybriden Material. Die durch Umkombination der Artgene bedingte polymorphe Spaltung wird völlig überdeckt durch die Mutationsmerkmale. Das gilt für alle Mutationen, soweit sie hier Erwähnung finden.

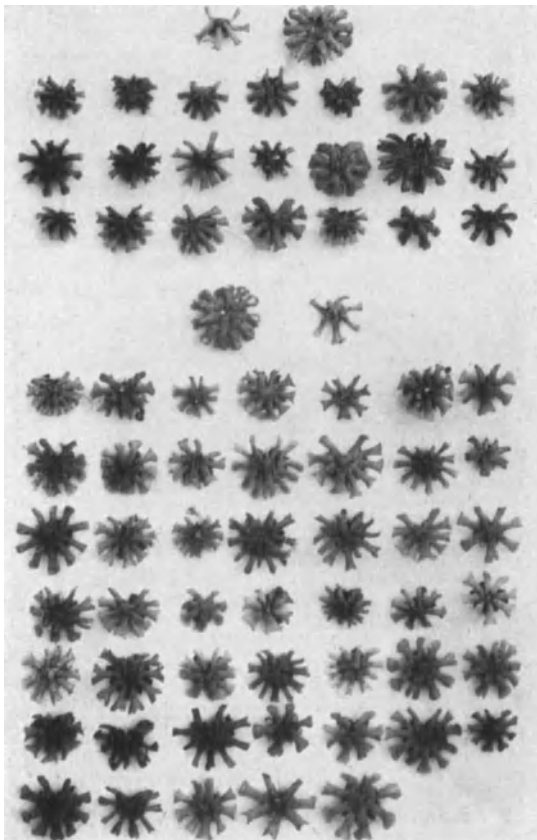


Fig. 3. Artkreuzung: Polymorphe Spaltung in F_1 ; oben die Eltern, dargestellt durch je einen Archegonienstand, darunter die aus einer Sporensaat hervorgegangenen weiblichen Individuen der reziproken Kreuzungen *stenolepida* × *calcarea* und *calcarea* × *stenolepida*. (Nat. Gr.)

Einige weitere Mutationen seien in ihren Aufspaltungsergebnissen demonstriert:

mut. acaulis („ac“) in *acaulis* × *prolifer* (Fig. 9).

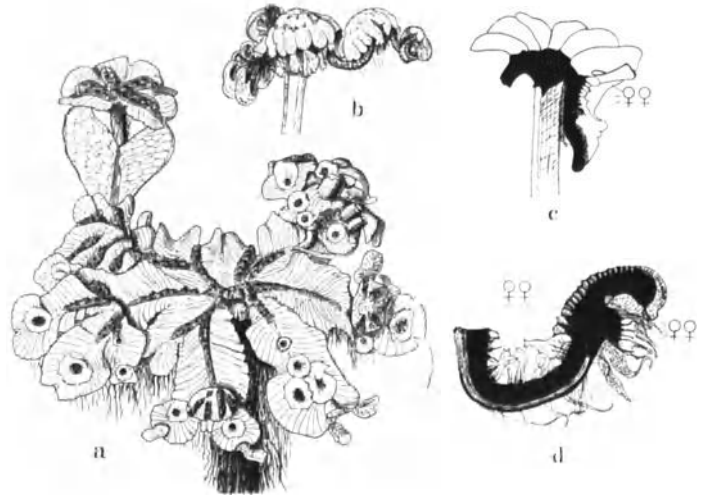


Fig. 4. *Mut. prolifer*. a) ♂ Stand mit steril gewordenen, Brutbecher tragenden und zum Teil wieder fertil gewordenen Lappen, die ± weit entwickelte neue fertile Stände tragen. b) ♀ Stand mehrfach proliferierend. c) Längsschnitt durch einen ♀ Stand mit abwärts wachsendem fertilem, dann steril werdendem Lappen. d) Das gleiche, aber Lappen ein zweites Mal fertil geworden, erneut abwärts gekrümmt und wieder mit Archegonien besetzt. (Alles vergrößert.)

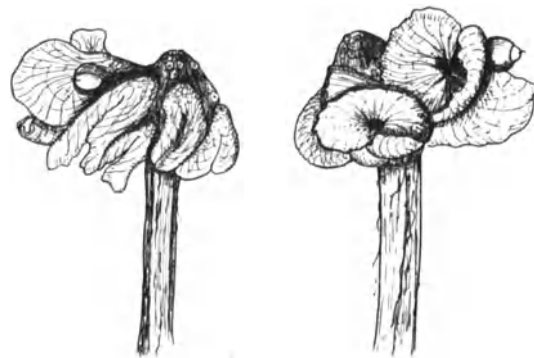


Fig. 5. *Mut. helix*. ♀ Stände mit verzweigten Lappen, deren Ränder, sonst zu Zwischenlappen oder Strahlen zusammengefügt, hier verbreitert, voneinander getrennt sind und schneckenähnlich aufgerollt sein können. Die Verlängerung und die Einrollung führen dazu, daß Archegonien und Sporogone auf der Außenseite des Standes auftreten. (Vergr. etwa 5:1.)

Bei *mut. acaulis* unterbleibt die Anlage des Trägerstiels; der vegetative Thallus geht fast unvermittelt in den Hut über. Der Ausfall kommt als Artmerkmal bei einer Art der Malaienhalbinsel und bei vielen Gattungen vor.

Mut. quadripes („qua“), in *quadripes* × *acaulis* (Fig. 10).

Die Zahl der Lappen oder Strahlen ist bei beiden Geschlechtern verringert.

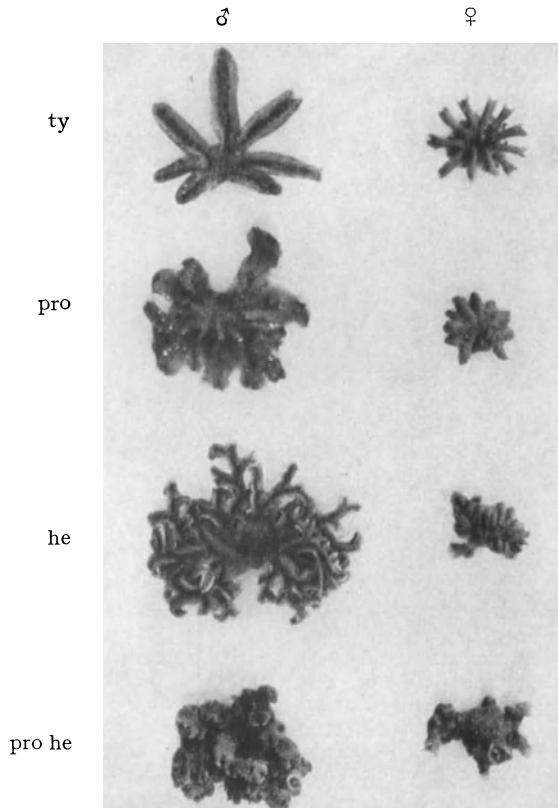


Fig. 6. Kreuzung *helix* × *prolifer* (Pro he × pro He) Aufspaltungsergebnis in F₁. (Nat. Gr.)

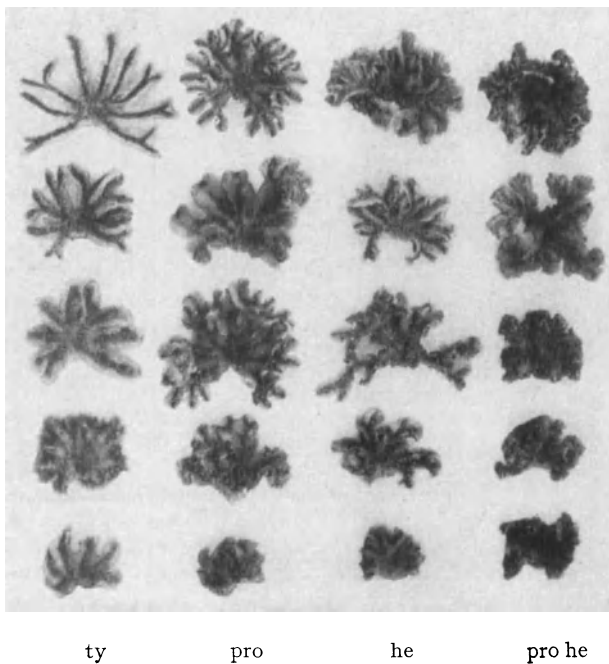


Fig. 7.

Bei manchen Marchantiaceen-Gattungen geht die Verringerung bis zum Restbestand eines einzigen Sektors (*Targionia*, *Cyathodium*, *Monoclea*); auch Übergänge kommen vor (*Clevea*, *Athalamia*).

Mut. qua bre (Fig. 11), eine stark modifizierbare Form, wahrscheinlich bedingt durch ein an qua

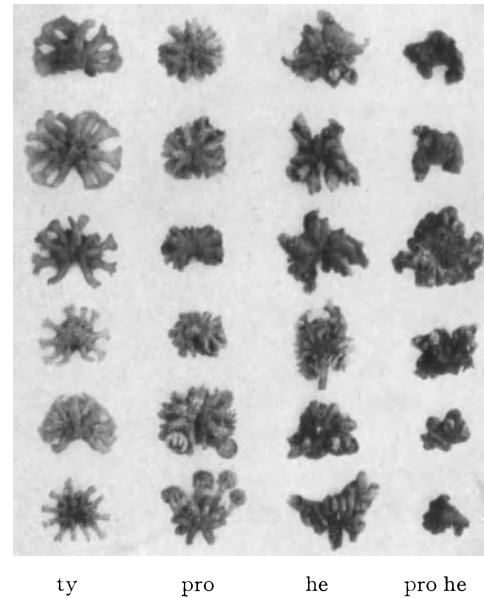


Fig. 8. Kreuzung *helix* × *prolifer*, Aufspaltung in F₁. Dasselbe wie in Fig. 7, aber die ♀♀. (Nat. Gr.)

gekoppeltes Gen *bre* (*brevis*), hat ähnliche Wirkung wie *acaulis*. Die Wirkung geht aber viel weiter.

Die Stände werden völlig „aufgelöst“, die Geschlechtsorgane stehen bei extremen Formen auf der Oberfläche des einfachen gegabelten Thallus, die Archegonien innerhalb ihrer Hüllen (Fig. 11, links unten).

Dies ist ein Fall, der bei einer Reihe von Gattungen der Marchantiales im männlichen (z. B. *Grimaldia*, *Corsinia*), bei einigen auch im weiblichen Geschlecht (z. B. *Oxymitra*) verwirklicht ist. Bei

mut. picturata (Fig. 12) kommt ein Teil der Luftkammern nicht zur Ausbildung oder füllt sich nicht mit Luft. Der Thallus ist mosaikartig gefleckt.

Mit dieser Mutation beginnt ein sehr bedeutsamer Fall der mutativen Reduktion. Zum Verständnis der Vorgänge muß ich auf die Entwicklungsgeschichte der Kammern näher eingehen (Fig. 13, 14).

Fig. 7. Kreuzung *helix* × *prolifer*, Aufspaltung in F₁. Die Kombinationen ty, pro, he und pro he, dargestellt in Reihen von je 5 Ständen verschiedener ♂ Individuen. Die Mutationsmerkmale überdecken die Äußerungen der „interspezifischen“ polymorphen Spaltung. (Nat. Gr.)

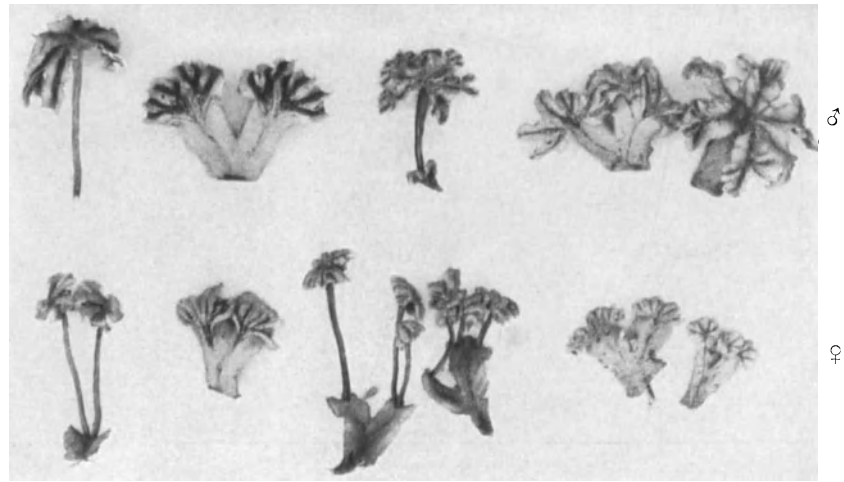
Kammern entstehen aus Gruben oder Einsenkungen, die sich durch Auseinanderweichen der Wände zwischen je 4 benachbarten Zellen hinter dem Meristem bilden (13a, 14a). Durch oberflächenparallele Teilungen werden die Gruben angeschnitten (13a) und erweitern sich zwischen den Schnittwänden. Teilungen der Grubennachbarzellen erzeugen prismatische Zellen, deren schmalere Enden alle auf den Grubenhohlraum gerichtet sind (13b). Durch Erweiterungsteilungen wächst die Grube zur Kammer mit Boden, Wänden und Decke aus (13c-f).

Die Kammerdecke entwickelt sich zunächst dadurch, daß die oberflächlichen Hälften der Kammerinitialen (14a) etwa 3 Segmente an ihrer Peripherie abschneiden, wodurch sich die Gruben voneinander entfernen (14b). Eine nochmalige Horizontalteilung schafft eine äußere und eine nach dem Kammerhohlraum gerichtete Hälfte (13c). Schiefe Teilungen nach außen und innen bilden den Schlot und den sog. Ansatz der Tonnenöffnung (13d, e).

Kammerboden und Kammerwände haben sich konform mit der Epidermis oder Kammerdecke weiterentwickelt (14c); aus dem Kammerboden sprossen die chloroplastenreichen assimilierenden Zellfäden, kurz Assimilatoren genannt (14c unten). Eine fertige Kammer mit Tonnenöffnung und Assimilatoren zeigt Fig. 13f, die Tonnenöffnung von oben zeigen 14d und 14e; d nach Beendigung der Teilungen, e nach Ausgestaltung.

Ich stelle noch einmal fest, daß die Kammern nicht aus Einzelzellen hervorgehen, sondern an Grenzflächen entstandene Organe darstellen.

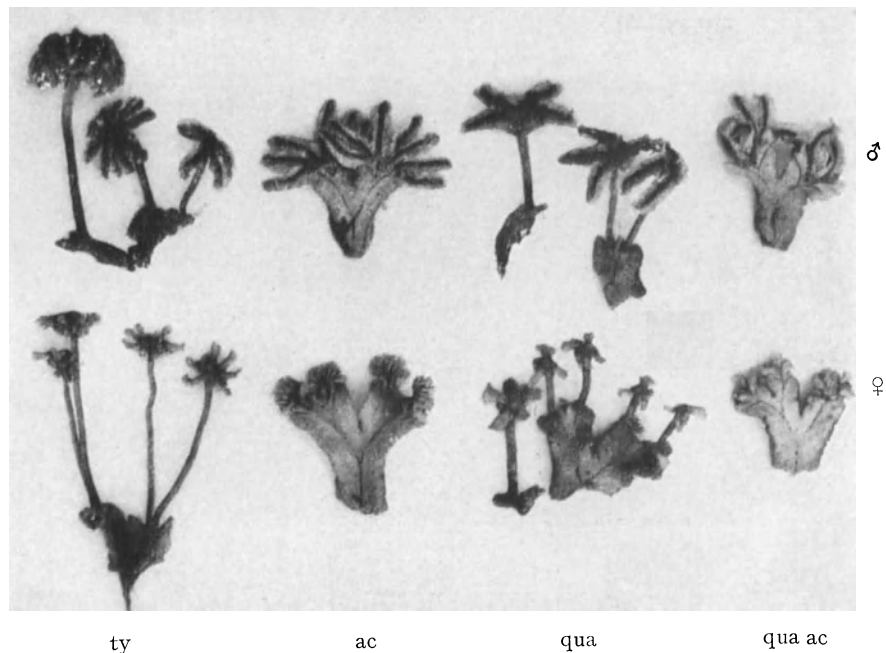
Den Beweis, daß diese Auffassung richtig ist, liefern vegetative Mutationen, bei denen sich mutierte Zellen von nichtmutierten unterscheiden.



ty ac pro ac pro
Fig. 9. Kreuzung *acaulis* × *prolifer*, ♂♂ und ♀♀ der Kombinationen Ac Pro = *typica*, ac Pro = *acaulis*, Ac pro = *prolifer* und ac pro = *acaulis prolifer*.

Bei ihnen laufen die Grenzen durch die Kammerhälften, d. h. durchschneiden die Stomata (Fig. 15).

Eine Reihe von Mutationen kann diesen Ent-



ty ac qua qua ac
Fig. 10. Kreuzung *quadripes* × *acaulis* in den herausspaltenden Kombinationen Qua Ac = *typica*, Qua ac = *acaulis*, qua Ac = *quadripes* und qua ac = *quadripes acaulis*. (Nat. Gr.)

wicklungsgang der Kammerung stören; so werden bei manchen polymorpha-Mutationen die Stomata

nicht mehr vollständig ausgebildet, der Ansatz geht verloren. Auch bei den meisten Gattungen

Die Kammern werden noch angelegt, die Decke wächst aber nicht mehr mit, sie zerreißt, ihre Reste bedecken den mit kurzen Assimilatoren versehenen Thallus.

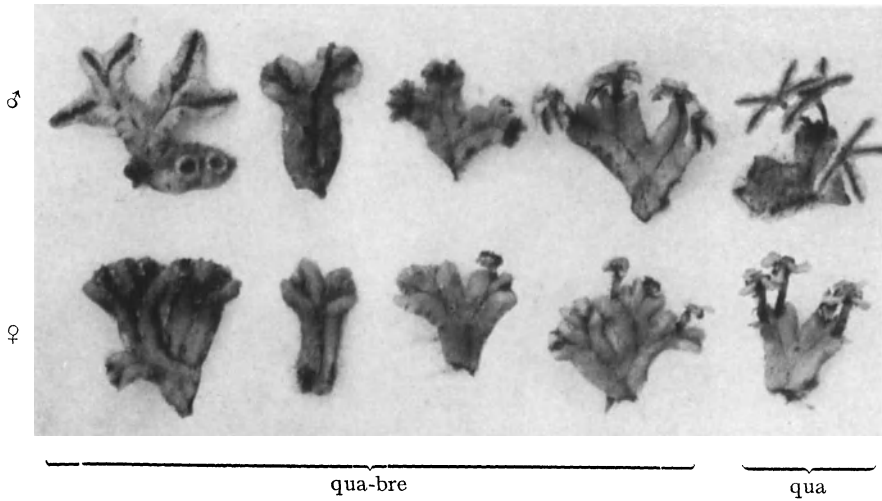


Fig. 11. *Mut. quadripes* — *brevis* (qua-bre). Eine Reihe aus einer Kreuzung qua × he herauspaltender Formen von qua und qua bre. Die daneben auftretenden Kombinationen he und he bre sind nicht dargestellt. Weiteres im Text. (Nat. Gr.)

der Marchantiaceen fehlt er (Ausnahme: *Marchantia*, *Preissia*, *Bucegia* und Stände mancher anderer Gattungen, z. B. *Reboulia*, *Fimbriaria*, *Plagiochasma*).



Fig. 12. *Mut. picturata*. Thallus etwa 10 mal vergrößert.

Die bedeutsamste Änderung ist die rudimentäre Ausbildung der gesamten Kammerdecke, die ich bei einer Mutation der polymorpha-Gruppe beobachten konnte:

Mut. dumortieroides (Fig. 16).

Genau so wird der Vorgang bei Arten der von *Marchantia* stark verschiedenen Gattung *Dumortiera* beobachtet. GOEBEL fand hier den prägnantesten Fall der Rückbildung. Assimilatoren können als einzellige Gebilde noch die Oberfläche bedecken; bei manchen Arten fehlen auch sie (Fig. 17, *Dumortiera velutina*).

Neben diesem von der natürlichen Entwicklung eingeschlagenen Weg konnte ich

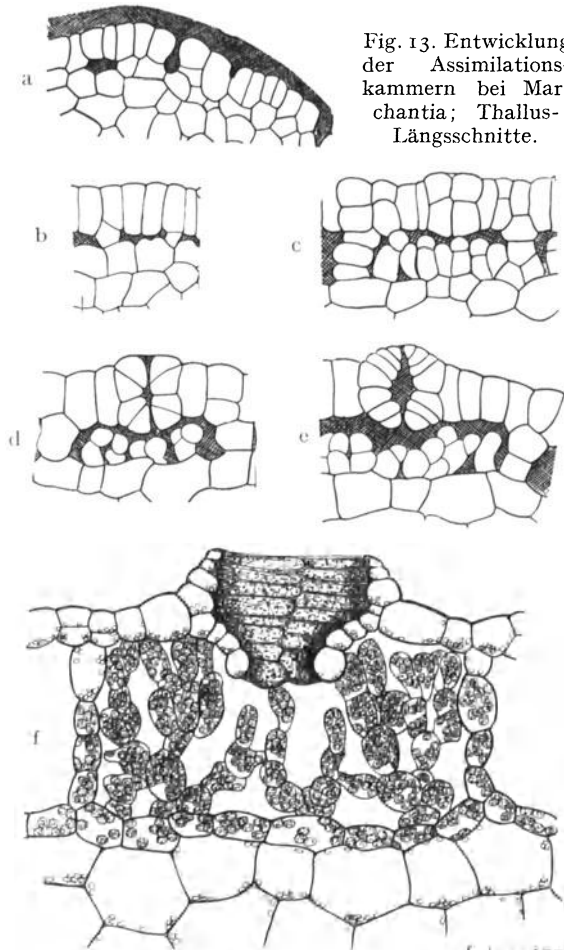
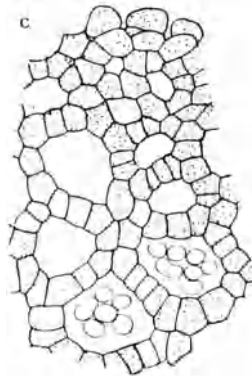
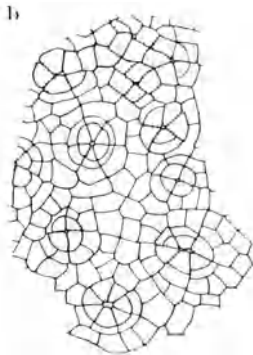
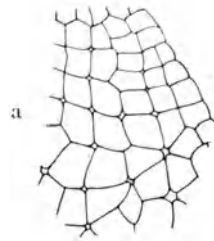


Fig. 13. Entwicklung der Assimilationskammern bei *Marchantia*; Thallus-Längsschnitte.

Fig. 13a — f.

einen neuen Weg in zwei weiteren Mutationen entdecken, der ebenfalls zum Kammerverlust führt,



gelegter Organe, sondern um einen reinen Ausfall, bedingt durch Ausfall der ersten Entwicklungsstufe.

Ich erwähnte schon die Mutation *picturata* (Fig. 12). Bei ihr unterbleibt die Ausbildung einzelner Kammern. Modifikativ können auch ganze Thallusstücke kammerfrei sein. Bei der aus der reinen Art *stenolepida* stammenden *mut. hyala* (Fig. 18) ist das die Regel. Nur gelegentlich kommt es zur Ausbildung einzelner Kammern, die dann eine ganz ungewöhnliche Größe erreichen. Der Vorgang der Kammerbildung wird in seinem

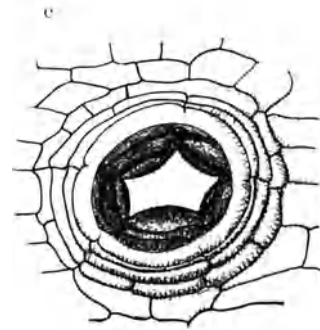
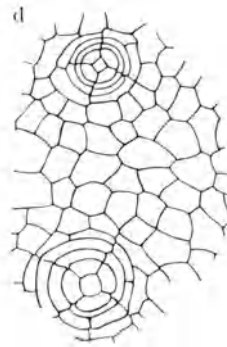


Fig. 14. Dasselbe wie 13; Aufsichten auf die Epidermis oder horizontale Flächenschnitte. Die Fig. 14b und 14c sind Aufsicht und darunterliegender optischer Schnitt desselben Objektes.

Fig. 14 a—e.

aber auf ganz anderer Grundlage. Es handelt sich nicht um rudimentäre Ausbildung noch an-

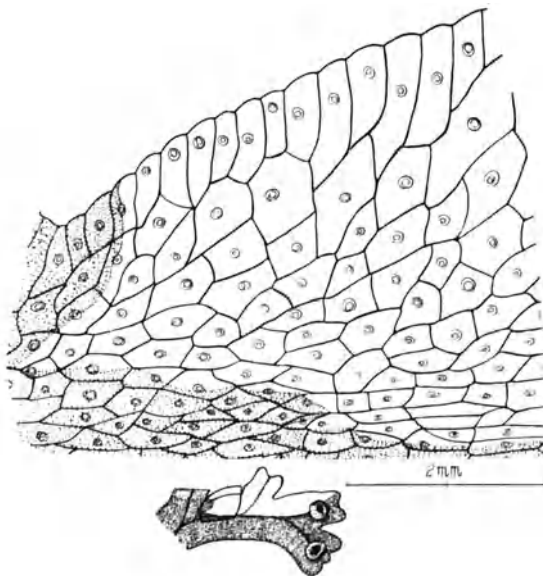


Fig. 15. Vegetative Entstehung einer „Chlorophyllmutation“. Unten: Ein gelblich gefärbter Sektor ist etwas seitlich der Mittellinie des Thallus aufgetreten, hat sich bis zur Mittellinie ausgedehnt und einen selbständigen Seitenzweig erzeugt. Vor der nächsten Verzweigung wird das mutierte Gewebe aber von den Segmenten der „grünen“ Initialen zur Seite gedrängt und endigt blind. (Nat. Gr.) Oben: Der umrahmte Teil des Thallus vergrößert; die Grenze des mutierten und des nichtmutierten Gewebes verläuft mitten durch die Stomata und die Assimilationskammern.



Fig. 16. *Mut. dumortieroides*, vegetativ abgespalten aus einem Nachkommen der Kreuzung (*M. polymorpha* × *M. aquatica*) × *M. aquatica*. (Vergr.) Oben normaler, unten mutierter Thalluszweig vergrößert. Die Brutbecher des mutierten Zweiges tragen keine Berandung!

Anfangsglied, der Grubenbildung, getroffen. Mit dieser unterbleiben alle weiteren durch sie aus-

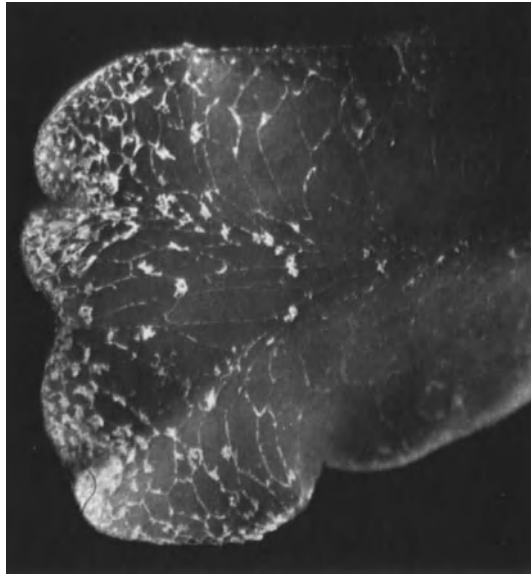


Fig. 17. *Dumortiera velutina*. Thallusspitze vergrößert, mit zartem Netz, das aus Kammerstehwänden und Resten der Epidermis besteht.

durchsichtig, die Bauchschuppen auf der Unterseite treten deutlich hervor. Das sind Folgen des Verlustes. Neben diesen Folgen tritt eine Anzahl neuer und überraschender Eigenschaften in die Erscheinung.

1. Die Epidermiszellen des Thallus führen assimilierende Chromatophoren, während sie beim gekammerten Thallus nur funktionslose Reste solcher enthielten. Entsprechend ihrer, verglichen mit denen der Assimilatoren, geringeren Größe und weniger dichten Lagerung ist die Assimilationsleistung des Thallus geschwächt, er ist daher kleiner und wächst langsamer als der gekammerte. Trotz dieser Schwächung ist

2. seine Breite größer geworden. Der Thallus erhöht also mit dem Wegfall der Kammern und Assimilatoren seine assimilierende Oberfläche.

3. Das Feuchtigkeitsbedürfnis des Thallus ist wesentlich erhöht. Kultur bei tieferen Temperaturen und Glasglockenbedeckung fördern Wachstum und Fruktifikation bedeutend.

Der neue Thallus ähnelt in allen Eigenschaften dem kammerlosen Marchantiaceentypus, wie er in der von GOEBEL entdeckten und berühmten gewordenen Gattung *Monoselenium* vorliegt.

Den Versuch der physiologischen Erklärung dieser scheinbar oder wirklich regulativen Änderungen, die im Gefolge der Verlustmutation auftreten, muß ich mir hier versagen. Feststeht, daß



Fig. 18. *M. stenolepida mut. hyala*. Thallus vergrößert, mit einzelnen übernormal großen Kammern, sonst kammerlos und durchsichtig; Bauchschuppen der Unterseite sichtbar!

gelösten Prozesse. Der Thallus (Fig. 19) gleicht dem eines kammerlosen Lebermooses; er ist nahezu

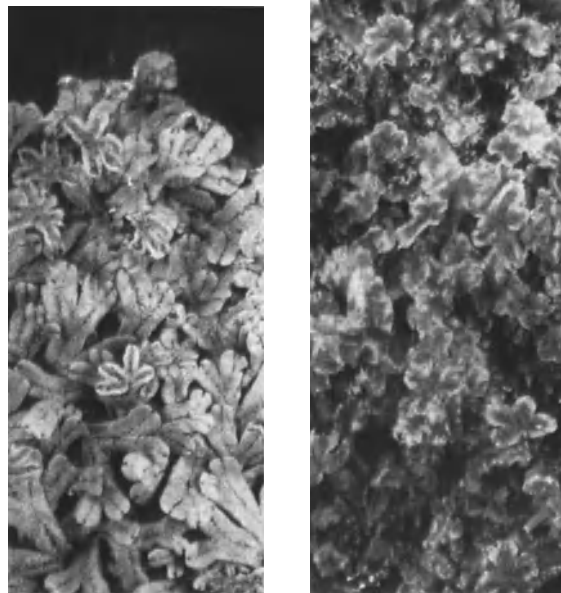


Fig. 19. Dasselbe; Thallus der Art (*M. stenolepida*) neben dem Thallus ihrer Mutation *hyala*, beide mit ♂ Ständen. Man beachte die Breite des nahezu kammerlosen Thallus, die sich besonders an den Lappen der Antheridienstände äußert. (Nat. Gr.)

der Ausfall des Assimilationsgewebes eine grundlegende Änderung in Bau und Funktion des ganzen Thallus im Gefolge hat.

Die Mutationen *picturata* und *hyala* zeigten beide verschiedengradigen Kammverluster. Die Wirkung mußte sich durch Kombination verstärken lassen. Die Kreuzung beider Mutationen erwies sich als schwer analysierbar. Eine besonders merkwürdige Form fiel heraus; ich nannte sie *vitrea*, „die gläserne Marchantia“. Nach Eintritt

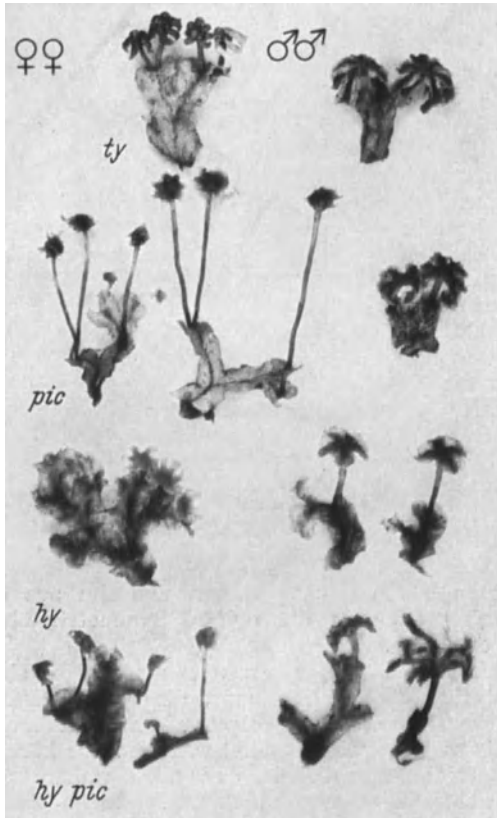


Fig. 20. Kreuzung *picturata* × *hyala*, F₁-Spaltung mit den Kombinationen: Pic Hy = typica, pic Hy = picturata, Pic hy = hyala, pic hy = picturata hyala („vitrea“). (Nat. Gr.)

der Fruktifikation ließen sich dann die Formen endlich trennen (Fig. 20); *vitrea* war nichts anderes als die Kombination

pic hy, d. h. *picturata hyala*.

Bei dieser bei feuchter Kultur völlig kammerlosen Form treten wieder Assimilationsfäden auf, jetzt aber auf der Epidermis, also an einer Stelle, wo sie „nicht hingehören“ (Fig. 21). Man kann sich vorstellen, daß hier organbildende Stoffe am Werk sind, deren Wirkung sich mangels eines Kammerhöhlenbodens an der Epidermis äußern, also an einem Gewebe, aus dem der Kammerboden hätte entstehen sollen.

Der Fall ist von größter theoretischer Bedeutung insofern, als er einen besonderen Weg aufweist, den die Entwicklung nehmen kann. Statt eines entwickelten Gewebes wird ein entwicklungs-

geschichtlich jüngerer differenziert. Die Stoffe sind da; sie wirken auf das, was da ist, und fallen nicht aus mit dem, was nicht mehr da ist. Der Fall erinnert an die Erscheinung der Neotenie. Ich brauche das wohl nicht näher auszuführen.

Mit der Mutationskombination *hy pic* bin ich am Ende meiner Beobachtungen über muta-

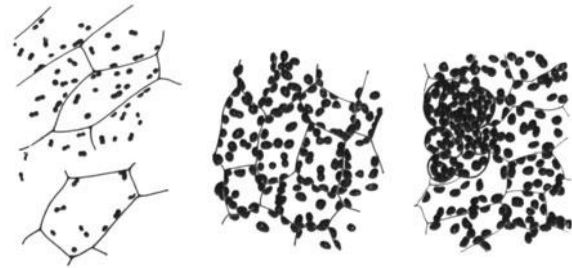


Fig. 21. Epidermis der 3 Formen: *M. stenolepida*, *M. s. mut. hyala* und Komb. *picturata hyala* mit Chromatophoren; die Kombination trägt Assimilatoren auf der Epidermis. (210:1)

tionsbedingte Reduktionen im Entwicklungsgang der Marchantia angelangt.

Was bedeuten diese Beobachtungen für GOEBELS Reduktionsreihe der Marchantiales? Fig. 22 gibt ein

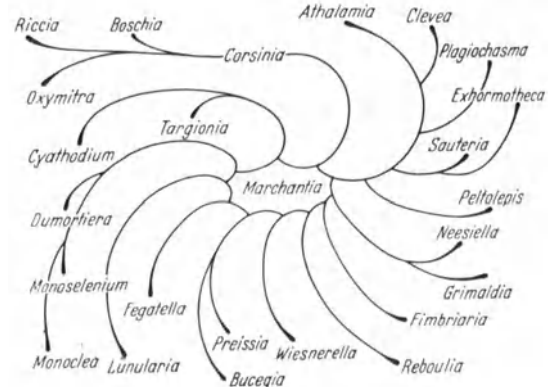


Fig. 22. Reduktionsreihe der Marchantiales.

den GOEBELschen Vorstellungen angenähertes Schema. Darunter sind die einzelnen Organreduktionen für die wichtigsten Gattungen zusammengestellt.

Verloren haben:	Gattungen:
1. Brutbecher	22
2. Tonnenöffnung (Ansatz)	17
3. Perianth	17
4. Stiel des ♂ Standes	15
5. Assimilatoren	11
6. Mehrzahl der Archegonien	9
7. Eine Rhizoidrinne	5
8. Stiel des ♀ Standes	4
9. Mehrzahl der Sektoren	3
10. Abgrenzung der Kammern	4
11. Kammern	2
12. Stand ♂	3
13. Zwei Rhizoidrinnen	3
14. Epidermis und Stomata	(1)
15. Stand ♀	1
16. Hülle (Perichaetium)	1
17. Elateren	1 (2)

Die ihrer Richtung nach bis heute durch Mutationen realisierten sind kursiv gedruckt. Man sieht, daß ein nicht unbedeutender Teil der Entwicklung aus den Mutationsrichtungen verständlich wird. Die folgende Tabelle zeigt die Verteilung der Reduktionen auf die einzelnen Gattungen.

Tabelle 1. Organreduktionen im Sinne der „Reduktionsreihe“ der Marchantiales bei den bekannteren Gattungen.

Athalamia	1 2	9			
Boschia	1 2 3 4	8 9			(17)
Bucegia	1	5			
Clevea	1 2 3 4 5 6			13	
Corsinia	1 2 3	8		12	(17)
Cyathodium	1 2 3 4 5	8 9			
Dumortiera	1 3				(14)
Exhormotheca	1 2 3 4 6				
Fegatella	1 2 3 4				
Fimbriaria	1 2 4 5 6 7				
Grimaldia	1 2 3 6	10	12		
Lunularia	2 4 6			13	
Monoclea	1 3 4 5 7 9	11			
Monoselenium	1 3 5		11	13	
Neesiella	1 2 4 5 6				
Oxymitra	1 2 4	8		12	15 16 17
Peltolepis	1 2 3 4 5 6				
Plagiochasma	1 2 3 4 6	10		13	
Preissia	1				
Reboulia	1(2) 3 4 5 6 7	10			
Sauteria	1 2 3 4 5 6 7				
Targionia	1 2 3 4	8 9			
Wiesnerella	1 2 3	10	13		

Könnte man den Rahmen der Untersuchung, der bis jetzt etwa 30000 aufgezogene beobachtete Individuen umfaßt, um ein Vielfaches vergrößern

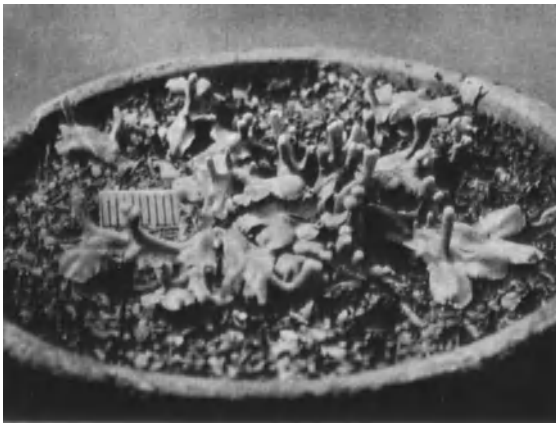


Fig. 23. *M. hybr. mut. blastophora*. (Nat. Gr.)

und auf andere Gattungen, besonders auch auf die reduzierten, ausdehnen, so — glaube ich — könnte man aus den Mutationen ein Bild der Entwicklung gewinnen, das der wirklichen Evolution zwar nicht zu entsprechen brauchte, aber uns doch über die Entwicklungsmöglichkeiten unterrichten würde.

Sollten bei einer solchen erweiterten Untersuchung nicht auch Mutationen auftreten, die einen Neuerwerb von Organen bringen, die wir

also als *fortschrittliche Entwicklungsstufen* deuten können?

Zur Beantwortung dieser Frage hätte ich einen neuen Vortrag zu halten. Tatsächlich lassen sich schon bei den abgeleiteten Gattungen neben reduzierten auch neue Organe beobachten, die dem primitiven *Marchantia*-Typus fehlen. So können die Ausgestaltung des Assimilationsgewebes, der Bau der Geschlechtsstände, besonders aber die Ausstattung der Sporophyten und Sporen, mit Rücksicht auf ihre Funktion unter veränderten Bedingungen bei einer Reihe von Gattungen sehr wohl als fortschrittlich bezeichnet werden.

Unter den Mutationen fallen zwei heraus, bei welchen ich den auslösenden Schritt nicht kenne. Ich will nur mit wenigen Worten auf sie eingehen.

Mut. farinosa. Der Thallus wird rau und so stark benetzbar, daß Algen auf ihm wachsen können. Ursache sind die Epidermis bedeckende Emergenzen, die ihrer Bohnenform nach den Stomazellen homologe Gebilde darstellen. Überschuß eines organbildenden Stoffes scheint hier die Ursache zu sein, die zu einer neuen Eigenschaft der Thallusoberfläche, der Benetzbarkeit, führt. Die Emergenzen treten dabei schon am nichtgekammerten Thallus der Jugendform auf! Sie bilden sich also früher als die Randzellen der Stomata, die erst mit den ersten Kammern entstehen.

Die zweite Mutation zeigt Merkmale, die den ganzen Thallusbau verändern und ihn aus der dorsiventralen in die radiäre Symmetrie übergehen lassen.

Mut. blastophora erzeugt als Folge eines Mutationsschrittes Blastome, die allein aus den Rückensegmenten hervorgehen und mit mehrzelligem Vegetationsscheitel wachsen. Sie können ringförmige Brutbecher und auch radiäre Geschlechtsstände entstehen lassen. *Marchantia* erreicht in dieser Mutation eine Wachstumsform, wie wir sie erst bei den Sporophyten gewisser Farne (*Marattiaceen*) und *Lycopodiaceen* kennen (Fig. 23).

In der Natur sind ähnliche Bildungen nicht bekannt. Vermutlich haben sie keinen Selektionswert und werden eliminiert, sofern sie nicht mit anderen, ebenso seltenen erblichen Abweichungen kombiniert werden, die dem Ganzen erst den Wert eines neuen, entwicklungsfähigen Ausgangstypus geben.

Hier ist jetzt der Ort, der zum Abschluß zwingt und zur Aufhebung eines Gegensatzes, den ich bisher bewußt habe bestehen lassen. Fragt man sich, ob denn überhaupt die Vereinfachung eines Typus immer einen Rückschritt in der Entwicklung bedeutet, so muß die Antwort lauten: Nein. Parasiten z. B. können stärksten Organverlust erleiden und doch besser angepaßte Typen sein, als ihre organreichen Stammformen.

Die Komplikation im Bau einer *Marchantia* ist keineswegs Ziel der Entwicklung. Sie ist Folge einer Entwicklung, die, auch in den vorher beobachteten „fortschrittlichen“ Mutationsfällen, durch

Organausfälle ausgelöst sein könnte. Wir wissen das noch nicht, stellen aber fest, daß *Organausfall*, wenn er eintritt, *Ursache sein muß für eine korrelative Änderung des Funktionswertes aller übrigen Organe.*

Elemente der Stammesentwicklung im Organismus sind dann die — durch den mutationsbedingten Organausfall korrelativ veränderten — Funktionen der Restorgane. Sie sind nach jeder Mutation abgeänderte oder neue! Sie bedeuten Tod oder Leben; in ihnen liegen auch die Keime zur fortschreitenden Entwicklung.

Soweit das entwicklungsphysiologische Ergebnis der Beobachtungen; das genetische möchte ich darin sehen, daß bei *Marchantia* 2 Formen erblicher Variation vorkommen: *eine den Artmerkmalen entsprechende von beschränktem Ausschlag*, die sich bei Artkreuzung in polymorpher Spaltung äußert und wegen pleiogener Verankerung der Phänotypen nicht ohne weiteres analysiert werden kann, *daneben die gattungstypische Großmutation*, die unzweifelhaft monogen ist und die „interspezielle“ Variabilität überlagert.

Der Unterschied ist dabei nur ein gradueller. Die Genäußerungen der ersteren summieren oder subtrahieren sich, die Wirkung des Einzelgens läßt

sich nicht fassen, die Äußerungen der anderen werden von den Arten noch beeinflusst, aber nicht mehr verdeckt.

Obige Gegenüberstellung führt notwendig zu der Frage, wie wir uns die Evolution zu denken haben. Summieren sich Kleinmutationen zu großer Wirkung oder gibt es — was nach den Beobachtungen an *Marchantia* wahrscheinlicher ist — *Mutations sprünge aller Grade*, die man systematisch in art-, gattungs-, familien- oder stammtypische gliedern könnte, wobei man noch vermuten kann, daß der größere Sprung die Lebenstätigkeit des Individuums stärker gefährdet und es damit zur selteneren Erscheinung macht.

Welche Funktion hierbei — d. h. bei den größeren Sprüngen — die Kleinmutationen haben, ob sie für den Ausgleich extremer Funktionen oder Funktionsausfälle wirksam sind und „glättend“ einzugreifen vermögen, ob sie gleichgültige oder störende Organrudimente durch allmählichen Abbau entfernen können, über das alles läßt sich heute vom Boden der induktiven Forschung aus keine Aussage machen. Der Möglichkeit, solche Fragen im Modellversuch in Angriff zu nehmen, steht aber nichts im Wege.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Der kohlen saure Kalk des Süßwassers als Lichtschutz.

In vielfach bestätigten Beobachtungen über die Schutzwirkung der Elektrolyte des Süßwassers bei der Bestrahlung leuchtthätiger Tiere mit kurzwelligem Licht konnte erkannt werden, daß dem kohlen sauren Kalk dabei eine besondere Rolle zukommt. Das ist nicht nur so zu verstehen, daß das Kalziumkarbonat in den Süßwässern die größte Menge der vorhandenen Salze ausmacht, sondern auch so, daß es im Vergleich mit dem Kalziumchlorid und dem Kalziumsulfat einen besonderen Schutz zu bieten vermag. Kurze Anleitungen darüber wurden bereits in einer früheren Mitteilung in dieser Zeitschrift gemacht [MERKER, Naturwiss. 28, 30 (1940)]. Inzwischen konnten diese Feststellungen bestätigt und stark erweitert werden. Es hat sich dabei gezeigt, daß der kohlen saure Kalk innerhalb einer gewissen Spanne der Dichte einen wesentlich stärkeren Lichtschutz bietet als das Chlorid und das Sulfat des Kalziums von etwa gleicher Dichte.

In den Kurven der Fig. 1 sind einige unserer Ergebnisse von Stichlingen dargestellt. Geringere Kalkdichten wie auch stärkere Lösungen liefern nicht mehr so hohe Werte wie die hier gezeigten. Die Unterschiede zwischen den Chloridwerten und den Karbonatzahlen verringern sich in der Weise, daß die Tötungszahlen in der Karbonatlösung absinken. Ganz ähnliche Erfahrungen lassen sich mit Bachlohkrebsen machen, wodurch sich unsere Angaben nicht nur für Wirbeltiere, sondern auch für Wirbellose bestätigen.

Gleichzeitig verrät die Kurve, daß Salzmischungen besonders günstige Wirkungen auf den Widerstand der Versuchstiere in kurzwelligem Licht haben. Auch auf diese Tatsache, die mit den Ergebnissen der Zellphysiologie in Einklang steht, ist früher in der oben genannten Mitteilung hingewiesen worden. Schon die Mischung von 3 Salzen des Kalziums, Natriums und Kaliums führt zu Widerstandswerten, die an die Zahlen eines fruchtbares Süßwassers heranreichen und sich darüber hinaus erheben. Voraussetzung ist nur, daß als Kalksalz kohlen saurer Kalk verwendet wird. Auch diese Werte lassen sich in ähnlicher Weise bei Bachlohkrebsen beobachten, obwohl sich natürlich im einzelnen stets gewisse Unterschiede zwischen Wirbeltier und wirbellosem Tier ergeben.

Nach allem, was sich bisher über diese Zusammenhänge sagen ließ, muß der Unterschied, den das Kalziumkarbonat gegenüber anderen Kalziumsalzen bewirkt, von dem Anion hervorgerufen werden. Wir haben hier der Einfachheit halber stets den Kalk des Wassers als Kalziumkarbonat bezeichnet.

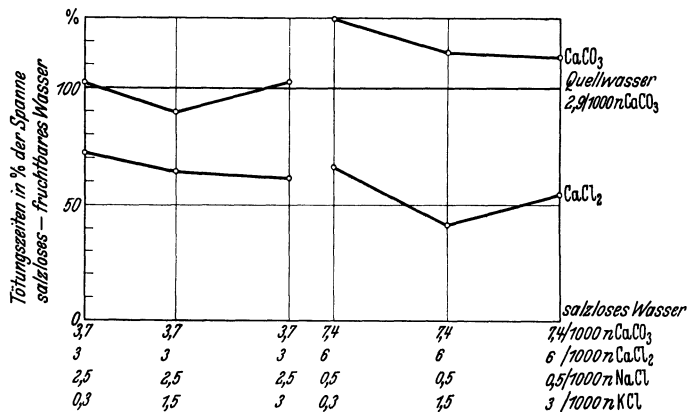


Fig. 1. Der Lichtschutz von CaCO_3 verglichen mit CaCl_2 beim Bestrahlen von Stichlingen in kurzwelligem Licht. Die Salzmischung, worin die Fische bestrahlt wurden, bestand entweder aus $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (untere Kurve) oder aus $\text{CaCO}_3 + \text{NaCl} + \text{KCl}$ (obere Kurve).

Selbstverständlich ist es eine Mischung von Karbonat und Bikarbonat, die ja beide mit freier Kohlensäure im Gleichgewicht stehen. In welcher Weise die Kohlensäurereste günstig auf die Tiere des Wassers wirken, kann zur Zeit nur vermutet, aber noch nicht bewiesen werden. Es ist jedoch bezeichnend, daß auch die Karbonate des Magnesiums ähnliche günstige Wirkungen, bei Bachlohkrebsen schon in sehr geringer Dichte, auszuüben vermögen.

Gießen, Ehm. Forstzoologisches Institut der Universität, den 1. April 1941.
E. MERKER. FR. STAUDER.

Antithrombin und Heparin.

Seit der Entdeckung des Heparins ist es bekannt, daß das Heparin nicht die Wirkung des Thrombins auf das Fibrinogen hindert. Für eine solche hemmende Wirkung ist das Zugewesen eines unbekanntes Co-Faktors notwendig [vgl. HOWELL¹]. Nach den Untersuchungen von QUICK² scheint es das im Blutplasma vorhandene Antithrombin zu sein, dessen Wirkung von Heparin außerordentlich verstärkt wird [vgl. auch WÖHLISCH³].

Es ist uns indessen gelungen zu zeigen, daß normales Antithrombin nicht von Heparin aktiviert wird, sondern daß ein neuer Co-Faktor hierfür verantwortlich ist.

Bei der Reinigung von Serumalbumin ließen sich 1. Fraktionen herstellen, die keine Antithrombinwirkung besaßen, sich aber mit Heparin aktivieren ließen; 2. fanden sich Fraktionen, die Thrombin neutralisierten, sich aber nicht mit Heparin weiter aktivieren ließen. Ferner zeigte es sich, daß das normale Antithrombin nicht mit dem aus Heparin und Co-Faktor bestehenden neuen Thrombin-Inhibitor identisch ist. Während die Bindung zwischen Antithrombin und Thrombin quantitativ verläuft, scheint sowohl die Verbindung zwischen Heparin und Co-Inhibitor als auch die Verbindung zwischen dem so gebildeten Inhibitor und Thrombin stark dissoziiert zu sein. Bei Verwendung von Ochsenplasma ist es möglich, den Co-Faktor bei Erwärmen (5 Minuten bei 56°) zu inaktivieren, ohne den Antithrombingehalt nennenswert herabzusetzen.

Thrombin wird also im Blutplasma durch folgende zwei Reaktionen inaktiviert:

1. Thrombin + Antithrombin = Metathrombin.
- 2a. Heparin + Co-Inhibitor \rightleftharpoons Inhibitor.
- 2b. Inhibitor + Thrombin \rightleftharpoons Thrombin-Inhibitor-Verbindung.

Diese Untersuchungen wurden mit Unterstützungen von „Danmarks tekniske Højskoles Fond for teknisk Kemi“ und von „Løvens kemiske Fabrik“, Kopenhagen, durchgeführt. Kopenhagen (Dänemark), Carlsbergfondets biologiske Institut, den 4. April 1941. TAGE ASTRUP, SVEN DARLING.

¹) W. H. HOWELL, Amer. J. Physiol. 71, 553 (1925).

²) A. J. QUICK, Amer. J. Physiol. 123, 712 (1938).

³) E. WÖHLISCH, Erg. Physiol. 43, 248 (1940).

Über den Verbleib natürlich-radioaktiver Stoffe im Organismus nach parenteraler Zuführung.

Aus der Reihe der natürlichen radioaktiven Atomarten haben neben Radium und Mesothorium auch einige kurz-

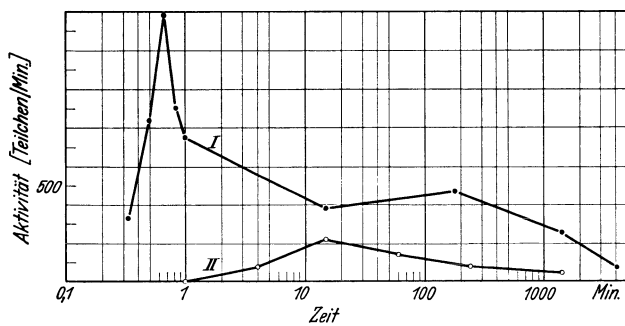


Fig. 1.

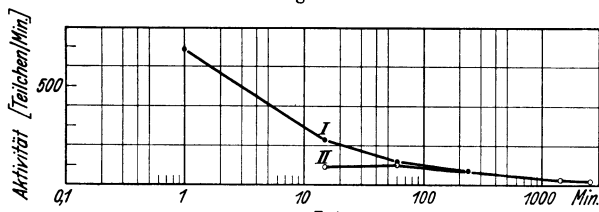


Fig. 2.

lebige Substanzen, vor allem die Emanationen und Thorium X (Th X) therapeutische Verwendung gefunden. Bei

ihnen besteht im Gegensatz zu den langlebigen Stoffen, die nur örtlich angewendet werden können, auch die Möglichkeit der Zufuhr auf enteralem und parenteralem Wege und damit ein weiter umrissenes Indikationsgebiet. Die Grundlage für den Ausbau einer solchen Therapie bilden außer den Tatsachen der allgemeinen Strahlenbiologie genügende Kenntnisse über die Verteilung und das Schicksal der fraglichen aktiven Körper im menschlichen Organismus. Da diese Kenntnisse bisher unzureichend sind, wurden in Gemeinschaft mit den wissenschaftlichen Laboratorien der Auergesellschaft¹) Versuche begonnen, über deren vorläufige Ergebnisse im folgenden berichtet wird.

Gesunden Versuchspersonen wurde Th X in calciumhaltiger isotonischer Lösung intravenös oder subcutan injiziert. In bestimmten Zeitabständen wurden danach Blutproben aus einer Vene entnommen und die Blutaktivitäten gemessen. Als Meßgerät diente die hochempfindliche Zählrohranordnung, so daß kleine, sicher unschädliche Th X-Dosen genühten. Fig. 1 zeigt den Verlauf des Th X-Gehaltes in Abhängigkeit von der Zeit nach der Injektion. Aus Kurve 1 geht der Verlauf nach intravenöser, aus Kurve 2 der nach subcutaner Gabe hervor. Der Maximalwert wird im 1. Falle sehr schnell, nach etwa 40 Sekunden, im zweiten — infolge der Zwischenschaltung der Resorption — erst nach etwa $\frac{1}{4}$ Stunde erreicht. Zudem liegt er nach subcutaner Injektion erheblich niedriger. In beiden Fällen sinkt der Th X-Spiegel des Blutes langsam ab. Doch liegen die Blutwerte nach intravenöser Injektion stets höher als nach subcutaner. Bemerkenswerterweise ergibt eine Umrechnung des Maximalwertes bei Schätzung der zirkulierenden Blutmenge für den Menschen unter Annahme gleichmäßiger Verteilung, daß sich 40 Sekunden nach intravenöser Injektion nur noch 30% der zugeführten Gesamtaktivität im Blutkreislauf befinden. Es muß also eine ziemlich rasche Aufnahme des Th X durch die Gewebe angenommen werden. Messungen der Ausscheidung durch den Urin ergaben, daß innerhalb 24 Stunden nur etwa 1% der verabreichten Gesamtmenge auf diesem Wege abgegeben werden.

In einer zweiten Versuchsreihe, die allerdings mit weniger Einzelversuchen belegt ist, wurde das Th X nicht in ionogener, sondern in organokomplexer Form als Brenzkatechindisulfonsaures Salz gegeben. Die in Fig. 2 wiedergegebenen Kurven zeigen keinen prinzipiellen Unterschied gegenüber der 1. Versuchsreihe. Der Verlauf des Th X-Gehaltes mit der Zeit läßt wieder den durch die Resorption bedingten Unterschied zwischen intravenöser und subcutaner Injektion erkennen. Da die Absolutwerte der Blutaktivität niedriger liegen als im 1. Versuch, andererseits die Ausscheidung durch den Urin nicht größer war, wird anscheinend das Th X nach Zufuhr in komplexer Form noch rascher vom Gewebe aufgenommen als das ionisierte Th X. Versuche an Ratten, über die ausführlicher an anderer Stelle mitberichtet werden soll, ergaben vorläufig keinen Hinweis auf bevorzugte Speicherung des organisch gebundenen Th X in irgendeinem Gewebe.

Weitere Versuche haben u. a. zu klären, wie sich die radioaktiven Folgeprodukte des Th X im Körper verhalten, da diese teilweise strahlenwirksamer sind als das Th X selbst.

Berlin-Buch, Genetische Abteilung des Kaiser Wilhelm-Instituts, den 18. April 1941. JOACHIM GERLACH.

¹) Herrn Dr. WOLF und Herrn Dr. BORN danke ich für ihre freundliche Unterstützung.

Gitterkonstanten der Alkali-Erdalkaliphosphate.

In einer früheren Arbeit¹) wurden die Zusammenhänge zwischen den Gitterstrukturen der Alkali-Erdalkaliphosphate qualitativ erörtert. Durch Indizierung der damals erhaltenen Röntgendiagramme konnten die Verhältnisse jetzt schärfer erfaßt werden. Alle untersuchten Alkali-Erdalkaliphosphate treten, mit Ausnahme des Kalium-Calciumphosphats, in zwei Formen auf, einer Nieder- und einer Hochtemperaturform (NT bzw. HT). Deren Gitterkonstanten und sonstigen Daten, wie sie aus Pulveraufnahmen erhalten wurden, sind aus der Zusammenstellung ersichtlich.

Die NT des Natrium-Bariumphosphats konnte noch nicht einwandfrei indiziert werden. Leider scheiterten bisher alle Versuche, von den untersuchten Alkali-Erdalkaliphosphaten Kristalle von genügender Größe zu erhalten, um mit ihrer Hilfe die Struktur der Stoffe weiter aufzuklären.

	Krist. Syst.	a	b	c	a : b : c	c/a	d _{Rö}	d _{Pykn}	Z
NaCaPO ₄ ²⁾ NT	rhombsch	5,20 ₅	10,09	6,87	0,516 : 1 : 0,680	—	2,89	3,05	4
KCaPO ₄	hexagonal	10,60	—	5,84	—	0,550	3,05	3,01	6
NaSrPO ₄ NT	hexagonal	10,65	—	5,81	—	0,545	3,59	3,68	6
KSrPO ₄ NT	hexagonal	10,70	—	5,87	—	0,549	3,80	3,83	6
NaBaPO ₄ NT	rhombsch?	?	?	?	?	?	?	?	?
KBaPO ₄ NT	rhombsch	5,61 ₅	11,09	7,62	0,506 : 1 : 0,687	—	?	?	?

	Krist. Syst.	a	c	c/a	d _{Rö}	d _{Pykn}	Z
NaCaPO ₄ ³⁾ HT	hexagonal	10,53	5,76	0,547	2,83	2,98	6
KCaPO ₄	hexagonal	10,60	5,84	0,550	3,05	3,01	6
NaSrPO ₄ HT	tetragonal	9,25	7,93	0,857	4,00	~4,4	8
KSrPO ₄ HT	tetragonal	9,50	8,16	0,859	3,98	~4,3	8
NaBaPO ₄ HT	tetragonal	7,96	8,27	0,847	4,28	~4,8	8
KBaPO ₄ HT	tetragonal	9,84	8,34	0,848	4,44	~4,8	8

In der erwähnten Arbeit von R. KLEMENT und F. STECKENREITER¹⁾ war auch auf den engen Zusammenhang zwischen der Struktur der HT des Natrium-Calciumphosphats und denen von Natrium-Calciumsilico- bzw. sulfophosphaten hingewiesen worden. Um die qualitative Feststellung zu sichern, wurde das Pulverdiagramm der von H. MÜLLER⁴⁾ beschriebenen Verbindung Na₃CaS₅O₂₀ indiziert, das eine auffällige Ähnlichkeit mit dem Diagramm der HT des Natrium-Calciumphosphats aufweist. Es ergaben sich für das hexagonal kristallisierende Na₃CaS₅O₂₀ folgende Gitterkonstanten in Å: a = 9,30, c = 5,73, c/a = 0,616, d_{Rö} = 2,76, d_{Pykn} = 2,73, Z = 1. Im Hinblick auf die Tatsache, daß die Elementarzelle der HT des Natrium-Calciumphosphats 6 Moleküle enthält, also geschrieben werden kann als Na₆Ca₆P₆O₂₄, ist wohl trotz der nahen Übereinstimmung der Röntgendiagramme weder eine Isomorphie noch eine Isotypie dieser beiden Verbindungen anzunehmen. Diese sowie andere noch auf diesem Gebiete, insbesondere dem der Calciumsilicophosphate, offenen Fragen können aus äußeren Gründen erst später weiter untersucht und dann ausführlicher veröffentlicht werden.

Frankfurt a. Main, Institut für anorganische Chemie der Universität, den 19. April 1941.

R. KLEMENT. R. UFFELMANN.

¹⁾ R. KLEMENT u. F. STECKENREITER, Z. anorg. u. allg. Chem. 245, 236 (1940).

²⁾ R. KLEMENT u. P. DIHN, Z. anorg. u. allg. Chem. 240, 31 (1938).

³⁾ P. DIHN, Vorläufige Dissertation, Frankfurt/M. 1941.

⁴⁾ H. MÜLLER, Z. Krist. 53, 511 (1914).

Isomorphe Apatitarten.

In Ergänzung bereits früher veröffentlichter Untersuchungen über Isomorphie bei Apatiten¹⁾ werden hier Gitterkonstanten sowie einige Eigenschaften derartiger Apatitarten mitgeteilt.

Synthetischer *Ellestadit* Ca₁₀Si₃S₃O₂₄F₂ (Fp. 1250°) kristallisiert hexagonal mit den Gitterdimensionen a = 9,54 Å, c = 6,99 Å, c/a = 0,732, d_{Rö} = 3,00, d_{Pykn} = 3,06. Durch Überleiten von Wasserdampf bei 1000° läßt sich das Fluor austreiben und durch Hydroxyl ersetzen. Der so entstehende *Hydroxyl-Ellestadit* Ca₁₀Si₃S₃O₂₄(OH)₂ (Fp. 1260°) hat völlig die gleichen Gitterkonstanten wie die Fluorverbindung. Der Hydroxyl-Ellestadit läßt sich aus den Komponenten, z. B. nach der Gleichung 3 Ca₂SiO₄ + 3 CaSO₄ + CaCO₃ + H₂O = Ca₁₀Si₃S₃O₂₄(OH)₂ + CO₂ nicht darstellen im Gegensatz zu Hydroxylapatit und zu Mischapatiten, die noch Phosphor enthalten. Beim Schmelzen verliert der Hydroxyl-Ellestadit Wasser, und es entsteht unter Abspaltung von CaO die Hochtemperaturform des Natrium-Calciumphosphats mit unvollständig besetzten Gitterplätzen für die Kationen zweiter Art, z. B. nach der Gleichung: Ca₁₀Si₃S₃O₂₄(OH)₂ = Ca₉Si₃S₃O₂₄ + CaO + H₂O; Ca₉Si₃S₃O₂₄ : 6 = Ca_{1,5}XO₄²⁾. Fluor-Ellestadit zeigt beim Schmelzen keine Veränderung seiner Apatitstruktur.

Die Gitterkonstanten des synthetischen *Natrium-Calciumsulfat-Apatits*³⁾ Na₆Ca₄(SO₄)₆F₂ hatten sich als größer erwiesen als die des Apatits, obwohl die Ionenradien des

S⁶⁺ bzw. des Na¹⁺ kleiner sind als die des P⁵⁺ bzw. des Ca²⁺. Es ist deshalb eine sorgfältige Nachprüfung der Gitterkonstanten dieser interessanten Verbindung durchgeführt worden. Dabei hat sich gezeigt, daß nur die a-Achse des Sulfatapatits etwas größer ist als die des gewöhnlichen Apatits, während die c-Achse dieselbe Größe aufweist: Na₆Ca₄(SO₄)₆F₂ a = 9,49 Å, c = 6,87 Å, c/a = 0,724, d_{Rö} = 2,81, d_{Pykn} = 2,81; Ca₁₀(PO₄)₆F₂, a = 9,36 Å, c = 6,88 Å, c/a = 0,732 (zum Vergleich). Es bleibt die Tatsache bestehen, daß das Gitter des Sulfatapatits etwas größer ist als das des Apatits, obwohl das Gegenteil zu erwarten wäre.

Ausführlichere Beschreibung der Ergebnisse erfolgt später nach Abschluß der aus äußeren Gründen unterbrochenen Untersuchung.

Frankfurt a. Main, Institut für anorganische Chemie der Universität, den 19. April 1941. R. KLEMENT. P. DIHN.

¹⁾ R. KLEMENT, Naturwiss. 27, 57 u. 568 (1939).

²⁾ R. KLEMENT u. F. STECKENREITER, Z. anorg. u. allg. Chem. 245, 236 (1940).

³⁾ R. KLEMENT, Naturwiss. 27, 568 (1939).

Versuche über Isomorphie in der Wagneritgruppe.

In Fortsetzung der Untersuchungen über die isomorphe Ersetzbarkeit der Bausteine in Phosphaten¹⁾ sind Stoffe der allgemeinen Zusammensetzung Me₄H₂P₂O₈X₂, zu denen z. B. der Wagnerit Mg₄P₂O₈F₂ gehört, bearbeitet worden²⁾.

Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Calciumphosphaten^{1, 3)} gelang die Herstellung eines Stoffes Mg₄(Si, P, S)₂O₈F₂ durch Zusammenschmelzen der Komponenten nicht. Auch konnte ein Stoff Mg₄SiSO₈F₂ nicht gewonnen werden. Es ließen sich aber Mischverbindungen herstellen, in denen ein Teil des Magnesiums durch Lithium oder Natrium und ein Teil des Phosphors durch Schwefel ersetzt war, z. B. LiMg₃PSO₈F₂ bzw. NaMg₃PSO₈F₂. Deren Pulverdiagramme stimmen mit dem des Wagnerits völlig überein.

Der „Kalkwagnerit“ Ca₄P₂O₈Cl₂ ist mit Wagnerit nicht isomorph. Dieser kristallisiert monoklin, jener rhombisch.

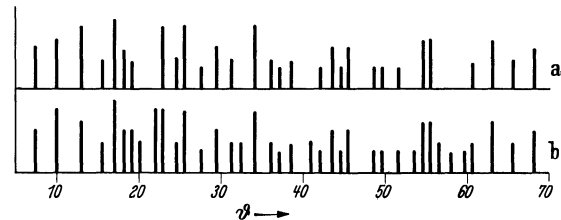


Fig. 1. Röntgendiagramme von Ca₄As₂O₈Cl₂ (a) und Ca₄P₂O₈Cl₂ (b).

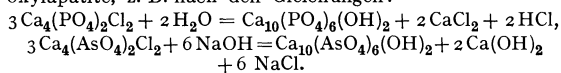
Entsprechend der Darstellung des Kalkwagnerits durch Auflösen von Ca₃P₂O₈ in geschmolzenem, überschüssigem Calciumchlorid kann die analoge Arsenverbindung durch Auflösen von Ca₃As₂O₈ in geschmolzenem CaCl₂ (z. B. 50 g CaCl₂ und 3 g Ca₃As₂O₈) und Herauslösen durch Wasser aus der erstarrten Schmelze gewonnen werden.

Analyse: $\text{Ca}_4\text{As}_2\text{O}_8\text{Cl}_2$

gef. 31,63 % Ca, 54,06 % AsO_4 , 13,96 % Cl
ber. 31,50 54,56 13,94

Die Pulverdiagramme der beiden Stoffe stimmen durchaus überein, wie aus Figur 1 ersichtlich ist. Die Bestimmung der Gitterkonstanten konnte aus äußeren Gründen nicht durchgeführt werden.

Es sollte nun versucht werden, durch hydrolytische Umsetzung das Chlor des Kalkwagnerits und der entsprechenden Arsenverbindung durch Hydroxyl zu ersetzen, um durch nachfolgende Behandlung mit Fluorid die analogen Fluorverbindungen zu erhalten, die unmittelbar nicht dargestellt werden können. Sowohl bei der Behandlung mit Wasserdampf bei 900° (4 Stunden) wie mit n NaOH bei 100° im Einschlußrohr (10 Tage) bilden sich bei beiden Stoffen, wie aus Röntgenaufnahmen hervorgeht, die Hydroxylapatite, z. B. nach den Gleichungen:



Es besteht demnach bei basischem Calciumphosphat und -arsenat offenbar eine sehr große Neigung, im Apatitgitter zu kristallisieren und nicht in einem Wagnerittyp. Das hier gefundene Verhalten steht in Analogie zu der von H. STRUNZ⁴⁾ festgestellten Identität des früher als zur Wagneritgruppe gehörig betrachteten Minerals Spodiosit $\text{Ca}_4\text{P}_2\text{O}_8\text{F}_2$ mit Apatit. Ein „Spodiosit“ läßt sich nach den bisherigen Versuchen also auch nicht künstlich herstellen.

Frankfurt a. Main, Institut für anorganische Chemie der Universität, den 19. April 1941.

R. KLEMENT. F. GEMBRUCH.

¹⁾ R. KLEMENT u. F. STECKENREITER, Z. anorg. u. allg. Chem. **245**, 236 (1940), dort weitere Hinweise.

²⁾ F. GEMBRUCH, Diplomarbeit Frankfurt a. M. 1941.

³⁾ R. KLEMENT, Naturwiss. **27**, 57 (1939).

⁴⁾ H. STRUNZ, Naturwiss. **27**, 423 (1939).

Die Eisengarnitur der Chloroplasten vom Spinat.

Die Zellbestandteile der Spinatblätter wurden in präparativem Maßstab in vier Fraktionen getrennt und auf ihren Gehalt an Eisen und auf dessen Zustand geprüft. Besonders berücksichtigt wurden die Chloroplasten, die nach MENKE¹⁾ mit KH_2PO_4 abgeschieden wurden.

Der Form nach unversehrte Chloroplasten enthalten im Mittel 0,05 % Eisen (bezogen auf Trockengewicht); das sind 82 % des gesamten Blatteisens. Das Cytoplasma enthält 5 %, die wasserlösliche Fraktion 13 % des gesamten Blatteisens. Der Eisengehalt der Zellkerne kann vernachlässigt werden. Die Zellwand ist praktisch eisenfrei.

„Chloroplastensubstanz“, d. h. durch Abzentrifugieren oder mit Ammonsulfatfällung gewonnene Chloroplasten enthalten 66 % des gesamten Blatteisens, da sie mit 15 % Cytoplasma vermischt sind, dessen Eisengehalt zahlenmäßig hierbei belanglos ist.

Das Eisen der Chloroplastensubstanz läßt sich in drei Fraktionen zerlegen: a) 8 % wasserlösliches Eisen; b) 32 % Eisen, das erst durch $n/100$ -Salzsäure ($p_{\text{H}} = 2$) oder durch $n/1000$ -Kalilauge ($p_{\text{H}} = 8,5$) entfernbar ist; c) 60 % Eisen, das nicht mit $n/100$ -Salzsäure abspaltbar ist.

Bei reduktiver Abspaltung von Eisen mit Palladium-Wasserstoff in neutraler Lösung bleiben ebenfalls 60 % des Chloroplasteneisens zurück. Dieses Eisen sowie die 38 %

mit $n/100$ -Salzsäure abspaltbaren Eisens liegen in dreiwertiger Form vor. Das wasserlösliche Eisen ist zweiwertig.

Mit Äther extrahierte Chloroplastensubstanz vermag wie Casein dreiwertige Eisenionen zu adsorbieren.

Das weniger fest gebundene Eisen (32 %) ist offenbar an phosphorfreie Eiweißkörper, das stärker gebundene Eisen (60 %) ist offenbar zu $5/6$ an Nukleinsäure bzw. phosphorhaltige Eiweißkörper adsorbiert. Denn nach FISCHER und HULTZSCH²⁾ findet bei phosphorhaltigen Eiweißkörpern eine maximale Eisenaufnahme schon bei $p_{\text{H}} = 1,5$ statt, während phosphorfreie Eiweißkörper eine maximale Eisenadsorption nicht unter einem p_{H} -Wert von 3–4 aufweisen. Das Vorhandensein von Nukleinsäure in den Chloroplasten hat MENKE³⁾ nachgewiesen. Daß nur $5/6$ des fester gebundenen Eisens an phosphorhaltige Eiweißkörper bzw. Nukleinsäure gebunden sind, wurde auf Grund der Tatsache errechnet, daß in den phosphorhaltigen Eiweißkörpern nach FISCHER und HULTZSCH das Verhältnis Fe:P nur in engen Grenzen variiert und z. B. beim Vitellin 1:40,9 beträgt, und daß mit Äther extrahierte Chloroplastensubstanz einen Eisengehalt von 0,42 % aufweist und nach MENKE 0,51 % Phosphor enthält. Ein rechnerischer Rest von $1/5$ des fester gebundenen Eisens entfällt wohl auf Fermenteisen (Cytochrome usw.).

Die Chloroplasten haben eine starke Avidität zu Eisen. In Eisenmangelkulturen von Spinat steigt in den Chloroplasten der Gehalt an fester gebundenem Eisen bei fallendem Gesamteisengehalt relativ an, und zwar beginnt dieser Anstieg, wenn der Gesamteisengehalt auf 60 % der Norm gesunken ist. Diese lebenswichtige Menge von 60 % Eisen ist offenbar mit der an phosphorhaltige Eiweißkörper adsorbierten Eisenfraktion identisch. Sie besitzt offenbar, im Gegensatz zu der weniger fest gebundenen Eisenfraktion, konstitutionellen Charakter und dient vielleicht als Katalysator bei der Photosynthese, wobei an eine Gleichgewichtsreaktion zwischen Eisenhydroxydsol und kolloiden Carbonatkomplexen des dreiwertigen Eisens (GATTERER⁴⁾) gedacht werden kann. Denn die Braunfärbung der Chloroplasten nach Behandlung mit Hämatoxylin ist nach MOORE⁵⁾ ein Zeichen für das Vorhandensein von kolloidalem Eisen. Außerdem löst sich nach GATTERER Kohlendioxyd in Eisenhydroxydsol von hoher Dispersität, wie sie sicher auch durch die Adsorption von Eisen (III)-hydroxyd an Eiweiß erreicht wird, leichter als in Wasser.

Denn die Bindung des Eisens an Eiweiß bezweckt offenbar auch eine Peptisierung des Eisens bzw. des Eiweißes. Der isoelektrische Punkt der Chloroplastensubstanz des Spinats liegt nach MENKE bei $p_{\text{H}} =$ etwa 5, während der isoelektrische Punkt der Cytoplasmasubstanz, in die die Chloroplasten eingebettet sind, bei etwa 3,5–4 liegt. Unter derartigen p_{H} -Bedingungen wird nach FREUNDLICH und LINDAU⁶⁾ ein Eisenhydroxydsol von Albumin peptisiert.

Die Chloroplastenlipide des Spinats sind eisenfrei.

Berlin-Dahlem, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität, den 24. April 1941. K. NOACK. H. LIEBICH.

¹⁾ W. MENKE, Hoppe-Seylers Z. **257**, 43 (1938).

²⁾ F. G. FISCHER u. K. HULTZSCH, Biochem. Z. **299**, 104 (1938).

³⁾ W. MENKE, Hoppe-Seylers Z. **257**, 43 (1939).

⁴⁾ H. GATTERER, J. chem. Soc. (Lond.) **1926**, 299.

⁵⁾ J. MOORE, Proc. roy. Soc. Lond. (B) **87**, 556 (1914).

⁶⁾ H. FREUNDLICH u. G. LINDAU, Biochem. Z. **234**, 170 (1931).

Besprechungen.

KEPLER, JOHANNES, **Gesammelte Werke**. Herausgegeben im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften unter der Leitung von WALTHER VON DYCK † und MAX CASPAR. Bd. VI. Harmonice Mundi. Herausgegeben von MAX CASPAR. München: C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung 1940. 563 S. und zahlreiche Abbild. 19 cm × 30 cm. Subskriptionspreis geh. RM 13,50. geb. RM 16,50. Einzelpreis geh. RM 15.—, geb. RM 18.—.

Der Übersetzung von KEPLERs Weltharmonik, die MAX CASPAR im Jahre 1939 gesondert hat erscheinen

lassen und die wir in den Naturwiss. **1940**, 240 besprochen haben, ist nunmehr als Bd. VI von KEPLERs Gesammelten Werken der lateinische Text gefolgt. Hier ist indessen die 1621 erschienene, gegen den englischen Rosenkreuzer ROBERT FLUD gerichtete Apologia pro Opere Harmonices Mundi beigegeben, die in der Übersetzung fehlt. Wie in den früher erschienenen Bänden I bis III der „Werke“ ist auch dem vorliegenden Bande ein umfangreicher Nachbericht in deutscher Sprache angefügt, der vor allem die Entstehungsgeschichte der Harmonice schildert und eine Analyse ihres Inhalts gibt. Da wir in der zitierten Besprechung

der Übersetzung einiges über das höchst merkwürdige Werk gesagt haben, so brauchen wir uns hier nicht zu wiederholen.

Trotz der erschwerenden Zeitumstände ist die Ausstattung dieses neuen Bandes von KEPLERS Werken von derselben Güte wie die der vorangegangenen.

H. LUDENDORFF, Potsdam.

ISRAEL, HANS, **Radioaktivität**. I. Grundlagen und Meßmethoden. (Geophysik, Meteorologie, Astronomie, Bd. 2.) Leipzig: Joh. Ambr. Barth 1940. VI, 149 S., 49 Abbild. u. 2 Taf. 12,5 cm × 20 cm. Preis kart. RM 13,50.

Die vorliegende Monographie bringt auf 82 Seiten im wesentlichen eine ausführliche Schilderung der speziell in der Geophysik gebräuchlichen radioaktiven Meßmethoden nebst einer genauen Beschreibung der dabei zu verwendenden Meßapparate. Für diese durch einen Fachmann durchgeführte Zusammenstellung, die den II. und Hauptteil des Büchleins darstellt, werden die interessierten Kreise dem Autor sicher großen Dank wissen. Und das um so mehr, als diese speziellen radioaktiven Meßmethoden, die sog. emanometrischen Methoden, in den bekannten physikalischen Monographien über Radioaktivität nur kurz oder gar nicht dargestellt werden. Diesem Hauptteil ist ein 50 Seiten langer I. Teil vorangestellt, der eine kurzgefaßte Darstellung der physikalischen Grundlagen

und Ergebnisse über die natürlichen und künstlichen radioaktiven Substanzen, Prozesse und Strahlungen wiedergibt. Der Referent möchte für diesen Teil bei einer Neuauflage des Büchleins anregen, bestimmte Dinge und Erkenntnisse dem neuesten Gebrauch und Stand der Wissenschaft entsprechend darzustellen. Einige Beispiele: Bei der radioaktiven β -Umwandlung wird kein Bestandteil *aus* dem Atomkern abgespalten (S. 3, 21); Rn statt RaEm und aktiver Niederschlag statt Induktion (S. 10 u. a.); die Entstehung und Art der δ -Strahlen ist wohl bekannt, sie vermögen auch die Luft zu ionisieren (S. 22, vergl. mit S. 37); spontan zerfallende Atomarten statt Elemente (S. 41); der Stammvater der Aktinierreihe ist das jetzt bekannte Aktinouran (S. 42, 43, 44), desgl. gehört auch das Aktinium K in diese Reihe, deren Atomgewichte übrigens jetzt bekannt sind; in der Tabelle 4 ist das ThU zu streichen (S. 44), weiterhin gibt es von einem guten Drittel der angegebenen Halbwertszeiten neue Werte; bei Gleichungen von Kernprozessen wirkt die Anführung sekundär aus der Hülle stammender Elektronen irreführend (S. 44). Alle diese angeführten Einzelheiten sind jedoch für den Zweck des gut ausgestatteten Büchleins nur als Schönheitsfehler zu werten. Ein Druckfehler: Bleiarbeiten statt Bleiarten (S. 43). Die Monographie schließt mit einem Anhang von 17 Seiten, der eine Reihe von Tabellen und eine Tafel bringt.

OTTO ERBACHER, Berlin-Dahlem.

Die Erforschung der untermeerischen Täler.

Das Problem der untermeerischen Täler findet in den Vereinigten Staaten von Amerika besonders starkes Interesse, was bei der kontinentalen Ausdehnung der USA. und dem häufigen Vorkommen solcher Täler vor den amerikanischen Küsten verständlich ist. Die fortschreitende Erkenntnis der feineren Gestaltung des Meeresbodens, die durch den systematischen Einsatz der Echolotung erreicht wird, hat die amerikanische Vermessungsbehörde (U.S. Coast and Geodetic Survey) zu einem Zentrum der Erforschung dieser Frage werden lassen. Die geographische Welt ist darüber durch Veröffentlichungen der Amerikanischen Geographischen Gesellschaft, insbesondere durch diesbezügliche Aufsätze in der Zeitschrift „Geographical Review“, in dankenswerter Weise unterrichtet worden. So schreibt neuerdings PAUL A. SMITH, Vermessungsingenieur beim Coast and Geodetic Survey, über *Untermeerische Täler an der atlantischen Küste der Vereinigten Staaten*, und zwar unter Beigabe einer Höhenlinienkarte 1 : 1 000 000, die die Bedeutung der modernen Aufnahme des Meeresbodens für die Erforschung dieses Problems sehr klar erkennen läßt. Bevor wir auf diese Arbeit näher eingehen, empfiehlt sich ein Rückblick auf einen früheren Aufsatz der Geologen F. P. SHEPARD und CH. N. BEARD, der *Die allgemeine Verbreitung und die Profilgestaltung der untermeerischen Täler* behandelt. (FRANCIS P. SHEPARD und CHARLES N. BEARD: „Submarine Canyons: Distribution and Longitudinal Profiles“. Geographical Review, Juli-Heft 1938, S. 439–451. — PAUL A. SMITH: „Atlantic Submarine Valleys of the United States“. Mit einer Karte: „Northeastern United States, showing Relation of Land and Submarine Topography“ 1 : 1 000 000. Ebenda, Oktober-Heft 1939, S. 648–652.)

SHEPARD und BEARD stellen in dem genannten Aufsatz einleitend Grundsätze über die Wahl der Namen für die untermeerischen Täler auf, die eine

sehr wünschenswerte Vereinheitlichung bezwecken und eben aus diesem Grunde an frühere Arbeiten, z. B. von DAVIDSON und HULL, anknüpfen. Beginnt das untermeerische Tal an einer Flußmündung, so erhält es den Namen des betreffenden Flusses; andere, die ebenfalls in der Nähe der Küste beginnen, erhalten den Namen benachbarter Städte oder markanter und bereits benannter Uferbildungen. Die in größerer Entfernung von der Küste beginnenden Täler werden, wie dies ja auch bei Bänken, Riffen usw. üblich ist, nach benachbarten und schon einen Namen führenden Bildungen dieser Art oder nach Forschungsschiffen benannt. Beigefügt ist in Verbindung mit einer Weltkarte eine Liste der untermeerischen Täler, die nach Küsten bzw. Meeresgebieten geordnet sind. Die Liste enthält für jedes Tal den Namen, die Tiefe am Anfang, in der Mitte und am Ende sowie den Mittelwert, und endlich die geographische Position. Aus den Tiefenangaben sind für jedes Meeres- oder Küstengebiet die Mittelwerte gebildet. Die Zusammenstellung umfaßt 101 Beispiele, das sind alle, für die genügend Tiefen ermittelt werden konnten, um den charakteristischen V-förmigen Querschnitt festzustellen und außerdem ein Längsprofil zu entwerfen. Bekannt sind wesentlich mehr, deren Orte auf der Karte angedeutet sind. (Unter diesen auf der Karte angedeuteten, in der Liste aber nicht enthaltenen Tälern sind auch die, deren nicht V-förmiger Querschnitt deutlich auf eine andere Entstehung hinweist — so vor allem die untermeerischen Glazialtröge und die sog. „falschen Tröge“.)

Die Karte zeigt, daß die untermeerischen Täler in unregelmäßiger Häufung über die ganze Erde verbreitet sind, mit alleiniger Ausnahme der Polargebiete, wo sie völlig zu fehlen scheinen. Die Verfasser sind sich klar darüber, daß infolge unserer noch sehr unvollkommenen Kenntnis der Meeresgebiete nur mit größter Vorsicht — als Arbeitshypothese — allgemeine Schlußfolgerungen aus dieser Zusammenstellung ge-

zogen werden dürfen. Unter diesem Vorbehalt wird festgestellt, daß sich die meisten untermeerischen Täler vor jetzigen oder in jüngster Vergangenheit noch vorhanden gewesen Flußmündungen finden, und zwar öfter schmalen als breiten Flüssen zugeordnet. Auch sind sie häufiger vor verhältnismäßig geraden und vermutlich stabilen Küsten als vor unstabilen und — was ja meistens ursächlich zusammenhängt — gebuchteten Küsten.

Methodisch wichtig für die weitere Erforschung war den Verfassern die Gestalt der Längsprofile, deren Konstruktion allerdings nur in wenigen Fällen mit Sicherheit durchgeführt werden konnte; meist mußte mit Interpolationen gearbeitet werden. Da die Lotungsdichte seewärts im allgemeinen stark abnimmt, war es auch unmöglich, die Profile bis zu den größten Tiefen auszudehnen. Immerhin konnten durch Kombinierung einer großen Zahl von Fällen gewisse Gesetzmäßigkeiten festgestellt werden. So ergab sich für die Form der Gefällskurve eine grundsätzliche Übereinstimmung mit den Landtälern: nach oben konkav mit steilem Anfang (Gradient im Mittel aus allen Fällen 11,62%), mäßig geneigter Mitte (6,63%) und sanft auslaufendem Ende (4,76%). Die absoluten Werte bei den in der erwähnten Liste aufgeführten Beispielen liegen zwischen weitgesteckten Grenzen: von kaum merkbarer Neigung (unter 1%) bis über 20%, in einzelnen Fällen 30,0, 36,6, 42,8, ja 60,0%. Dabei ist bemerkenswert, daß die untermeerischen Täler vor großen Flüssen die kleinsten Gradienten haben, während die steilsten vor Inselküsten zu finden sind. Es scheint hier eine Beziehung zu der jeweiligen Steilheit des Kontinentalabhanges zu bestehen, während die Breite des Kontinental-schelfes und die angenehme Stabilität der Küste offenbar ohne Bedeutung ist; nur die unteren Abschnitte scheinen vor stabilen Küsten flacher zu sein.

Schon diese wenigen Angaben, die zugunsten der allgemeinen und methodischen Überlegungen von der Fülle der Einzeldaten absehen, zeigen die in mancher Hinsicht klärende Bedeutung dieser Untersuchungen, aber auch die Unsicherheit der Grundlage, die die Ergebnisse fast ganz im Hypothetischen verfließen läßt. Es ist offenbar notwendig, Einzelforschung auf abgegrenzten Gebieten zu betreiben und dafür eine zuverlässige Grundlage durch systematische Vermessung des Meeresbodens und *kartographische Darstellung der Vermessungsergebnisse* zu schaffen. Über die Methode solcher Vermessungen, wie sie seit einer Reihe von Jahren besonders durch den U.S. Coast and Geodetic Survey ausgebildet und mit Erfolg angewendet werden, haben wir bereits früher an dieser Stelle berichtet (Naturwiss. 1939, H. 16, 264). Es wurde damals die Hoffnung ausgesprochen, daß in verhältnismäßig kurzer Frist schon eine wesentlich breitere Basis für die morphologische Erforschung des Meeresbodens gegeben sein werde. Ein solches Beispiel einer „wesentlich breiteren Basis“ wird uns nun in der von PAUL A. SMITH vorgelegten Karte der nordöstlichen Vereinigten Staaten im Maßstab 1 : 1 000 000 (also im Maßstab der Internationalen Weltkarte) geboten, die vom U.S. Coast and Geodetic Survey in Gemeinschaft mit der Geological Society of America durch A. C. VEATCH und P. A. SMITH bearbeitet wurde.

Auf dieser Karte ist sowohl die Landfläche wie der Meeresboden in Linien gleicher Höhe bzw. Tiefe dargestellt; sie zeigt also, wie auch der Untertitel besagt,

die gegenseitige Beziehung zwischen Land- und Unterwassertopographie. Land und Meeresboden sind verschieden behandelt. Die Höhenstufen auf dem Lande sind 0, 1000, 2000, 3000 und 5000 Fuß, d. h. 0, 305, 610, 914 und 1524 m; die Abstände der Schichtlinien für den Meeresboden aber betragen 5 Faden (9,1 m) auf der kleinförmigen Fläche des Schelfes und 100 Faden (182,9 m) am Kontinentalabfall. Diese verschiedenartige kartographische Behandlung ist bedauerlich. Gerade wo jetzt die Möglichkeit gegeben ist, wenigstens in einem Übersichtsmaßstab wie dem vorliegenden den Meeresboden gleichartig mit dem Lande darzustellen, hätte man sich ein Abgehen von den verschiedenen Maßeinheiten für Land und Wasser und eine einheitliche Durchstufung in Meter gewünscht. Der Verwendung von — deutlich als solche gekennzeichneten — Hilfshöhenlinien für kleinförmiges Gelände stände dabei selbstverständlich nichts im Wege.

Dieser kartographische Einwand berührt jedoch die wissenschaftliche Bedeutung des dargebotenen topographischen Bildes nicht, zumal sich der Betrachter in dem gegebenen Zusammenhang sowieso auf den Meeresboden gleichartig mit dem Lande darzustellen, hätte man sich ein Abgehen von den verschiedenen Maßeinheiten für Land und Wasser und eine einheitliche Durchstufung in Meter gewünscht. Der Verwendung von — deutlich als solche gekennzeichneten — Hilfshöhenlinien für kleinförmiges Gelände stände dabei selbstverständlich nichts im Wege.

Dieser kartographische Einwand berührt jedoch die wissenschaftliche Bedeutung des dargebotenen topographischen Bildes nicht, zumal sich der Betrachter in dem gegebenen Zusammenhang sowieso auf den Meeresboden gleichartig mit dem Lande darzustellen, hätte man sich ein Abgehen von den verschiedenen Maßeinheiten für Land und Wasser und eine einheitliche Durchstufung in Meter gewünscht. Der Verwendung von — deutlich als solche gekennzeichneten — Hilfshöhenlinien für kleinförmiges Gelände stände dabei selbstverständlich nichts im Wege.

Dieser kartographische Einwand berührt jedoch die wissenschaftliche Bedeutung des dargebotenen topographischen Bildes nicht, zumal sich der Betrachter in dem gegebenen Zusammenhang sowieso auf den Meeresboden gleichartig mit dem Lande darzustellen, hätte man sich ein Abgehen von den verschiedenen Maßeinheiten für Land und Wasser und eine einheitliche Durchstufung in Meter gewünscht. Der Verwendung von — deutlich als solche gekennzeichneten — Hilfshöhenlinien für kleinförmiges Gelände stände dabei selbstverständlich nichts im Wege.

Der kräftigen morphologischen Einwirkung des Meeres in der Schelfregion steht die typisch subaerische, vollständige Zertalung des Steilabfalles gegenüber, dessen Formen von SMITH mit denen der großen westlichen Gebirge von Nordamerika verglichen werden. An dem subaerischen Ursprung besteht für ihn kein Zweifel. Zeitlich verlegt er die Entstehung zum mindesten der größeren Täler in die interglazialen Stadien des Pleistozäns, während die wenigen noch erhaltenen Talformen des Schelfes jünger sein dürften.

Zum Schluß kommt SMITH noch einmal auf das Problem der „Blindvermessung“ zurück. Von der mehr oder weniger großen Zuverlässigkeit dieses Aufnahmeverfahrens ist der Grad der Sicherheit der vorliegenden Untersuchungen abhängig, und SMITH spricht hier unter Bezugnahme auf eine Äußerung von VEATCH einen Vorbehalt aus, der unseren seinerzeit gemachten Einwendungen durchaus entspricht. Der Seevermessung fehlt nun einmal die *Anschauung*, die eine sichere Verknüpfung der gemessenen Punkte wie auf dem Lande ermöglichen könnte. Dem Bearbeiter stehen nur die — wenn auch dichtgelagerten — Punkte zur Verfügung, „bei deren Gebrauch man merkt, daß eine andere Hypothese oder Voraussetzung auch eine grundsätzlich andere Topographie ergibt“.

KURT KAEHNE.

Ergebnisse und Probleme aus der Chemie, physikalischen Chemie und Physik der makromolekularen Stoffe¹⁾.

Von E. HUSEMANN, E. PLÖTZE und G. V. SCHULZ, Freiburg i. Br.

[Fortsetzung²⁾.]

II. Physikalische Chemie der makromolekularen Stoffe.

1. Vorbemerkung.

Das Ziel der physikalischen Chemie ist die quantitative Erforschung der Gesetzmäßigkeiten, die die Zustände und Umwandlungen der Materie beherrschen, sofern sie von deren stofflicher Zusammensetzung abhängen. Dieses Ziel ist erst dann erreicht, wenn die makroskopischen Vorgänge in übersichtlicher Weise auf solche an den Molekülen bzw. Atomen zurückgeführt sind. Hierbei standen naturgemäß der physikalischen Chemie makromolekularer Stoffe große Schwierigkeiten entgegen, die im niedermolekularen Bereich durch die AVOGADROSCHESCHE Theorie und die Entwicklung der Chemie bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts grundsätzlich überwunden waren. Es mußte nämlich zuerst Sicherheit über das molekulare Aufbauprinzip der makromolekularen Stoffe erreicht werden. Aus dieser Notwendigkeit ist der außerordentlich große Aufwand zu erklären, der für die Entwicklung der Methoden zur Molekulargewichtsbestimmung gemacht wurde. Seit etwa der Mitte der zwanziger Jahre ist es gelungen, über das Grundsätzliche des molekularen Aufbaues der hier untersuchten Stoffklasse die nötige Aufklärung zu gewinnen und die entsprechenden experimentellen Methoden zu beherrschen; daher kann man sagen, daß erst seit dieser Zeit die Voraussetzungen dafür gegeben sind, eine physikalische Chemie der makromolekularen Stoffe aufzubauen.

Die äußeren Eigenschaften makromolekularer Stoffe sind in vieler Hinsicht von denen niedermolekularer Stoffe verschieden. Die Unterschiede sind oft so groß, daß es bereits möglich ist, nach dem bloßen Augenschein zu erkennen, ob ein bestimmter Stoff makromolekular aufgebaut ist. Um nun von der phänomenologischen Beschreibung einer Eigenschaft zu ihrer rationalen Erklärung vorzudringen, ist es notwendig zu untersuchen, inwieweit diese durch den speziellen chemischen Bau eines Stoffes oder durch sein großes Molekulargewicht hervorgerufen wird. Hierfür hat es sich als ein sehr fruchtbares Arbeitsprinzip bewährt, daß man die Eigenschaften bzw. Vorgänge in polymerhomologen Reihen untersucht (STAUDINGER). Variiert man nämlich das Molekulargewicht bei

Konstanthaltung des chemischen Baues, so kann der Einfluß dieser beiden Größen getrennt beobachtet werden. Besonders gelingt es dann, die Eigenschaften der makromolekularen Stoffe in quantitativer und theoretisch durchsichtiger Weise aus denen der niedermolekularen (und bisher noch besser untersuchten) Stoffe zu entwickeln.

Untersuchungen an polymerhomologen Reihen können in strenger Weise natürlich nur an den eigentlichen hochpolymeren Verbindungen durchgeführt werden, d. h. solchen, deren Moleküle in der Aneinanderreihung eines und desselben Grundmoleküls bestehen. An den Proteinen, die nicht zu dieser Gruppe gehören, in denen daher neben dem Molekulargewicht immer mehr oder weniger der chemische Bau variiert, sind derartige Untersuchungen nicht durchzuführen, oder jedenfalls nur für solche Eigenschaften, die vom chemischen Bau weitgehend unabhängig sind. Daher zeigt das physikalisch-chemische Verhalten der Proteine auch eine größere und oft verwirrende Mannigfaltigkeit. Die Aufklärung der grundsätzlich wichtigen Gesetzmäßigkeiten an einfachen makromolekularen Stoffen können jedoch auch für die Eiweißstoffe wichtige Hinweise geben.

Nachfolgend werden im Abschnitt 2 zuerst die Phasenübergänge (Verdampfen, Schmelzen, Lösen) behandelt. Sodann (Abschnitt 3) werden die Eigenschaften des gelösten Zustandes besprochen, die man in thermodynamische (osmotische), dynamische (Diffusion, Sedimentation) und mechanische (Viskosität) einteilen kann. Ein wichtiges Gebiet ist die Reaktionskinetik der makromolekularen Verbindungen. Um den Umfang des Artikels zu begrenzen, wird im 4. Abschnitt nur ein kurzer Überblick über die Kinetik der Aufbauvorgänge (Polymerisation, Polykondensation) gegeben. — Die Eigenschaften des festen Zustandes werden im Zusammenhang mit den physikalischen Eigenschaften (Teil III) besprochen. Die sehr interessanten und mannigfaltigen Elektrolyteigenschaften makromolekularer Stoffe können hier nicht behandelt werden, weil sonst der Umfang des Artikels zu sehr anwachsen würde.

2. Aggregatzustände und Phasenübergänge.

Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß mit der Größe der Moleküle die zwischenmolekularen Kräfte (pro Mol gerechnet) anwachsen müssen. Der Unterschied der potentiellen Energie eines Moleküls in zwei verschiedenen Phasen wird also im allgemeinen um so größer sein, je höher das Molekulargewicht ist (BRÖNSTED). Phasenübergänge sind daher bei makromolekularen Stoffen

¹⁾ Herrn Professor H. STAUDINGER zu seinem 60. Geburtstag gewidmet.

²⁾ Vgl. Heft 18, S. 257.

erschwert. Insbesondere sind diese im Dampfzustand, in dem die potentielle Energie der Moleküle gegenüber dem festen oder flüssigen Zustand sehr stark erhöht ist, nicht existenzfähig. Sie befinden sich daher immer in einem der 4 folgenden kondensierten Zustände:

1. fest, kristallisiert; 2. fest, glasartig;
3. flüssig (plastisch); 4. gelöst.

(2. und 3. sind im allgemeinen nicht scharf zu trennen.) Auch bei Übergängen zwischen den vier kondensierten Zuständen ist ein starker Einfluß des Molekulargewichtes zu erwarten, besonders beim Übergang von den drei ersterwähnten in den gelösten Zustand.

a) *Verdampfen und Schmelzen.* Aus dem Anwachsen der zwischenmolekularen Kräfte mit dem Molekulargewicht ergibt sich die schon aus der niedermolekularen Chemie bekannte Erscheinung, daß der Siedepunkt und (mit mehr Ausnahmen) auch der Schmelzpunkt eines Stoffes in der Regel um so höher liegt, je größer sein Molekulargewicht ist. Besonders deutlich müssen derartige

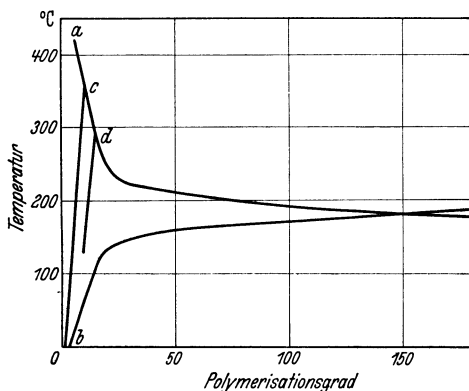


Fig. 4. Kurven der Zersetzungstemperatur (a), der Schmelzpunkte (b), der Siedepunkte unter Atmosphärendruck (c) und im Vakuum (d) von Polyoxymethylenen in Abhängigkeit vom Polymerisationsgrad.

Gesetzmäßigkeiten in polymerhomologen Reihen hervortreten. Eine von STAUDINGER und KERN (9) in dieser Richtung vorgenommene Untersuchung an der Reihe der Polyoxymethylene¹⁾ ist in Fig. 4 dargestellt. Man sieht das gesetzmäßige Ansteigen des Siede- und Schmelzpunktes mit dem Polymerisationsgrad. Liegen diese Umwandlungspunkte über der Zersetzungstemperatur des betreffenden Stoffes, so ist der entsprechende Phasenübergang nicht mehr möglich. Man erkennt z. B., daß Polyoxymethylene mit Polymerisationsgraden über 150 nur noch im festen (kristallisierten) Zustand existenzfähig sind. Sie sind nach STAUDINGER einaggregatige Stoffe.

Eine quantitative Untersuchung über die Energie, die zu der bei der Verdampfung stattfindenden Abtrennung eines Moleküls aus der

¹⁾ Die Strukturformel für die Polyoxymethylene ist $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{O}-$.

Flüssigkeit in Abhängigkeit von seinem Bau und seiner Größe aufgewendet werden muß, führte M. DUNKEL (96) aus. Er berechnete für eine Anzahl aliphatischer Verbindungen aus der Temperaturabhängigkeit ihrer Sättigungsdrucke (p) ihre Verdampfungswärmen (λ) nach der AUGUSTSCHEN Gleichung:

$$RT \ln p = -\lambda + BT. \quad (3)$$

Da λ ein Maß für die Kohäsionskräfte ist, die bei der Verdampfung eines Mols überwunden werden müssen, bezeichnet DUNKEL diese Größe als Molkohäsion. Es zeigte sich nun, daß die Molkohäsion mit zum Teil auffallend guter Näherung additiv aus Anteilen für die einzelnen das Molekül aufbauenden Gruppen zusammengesetzt ist¹⁾.

Aus der Additivität der Molkohäsionen der einzelnen Gruppen schließt DUNKEL, daß die Abtrennungsarbeit bei der Verdampfung eines Moleküls annähernd proportional mit dem Molekulargewicht ansteigt. Geht man zu immer größeren Molekülen über, so muß daher der Fall eintreten, daß die Verdampfungsarbeit pro Molekül größer wird, als die zur Spaltung einer Hauptvalenz nötige Arbeit. Führt man daher dem Stoff die zur Verdampfung nötige Energie in ungeordneter Form, als Wärme, zu, so ergibt sich eine bei steigendem Molekulargewicht anwachsende Wahrscheinlichkeit dafür, daß diese Energie sich an der Stelle einer einzelnen Bindung konzentriert, so daß diese aufgespalten und damit der Stoff zersetzt wird.

Auf Grund ähnlicher Überlegungen leitet BRÖNSTED (97) Regelmäßigkeiten für den Dampfdruck polymerhomologer Stoffe ab. Er geht von der BOLTZMANN'SCHEN Beziehung

$$\frac{c_1}{c_2} = e^{-E/RT} \quad (4)$$

aus, in der c_1 und c_2 die Konzentrationen eines Stoffes und E der Unterschied der potentiellen Energie für 1 Mol des Stoffes in 2 Phasen ist. Er setzt ferner E dem Molekulargewicht M proportional:

$$E = E_0 \cdot M. \quad (5)$$

Durch Einsetzen von (5) in (4) und eine sinn-gemäße Interpretation der Größen c_1 und c_2 erhält man für die Abhängigkeit des Dampfdrucks vom Molekulargewicht bei polymeren Flüssigkeiten Gleichungen, die die experimentell gefundenen Werte gut wiedergeben. Es zeigt sich dabei, daß der Dampfdruck (also die Neigung, in den Gaszustand überzugehen) mit wachsendem Molekulargewicht exponentiell, also sehr stark abfällt.

Für das Schmelzen kristallisierter langkettiger Verbindungen, wie Cellulose, Seidenfibroin u. ä., werden ähnliche Gesetzmäßigkeiten gelten wie für das übersichtliche Beispiel der Polyoxymethylene (s. oben), d. h. sie werden im allgemeinen nicht

¹⁾ Die Inkremente für folgende Gruppen werden angegeben: $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}-$, $-\text{O}-$, $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{Cl}$.

ohne Zersetzung schmelzbar sein. Vielfach treten jedoch die makromolekularen Stoffe nicht im kristallisierten, sondern in einem weitgehend ungeordneten, glasartigen Zustand auf. In solchen Fällen ist überhaupt kein Schmelzpunkt zu erwarten (der durch das Nebeneinanderbestehen einer gittermäßig geordneten und einer ungeordneten Phase gekennzeichnet ist), sondern ein allmählicher Übergang aus einem überwiegend elastischen in einen überwiegend plastischen Zustand. An Stelle eines Transformationspunktes (Schmelzpunktes) erhält man ein Transformationsintervall, in dem sich außer den mechanischen auch die thermischen Konstanten des Stoffes, wie seine spezifische Wärme, der Ausdehnungskoeffizient usw. stark ändern [JENCKEL (98, 99)].

Sehr auffallend ist demgegenüber der Befund von THIESEN und WITSTADT (100), daß der beim gedehnten Kautschuk auftretende kristallisierte Anteil mit dem ungeordneten Anteil in einem von der Temperatur abhängigen reversiblen Gleichgewicht steht. Die Autoren erklären das dadurch, daß die Komponenten verschiedenen Molekulargewichts in dem stark polymolekularen Material verschiedene Schmelzpunkte (jedoch gleiches Gitter) besitzen.

Die Übergänge zwischen kristallisiertem, glasartigem und flüssig-plastischem Zustand sind gerade bei makromolekularen Stoffen so reich an Möglichkeiten, daß zur Zeit noch keine einheitliche Theorie für sie gegeben werden kann. Die Überlegungen von W. KUHN (101) über das Zusammenwirken einer Reihe verschiedener „Zusammenhaltsmechanismen“, die einen wichtigen neuen Gesichtspunkt zur Klärung der hier angedeuteten Fragen zu geben versprechen, werden weiter unten im Zusammenhang mit den mechanischen Eigenschaften behandelt.

b) *Lösungsgleichgewichte*. Das Auflösen eines Stoffes kann man als einen der Verdampfung weitgehend analogen Vorgang ansehen. Nur ist die Lösungswärme im allgemeinen ihrem Absolutbetrag nach von weit geringerer Größe als die Verdampfungswärme, da die Moleküle nicht in das Vakuum, sondern in eine Flüssigkeit übergeführt werden, mit deren Molekülen sie in Wechselwirkung treten, — und zwar mit Energiebeträgen, die in der gleichen Größenordnung wie die Kohäsionskräfte in reinen Stoffen liegen. Daher ist es ohne weiteres möglich, Stoffe mit beliebig hohen Molekulargewichten in eine echte (molekular-disperse) Lösung zu bringen.

Ebenso wie die Verdampfungswärme wird die Lösungswärme in erster Näherung dem Molekulargewicht bzw. dem Polymerisationsgrad proportional angesetzt werden können [BRÖNSTED (97)]. Bezeichnen wir die Energie, die nötig ist, um ein Grundmolekül eines hochpolymeren Stoffes aus dem ungelösten in den gelösten Zustand zu überführen, mit ϵ , seinen Polymerisationsgrad mit P , so ist dieser Energiebetrag für den Stoff pro Mol berechnet

$$E = P\epsilon. \quad (6)$$

Man kann E gleich der molekularen Lösungswärme setzen¹⁾, daher ist ϵ von der Größenordnung der Lösungswärmen niedermolekularer Stoffe. Diese liegen nur bei sehr großer chemischer Ähnlichkeit von Lösungsmittel und Gelöstem bei 0, im allgemeinen jedoch in der Größenordnung von einigen kleinen bis großen Kalorien. Bei Stoffen mit sehr hohen Polymerisationsgraden wird daher E zufolge (6) sehr groß; es können hierbei Energiebeträge von einigen 10^4 — 10^5 kcal/Mol auftreten (102).

Setzt man (6) in (4) ein, so erhält man

$$\frac{c_1}{c_2} = e^{-P\epsilon/RT}. \quad (7)$$

Das Konzentrationsverhältnis in 2 Phasen muß daher bei Stoffen mit hohem Molekulargewicht sehr extreme Werte annehmen, da es von diesem (bzw. dem Polymerisationsgrad) exponentiell abhängt²⁾. Ist nun ϵ gegenüber einem bestimmten Lösungsmittel negativ, so wird der Stoff in diesem unbegrenzt löslich sein, d. h. c_1 wird außerordentlich hoch; ist ϵ positiv, so wird er praktisch unlöslich sein, d. h. c_1 wird unmeßbar klein. Diese Erfahrung kann jeder, der mit makromolekularen Stoffen arbeitet, täglich machen. Ferner kann man voraussagen, daß im Falle positiver Lösungswärmen kein Anlaß zu Assoziation (Bildung von Übermolekülen bzw. Mizellen) in der Lösung vorliegt. Man kann daher folgende 3 Löslichkeitsregeln für Stoffe mit sehr hohem Molekulargewicht aufstellen [G. V. SCHULZ (102, 102a)]:

1. Solche Stoffe lösen sich in einem bestimmten Lösungsmittel entweder gar nicht, oder in jedem Verhältnis.

2. Sie lösen sich nur mit positiver Lösungswärme³⁾.

3. In ihren Lösungen tritt keine Assoziation der gelösten Moleküle ein⁴⁾.

¹⁾ Das Zutreffen von Gleichung (6) wurde von G. V. SCHULZ (102) an Polystyrolen nachgewiesen.

²⁾ Beim Verteilungsgleichgewicht zwischen zwei flüssigen Phasen bedeuten c_1 und c_2 die Konzentrationen in den beiden Phasen; beim Löslichkeitsgleichgewicht ist c_1 die Konzentration in der Lösung (Löslichkeit), und c_2 die weiter unten noch genauer zu interpretierende Konzentration im Bodenkörper.

³⁾ Vergleiche die Messungen von OKAMURA (103), LIEPATOW u. PREOBRAGENSKAJA (104), G. V. SCHULZ (102).

⁴⁾ Von dieser Regel können besonders dann Abweichungen auftreten, wenn im Makromolekül einzelne (aber wenige) Gruppen enthalten sind, welche eine starke Assoziationstendenz haben (vgl. die im Abschnitt I,4 besprochenen Erscheinungen an Proteinen). Bei den eigentlich hochpolymeren Stoffen, deren Makromoleküle sehr regelmäßig aufgebaut sind, in denen daher keine speziellen Gruppen mit besonderen Löslichkeitseigenschaften vorkommen, wird eine überhaupt vorhandene Assoziationstendenz in der Regel gleich dazu führen, daß *sämtliche* vorhandenen Moleküle miteinander assoziieren, d. h. daß der Stoff unlöslich wird. Für Polystyrol und Nitrocellulose konnte durch Messung der Temperaturabhängigkeit des osmotischen Druckes nachgewiesen werden, daß sie auch in höheren Konzentrationen nicht assoziieren [G. V. SCHULZ (102, 120)].

Streng genommen gelten diese Regeln nur für Stoffe mit unendlich hohem Molekulargewicht, daher findet man bei solchen mit zwar hohem, aber endlichem Molekulargewicht eine Reihe charakteristischer Abweichungen, die jedoch auch wieder übersichtliche Gesetzmäßigkeiten zeigen. Diese treten besonders dann in Erscheinung, wenn man die Auflösung nicht in einem reinen Lösungsmittel, sondern im Gemisch eines Lösungs- und Nichtlösungsmittels (Fällungsmittel) vornimmt, da man durch Variation des Mischungsverhältnisses die Größe ε sehr genau abstimmen kann. Ist γ der Anteil des Fällungsmittels im Lösungsmittel, so gilt näherungsweise

$$\varepsilon = A + B\gamma \quad (8)$$

mit A und B als Konstanten. Nach Einsetzen von (8) in (7) erhält man

$$\ln \frac{c_1}{c_2} = P \frac{A + B\gamma}{RT} \quad (9)$$

Die Gültigkeit dieser Gleichung für das Verteilungsgleichgewicht polymerer Stoffe in zwei

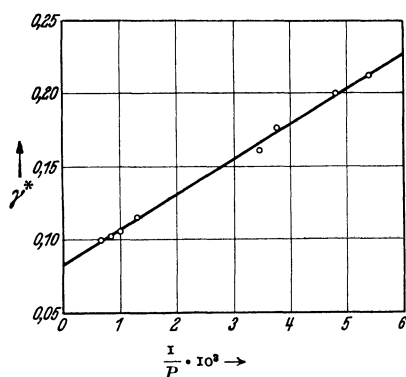


Fig. 5. Abhängigkeit der Fällbarkeit vom Polymerisationsgrad bei Nitrocellulosen nach Gl. (11). Lösungsmittel: Aceton; Fällungsmittel: Wasser (105).

nicht miteinander mischbaren Flüssigkeiten wurde von G. V. SCHULZ (102) nachgewiesen. Wichtiger ist seine Anwendung auf Löslichkeitsgleichgewichte. Diese werden besonders übersichtlich, wenn der Bodenkörper stark gequollen ist, so daß er als eine zweite flüssige Phase angesehen werden kann¹⁾. In diesem Falle bekommt man sehr einfache Beziehungen, wenn man von den 4 Variablen in (9), c_1/c_2 , P , γ , T , je zwei konstant setzt. Für einen bestimmten Stoff bei konstanter Temperatur ergibt sich z. B. für die Abhängigkeit der Löslichkeit c von der Menge des der Lösung zugesetzten Fällungsmittels die Gleichung:

$$\ln c = a - b\gamma \quad (10)$$

mit a und b als Konstanten. Hierbei kann γ die Konzentration eines der Lösung zugesetzten Nichtlösungsmittels (Methanol) oder auch eines

¹⁾ Das ist bei makromolekularen Stoffen meistens der Fall.

Elektrolyten bei der Aussalzung von Proteinen sein. Setzt man andererseits c_1/c_2 und T konstant, so ergibt sich

$$\gamma^* = \alpha + (\beta/P) \quad (11)$$

mit α und β als Konstanten. Die Gleichung (11) gibt die Löslichkeit (bzw. Fällbarkeit) in Abhängigkeit vom Polymerisationsgrad an. Hier ist γ^* die Menge eines Fällungsmittels, die man der Lösung eines Stoffes mit dem Polymerisationsgrad P zusetzen muß, um Ausfällung zu erreichen¹⁾. Auf Gleichung (11) beruht eine einfache Methode zur Bestimmung des Molekulargewichts [G. V. SCHULZ und JIRGENSONS (105)]²⁾. In Fig. 5 ist die Fällbarkeit von Nitrocellulosen in Abhängigkeit vom reziproken Polymerisationsgrad aufgetragen, was nach (11) eine Gerade ergeben muß.

Sind die Moleküle nicht streng linear gebaut, so gilt Gleichung (6) nicht genau, sondern E nimmt schwächer als proportional mit P zu (97). Bei kugelförmigen Molekülen ist daher zu erwarten, daß in Gleichung (11) $P^{2/3}$ an Stelle von P zu setzen ist (105), was neuerdings HUSEMANN (106) in der Reihe der Glykogene bestätigen konnte. In der Bestimmung des Exponenten von P besitzt man daher eine Methode, um die Molekülgestalt zu ermitteln.

Die Beziehungen (9)–(11) sind, wie schon erwähnt, daran gebunden, daß der Bodenkörper sich als flüssige Phase abscheidet. Ist jedoch der Bodenkörper kristallisiert, so gilt zwar, wie LOVELL und HIBBERT (110) an Polyäthylenoxyden zeigten, die Gleichung (10), jedoch nicht mehr (11). Hier ist es zweckmäßig, auf eine thermodynamisch fundierte Gleichung von SCHRÖDER zurückzugreifen, die die Löslichkeit in Beziehung zur Schmelzwärme bzw. Lösungswärme Q und zum Schmelzpunkt T_s setzt,

$$\ln N_2 = \frac{Q}{RT} \frac{T_s - T}{T} \quad (12)$$

Q kann man wieder als dem Polymerisationsgrad proportional ansehen. Führt man ferner für die Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Polymerisationsgrad eine empirische Beziehung ein, so ergibt sich, wie LOVELL und HIBBERT (110) zeigten

$$RT \ln c = R \ln P + \frac{AP^2}{a + bP} + \frac{BP^2}{a + bP} \gamma, \quad (13)$$

eine Gleichung, die mit Versuchen an molekulare einheitlichen Polyäthylenoxyden gut in Einklang steht. Hierbei sind a , b , A , B Konstanten.

¹⁾ Die ersten genaueren Bestimmungen der Abhängigkeit der Fällbarkeit vom Polymerisationsgrad machten STAUDINGER und HEUER (107) an Polystyrolen.

²⁾ Ferner liefern die Gleichungen (9)–(11) die Grundlage für eine Theorie der Fraktionierung durch Fällung [SCHULZ (108)] oder durch Verteilung zwischen zwei flüssigen Phasen [SCHULZ u. NORDT (109)]. Eine quantitative Behandlung dieser Vorgänge ist deshalb wichtig, weil durch Zerlegung eines polymolekularen Stoffes in Fraktionen die statistische Verteilung der verschiedenen Polymerisationsgrade in ihm vermittelt werden kann.

Gerade bei der Untersuchung der Löslichkeit hat sich, wie wir sahen, die Verwendung polymerhomologer Reihen sehr bewährt. Vor allem hat sie zu der wichtigen Erkenntnis geführt, daß keine besonderen „kolloidchemischen“ Kraftwirkungen zur Erklärung der speziellen Löslicheitseigenschaften herangezogen werden müssen, sondern daß sich diese aus der Wirkung der bekannten zwischenmolekularen Kräfte unter dem Einfluß des hohen Molekulargewichtes zwanglos ergeben.

3. Eigenschaften des gelösten Zustandes.

a) *Osmotische Eigenschaften.* Von den osmotischen Erscheinungen: osmotischer Druck, Dampfdruckerniedrigung, Siedepunkterhöhung, Gefrierpunkterniedrigung sind die beiden letzteren in Lösungen makromolekularer Stoffe so schwach ausgeprägt, daß sie bei der Erforschung von deren Lösungseigenschaften keine Rolle spielen. Dagegen ist der osmotische Druck auf direktem Wege leicht meßbar, da es verhältnismäßig einfach ist, für makromolekulare Lösungen streng halbdurchlässige Membranen herzustellen. Daher ist die Osmometrie in den letzten Jahrzehnten zu einer sehr präzisen Methode ausgebaut worden, und es existiert heute eine Reihe von Apparaten, die es erlauben, osmotische Drucke fast einfacher als Gefrierpunkterniedrigungen zu bestimmen [SÖRENSEN (37), BURK (39), SCHULZ (112), CARTER und RECORD (113)]. Hinzu tritt als neue Methode die besonders von SVEDBERG (19) zu höchster Vollkommenheit entwickelte Bestimmung des Sedimentationsgleichgewichtes in der Ultrazentrifuge.

Besonders wichtig ist der Zustand der *verdünnten Lösungen*, da sich in diesen die meisten Reaktionen abspielen und ferner in ihnen die Molekulargewichtsbestimmungen ausgeführt werden. Es hat sich nun allgemein gezeigt, daß die hochmolekularen Lösungen bereits in erheblicher Verdünnung Abweichungen vom idealen Zustand aufweisen. Nur in verhältnismäßig seltenen Fällen gilt in ihnen die VAN 'T HOFFSche Gleichung

$$p = RTc/M \quad (14)$$

(p = osmotischer Druck; c = Konzentration in g/Liter; M = Molekulargewicht), so bei einigen Eiweißstoffen, wie Eialbumin (37) und näherungsweise Serumalbumin (114), ferner dem Glykogen (29, 106). Wie STAUDINGER und G. V. SCHULZ (115) nachwiesen, ist dieses hauptsächlich bei Stoffen mit kugelförmigen Molekülen der Fall, während solche mit fadenförmigen Molekülen starke Abweichungen vom VAN 'T HOFFSchen Gesetz zeigen.

In vielen Fällen kann man diese Abweichungen in quantitativ übersichtlicher Weise dadurch erklären, daß ein Teil des Lösungsmittels an die gelöste Substanz gebunden wird (Solvatation) und daher von der Gesamtmenge des Lösungsmittels abgezogen werden muß. In die VAN 'T HOFFSche Gleichung ist dann ein Korrekturglied einzufügen:

$$p = \frac{RTc}{M} \frac{1}{1 - c\delta}, \quad (15)$$

worin δ das Volumen von 1 g gelöster Substanz plus dem davon gebundenen Lösungsmittel ist (spezifisches Wirkungsvolumen). Besonders bei Proteinlösungen hat sich diese Betrachtungsweise sehr bewährt [ADAIR (38), BURK (39), H. H. WEBER (116)], und es gelang auch in einzelnen Fällen, die auf diesem Wege gefundene Menge gebundenen Lösungsmittels durch andere Methoden zu bestätigen [H. H. WEBER (116)]¹⁾.

Bei ausgesprochen fadenförmigen Molekülen sind die Abweichungen vom VAN 'T HOFFSchen Gesetz außerordentlich stark, wie z. B. Fig. 6 zeigt. Hier ist der reduzierte osmotische Druck p/c einer Reihe von Nitrocellulosen verschiedenen Molekulargewichtes gegen die Konzentration aufgetragen [SCHULZ (112)]. Die Kurven sollten nach Gleichung (14) horizontale Geraden geben, was auch nicht annähernd der Fall ist. Rechnet man nun für solche Systeme die Werte des spezifischen Wirkungsvolumens δ für verschiedene Konzentrationen aus,

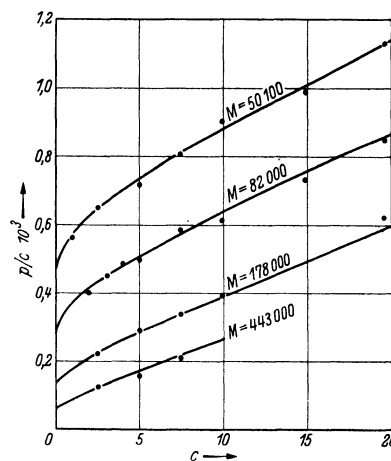


Fig. 6. Abhängigkeit des reduzierten osmotischen Druckes von der Konzentration bei Nitrocellulosen verschiedenen Molekulargewichtes (M).

so erhält man Werte, die erstens zum Teil außerordentlich groß sind (bis zu 10^3 ccm pro g gelöster Substanz), und die ferner einen starken Gang mit der Konzentration aufweisen. Es ließ sich nun zeigen [G. V. SCHULZ (112)], daß folgende, von (15) unabhängige Beziehung zwischen δ und dem osmotischen Druck besteht

$$p = k s^{-\nu}, \quad (16)$$

worin k und ν Konstanten sind, die für eine ganze polymerhomologe Reihe (in einem bestimmten Lösungsmittel) gültig, also unabhängig vom Molekulargewicht sind. Das hat sich als sehr bedeutsam für Molekulargewichtsbestimmungen ergeben, die man mit Hilfe von (15) und (16) bis zur Größenordnung von 1 000 000 auch bei Stoffen mit starken Abweichungen vom VAN 'T HOFFSchen Gesetz ausdehnen konnte. Wie zahlreiche osmotische

¹⁾ Die gebundene Lösungsmittelmenge liegt bei Eiweißstoffen in der Größenordnung von 1 ccm/g gelösten Stoffes.

Meßreihen von STAUDINGER (27, 30, III), SCHULZ (III2), HUSEMANN (31, 32) und Mitarbeitern zeigten, hat Gleichung (16) bei Stoffen mit fadenförmigen Molekülen einen fast universellen Charakter¹⁾.

Eine anschauliche, qualitative Deutung der hohen s -Werte kann man etwa folgendermaßen geben. Die gelösten Moleküle üben stärkere Anziehungskräfte auf das Lösungsmittel als auf einander aus. Nähern sich 2 gelöste Moleküle einander, so wird daher zwischen ihnen eine Abstoßung eintreten, da ein Teil des Lösungsmittels zwischen ihnen beiseitegedrängt werden muß. Hierdurch entsteht um jedes gelöste Molekül ein Raum, in dem zwar die Lösungsmittelmoleküle nicht fest gebunden sind, in den jedoch ein anderes gelöstes Molekül nicht oder nur unter Aufwand von überdurchschnittlicher kinetischer Energie eindringen kann. Daß für das Verhalten makromolekularer Lösungen weitgehend derartige Solvationskräfte maßgebend sind, wird durch die weiter unten besprochenen thermodynamischen Untersuchungen sichergestellt. Eine vollständige quantitative Aufklärung dieser Erscheinung wird vielleicht unter Zuhilfenahme molekularstatistischer Gedankengänge möglich sein.

Wichtig ist eine Reihe von Kontrollen, die gegenüber den osmotisch bestimmten Molekulargewichten angewandt wurden¹⁾. Durch eine große Anzahl von Messungen ist gezeigt worden, daß die osmotisch bestimmten Molekulargewichte unabhängig vom Lösungsmittel sind [z. B. DOBRY, STAUDINGER u. Mitarbeiter (III1), HUSEMANN (31, 32)]. Es handelt sich also bei diesen um eine eindeutige Stoffkonstante des gelösten Stoffes. Ferner wurde untersucht, ob bei fortgesetzter Verminderung der Konzentration eine Annäherung an das VAN 'T HOFFSCHE Verhalten eintritt. Auf Grund von Bestimmungen der Temperaturabhängigkeit des osmotischen Druckes konnte dieses sehr wahrscheinlich gemacht werden [G. V. SCHULZ (120)]. Die Beantwortung dieser Frage ist für die bei Molekulargewichtsbestimmungen angewandte Extrapolationsmethode [BECKMANN (II7), WO. OSTWALD (II8)] von Bedeutung.

Die andere sehr wichtige Methode zur Bestimmung hoher Molekulargewichte, die *Ultrazentrifuge*, beruht auf folgendem Prinzip: Steht eine Lösung unter dem Einfluß einer starken Zentrifugalkraft, so tritt in ihr (ähnlich wie in der Atmosphäre unter dem Einfluß der Schwerkraft) eine Konzentrationsverschiebung ein, die dann zum Stillstand kommt, wenn das „Sedimentationsgleichgewicht“ erreicht ist. Vergleicht man bei Eintritt des Gleichgewichts die Konzentrationen c_1 und c_2 im Abstand r_1 und r_2 von der Rotationsachse, so gilt

$$\ln \frac{c_2}{c_1} = \frac{\omega^2 M (1 - V_Q) (r_2^2 - r_1^2)}{2RT}, \quad (17)$$

worin ω die Winkelgeschwindigkeit und $(1 - V_Q)$ ein Korrekturfaktor für den Auftrieb im Lösungsmittel ist. Alle Größen bis auf M sind in Gleichung (17) meßbar. Die von SVEDBERG (19) ausgearbeitete Ultrazentrifuge, in der das Sedimentationsgleich-

gewicht während der Rotation beobachtet werden kann, hat sich als ein außerordentlich wirksames Hilfsmittel zur Molekulargewichtsbestimmung erwiesen. Besonders in der Eiweißchemie wurde es durch ihre Anwendung möglich, die hier vorkommenden Molekulargewichte mit großer Vollständigkeit zu überblicken, wobei die außerordentlich interessanten, im Abschnitt I,4 besprochenen Gesetzmäßigkeiten zutage traten. Ein großer Vorteil der Ultrazentrifuge besteht darin, daß man aus der Art des sich einstellenden Gleichgewichts auf Einheitlichkeit oder Uneinheitlichkeit (Polymolekularität) des gelösten Stoffes schließen kann.

In letzter Zeit sind Messungen des osmotischen Druckes von Bedeutung für die Aufklärung des *thermodynamischen Verhaltens* makromolekularer Lösungen geworden. Man geht bei derartigen Versuchen von der unmittelbar aus den beiden Hauptsätzen folgenden Gleichung

$$p v_1 = w_1 + T \bar{s}_1 \quad (18)$$

aus. Hierin ist v_1 das Molvolumen des Lösungsmittels¹⁾, w_1 die differentiale molare Verdünnungswärme²⁾ und \bar{s}_1 die bei Zugabe von 1 Mol Lösungsmittel zu einer großen Menge der Lösung auftretende Entropievermehrung (Verdünnungsentropie). Eine ideale verdünnte Lösung ist nun dadurch definiert, daß

$$w_1 = 0 \quad (19a)$$

und

$$\bar{s}_1 = R \ln N_1 \quad (19b)$$

ist (N_1 bzw. N_2 : Molenbruch des Lösungsmittels bzw. des gelösten Stoffes). Es ist für diese Lösungen also

$$p = \frac{RT}{v_1} \ln(1 - N_2), \quad (20)$$

woraus bekanntlich nach einer einfachen Umformung die VAN 'T HOFFSCHE Gleichung (14) folgt³⁾.

Auf Grund von Gleichung (18) können wir für die Abweichungen vom VAN 'T HOFFSCHEN Gesetz zwei ganz verschiedenartige Ursachen annehmen (119, 120). Es kann einmal $w_1 \neq 0$ sein, dann käme das nichtideale Verhalten durch energetische Wechselwirkung zwischen den Molekülen der beiden Lösungskomponenten zustande. Oder es kann die Verdünnungsentropie größer als die Mischungsentropie nach (19) sein. Das Auftreten größerer Entropieeffekte in Lösungen mit Fadenmolekülen könnte nach E. HÜCKEL (120a) dadurch zustande kommen, daß solche Moleküle sehr viele energetisch gleichwertige Gestalten (durch Knäuelung) anzunehmen vermögen und daß die Zahl dieser Möglichkeiten mit wachsender Verdünnung zunimmt. Mißt man also außer dem osmotischen Druck die Verdünnungswärme w_1 , so ist es möglich, sämtliche Glieder in Gleichung (18)

¹⁾ Genauer: Das partielle Molvolumen des Lösungsmittels in der Lösung.

²⁾ w_1 sei positiv, wenn beim Verdünnen Erwärmung auftritt.

³⁾ Vgl. die bekannten Lehrbücher der Thermodynamik, z. B. von LEWIS-RANDALL, ULICH u. a.

¹⁾ Vgl. den zusammenfassenden Bericht über osmotische Messungen von G. V. SCHULZ in Fortschritte der Chemie, Physik und Technologie makromolekularer Stoffe 2 (1941) im Druck.

zu bestimmen und somit zwischen den beiden erwähnten Möglichkeiten zu entscheiden.

Direkte Messungen der Verdünnungswärme in verdünnten makromolekularen Lösungen sind sehr schwierig auszuführen¹⁾. Man kann jedoch nach bekannten thermodynamischen Gleichungen aus Messungen des osmotischen Druckes bei verschiedenen Temperaturen die Verdünnungswärmen ausrechnen, was bei den hier besprochenen Systemen einfacher und genauer ist als die direkte Methode. Es zeigte sich nun, daß die Verdünnungsentropie derartiger Lösungen sehr nahe gleich der Mischungsentropie nach (19b) ist, daß also die Abweichungen vom idealen Verhalten überwiegend der Ausdruck einer energetischen Wechselwirkung zwischen den Molekülen von Lösungsmittel und gelöstem Stoff sind [G. V. SCHULZ (119)²⁾].

Von besonderem Interesse ist eine Ausdehnung dieser Betrachtungsweise auf die *hochkonzentrierten* makromolekularen Lösungen, die wegen ihres eigenartigen mechanischen Verhaltens als Gele bezeichnet werden³⁾. Als meßbare Größen stehen hier der Quellungsdruck, der ganz analog dem osmotischen Druck zu behandeln ist [POSNJAK (122)], oder der Dampfdruck [FRICKE (123), G. V. SCHULZ (119)] zur Verfügung. Da sich zeigte, daß schon das Verhalten mäßig konzentrierter Lösungen weit mehr durch die energetische Wechselwirkung der beiden Komponenten als durch Entropieeffekte bestimmt wird, kann man vermuten, daß in hochkonzentrierten Lösungen der Einfluß der Mischungsentropie (oder der Entropie überhaupt) ganz zu vernachlässigen ist. NERNST bezeichnet derartige Systeme bekanntlich als ideale konzentrierte Lösungen. In solchen ist die Verdünnungsarbeit gleich der Verdünnungswärme, was KATZ (124) als zutreffend für den Quellungs Vorgang annahm und auch durch einige Messungen annähernd bestätigen konnte. FRICKE (123) zeigte dann an einigen, allerdings nur begrenzt quellbaren Systemen, daß dies nur in sehr engen Konzentrationsgebieten der Fall ist. Besonders gut untersucht ist neuerdings das System Nitrocellulose-Aceton [G. V. SCHULZ (119)]. An diesem konnte gezeigt werden, daß bei Konzentrationen, die in der Umgebung des Mischungsverhältnisses 1:1 liegen, ein weitgehend NERNSTscher Zustand zu beobachten ist. Bei noch höheren Konzentrationen tritt eine Umkehr des Vorzeichens der Verdünnungsentropie ein, so daß man hier eher von einer Verbindung (die allerdings durch Nebervalenzkräfte zustande kommt) als von einer Lösung zweier Komponenten sprechen kann. Die Mischungsentropie nach (19b) hat auf das Verhalten hochkonzentrierter Lösungen mit Fadenmolekülen praktisch keinen Einfluß, was man daran erkennt, daß der Quellungs- bzw. Dampfdruck nicht mehr vom Molekulargewicht, sondern nur noch vom Massenverhältnis beider Komponenten abhängt [SCHULZ (119)⁴⁾].

¹⁾ Vgl. besonders die Messungen von OKAMURA (103).

²⁾ Scheinbar abweichende Meßresultate von K. H. MEYER und Mitarbeitern bedürfen der Nachprüfung, da sie auf fehlerhaften Versuchsmethoden beruhen [(119, 121)].

³⁾ Die gelartige Konsistenz dieser Lösungen ist auf die fadenförmige Gestalt der Moleküle zurückzuführen [STAUDINGER (9, 138a)]; vgl. auch den übernächsten Abschnitt.

⁴⁾ Das kann übrigens zum Teil einfach als eine Folge des hohen Molekulargewichtes der einen Komponente erklärt werden, wie KRAKY und MUSIL (125) zeigten.

Um ein vollständig abgerundetes Bild von den thermodynamischen Eigenschaften makromolekularer Lösungen zu erhalten, werden noch Messungen an einem ausgedehnten Stoffmaterial, als es bisher vorliegt, notwendig sein. Die bisher untersuchten Beispiele zeigen jedoch, daß heute keine prinzipiellen Schwierigkeiten mehr bestehen, um die grundlegenden thermodynamischen Größen (Arbeits-, Wärme- und Entropieeffekte) dieser Systeme zu ermitteln.

b) *Dynamische Eigenschaften (Diffusion, Sedimentationsgeschwindigkeit)*. Die *Diffusionsgeschwindigkeit* gelöster Teilchen hängt, abgesehen von einigen äußeren Bedingungen (wie Viskosität des Lösungsmittels und der Temperatur), nur von ihrer Größe und Gestalt ab, so daß Diffusionsmessungen wichtige Aufschlüsse über diese beiden Moleküleigenschaften liefern können. Nach dem FICKSchen Gesetz ist die Menge dm des Stoffes, die in der Zeit dt durch den Querschnitt q hindurchtritt

$$\frac{dm}{dt} = Dq \frac{dc}{dx}, \quad (20)$$

wobei dc/dx das Konzentrationsgefälle senkrecht zum Querschnitt q ist. Das Ziel einer Diffusionsmessung ist die Bestimmung der Diffusionskonstante D .

Die Messung geschieht meist in der Weise, daß man in einem senkrecht stehenden zylindrischen Gefäß eine Lösung des Stoffes mit reinem Lösungsmittel über-schichtet und darauf das Unschärfwerden der ursprünglich scharfen Trennungsfäche bzw. die allmähliche Verteilung des gelösten Stoffes über das ganze Gefäß verfolgt. Nach der älteren ÖHOLMSchen (126) Methode zerlegt man den Rohrinhalt nach einer gewissen Zeit in eine Anzahl Schichten, in denen die mittleren Konzentrationen bestimmt werden. Nach einer neueren Methode von TISELIUS (127) bestimmt man auf photographischem Wege nach verschiedenen Zeiten die gesamte Konzentrationsverteilung längs des Rohres. Nach Tabellen ist daraus D auszurechnen.

Es gilt nun allgemein

$$D = \frac{kT}{\mathfrak{R}} \quad (21)$$

(k = BOLTZMANNsche Konstante), wobei der Reibungswiderstand \mathfrak{R} für ein einzelnes Teilchen von dessen Größe und Gestalt abhängt. Ist speziell das Teilchen kugelförmig mit dem Radius r , so kann man \mathfrak{R} nach der STOKESSchen Formel einsetzen und erhält dann

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}. \quad (22)$$

Von HERZOG (128) wurde auf diesem Wege bereits im Jahre 1910 eine annähernde Größenbestimmung für die Moleküle des Eialbumins ausgeführt, die größenordnungsmäßig mit den später osmotisch und mit der Ultrazentrifuge gemessenen Molekulargewichten übereinstimmt.

Weicht die Gestalt des Teilchens stärker von der Kugelform ab, so ist der Reibungswiderstand größer als nach der STOKESSchen Formel. Für

Rotationsellipsoide gilt z. B., wie HERZOG, ILLIG und KUDAR (129) zeigten,

$$\frac{1}{\mathfrak{R}} = \frac{2}{3w_1} + \frac{1}{3w_2}, \quad (23)$$

worin w_1 der Reibungswiderstand bei Bewegungen senkrecht zur Figurenachse und w_2 in Richtung der Figurenachse ist. Schon früher waren von GANS die Widerstandskoeffizienten w_1 und w_2 berechnet worden. Setzt man sie in (23) ein, so ergibt sich

$$D = \frac{kT \left(\ln \frac{l}{a} + 0,69 \right)}{6\pi\eta l}, \quad (24)$$

worin l die halbe große Achse, a der Querschnittsradius ist.

HERZOG und KUDAR (130) bestimmten nach der ÖHOLMSCHEN Methode die Diffusionskoeffizienten eines Polystyrols vom Molekulargewicht 3700 und zweier Acetylcellulosen mit osmotisch bestimmten Molekulargewichten von 40000 und 48000. Sie setzten dann für Länge und Durchmesser der Moleküle die röntgenographisch bestimmten Zahlenwerte in (24) ein und erhielten Werte für D , die mit den experimentell gefundenen gut übereinstimmten. Weitere Messungen machte SAKURADA (131). Es sind leider noch nicht viel Diffusionsmessungen an gut definiertem Material ausgeführt worden, was wegen der anscheinend guten Übereinstimmung von Theorie und Experiment und der Wichtigkeit der Methode für die Ermittlung der Gestalt von Makromolekülen sehr vielversprechend wäre.

Nahe verwandt mit der freien Diffusion ist die *Sedimentation* im Zentrifugalfeld. Von SVEDBERG (19) wurden Ultrazentrifugen konstruiert, in denen Zentrifugalkräfte bis zum 10⁶fachen der Erdschwere erzeugt werden können. Unter dem Einfluß derartiger Kräfte werden die Moleküle mit gut meßbaren Geschwindigkeiten durch das Lösungsmittel hindurchbewegt. SVEDBERG führt nun als Maß dieser Bewegung die Sedimentationskonstante s ein, die durch die Gleichung

$$s = \frac{dx/dt}{\omega^2 x} \quad (25)$$

definiert ist¹⁾. Hierbei ist x der Abstand von der Rotationsachse, in dem sich das Teilchen befindet, t die Zeit und ω die Winkelgeschwindigkeit. Die Größe s hängt in etwas anderer Weise von der Größe und Gestalt der Teilchen ab als die Diffusionskonstante D . Will man die *Größe* der Moleküle bestimmen, so geht man von folgenden Beziehungen aus. Die Reibung, die 1 Mol der Teilchen erfährt, ist gleich $f \frac{dx}{dt}$, wobei f die Reibung bei der Geschwindigkeit 1 ist. Die Zentrifugalbeschleunigung ist $M(1 - V\rho)\omega^2 x$, wobei der Klammerausdruck wieder eine Korrektur für den Auftrieb im Lösungsmittel darstellt. Bei konstan-

¹⁾ s ist also die Sedimentationsgeschwindigkeit im Einheitsfeld.

ter Sedimentationsgeschwindigkeit sind diese beiden Ausdrücke einander gleich, also

$$M(1 - V\rho)\omega^2 x = f \frac{dx}{dt}$$

und unter Berücksichtigung von (25)

$$M(1 - V\rho) = fs. \quad (26)$$

Leicht zu bestimmen sind hierbei V , das partielle spezifische Volumen des gelösten Stoffes, und ρ , die Dichte des Lösungsmittels. Durch die Messung der Sedimentationsgeschwindigkeit erhält man s . Den Reibungsfaktor f kann man durch Diffusionsmessungen bestimmen, denn es ist anzunehmen, daß der Widerstand eines Teilchens bei Diffusion und Sedimentation übereinstimmt¹⁾. Dann ist, wenn wir berücksichtigen, daß \mathfrak{R} auf ein Einzelteilchen, dagegen f auf 1 Mol, d. h. N_L -Teilchen bezogen ist, nach (21)

$$N_L \mathfrak{R} = \frac{N_L kT}{D} \quad \text{bzw.} \quad f = \frac{RT}{D}. \quad (27)$$

Wir erhalten dann aus (26) und (27) die SVEDBERGSCHEN Beziehung

$$M = \frac{RTs}{D(1 - V\rho)}, \quad (28)$$

in der alle Größen der rechten Seite, wie ausgeführt wurde, meßbar sind. Man kann also aus Messungen der Diffusions- und der Sedimentationsgeschwindigkeit Molekulargewichte bestimmen. Diese Methode ist besonders bei solchen Stoffen wichtig, bei denen die Bestimmung des Sedimentationsgleichgewichts Schwierigkeiten macht.

Gleichung (26) ist ferner von Bedeutung für die Ermittlung der Gestalt der Moleküle. Kennt man durch unabhängige Messungen s und M (letzteres z. B. durch Bestimmungen des Sedimentationsgleichgewichts oder des osmotischen Druckes), so kann man den Reibungsfaktor f nach (26) ausrechnen. Bezeichnen wir mit f_0 den Reibungsfaktor für ein kugelförmiges Teilchen gleicher Maße, so ist das „Reibungsverhältnis“ f/f_0 , eine Zahl, die nur von der Gestalt der Teilchen abhängt. Hierbei kann f für Ellipsoide nach (23) und f_0 nach der STOKESSCHEN Formel berechnet werden. Das Reibungsverhältnis für einige Proteine und das daraus berechnete Verhältnis der langen zur kurzen Achse (unter der Voraussetzung, daß die Teilchen gestreckte Rotationsellipsoide sind), ist in Tabelle 11 zusammengestellt. Eine gewisse Unsicherheit bei der Berechnung von f_0 entsteht allerdings dadurch, daß der Radius r auf das „trockene“ Teilchen bezogen ist. Nimmt man an, daß die Teilchen solvatisiert sind [ADAIR und ADAIR (132)], so ist für r und damit f_0 ein größerer Wert einzusetzen, und dadurch wird f/f_0 kleiner. In der 5. und 6. Spalte der Tabelle ist das Reibungsverhältnis unter der Annahme berechnet worden, daß das Volumen der Teilchen durch Solvatation um 50 % vergrößert ist. Für eine Anzahl von Proteinmolekülen ergibt sich dann

¹⁾ Vgl. jedoch TISELIUS (127).

Tabelle 11. Reibungsverhältnis und Achsenverhältnis einiger Proteine.

Protein	M	f/f ₀	Länge Dicke	f/f ₀ korrig.	Länge Dicke
Eieralbumin . . .	35000	1,16	3,5	1,01	∞1
Zein	40000	2,4	32	2,1	23
Pepsin	39000	1,08	2,5	0,95	∞1
Insulin	35000	1,13	3,2	0,99	∞1
Hämoglobin . . .	63000	1,16	3,5	1,01	∞1
Serumalbumin . .	70000	1,27	5,2	1,11	3
Serumglobulin . .	150000	1,49	8,0	1,30	5,5

Kugelgestalt. Ihrem chemischen Bau nach sind die Proteinmoleküle wahrscheinlich lange Polypeptidketten. In wässriger Lösung sind diese in irgendeiner noch nicht ganz geklärten, aber wahrscheinlich geordneten Form zusammengerollt¹⁾.

Interessante Untersuchungen über das Verhalten homöopolarer Fadenmoleküle (Polystyrole und Methylcellulosen) in der Geschwindigkeitszentrifuge führten SIGNER und Mitarbeiter (132, 133) durch. Die Ergebnisse an Polystyrolen sind nicht völlig übersichtlich. Die Methylcellulosen sedimentieren mit Geschwindigkeiten, die gut mit der Vorstellung übereinstimmen, daß die Moleküle in der Lösung langgestreckte Form haben.

c) *Mechanische Eigenschaften (Viskosität)*. Schon immer war die Viskosität von Lösungen eine Größe, deren Erforschung wichtige Aufschlüsse über ihre innere Struktur vermittelte. Die Zähigkeit makromolekularer Lösungen besitzt nun einige Eigenschaften, die in dieser Art und Stärke an niedermolekularen Lösungen nicht vorgefunden werden. Die eigenartigste dieser Erscheinungen ist die sehr häufig auftretende Abweichung vom NEWTONSchen Strömungsansatz.

Bekanntlich ist nach NEWTON die Viskosität folgendermaßen definiert: Bewegen sich zwei parallele Platten mit der Fläche F und dem Abstand x mit der Geschwindigkeit v aneinander vorbei, so ist zur Aufrechterhaltung einer konstanten Bewegung die Kraft

$$K = F \eta \frac{v}{x} \quad (29)$$

notwendig. Hierin ist die Viskositätskonstante η — auch kurz Viskosität genannt — unabhängig von der Geschwindigkeit²⁾. Schon seit längerer Zeit sind starke Abweichungen von der NEWTONSchen Gleichung in einer Anzahl sehr verschiedenartiger Lösungen bekannt [ROTHLIN (134), FREUNDLICH (135), Wo. OSTWALD (136)]. Der theoretischen und experimentellen Behandlung dieser Erscheinung wurde eine feste Grundlage gegeben, als KROEPELIN (137) nachwies, daß in derartigen Flüssigkeiten η eine Funktion des Geschwindig-

¹⁾ Vgl. z. B. die Diskussionen über das Cyclolmodell von WRINCH.

²⁾ Die bekannten Gleichungen für das OSTWALDSche Kapillarviskosimeter (HAGEN-POISEUILLESche Gleichung) oder das COUETTESche Viskosimeter gehen alle auf den NEWTONSchen Ansatz zurück.

keitsgefälles v/x (bzw. dv/dx) ist, derart, daß für eine bestimmte Lösung in verschiedenen konstruierten Apparaten bei gleichem mittlerem Geschwindigkeitsgefälle auch die gleiche Viskosität gemessen wird.

Ein wesentlicher Fortschritt für die Aufklärung dieser Erscheinung wurde erzielt, als STAUDINGER (9, 138) zeigte, daß sie sehr stark vom Molekulargewicht des gelösten Stoffes abhängt. Fig. 7 zeigt dieses am Beispiel einer Reihe von Polystyrolen. Bei steigendem Geschwindigkeitsgefälle (G_f) nimmt, wie man sieht, die spezifische Viskosität¹⁾ ab, und zwar prozentual um so stärker, je höher das Molekulargewicht ist. Die Ursache für diese Abhängigkeit der Viskosität vom Geschwindigkeitsgefälle ist in erster Linie darin zu sehen, daß dieses eine Orientierung der Teilchen hervorruft. Während bei sehr kleinem Geschwindigkeitsgefälle die Richtungsverteilung

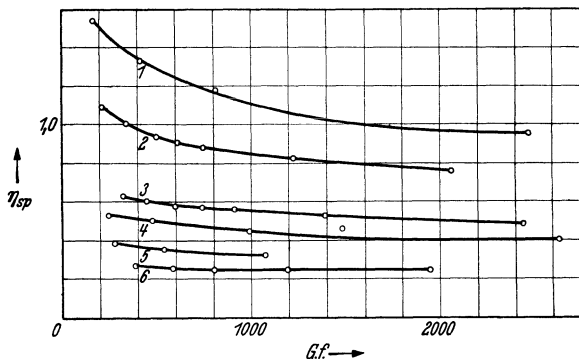


Fig. 7. Abhängigkeit der Viskosität vom Geschwindigkeitsgefälle G_f bei Polystyrolen verschiedenen Molekulargewichts in Tetralin (0,104-prozentige Lösungen).

Nr.	Mol.-Gew.	Nr.	Mol.-Gew.
1.	600 000	4.	250 000
2.	440 000	5.	190 000
3.	280 000	6.	120 000

der Fadenmoleküle annähernd isotrop ist, orientieren sich diese bei steigendem Gefälle immer stärker in die Richtung der Strömung. Da die Richtungsverteilung der gelösten Teilchen die Viskosität stark beeinflusst, sind die Abweichungen vom NEWTONSchen Ansatz hiermit qualitativ erklärt. Der Orientierungseffekt wurde in unmittelbarer Weise durch die von SIGNER und GROSS (139) ausgeführten Messungen der Strömungsdoppelbrechung aufgezeigt, aus der, nach BOEDER (140) und W. KUHN (141) die Richtungsverteilung ausgerechnet werden kann.

Ob außer diesem Effekt noch gelartige Strukturen [OSTWALDSche Strukturviskosität (136)] zu dem nicht-newtonischen Verhalten beitragen, kann zur Zeit nicht gesagt werden. Erscheinungen, die direkt darauf hin-

¹⁾ Definitionsgemäß ist die spezifische Viskosität $\frac{\eta}{\eta_0} - 1$, wobei η die Viskosität der Lösung und η_0 die des Lösungsmittels ist. η/η_0 bezeichnet man als relative Viskosität.

deuten, sind bisher noch nicht aufgefunden worden (wenn man Lösungen geringer bis mittlerer Konzentration betrachtet). Eine in jeder Hinsicht ausreichende quantitative Theorie der Erscheinung stieß auf bisher noch nicht überwundene Schwierigkeiten [vgl. KUHN (141), UMSTÄTTER (142)]. Hingewiesen sei noch auf die ausgedehnten und sorgfältigen Meßreihen von PHILIPPOFF (142 a).

In sehr geringen Konzentrationen, bei denen eine gegenseitige Behinderung der gelösten Teilchen nicht mehr stattfindet [Sollösungen nach STAUDINGER (9)] ist die Viskositäts-erhöhung, die ein gelöster Stoff in einem Lösungsmittel hervorruft, in erster Linie von der Größe und Gestalt seiner Moleküle abhängig, woraus sich eine besonders einfache Methode zur Ermittlung dieser Eigenschaften ergibt. Für kugelförmige Teilchen ist nach EINSTEIN die spezifische Viskosität

$$\eta_{sp} = 2,5 \frac{v}{V}, \quad (30)$$

worin v das Volumen des im Gesamtvolumen V gelösten Stoffes ist. Für zahlreiche Lösungen von Sphärokolloiden konnte die Gültigkeit von (30) nachgewiesen werden. Ist der Koeffizient auf der rechten Seite größer als 2,5, so kann man dies oft auf Solvatation oder einen schwammigen Bau der Teilchen bzw. Moleküle zurückführen [z. B. beim Glykogen (29)].

Sehr starke Abweichungen von der EINSTEINschen Gleichung treten bei Stoffen mit fadenförmigen Molekülen auf. Bei diesen nimmt die spezifische Viskosität in sehr verdünnten Lösungen meist mit mehr oder weniger guter Näherung der Konzentration proportional zu. In der Gleichung

$$\eta_{sp}/c = Z_\eta \quad (31)$$

ist dann Z_η (die Viskositätszahl) eine Konstante des gelösten Stoffes, die, wie STAUDINGER und Mitarbeiter (9, 138 a) zeigten, nur sehr wenig vom Lösungsmittel und der Temperatur beeinflusst wird¹⁾.

Die Viskositätszahl Z_η hängt nun, wie sich aus zahlreichen Arbeiten des STAUDINGERSchen Laboratoriums ergab, innerhalb polymerhomologer Reihen meist in eindeutiger Weise vom Molekulargewicht bzw. Polymerisationsgrad des gelösten Stoffes ab. In einer großen Zahl von Fällen, in denen ein eindeutig linearer Bau der Moleküle sichergestellt werden konnte, gilt

$$\eta_{sp}/c = Z_\eta = K_m P, \quad (32)$$

worin K_m eine Konstante ist (vgl. Abschnitt I, 5). Bei einer Reihe synthetischer Produkte treten Abweichungen von der STAUDINGERSchen Gleichung auf, meist in der Richtung, daß bei hohen Polymerisationsgraden die Viskositätszahl schwächer als proportional mit dem Polymerisationsgrad zunimmt. Indessen ist auch in solchen Fällen die

¹⁾ In den Fällen, wo Gleichung (31) nicht genau gilt, also Z_η einen Anstieg mit der Konzentration zeigt, benutzt man als Viskositätszahl den Wert $\lim_{c \rightarrow 0} \eta_{sp}/c$.

Viskositätszahl meist eine eindeutige Funktion des Polymerisationsgrades

$$Z_\eta = f(P),$$

so daß, wenn man die Funktion f ermittelt hat (z. B. durch vergleichende osmotische und viskosimetrische Messungen), eine viskosimetrische Molekulargewichtsbestimmung möglich ist¹⁾. Diese Art der Molekulargewichtsbestimmung hat wegen der Einfachheit und Genauigkeit, mit der Viskositätsmessungen ausgeführt werden können (143), große praktische Bedeutung. Sie ist überall dort unentbehrlich, wo in größeren Meßreihen Molekulargewichte bestimmt werden müssen.

Von W. KUHN (141) und später von BURGERS (144) wurden hydrodynamische Gleichungen abgeleitet, welche die durch langgestreckte Teilchen hervorgerufene Viskositäts-erhöhung beschreiben. Es ergab sich hierbei, daß η_{sp}/c bei langgestreckten ellipsoidischen Teilchen etwa proportional mit dem Quadrat des Achsenverhältnisses, und damit auch dem Quadrat des Polymerisationsgrades zunehmen müßte. Hierbei wurde allerdings vorausgesetzt, daß die Teilchen starr sind, also durch die Scherbewegung des Lösungsmittels nicht in ihrer Gestalt beeinflusst werden. Auch wurde vorausgesetzt, daß keine Gleitung stattfindet. Eine befriedigende hydrodynamische Erklärung der experimentell in außerordentlich vielen Fällen sichergestellten STAUDINGERSchen Gleichung kann bis heute noch nicht gegeben werden²⁾.

Einige Autoren [vgl. W. KUHN (141)] nehmen bekanntlich an, daß Fadenmoleküle in Lösung stark geknäuel sind. Demgegenüber vertritt STAUDINGER die Ansicht, daß die Moleküle aus der langgestreckten Lage heraus Schwingungen ausführen. Als Beweis dient ihm die auffallend geringe Abhängigkeit der Viskositätszahl vom Lösungsmittel, der Temperatur und vor allem Substitutionen an der Kette (145), was bei regelloser Knäuelung nur schwer verständlich wäre (Viskositätsgesetz für Fadenmoleküle). Auch die erwähnten Diffusionsversuche von HERZOG und KUDAR (130) sowie die Sedimentationsversuche von SIGNER und V. TAVEL (133) sprechen für gestreckte oder nur schwach gekrümmte Gestalt bei Cellulosemolekülen.

Eine befriedigende Lösung des Problems wird wohl davon ausgehen müssen, daß für Fadenmoleküle durch ihr innermolekulares Kraftfeld und die Wechselwirkung mit dem Lösungsmittel eine bestimmte Gestalt (etwa zickzackförmig oder spiralig) einem Minimum an potentieller Energie entspricht, und daß von dieser aus das Molekül Schwingungen ausführt. Die Amplituden der Schwingungen hängen vom „Elastizitätsmodul“ des Moleküls ab und könnten nur bei sehr großer Weichheit des Moleküls durch eine Knäuelung im Sinne KUHNs beschrieben werden. Zur endgültigen Lösung des Problems wäre es sehr wichtig, weitere Methoden zu finden, die möglichst direkt die Form gelöster Moleküle zu bestimmen erlauben.

¹⁾ Vgl. (9, 138 a), ferner H. STAUDINGER u. H. WARTH [J. prakt. Chem. 155, 261 (1940)]; G. V. SCHULZ u. A. DINGLINGER [ebenda 157, 136 (1941)].

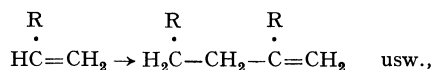
²⁾ Bemerkenswert sind neuere Untersuchungen von POLSON (70), in denen die Anwendbarkeit der Gleichungen von KUHN u. BURGERS (mit gewissen Modifikationen) auf Proteinlösungen nachgewiesen wurde. Allerdings waren die Teilchen nur mäßig langgestreckt.

Bei höheren Konzentrationen nimmt die Viskosität sehr viel stärker als proportional mit der Konzentration zu, was nach STAUDINGER (9, 138) auf gegenseitige Behinderung der gelösten Moleküle zurückzuführen ist (Gellösungen). Es sind viele Versuche zur theoretischen Behandlung dieser Erscheinung gemacht worden¹⁾, jedoch ist man von einer vollständigen Lösung dieses Problems noch ziemlich weit entfernt. — Interessante Untersuchungen über die Viskosität geschmolzener kettenförmiger Polymerer sind neuerdings von FLORY (147) und JENCKEL (148) unternommen worden.

4. Reaktionskinetik der Polymerisations- und der Polykondensationsvorgänge.

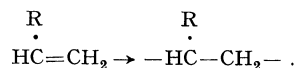
Es gibt eine nicht unbeträchtliche Anzahl organischer Verbindungen, die unter geeigneten Bedingungen leicht und unter Freiwerden von Energie in hochmolekulare Verbindungen übergehen. Man kann sagen, daß in der organischen Materie auf Grund der Festigkeit der C—C-Bindung und der Tendenz der Sauerstoffatome, eine Brücke zwischen zwei Kohlenstoffatomen zu bilden, eine gewisse Neigung besteht, im makromolekularen Zustand aufzutreten. Es sind nun zwei grundsätzlich verschiedene Bildungsvorgänge makromolekularer Stoffe zu unterscheiden, die *Polymerisation* und die *Polykondensation*. Bei dem ersterwähnten Reaktionstyp treten ungesättigte Moleküle unter Aufrechterhaltung der Zusammensetzung zu höhermolekularen gesättigten (bzw. gesättigteren) zusammen. Bei der Kondensation verknüpfen sich zwei funktionelle Gruppen unter Austritt eines Stoffes wie H₂O, HCl, NH₃ u. a. (vgl. Tabelle 1, S. 260). Bei Polymerisationen erhält man im allgemeinen sehr viel höhermolekulare Produkte als bei Polykondensationen, was auf Grund der Reaktionskinetik dieser Vorgänge verständlich gemacht werden kann.

a) *Polymerisationsreaktionen*. Diese sind, wie STAUDINGER und FROST (9, 149) zeigten, Kettenreaktionen. Die Polymerisation geht nun nicht in der Weise vor sich, daß sich schrittweise ein Monomeres nach dem anderen an eine wachsende Kette anlagert, wobei am Ende derselben jeweils eine Doppelbindung bleibt:

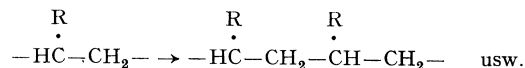


sondern sie ist eine Kettenreaktion, die über instabile Zwischenstufen (Radikale) verläuft. Man hat daher, wie auch bei einer gewöhnlichen Kettenreaktion, 3 Teilreaktionen zu unterscheiden:

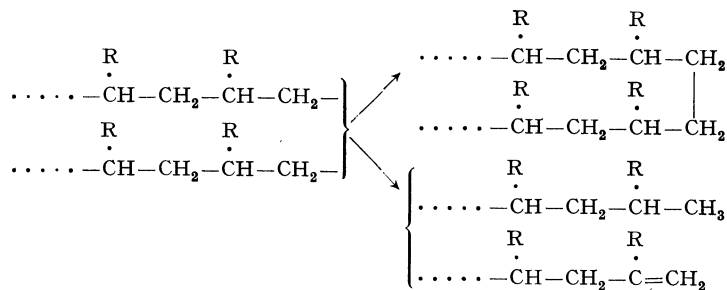
(A) Einen Primärakt, im Verlaufe dessen ein reaktionsfähiges Gebilde entsteht, schematisch etwa folgendermaßen:



(B) Einen Wachstumsvorgang, bei dem unter Aufrechterhaltung des reaktionsfähigen Zustandes eine fortgesetzte Anlagerung weiterer Monomere stattfindet:



(C) Einen Kettenabbruch, der z. B. nach einem der beiden folgenden Schemata verlaufen kann, durch Kombination zweier Radikale oder durch Wanderung eines H-Atoms (Disproportionierung):



Daß jeweils zwei wachsende Ketten sich gegenseitig abbrechen, konnte durch reaktionskinetische Messungen nachgewiesen werden [G. V. SCHULZ, A. DINGLINGER und E. HUSEMANN (150, 151)].

Über den aktivierten Zustand sind verschiedene Annahmen gemacht worden [BREITENBACH (152), EISTERT (153)]. Kürzlich konnte nachgewiesen werden [G. V. SCHULZ (154)], daß es sich um einen echten Radikalzustand handelt, daß also am Ende der wachsenden Ketten ein unpaares Elektron vorhanden ist. Der Beweis wurde dadurch geführt, daß unter reaktionskinetisch durchsichtigen Bedingungen freie Radikale im flüssigen monomeren Ausgangsprodukt entwickelt wurden, wobei beobachtet wurde, daß hierbei Ketten sowohl angeregt wie abgebrochen werden. Die gemessenen Kettenlängen entsprachen hierbei größenordnungsmäßig denjenigen, die unter entsprechenden Umständen auch bei der thermisch oder durch Peroxyde angeregten Reaktion entstehen.

Die kinetische Untersuchung der Polymerisationsvorgänge ist in mancher Hinsicht einfacher als die von Kettenreaktionen im Gaszustand, da alle von einer Reaktionskette erfaßten Moleküle in einem Makromolekül zusammen bleiben, so daß man durch Molekulargewichtsbestimmungen unmittelbar die Kettenlänge bestimmen kann. So ist es immer leicht, die Geschwindigkeit des Primäraktes v_A auszurechnen, wenn man die Bruttogeschwindigkeit v_{Br} und den mittleren Polymerisationsgrad \bar{P} kennt, denn es ist

$$v_A = v_{Br}/\bar{P}. \quad (33)$$

¹⁾ Vgl. den zusammenfassenden Bericht (146).

Die Geschwindigkeit des Wachstums v_B und des Abbruchs v_C stehen wieder mit dem Polymerisationsgrad in der Beziehung

$$v_B/v_C = P. \quad (34)$$

So sind sämtliche Teilreaktionen der Polymerisation leicht zugänglich [vgl. G. V. SCHULZ u. HUSEMANN (155)].

Ein weiteres wichtiges Hilfsmittel für die Aufklärung des Reaktionsmechanismus ist die Bestimmung der statistischen Verteilung der Polymerisationsgrade im Reaktionsprodukt (vgl. auch Abschnitt I,4). Ist der Reaktionsmechanismus bekannt, so kann die Verteilung vorausberechnet werden [G. V. SCHULZ (156), SCHULZ u. DINGLINGER (156a)].

Polymerisationsreaktionen können durch zahlreiche Stoffe beschleunigt werden (Peroxyde, Borfluorid, Zinntetrachlorid, Alkalimetalle u. a.), die man allerdings nicht ohne weiteres als Katalysatoren bezeichnen kann, da sie im Reaktionsprodukt enthalten sind [ZIEGLER (157), KÄMMERER (158)]. Besonders ausführlich untersucht ist die Wirkungsweise von Peroxyden. Bei der Einwirkung von Benzoylperoxyd auf Styrol bildet sich zunächst aus diesen beiden Stoffen in einem vorgelagerten Gleichgewicht eine Zwischenverbindung (ARRHENIUSscher Zwischenkörper). Diese lagert sich im eigentlichen Primärakt in das reaktionsfähige Produkt um, von dem dann die Reaktionskette ausgeht. In den Abbruch- und Wachstumsmechanismus greift das Peroxyd direkt nicht ein. Trotzdem kommt durch dessen Einwirkung eine Verkleinerung der Kettenlänge zustande, da es die Konzentration der wachsenden Ketten erhöht und somit ihren gegenseitigen Abbruch nach (C) indirekt beschleunigt. Dieses zunächst von G. V. SCHULZ und HUSEMANN (150) aufgestellte Reaktionsschema wurde später von CUTHBERTSON, GEE und RIDEAL (159) für andere durch Peroxyd hervorgerufene Polymerisation bestätigt. — ZIEGLER (157) zeigte, daß bei der Polymerisation von Butadien durch Alkalimetall letzteres verbraucht wird und jeweils am Ende der Kette sitzt. — Nach einem wieder völlig anderen Mechanismus wirkt, wie WILLIAMS (161) nachwies, das Zinntetrachlorid.

Eine ganze Reihe von Stoffen, von denen das Hydrochinon am bekanntesten ist¹⁾, wirken als Inhibitoren. Ihre Wirkung besteht darin, daß sie die Reaktionsketten abbrechen [JEU und ALYEA (162)]. Wie neuerdings FOORD (163) sowie KERN und FEUERSTEIN (164) zeigten, werden sie bei dieser Reaktion verbraucht, reagieren also offenbar mit dem reaktionsfähigen Kettenende.

Von großer technischer Bedeutung ist die Polymerisation in wässriger Emulsion. Ein großer Vorteil hierbei ist die Vermeidung der außerordentlich großen Viskositätssteigerung, die bei der „Blockpolymerisation“ auftritt. Ferner kann die sehr beträchtliche Reaktionswärme leichter abgeführt werden. Die Polymerisation scheint hierbei je nach den Bedingungen in den emul-

gierten Tröpfchen oder in dem echt gelösten Anteil des Monomeren stattzufinden [FIKENTSCHEK (165)].

b) *Polykondensationsreaktionen.* Bei den Polymerisationsvorgängen hängt das Molekulargewicht von rein reaktionskinetischen Bedingungen ab, nämlich dem Geschwindigkeitsverhältnis der Wachstums- zur Abbruchreaktion. Eine Gleichgewichtsbedingung spielt hierbei keine Rolle, da die entstehenden Kettenmoleküle sehr stabil sind, so daß sich die Gleichgewichtslage (bei normalen Temperaturen) bei praktisch unendlich hohen Molekulargewichten befindet. Anders ist es bei den Polykondensationsvorgängen, bei denen das mittlere Molekulargewicht der entstehenden Polymeren durch ein „Kondensationsgleichgewicht“ [G. V. SCHULZ (55a)] bestimmt wird. Das sei am Beispiel der Bildung eines Polyesters erläutert.

Bekanntlich kommen Veresterungsreaktionen zum Stillstand, wenn sich das durch die folgende Gleichung bestimmte Gleichgewicht eingestellt hat

$$\frac{c_{\text{Ester}} \cdot c_{\text{Wasser}}}{c_{\text{Säure}} \cdot c_{\text{Alkoh.}}} = K, \quad (35)$$

wobei c die Konzentrationen, aber auch die absoluten Mengen bedeuten kann. Gehen wir speziell von 1 Mol einer Oxysäure aus und bezeichnen mit p den Bruchteil der nach Einstellung des Gleichgewichts veresterten COOH- (bzw. OH-) Gruppen, den Wassergehalt mit n_w , so ergibt sich aus (35)

$$\frac{p \cdot n_w}{(1-p)^2} = K. \quad (36)$$

Hierbei ist angenommen, daß die Gleichgewichtskonstante K vom Polymerisationsgrad unabhängig ist. Da jedes Polyesteremolekül (ebenso wie die Ausgangssubstanz) eine Carboxylgruppe trägt, ist der mittlere Polymerisationsgrad umgekehrt proportional der Menge der noch vorhandenen Carboxylgruppen. Es gilt also $\bar{P} = 1/(1-p)$, woraus sich nach Einsetzen in (36)

$$\bar{P}(\bar{P}-1) = K/n_w \quad (37)$$

ergibt. Auflösen der quadratischen Gleichung nach \bar{P} ergibt dann

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + 4 \frac{K}{n_w}} \right), \quad (38)$$

was bei sehr geringen Wassergehalten noch vereinfacht werden kann:

$$\bar{P} = \sqrt{K/n_w}. \quad (39)$$

Man sieht hieraus, daß dem Polymerisationsgrad durch die geringen Wasserspuren, die während der Reaktion nicht entfernt werden, eine obere Grenze gesetzt ist, wobei es sich ungünstig auswirkt, daß n_w unter der Wurzel steht. Erniedrigt man z. B. den Wassergehalt auf $1/100$, so steigt der mittlere Polymerisationsgrad nur auf das 10fache.

Von FLORY (166) wurde durch reaktionskinetische Messungen die Frage untersucht, ob die

¹⁾ BREITENBACH (160) zeigte, daß nicht das Hydrochinon, sondern das sich aus diesem leicht bildende Chinon den Kettenabbruch bewirkt.

Reaktionsfähigkeit der funktionellen Gruppen (—COOH und —OH) von der Länge der Ketten abhängt, in die sie eingebaut sind. Er kam zu dem wichtigen Ergebnis, daß die Kettenlänge keinen Einfluß auf die Reaktionsfähigkeit der Endgruppen besitzt, wodurch eine wesentliche Voraussetzung für die Gleichungen (38) und (39) sichergestellt ist. Die Polykondensation ist übrigens eine Reaktion 3. und nicht 2. Ordnung, wie man annehmen könnte, da die Wasserstoffionen der Carboxylgruppen als Katalysatoren wirken.

Ebenso wie bei der Polymerisation entstehen bei der Polykondensation stark polymolekulare Produkte, deren Verteilungen nach den Rechnungen von FLORY (167) und G. V. SCHULZ (165) denen von Polymerisaten sehr ähnlich sind (vgl. Fig. 2).

Bemerkenswert ist, daß sehr viele Naturprodukte, die man als Polykondensate auffassen muß, molekular einheitlich sind und ferner sehr hohe Molekulargewichte haben, obgleich sich ihre Bildung in wässrigem Medium abspielt. Bei ihrer Entstehung muß also durch irgendwelche Vorgänge die Einstellung des Kondensationsgleichgewichtes umgangen werden. Das könnte z. B. dadurch geschehen, daß die reagierenden Gruppen gegen den Angriff des Wassers blockiert werden (vielleicht spielt bei der Bildung der Polysaccharide die Phosphorsäure diese Rolle). Auch wäre es möglich, daß das Polymere nicht aus dem Monomeren unmittelbar, sondern aus einem bereits abgewandelten Vorprodukt (etwa dem Anhydrid) entsteht.

(Schluß folgt.)

Literaturzitate.

- (96 M DUNKEL, Z. physik. Chem. A 138, 42 (1928). — (97) N. J. BRÖNSTEDT, Z. physik. Chem. A, Bodenstein-Festband 1931, 257. — (98) E. JENCKEL, Z. Elektrochem. 43, 796 (1937); 45, 202 (1938). — (99) E. JENCKEL u. K. ÜBERREITER, Z. physik. Chem. A 182, 361 (1938). — (100) P. A. THIESSEN u. W. WITSTADT, Z. physik. Chem. B 41, 33 (1938). — (101) W. KUHN, Z. physik. Chem. B 42, 1 (1939) — Angew. Chem. 52, 289 (1939). — (102) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A 179, 321 (1937). — (102a) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. (A) 180, 1 (1937). — (103) J. OKAMURA, Kolloid-Z. 65, 175 (1933). — (104) LIEPATOW u. PREBRAGENSKAJA, Kolloid-Z. 68, 324 (1934). — (105) G. V. SCHULZ u. B. JIRGENSONS, Z. physik. Chem. B 46, 105 (1940). — (106) E. HUSEMANN, J. prakt. Chem. 157, Staudinger-Festheft. — (107) H. STAUDINGER u. W. HEUER, Z. physik. Chem. A 171, 129 (1934). — (108) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. B 46, 137 (1940); 47, 155 (1940). — (109) G. V. SCHULZ u. E. NORDT, J. prakt. Chem. 155, 115 (1940). — (110) E. H. LOVELL u. H. HIBBERT, J. amer. chem. Soc. 61, 1916 (1931). — (111) H. STAUDINGER u. H. WARTH, J. prakt. Chem. 155, 261 (1940). — (112) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A 176, 317 (1936). — (113) S. R. CARTER u. B. R. RECORD, J. chem. Soc. (Lond.) 1939, 661. — (114) W. PAULI u. P. FENT, Kolloid-Z. 67, 288 (1934). — (115) H. STAUDINGER u. G. V. SCHULZ, Ber. dtsh. chem. Ges. 68, 2336 (1935). — (116) H. H. WEBER u. R. STÖWER, Biochem. Z. 295, 269 (1933). — (117) E. BECKMANN, Z. physik. Chem. 2, 720 (1888). — (118) W. OSTWALD, Kolloid-Z. 49, 60 (1929). — (119) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. A 184, 1 (1939). — (120) G. V. SCHULZ, Z. Elektrochem. 45, 652 (1939). — (120a) E. HÜCKEL, Z. Elektrochem. 42, 753 (1936). — (121) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. B 45, 110 (1939). — (122) E. POSNJAK, Kolloid-Beih. 3, 417 (1912). — (123) R. FRICKE u. J. LÜKE, Z. Elektrochem. 36, 309 (1930). — (124) J. R. KATZ, Kolloid-Beih. 9, 165 (1917). — (125) O. KRATKY u. A. MUSIL, Z. Elektrochem. 43, 326 (1937). — (126) ÖHOLM, Z. physik. Chem. B 50, 309 (1905). — (127) A. TISELIUS u. K. GROSS, Kolloid-Z. 66, 11 (1934). — (128) R. O. HERZOG, Z. Elektrochem. 16, 1003 (1910). — (129) R. O. HERZOG, ILLIG u. H. KUDAR, Z. physik. Chem. A 167, 344 (1933). — (130) R. O. HERZOG u. H. KUDAR, Z. physik. Chem. A 167, 329 (1934). — (131) J. SAKURADA u. M. TANIGUCHI, J. Soc. chem. Ind. jap. 38, Nr 12 (1935). — (132) G. S. ADAIR u. M. E. ADAIR, Proc. roy. Soc. (Lond.) 120, 422 (1936). — (132a) R. SIGNER u. H. GROSS, Helvet. chim. Acta 17, 59 (1934). — (133) R. SIGNER u. P. v. TAVEL, Helvet. chim. Acta 21, 535 (1938). — (134) E. ROTHLIN, Biochem. Z. 98, 34 (1919). — (135) H. FREUNDLICH, H. NEUKIRCHER u. H. ZOCHER, Kolloid-Z. 38, 43 (1925). — (136) W. OSTWALD, Kolloid-Z. 36, 99 (1925); 47, 176 (1929). — (137) H. KROEPPELIN, Z. physik. Chem. A 149, 291 (1930) — Kolloid-Z. 47, 294 (1929). — (138) H. STAUDINGER u. H. MACHEMER, Ber. dtsh. chem. Ges. 62, 2921 (1929). — (138a) H. STAUDINGER, Organische Kolloidchemie, Braunschweig 1940. — (139) R. SIGNER u. H. GROSS, Z. physik. Chem. A 165, 161 (1933). — R. SIGNER, Z. physik. Chem. A 150, 257 (1930). — (140) P. BOEDER, Z. Physik 75, 258 (1932). — (141) W. KUHN, Z. physik. Chem. A 161, 1 (1932) — Kolloid-Z. 62, 269 (1933). — (142) H. UMSTÄTTER, Kolloid-Z. 70, 174 (1935). — (142a) W. PHILIPPOFF, Kolloid-Z. 75, 142, 155 (1936); Angew. Chem. 49, 859 (1936). — (143) G. V. SCHULZ, Z. Elektrochem. 43, 479 (1937). — (144) I. M. BURGERS, Secd. Report Plast. a. Viskosity 1938. — (145) H. STAUDINGER u. F. REINEKE, Ber. dt. chem. Ges. 71, 2525 (1938). — (146) Zus. Ber. hierüber bei H. L. BREDÉE u. J. DE BORYS, Kolloid-Z. 79, 32, 43 (1937). — (147) P. J. FLORY, J. amer. chem. Soc. 62, 1057 (1940). — (148) E. JENCKEL, Z. physik. Chem. (1940). — (149) H. STAUDINGER u. W. FROST, Ber. dtsh. chem. Ges. 68, 2351 (1935). — (150) G. V. SCHULZ u. E. HUSEMANN, Z. physik. Chem. B 39, 246 (1938). — (151) G. V. SCHULZ, A. DINGLINGER u. E. HUSEMANN, Z. physik. Chem. B 43, 385 (1939). — (152) J. W. BREITENBACH, Mh. Chem. 71, 275 (1938). — (153) B. EISTERT, Tautomerie und Mesomerie. Stuttgart 1938. — (154) G. V. SCHULZ, Z. Elektrochem. 47, 265 (1941). — (155) G. V. SCHULZ u. E. HUSEMANN, Z. physik. Chem. B 34, 187 (1936); 36, 184 (1937). — (156) G. V. SCHULZ, Z. physik. Chem. B 30, 379 (1935). — (156a) G. V. SCHULZ u. A. DINGLINGER, Z. physik. Chem. (B) 43, 47 (1939). — (157) K. ZIEGLER, F. DERSCH u. H. WOLLTHAN, Liebigs Ann. 511, 13 (1934). — K. ZIEGLER u. L. JAKOB, Liebigs Ann. 511, 45 (1934). — (158) W. KERN u. H. KÄMMERER, unveröff. Vers. — (159) CUTHBERTSON, GEE u. RIDEAL, Proc. roy. Soc. (Lond.) A 170, 300 (1939). — (160) J. W. BREITENBACH, A. SPRINGER u. K. HOREISCHY, Ber. dtsh. chem. Ges. 71, 1438 (1938). — (161) G. WILLIAMS, J. chem. Soc. 1938, 246, 1046. — (162) K. K. JEU u. H. N. ALYEA, J. amer. chem. Soc. 55, 575 (1933). — (163) FOORD, J. chem. Soc. 1940, 48. — (164) W. KERN u. K. FEUERSTEIN, J. prakt. Chem. 158, 186 (1941). — (165) H. FIKENTSCHER, Ber. üb. d. Reichsarbeitstagung d. dt. Chem. 1938, 166. — (166) P. J. FLORY, J. amer. chem. Soc. 61, 3334 (1939). — (167) P. J. FLORY, J. amer. chem. Soc. 58, 1877 (1936).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Kernzertrümmerungen und schwere Teilchen
in der kosmischen Strahlung.

Es hat sich in mehreren Untersuchungen gezeigt, daß die Häufigkeit der Kernzertrümmerungen¹⁾ mit wachsender Seehöhe nahezu ebenso rasch ansteigt wie die der Protoneneinfachbahnen²⁾ und die der Neutronen³⁾. Wenn man nun bedenkt, daß bei den Stoß- und Verdampfungsprozessen an den Atomkernen beide Teilchensorten tatsächlich emittiert werden, so liegt es nahe, das Auftreten der einzelnen schweren Partikel auf die Kernzertrümmerungen zurückzuführen. Der gleichlaufende Gang der Intensitäten für die verschiedenen Erscheinungsgruppen wird damit unmittelbar erklärt, da man ja weiß, daß die Zertrümmerungsprotonen mittlere Reichweiten von nur 1–2 m Luft besitzen, während die freien Weglängen der emittierten schnellen Neutronen 300 bis 400 m betragen.

Mit der von WAMBACHER¹⁾ beobachteten Energieverteilung der Zertrümmerungsprotonen bei den Sternen mit mehr als 2 Teilchen läßt sich unter Berücksichtigung des Bremsverlustes das auf die Einheitsfläche auftretende Energiespektrum der Protoneneinfachbahnen berechnen. In Fig. 1 ist die so gewonnene Kurve eingezeichnet und mit der gemessenen verglichen. Es zeigt sich dabei, daß im Gebiet großer Energien $E > 25$ MeV beide Kurven zueinander passen. Die Abweichungen im Bereich kleinerer Energien müssen auf die in den Untersuchungen nicht berücksichtigten „Einsler“-Zertrümmerungen und die nur teilweise erfaßten „Zweier“-Sterne zurückgeführt werden. Aus dem Verhältnis der schraffierten zur ungeschraffierten Fläche in Fig. 1 kann man schließen, daß die vernachlässigten Pro-

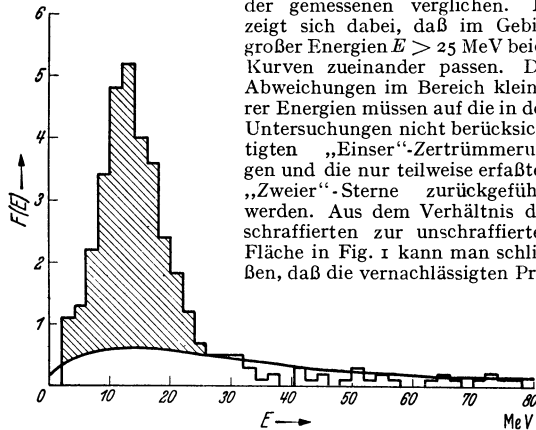


Fig. 1. Energieverteilung der Protoneneinfachbahnen. Treppenkurve: Messungen v. WIDHALM. Glatte Kurve: Theoretische Verteilung.

zesse etwa das Dreifache der Gesamtzahl der Zertrümmerungen mit höheren Teilchenzahlen ausmachen.

Sei N_p die Zahl der Protonen pro Quadratmeter und Tag und n die Zahl der Zertrümmerungssterne pro Kubikmeter Luft und Tag, dann folgt aus den Rechnungen durch Integration über die Kurve der Fig. 1: $N_p/n = 230$ cm. Andererseits kann man die beobachteten Teilchenzahlen von SCHOPPER⁴⁾ und WIDHALM²⁾ direkt zur Bestimmung des Verhältnisses N/n heranziehen und erhält:

$$N_p/n = \begin{cases} 500 & \text{nach WIDHALM,} \\ 90 & \text{nach SCHOPPER.} \end{cases}$$

Ganz analog läßt sich für die *schnellen* Neutronen herleiten: $N_n/n \approx 3,6 \cdot 10^4$ cm, während man den Messungen von SCHOPPER über die Häufigkeit von schnellen Rückstoßprotonen hinter 1 mm Paraffin in 3450 m Seehöhe entnimmt: $N_n/n \approx 4 \cdot 10^4$ cm.

Die gute Übereinstimmung der berechneten Zahlwerte mit den beobachteten für beide Teilchensorten ist wohl teilweise Zufall. Immerhin wird man aus dem Vergleich der verschiedenen Ergebnisse schließen, daß die gemessenen Protonen- und Neutronenhäufigkeiten für die energiereichen Teilchen jedenfalls in der unteren Atmosphäre als eine Folge der Kernzertrümmerungen zu betrachten sind, und einfache Abschätzungen zeigen auch, daß die Intensitäten der langsamen Neutronen Werte besitzen, wie man sie

¹⁾ H. WAMBACHER u. G. STETTER, Physik. Z. 40, 702 (1939) — H. WAMBACHER, Wien. Ber. 149 (1940).

²⁾ A. WIDHALM, Z. Physik 115 (1940).

³⁾ E. FÜNFER, Z. Physik 111, 351 (1938).

⁴⁾ E. SCHOPPER, Naturwiss. 25, 557 (1937).

nach den Rechnungen von BETHE, KORFF und PLACZEK⁵⁾ unter Berücksichtigung des Verlangsamungsprozesses erwartet.

Eine ausführliche Veröffentlichung erscheint in den Annalen der Physik.

Leipzig, Institut für theoretische Physik, den 7. April 1941.

ERICH BAGGE.

⁵⁾ H. A. BETHE, S. A. KORFF u. G. PLACZEK, Physic. Rev. 57, 573 (1940).

Quantitative Bestimmungen der Permeabilität
der Hefezellen für Phosphat.

Im Anschluß an die im hiesigen Institut ausgeführten Versuche^{1,2)}, durch Atmungs- und Gärungsmessungen Schlüsse auf die Permeabilität bei frischer und verarmter Preßhefe zu ziehen, wurden analytische Bestimmungen gemacht, um eingedrungenes Phosphat durch direkte Messungen in der Außenlösung zu bestimmen, von welchen hier in Kürze einige Resultate mitgeteilt werden sollen.

Die Resultate dürften insofern von Interesse sein, als laut vorliegenden Literaturangaben^{3,4)} anorganisches Phosphat nicht in ruhende Hefezellen eindringen sollte, wogegen ich unter Umständen ein ziemlich kräftiges Eindringen feststellen konnte. Eine Erklärung wäre, daß meine Versuche mit Oberhefe ausgeführt worden sind, während die Angaben von MACFARLANE sich auf Unterhefe beziehen.

Die Phosphatbestimmungen wurden kolorimetrisch nach der von TEORELL⁵⁾ modifizierten Methode von FISKE und SUBBAROW ausgeführt. Es wurde hauptsächlich Bäckerhefe aus der schwedischen Hefefabrik Rotebro verwendet. Die Hefesuspensionen wurden aus 1,5 g Hefe in 5 ml Lösung eines Gemisches von sek. Natriumphosphat und prim. Kaliumphosphat in solchen Verhältnissen hergestellt, daß die gewünschten Phosphatkonzentrationen und p_H erreicht wurden. Die Suspensionen wurden im Wasserbade bei 25° verschiedene Zeiten — bis 90 Minuten — geschüttelt.

Es hat sich bei den Versuchen gezeigt, daß anorganisches Phosphat tatsächlich immer in frische Hefe eindringt. Bei Hefe, die durch 18stündiges Schütteln mit Wasser verarmt worden ist, dringt Phosphat langsamer und bei niedrigen Phosphatkonzentrationen — etwa unter $1,0 \cdot 10^{-2}$ M — überhaupt nicht in meßbaren Mengen ein. Durch 3stündiges Schütteln mit Glucose vor dem Versuche wird aber verarmte Hefe teilweise wieder aufnahmefähig.

Das Eindringen von Phosphat hat sich insofern als unabhängig von der Konzentration gezeigt, als z. B. bei Konzentrationen von 1,5 bis $5,15 \cdot 10^{-2}$ M durchschnittlich 20 bis 22 % von der Außenlösung verschwinden. Aus diesem Umstand müßte man den Schluß ziehen, es handle sich in der Hauptsache um eine Diffusion. Wenn man aber die Hefe in gebräuchlicher Weise auf Orthophosphat untersucht und die gefundenen Mengen sogar auf das ganze Zellwasser (73 % des Hefegewichtes) berechnet, so bekommt man Konzentrationen von etwa $4 \cdot 10^{-2}$ M. Es handelt sich folglich um ein Eindringen gegen das Konzentrationsgefälle.

Bei anaerob gezüchteter Anstellhefe tritt dieses Verhalten noch deutlicher hervor. Diese Hefe zeigt bei der Analyse bis 5mal so viel Orthophosphat wie die frische Preßhefe. nimmt aber trotzdem ebensoviel Phosphat aus der Lösung auf wie diese. Die Arbeiten werden noch fortgesetzt, um weiteres Material zu sammeln, bevor eine Erklärung gegeben werden kann.

Verarmte Hefe enthält ebenso im allgemeinen mehr Orthophosphat als frische Preßhefe — etwa 10 % mehr —, aber in Anbetracht des oben Angeführten kann die Ursache dafür kaum darin gesehen werden, daß in verarmte Hefe weniger eindringt als in frische [vgl. auch LYNN⁶⁾].

Versuche wurden vorläufig nur bei p_H 5,28 und 6,8 gemacht. Dabei hat es sich gezeigt, daß bei dem niedrigen p_H das Eindringen in frische Hefe bedeutend — 3mal und mehr — stärker ist als bei dem höheren. Bei verarmter Hefe dagegen ist der Unterschied viel geringer, aber der Umstand, daß Phosphat in niedriger Konzentration überhaupt nicht eindringt, bleibt bei verschiedenen p_H bestehen.

Die Anwesenheit von Glucose scheint bei frischer Hefe keinen Einfluß auf die Permeabilität für Phosphat auszuüben.

Im Vergleich mit den früher berichteten Ergebnissen⁷⁾ von den Untersuchungen über das Eindringen von Fluorid in frische und verarmte Hefe, wobei die letztere permeabler ist als die erstere, verhält sich Phosphat also wesentlich anders. Dagegen weist Phosphat in gewisser Hinsicht ein ähnliches Verhalten wie Brenztraubensäure auf²⁾.

Stockholm (Schweden), Wenner Grens-Institut für experimentelle Biologie der Universität, den 15. April 1941.
M. MALM.

- 1) J. RUNNSTRÖM u. E. SPERBER, *Biochem. Z.* **298** (1938).
- 2) J. RUNNSTRÖM, E. SPERBER u. EVA KARLSSON, *Ark. kemijmineralogi och geologi*, **13**, Nr 10.
- 3) G. HEVESY, K. LINDERSTRÖM-LANG, N. NIELSEN, *Nature* (Lond.) **140**, 725 (1937).
- 4) M. MACFARLANE, *Biochemic. J.* **33**, Nr 4 (1939).
- 5) T. TEORELL, *Biochem. Z.* **230**, 1 (1931).
- 6) F. LYNEN, *Liebigs Annalen A.* **546**.
- 7) M. MALM, *Naturwiss.* **1940**, H. 46.

Nebenniere und alkalische Phosphatase.

Durch die Forschungen von VERZAR und Mitarbeitern ist die Bedeutung der Nebennierenrinde für die in den verschiedenen Organen stattfindenden Phosphorylierungen erkannt worden. Die nach Exstirpation der Nebennieren auftretenden charakteristischen Störungen der Resorptionsvorgänge (Fehlen der Fettresorption und der „selektiven“ Glucoseresorption) werden damit erklärt, daß im Darmepithel die Bildung von Phosphorsäureestern in einer noch nicht geklärten Weise gehemmt ist. Diese Störungen werden durch die Zufuhr von Nebennierenrindenhormon behoben.

Seit einiger Zeit beschäftigen wir uns mit der Frage einer direkten oder indirekten Beteiligung der Phosphatasen an den Phosphorylierungsprozessen. In einem anderen Zusammenhang¹⁾ wurde schon darauf hingewiesen, daß die Placenta, die Niere und der Dünndarm besonders phosphatasereich sind; es sind das gerade diejenigen Organe, in denen sich die Stoffaustauschvorgänge vollziehen. Es liegt daher nahe, an einen Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen zu denken. Die Mitwirkung der Phosphatase an den mit Phosphorylierung einhergehenden Stoffaustauschprozessen könnte entweder in einer Veresterung der resorbierbaren Stoffe mit Phosphorsäure bestehen (durch Verschiebung des Gleichgewichtes der in vitro als Hydrolyse verlaufenden enzymatischen Reaktion) oder in einer Spaltung der auf irgendeinem anderen Wege gebildeten Phosphorsäureester bei ihrem Übertritt aus der Zelle ins Blut.

Um diesem Problem näher zu kommen, untersuchten wir das Verhalten der Phosphatase nach Exstirpation der Nebennieren. Orientierende Versuche an der sauren Muskelphosphatase²⁾ zeigten negative Resultate, sollen aber nachgeprüft werden. Dagegen waren die Ergebnisse besser, als wir die Untersuchung auch auf die alkalische Phosphatase des Darmes und der Niere ausdehnten. Bei 10 Meer-schweinchen, denen die Nebennieren operativ entfernt worden waren und die nach einigen Tagen unter dem charakteristischen Bild einer Nebenniereninsuffizienz zugrunde gingen, stellten wir eine eindeutige, zum Teil sehr starke Abnahme der Phosphataseaktivität im Dünndarm und in der Niere fest. Wir führen diese Erscheinung auf den Ausfall der Nebennierenrinde zurück; Kontrollversuche mit Zuführung von Eucorton sind im Gang.

Die Abnahme der alkalischen Phosphatase nach Entfernung der Nebennieren legt den Gedanken einer Beteiligung der Sterine der Nebennierenrinde am Aufbau des Enzymmoleküls nahe.

Die ausführliche Veröffentlichung unserer Versuche erfolgt in Hoppe-Seylers Z.

Heidelberg, Chemische Abteilung des physiologischen Institutes der Universität, den 25. April 1941.

WALDEMAR KUTSCHER. HELMUT WÜST.

1) W. KUTSCHER, G. VEITH u. W. SARREITHER, *Hoppe-Seylers Z.* **251**, 129 (1938).

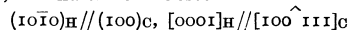
2) CL. KNOEVENAGEL, *Biochem. Z.* **305**, 337 (1940).

Über orientierte Aufwachsungen von Phenolen auf verschiedenen Mineralarten.

Es sind bisher nur wenige Fälle von orientierten Aufwachsungen organischer Verbindungen auf Kristallarten anorganischer Natur bekannt geworden. L. ROYER¹⁾ beob-

achtete die orientierte Verwachsung von β -Hydrochinon mit Calcit und NaNO_3 sowie von Thioharnstoff mit Zinkblende. W. C. BUNN²⁾ gelang es, Harnstoff auf NaCl , NH_4Cl und NH_4Br zur orientierten Aufwachsung zu bringen. In allen vorerwähnten Fällen läßt sich die orientierte Aufwachsung in kristallstruktureller Beziehung darauf zurückführen, daß in den Verwachsungsflächen Netzebenen vorliegen, die im Bau und in den Dimensionen analog sind. Eine solche Analogie dürfte auch bei der vom Verfasser³⁾ gefundenen orientierten Aufwachsung von p,p'-Dioxydiphenyl auf Calcit und NaNO_3 anzunehmen sein.

Bei der orientierten Aufwachsung von β -Hydrochinon auf Calcit, die nach dem Gesetz



erfolgt, betragen die „Toleranzwerte“ $\Delta d_1 = 0,7\%$ und $\Delta d_2 = 11,2\%$. ROYER betont, daß auf den anderen Carbonaten der Kalkspatreihe wegen der größeren Abweichung der Gitterkonstanten eine regelmäßige Aufwachsung von Hydrochinon nicht stattfindet, und weist noch besonders darauf hin, daß von den drei Modifikationen des Hydrochinons nur die aus Methanol anfallende β -Modifikation auf Calcit und Natriumnitrat orientiert aufwächst.

Der Verfasser konnte nun feststellen, daß Hydrochinon aus Lösungsmitteln, die eine bedeutend niedrigere Dielektrizitätskonstante als Methanol ($\epsilon = 32$) aufweisen, wie z. B. aus Benzol ($\epsilon = 2,82$) außer auf (100) von Calcit und NaNO_3 auch auf (100) von Dolomit, Eisenspat, Manganspat, Magnesit und Zinkspat orientiert aufwächst. Pulveraufnahmen zeigten, daß das Hydrochinon in den vorerwähnten Fällen sich in der α -Form abscheidet. Die Verwachsung dieser Form erfolgt in der gleichen Weise wie die des β -Hydrochinons. Auch bei diesen orientierten Aufwachsungen liegen in den Verwachsungsflächen Netzebenen vor, die im Bau und in den Dimensionen analog sind. Für das Paar α -Hydrochinon-Calcit beträgt $\Delta d_1 = 9,3\%$ und $\Delta d_2 = 12,9\%$ und für das Paar α -Hydrochinon-Magnesit $\Delta d_1 = 2,2\%$ und $\Delta d_2 = 21,4\%$. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit dem Befund von C. A. SLOAT und A. W. C. MENZIES⁴⁾, die bei der Untersuchung von regelmäßigen Verwachsungen anorganischer Kristallarten feststellten, daß der Toleranzbereich mit abnehmender Dielektrizitätskonstante des Lösungsmittels zunimmt.

Aus Lösungsmitteln mit niedriger Dielektrizitätskonstante konnte α -Hydrochinon ferner auf (001) von Schwer-spat sowie von Muskowit zur regelmäßigen Aufwachsung gebracht werden. Schließlich gelang es auch, zwei unwertige Phenole, nämlich p-Oxydiphenyl und 3-Oxypyren auf (100) von Calcit aus Lösungsmitteln der genannten Art zur regelmäßigen Aufwachsung zu bringen.

Trotz des Vorliegens einer zweidimensionalen Struktur-analogie innerhalb der für die regelmäßige Verwachsung von Phenolen mit Carbonaten der Kalkspatreihe ermittelten Toleranzgrenze war hingegen mit dem ebenfalls phenolische Hydroxylgruppen führenden Naphthazarin auf Dolomit und Magnesit keine regelmäßige Aufwachsung zu erzielen. Im Naphthazarin befinden sich die Wasserstoffe der phenolischen Hydroxylgruppen in „Scherenbindung“ mit den Sauerstoffen der Carbonylgruppen des chinoiden Kerns. Eine innermolekulare Bildung von Wasserstoffbrücken hat aber im allgemeinen den Vorrang vor der Assoziation mit anderen Molekülen⁵⁾, so daß das negative Ergebnis des Aufwachsungsversuchs mit Naphthazarin gegenüber dem positiven Ergebnis mit anderen Phenolen die Annahme nahelegt, daß die regelmäßigen Aufwachsungen von Phenolen mit Kristallgittern der erwähnten Art die Ausbildung von Wasserstoffbrücken zwischen dem Sauerstoff der phenolischen Hydroxylgruppe und dem Sauerstoff des Trägergitters zur Voraussetzung haben.

Negativ verliefen trotz des Vorliegens einer zweidimensionalen Struktur-analogie innerhalb der erwähnten Toleranzgrenze auch Aufwachsungsversuche mit d-Glukose und Bernsteinsäure auf (100) von Calcit. Diese negativen Ergebnisse mit einer alkoholische Hydroxylgruppen führenden Verbindung (Glukose) und einer Verbindung mit stark sauren Hydroxylgruppen (Bernsteinsäure) im Gegensatz zu den positiven Ergebnissen mit Phenolen erinnern an Beobachtungen über die Abhängigkeit der Wasserstoffbrückenbildung von der Acidität der Hydroxylverbindungen. So fand H. MEERWEIN⁶⁾, daß bei der Wechselwirkung zwischen Hydroxylverbindungen und Äthern die Art der gegenseitigen Beziehung von der Acidität der Hydroxylverbindungen ab-

hängt. Während zwischen Phenol bzw. Kresol und Dimethyläther stabile Wasserstoffbrücken ausgebildet werden, vermag Methanol mit seiner alkoholischen Hydroxylgruppe und *p*-Nitrophenol mit seiner Hydroxylgruppe, die eine höhere Acidität aufweist als die der Phenole bzw. Kresole, keine definierte Beziehung zum Dimethyläther einzugehen. Danach dürfte auch das Verhalten der *d*-Glukose und der Bernsteinsäure im Aufwuchsversuch dafür sprechen, daß die regelmäßige Aufwachsung von Hydroxylgruppen führenden organischen Verbindungen auf Gittern der erwähnten Art an die Ausbildung von Wasserstoffbrücken gebunden ist.

Schließlich sei noch erwähnt, daß auch die eine phenolische Hydroxylgruppe und eine Carboxylgruppe führende Salicylsäure trotz des Vorliegens der kristallstrukturellen Voraussetzungen keine regelmäßige Aufwachsung auf (100) von Eisenspat liefert. Die Erklärung für dieses negative Ergebnis im vorerwähnten Sinne erscheint ohne weiteres gegeben, wenn man berücksichtigt, daß in der Salicylsäure der Wasserstoff der phenolischen Hydroxylgruppe in Scharbindung vorliegt, während das der Carboxylgruppe angehörende Hydroxyl stark saurer Natur ist.

Eine ausführliche Mitteilung wird an anderer Stelle erfolgen.

Krefeld, den 28. April 1941.

J. WILLEMS.

¹) L. ROYER, C. r. Acad. Sci. Paris 196, 282—284 (1933).
²) C. W. BUNN, Proc. roy. Soc. Lond. 141, 567—593 (1933).

³) J. WILLEMS, Z. Krist. 100, 272 (1938).

⁴) C. A. SLOAT u. A. W. C. MENZIES, J. phys. Chem. 35, 2005—2021 (1931).

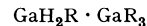
⁵) B. EISTERT, Tautomerie und Mesomerie. Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge, Neue Folge Heft 40. Stuttgart 1938, S. 168.

⁶) Nach einem Vortrag von H. MEERWEIN, zit. in B. EISTERT, Tautomerie und Mesomerie, S. 167.

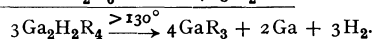
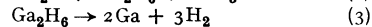
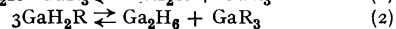
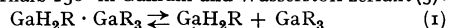
Über einen flüchtigen Galliumwasserstoff der Formel Ga_2H_6 und sein Tetramethylderivat.

Galliumtrimethyl und Wasserstoff bilden in der elektrischen Glimmentladung eine Verbindung der Formel $\text{Ga}_2\text{H}_2\text{R}_4$, die als Tetramethylderivat eines Galliumwasserstoffs der Formel Ga_2H_6 („Digallan“) aufzufassen ist. Sie stellt eine farblose, hochviskose, luft-, feuchtigkeits- und fettempfindliche Flüssigkeit von der 0° -Tension 0,5 mm dar,

welche glasig erstarrt, die unsymmetrische Konstitutionsformel

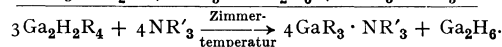
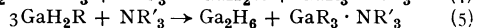
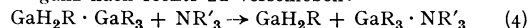


besitzt und oberhalb 130° — vor Erreichen des Siedepunktes (172°) — in Galliumtrimethyl, Gallium und Wasserstoff zerfällt. Die Zersetzung verläuft dabei im einzelnen so, daß sich das durch Dissoziation des Tetramethyl-digallans gemäß (1) gebildete GaH_2R unter Bildung von Galliumtrimethyl GaR_3 und von Galliumwasserstoff Ga_2H_6 disproportioniert (2), welcher oberhalb 130° in Gallium und Wasserstoff zerfällt (3):



Eine Darstellung des Galliumwasserstoffs Ga_2H_6 ist auf diesem Wege nicht möglich, da das Dissoziationsgleichgewicht (1) selbst bei den Temperaturen, bei denen das durch Disproportionierung gemäß (2) entstandene Digallan bereits nach (3) zerfällt, noch ganz auf der Seite des Tetramethyl-digallans liegt.

Dagegen gelingt es, durch Zugabe von Triäthylamin das an den Gleichgewichten (1) und (2) beteiligte Galliumtrimethyl in Form der farblosen, kristallisierten, beständigen Additionsverbindung $\text{GaR}_3 \cdot \text{NR}'_3$ (Smp. $96,0^\circ$, Sdp. 177° , 0° -Tension 0,04 mm) abzufangen und so diese Gleichgewichte schon bei Zimmertemperatur — bei welcher Ga_2H_6 beständig ist — ganz nach rechts zu verschieben:



Auf diese Weise konnte der Galliumwasserstoff Ga_2H_6 unzersetzt isoliert werden. Er stellt eine leichtbewegliche, farblose, bis 130° beständige Flüssigkeit von der 0° -Tension 2,5 mm dar, welche bei $-21,4^\circ$ erstarrt, bei 139° siedet und oberhalb 130° verhältnismäßig rasch gemäß (3) in Gallium und Wasserstoff zerfällt. —

Entsprechende Untersuchungen beim Aluminium stehen vor dem Abschluß. Untersuchungen über die Existenz eines flüchtigen Indium- und Thalliumwasserstoffs sind in Bearbeitung. Wir bitten, uns das Arbeitsgebiet noch einige Zeit zu überlassen.

München, Anorganische Abteilung des Chemischen Instituts der Universität, den 30. April 1941.

E. WILBERG. TH. JOHANNSEN.

Besprechung.

SCHUPPE, HANS, **Physik der Leibesübungen**. Eine Grundlegung. Stuttgart: Ferdinand Enke 1941. VII, 242 S. u. 270 Abbild. 16,5 cm \times 25 cm. Preis geb. RM 15,80, brosch. RM 14.—.

Diese Physik der Leibesübungen ist in Wirklichkeit eine Mechanik aller Sportbetätigungen, soweit sie auf der menschlichen Muskelkraft beruhen. Von der Darstellung ausgeschlossen sind daher Fahrsport, Reitsport usw. Da alle Auseinandersetzungen ersichtlich auf Selbstbeobachtung und eigenen Sportererfahrungen des Verf. fußen, ist die Lektüre des Buches lehrreich und anregend. Als Leser sind vor allem Sportlehrer gedacht. Alles ist elementar und verständlich dargestellt. 270 zweckmäßig schematisierte Figuren erläutern den Text.

Ein erster Teil behandelt die wichtigsten Lehren der Mechanik, die zum Verständnis der Leibesübungen unerlässlich sind: den Schwerpunkt und seine Wanderung im Körper bei Bewegung der Gliedmaßen; Erhaltung der Bewegungsgröße und ihres Momentes, am Drehschemel erläutert; ein wenig über Kreiswirkung. Die Fliehkraft wird, wie so oft in populären Darstellungen, etwas knapp und oberflächlich als Gegenwirkung zur Zentripetalkraft eingeführt; der Magnus-Effekt bei seitlich angestoßenen Bällen wird angedeutet.

Der zweite Hauptteil gliedert sich in die einzelnen Sportarten: Geräteturnen, Lauf, Sprung, Wurf und

Stoß, Wintersport (Ski- und Eislauf), Wassersport. Das vorletzte Kapitel ist ein Loblied auf das Zweirad, das letzte handelt vom „Fliegen aus eigener Kraft“.

Sehen wir uns beispielshalber die „Grund- und Hauptübungen des Recks, Schwungstemme und Kippe“ in Kapitel 14 etwas näher an. Die Hebung des Körperschwerpunktes über die Reckstange erfolgt bei der Schwungstemme in einer eigenartigen Schlinge nach Fig. 91, teils mit kleinem Trägheitsmoment und schneller Pendelschwingung, teils mit großem Trägheitsmoment bei gestrecktem Körper und langsamer Pendelschwingung. Bei der Kippe wird die Endlage über dem Reck in 3 Absätzen erreicht, durch Heranziehen der Beine an den Rumpf, energisches Strecken derselben nach vorn, das einen Rückstoß des Körpers nach hinten bewirkt, und Ausschwingen in die Stützlage.

Das Wort „Flächensatz“ (bekanntlich identisch mit Erhaltung des Momentes der Bewegungsgröße) kommt hier nicht vor. Verf. zieht es im Interesse der elementaren Darstellung vor, statt dessen von der Lage und Bewegung des Schwerpunktes bei wechselndem Trägheitsmoment des Körpers zu sprechen. Dabei sei noch bemerkt, daß das Wort „Schwerpunkt“ (centre of gravity) bei dynamischen Fragen eigentlich ungeeignet ist und besser durch das Wort „Trägheitsmittelpunkt“ (centre of inertia) ersetzt würde.

A. SOMMERFELD, München.

Die Bedeutung des Geruchsinnens im Leben der Fische¹⁾.

Von K. v. FRISCH, München.

Wenn jemand einen anderen nicht leiden mag, so hört man gelegentlich den Ausspruch: „Ich kann ihn nicht riechen.“ Wer diese Redewendung gebraucht, wird sich selten dessen bewußt sein, daß bei der Mehrzahl der Wirbeltiere tatsächlich der Geruchsinn, als der führende Sinn auf

sten Säugetiere Makrosmaten. Der gewaltigen Oberflächenvergrößerung, welche die Sinnesfläche ihres Geruchsorganes erfahren hat, entspricht eine gesteigerte physiologische Leistung. Das ist jedem Hundefreund bekannt. Durch messende Untersuchungen von E. MATTHES (1932) wissen wir, daß beim Meerschweinchen die Empfindlichkeit für gewisse Riechstoffe (Bromstyrol, Nitrobenzol) jene der menschlichen Nase um etwa das Tausendfache übertrifft. Mit einer besseren Entfaltung des Geruchsorganes pflegt eine schlechtere Entwicklung des Auges Hand in Hand zu gehen (Fig. 3). Bei

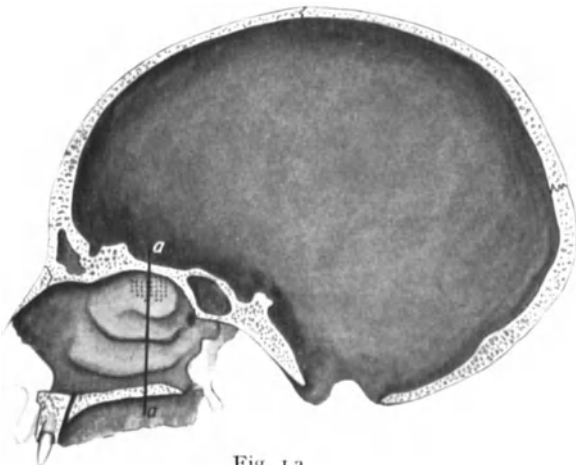


Fig. 1 a.

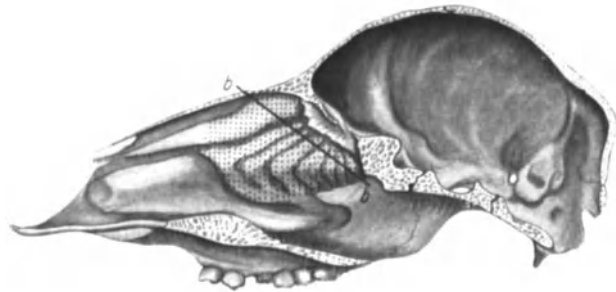


Fig. 1 b.

Fig. 1. Die Entfaltung der Nasenmuscheln bei Mikrosmaten (a: Mensch) und Makrosmaten (b: Reh). Längsschnitte durch den Kopf; Nasenscheidewand entfernt. Ausbreitung des Riechepithels punktiert.

Aus v. FRISCH 1926.

den Pfaden des Lebens, für die Zu- oder Abneigung gegenüber anderen Wesen von ausschlaggebender Bedeutung ist. Welche Rolle er darüber hinaus auch beim Finden der Nahrung und als Warner vor den Feinden spielt, davon können wir uns kaum eine Vorstellung machen; denn bei uns ist dieser Sinn verkümmert. Wir gehören zu den *Mikrosmaten*, zu den Geschöpfen mit schlecht entwickeltem Geruchsorgan. Schon durch die anatomischen Verhältnisse in der Nasenhöhle bekunden die *Makrosmaten* im Gegensatz zu jenen die mächtige Entwicklung ihres Geruchsinnens. Bei ihnen sind die Nasenmuscheln, auf denen sich das Sinnesepithel des Riechnerven ausbreitet, nicht nur an Zahl vermehrt, sondern auch durch Faltenbildung stark vergrößert (Fig. 1, 2). Von den höheren Wirbeltieren sind außer dem Menschen die Vögel, ferner Fledermäuse und Affen Mikrosmaten. Sie haben gemeinsam, daß sie sich durch Flugvermögen, aufrechte Haltung oder Leben in den Bäumen mit der Nase vom Untergrund entfernt haben. Für die Säugetiere mit bodennaher Nase sind Riechspuren, die am Boden haften, von lebenswichtiger Bedeutung. Daher sind die mei-

den Makrosmaten ist der Geruchsinn, bei den Mikrosmaten in der Regel das Gesicht der führende Sinn.

Gibt es auch bei den Fischen jene Sonderung in die zwei biologischen Gruppen der Mikrosmaten und Makrosmaten? Da ist die Vorfrage zu klären: *Können Wassertiere riechen?*

Noch vor einigen Jahrzehnten war dies lebhaft umstritten. NAGEL (1898) hatte, ausgehend von den Verhältnissen beim Menschen und bei den landbewohnenden Wirbeltieren, das wesentliche Kennzeichen der Riechorgane darin gesehen, daß ihnen die adäquaten Reizstoffe in gasförmigem Zustande zugeführt werden, während jener andere Zweig des chemischen Sinnes, den wir als den Geschmack bezeichnen, auf flüssige Reizstoffe anspricht. Nach dieser Definition könnten Fische nur „schmecken“, da ihren chemischen Sinnesorganen die Reizstoffe ausschließlich in Wasser gelöst zugeführt werden. Dem Biologen kann eine solche Auffassung nicht sinnvoll erscheinen. Auch bei den Fischen sind die Geruchs- und Geschmacksorgane anatomisch getrennt, und sie stimmen nach Lage und Innervation mit den entsprechenden Organen der landbewohnenden Wirbeltiere weitgehend überein: das *Geschmacksorgan* hat seinen

¹⁾ Vortrag im Verein für Naturkunde in München am 10. Februar 1941.

Sitz in der Mundhöhle, ohne allerdings auf diese beschränkt zu sein, es hat sein Zentrum im verlängerten Mark und wird von Ästen des Nervus facialis, glossopharyngeus und vagus versorgt; der *Geruchssinn* hat auch bei Fischen seinen Sitz in der

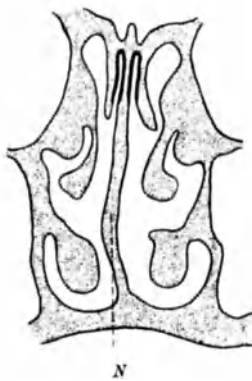


Fig. 2 a.

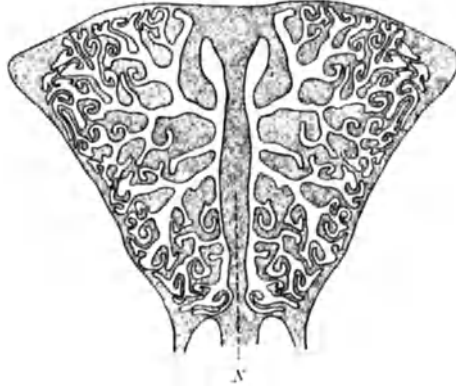


Fig. 2 b.

Fig. 2. a) *Mensch*, b) *Reh*, Querschnitte durch die Nasenhöhlen entsprechend den Linien *aa* bzw. *bb* in Fig. 1. *N* Nasenscheidewand. Die stark ausgezogene Linie in Fig. 2 a gibt die Ausbreitung des Riechepithels an, in b sind sämtliche Falten von Riechepithel bekleidet.

Aus v. FRISCH 1926.

Nasenhöhle und als zugeordneten Hirnteil den Lobus olfactorius, mit dem er durch den *N. olfactorius* in Verbindung steht. Da die Nasenhöhle hier mit der Atmung nichts zu tun hat, ist sie gegen die Mundhöhle abgeschlossen und öffnet

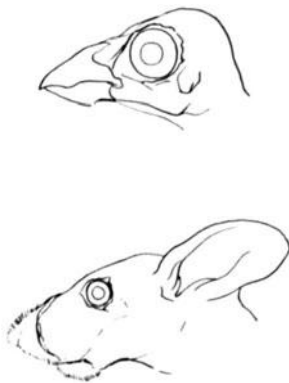


Fig. 3. Tiere mit schlecht entwickeltem Geruchssinn (oberes Bild: *Kanarienvogel*) pflegen besser entwickelte Augen zu haben als Tiere mit gutem Geruchsvermögen (unteres Bild: *Maus*). Um die wahre Schädelgröße zu zeigen, ist das Feder- bzw. Haarkleid abgezogen; damit man die wahre Größe des Augapfels erkennen kann, sind die Knochenränder der Augenhöhle entfernt.

Nat. Gr.

sich jederseits mit einem zweiten Nasenloch wieder nach außen; sie ist *ausschließlich* in den Dienst des Geruchsinnens gestellt (Fig. 4, 5). Hautfalten am Boden der Riechgrube (Fig. 5) schaffen, wie die Nasenmuscheln der Säugetiere, eine Oberflächenvergrößerung für die Ausbreitung des Riechepithels; ein Hautwulst über der vorderen Nasenöffnung staut beim Schwimmen das Wasser durch die Grube; auch durch Flimmerepithel oder Muskelwirkung kann für die Zufuhr des Wassers und der darin enthaltenen Riechstoffe gesorgt sein.

Der anatomischen Trennung entspricht eine physiologische Sonderung. Mein Schüler STRIECK

(1924) konnte Elritzen auf Riechstoffe (Cumarin, künstlichen Moschus, Skatol) und Schmeckstoffe (Traubenzucker, Essigsäure, Chinin, Kochsalz) dressieren. Sie lernten es, bei Wahrnehmung des Dressurstoffes, und *nur* bei diesem, in auffälliger Weise nach Futter zu suchen. Nach Zerstörung des Riechnerven reagierten sie nur mehr auf die Schmeckstoffe. Eine noch solange fortgesetzte Dressur auf Cumarin, Moschus oder Skatol blieb nunmehr erfolglos. Diese Substanzen sind also auch für die Fische *Riechstoffe*.

Es ist naheliegend, der Zweiteilung des chemischen Sinnes in Geruch und Geschmack bei den Fischen eine ähnliche Bedeutung beizulegen, wie sie bei den höheren Wirbeltieren zweifellos besteht: der Geruch ist, dank seiner besonderen Empfindlichkeit, ein Sinn, der in die Ferne reicht und schon von weitem zur Wahrnehmung eines Feindes oder zum Aufspüren der Nahrung verhelfen kann; der stumpfere Geschmack ist auch

nach der Lage seiner Organe dazu bestimmt, die bereits aufgenommene Nahrung auf ihre chemischen Eigenschaften zu prüfen. Ich komme darauf noch zurück.

Man kann also bei Fischen mit demselben Recht wie bei Säugetieren von einem „Geruchssinn“ sprechen, und es gibt auch bei ihnen Mikrosmaten

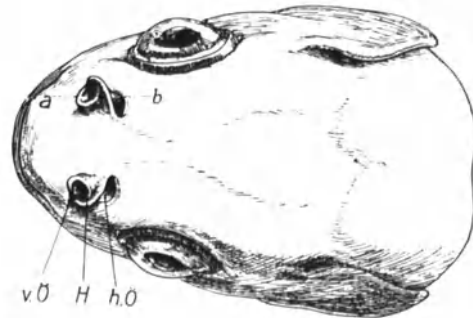


Fig. 4. Kopf der Elritze, *v. Ö.* vordere Nasenöffnung, *h. Ö.* hintere Nasenöffnung, *H* Hautbrücke, die beim Vorwärtsschwimmen das Wasser durch die vordere Nasenöffnung hineintreibt. Aus v. FRISCH 1935.

und Makrosmaten: Fig. 6 zeigt am Geruchsorgan des Hechtes ein kümmerliches Netzwerk von Falten, das sich nur wenig über den Boden der Nasengrube erhebt. Das Auge aber pflegt auch bei den Fischen größer zu sein, wenn das Geruchsorgan an Bedeutung zurücktritt. Beim Aal ist das Auge klein¹⁾, dagegen steht für die Ausbreitung

¹⁾ Daß beim Aal vor dem Eintritt der Geschlechtsreife die Augen größer werden, hängt mit seiner Abwanderung in die Tiefsee zusammen. Die Figur bezieht sich auf ein jüngeres Tier.

des Sinnesepithels in der langgestreckten Riechgrube eine große Anzahl wohlentwickelter Falten zur Verfügung (Fig. 7). Was der anatomische

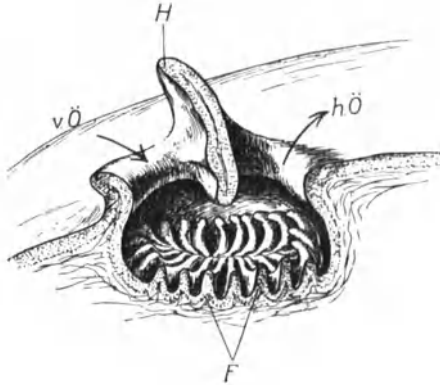


Fig. 5. Längsschnitt durch die Nasengrube einer Elritze, entsprechend der Linie *a—b* in Fig. 4. *F* Hautfalten am Boden der Nasengrube, auf denen sich das Riechepithel ausbreitet. *v. Ö.* vordere Nasenöffnung, *h. Ö.* hintere Nasenöffnung, *H* Hautbrücke.

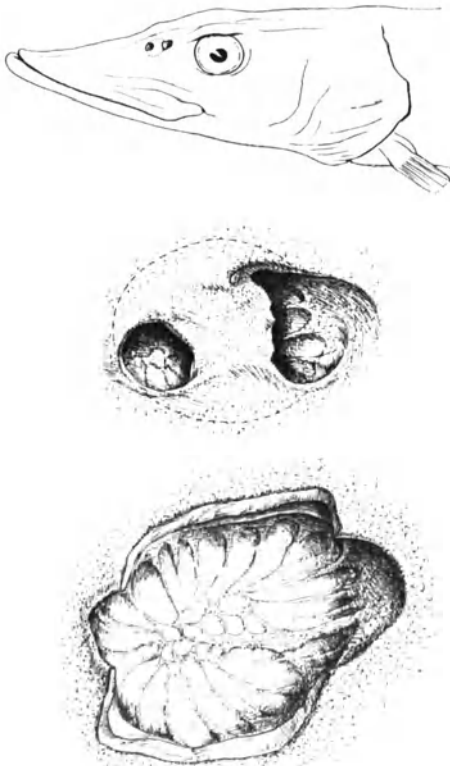


Fig. 6. Geruchsorgan vom Hecht (Fisch mit schlecht entwickeltem Geruchssinn, *Mikrosmat*). Das obere Bild zeigt das verhältnismäßig große Auge, vor ihm die kleine Riechgrube (punktiert umrissen) mit den beiden Nasenöffnungen. *Mittleres Bild*: Die Riechgrube mit den beiden Nasenlöchern stärker vergrößert. *Unteres Bild*: Riechgrube geöffnet, auf ihrem Boden nur kümmerliche Riechfalten.

Gegensatz vermuten läßt, bestätigt der biologische Versuch: Hängt man in ein Becken mit jungen Aalen 2 Leinwandsäckchen ein, deren eines etwas

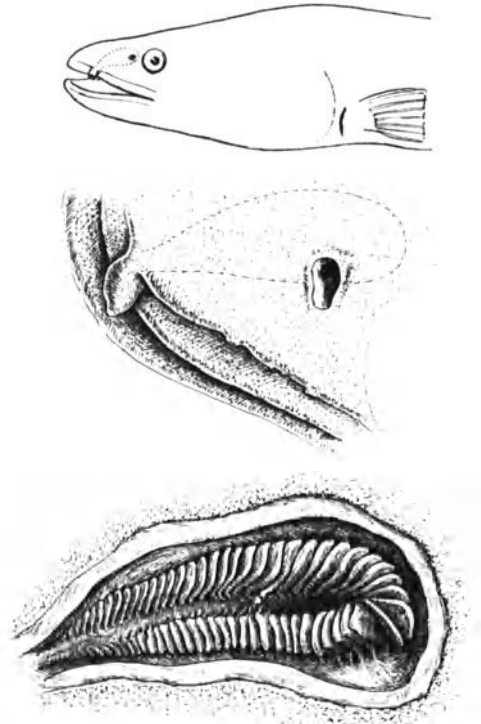


Fig. 7. Geruchsorgan vom Aal (Fisch mit gut entwickeltem Geruchssinn, *Makrosmat*). Das obere Bild zeigt das verhältnismäßig kleine Auge und die große Ausdehnung der Riechgrube, deren vorderes Nasenloch unmittelbar über der Mundöffnung liegt. *Mittleres Bild*: Die Riechgrube (Ausdehnung punktiert angedeutet) mit den beiden Nasenlöchern. *Unteres Bild*: Riechgrube geöffnet, um die zahlreichen, wohl entwickelten Riechfalten zu zeigen.

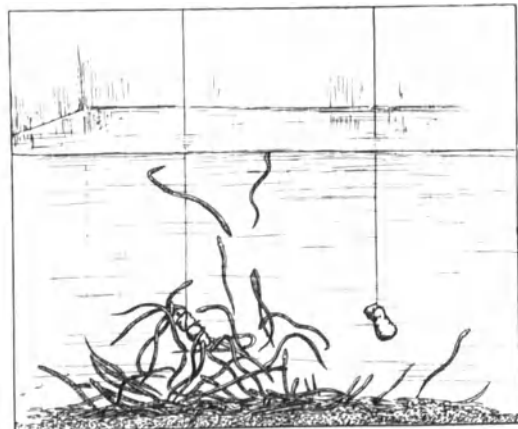


Fig. 8. In ein Becken mit Aalen werden zwei Leinwandsäckchen eingehängt; nur der linke enthält Futter. Nach weniger als 1 Minute sind die Aale aus dem Bodengrund hervorgekommen und haben sich um den Futterbeutel gesammelt (nach HESS).

Fleischbrei enthält, so geraten die Tiere, die im Bodengrund verborgen waren, nach wenigen Sekunden in lebhaftere Aufregung. Nach kaum 1 Minute zeigt sich ein Bild, wie es in der Skizze Fig. 8 nach einer Photographie wiedergegeben ist (HESS 1913). Kein hungriger Hecht aber reagiert auf den Geruch unsichtbaren Futters, auch wenn

müssen sich die Schmeckstoffe im Mundspeichel lösen, bevor sie wirksam werden können. Daher ist das Geschmacksorgan an die Mundhöhle gebunden. An den Fischkörper können die Schmeckstoffe, ebenso wie die Riechstoffe, schon aus weiterer Entfernung im Wasser gelöst hergetragen werden, und da ja der ganze Fisch vom

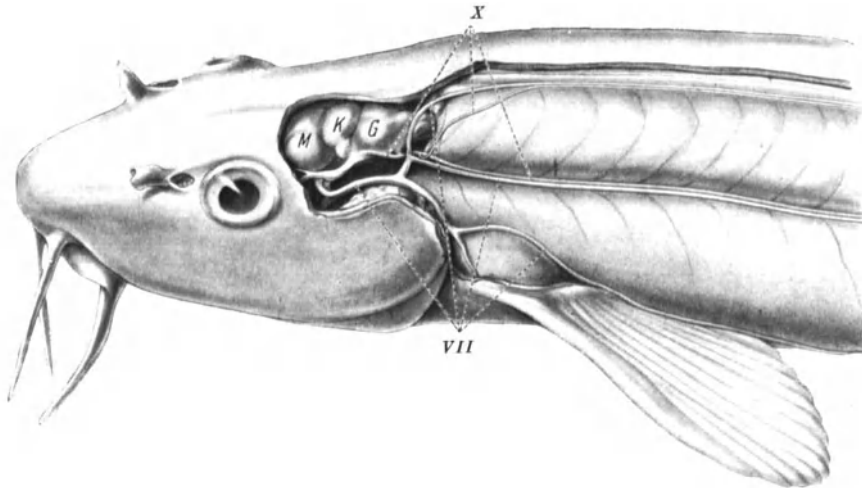


Fig. 9. Innervierung der Geschmacksknospen am Rumpf der Bartgrundel. *G* das stark entwickelte Geschmackszentrum am Vorderende des verlängerten Markes. *VII* die mächtigen *Facialis*äste zur Versorgung der Geschmacksorgane am Rumpf. *X* Nervenäste zur Versorgung anderer Sinnesorgane („Seitenorgane“). *K* Kleinhirn, *M* Mittelhirn (nach DIJKGRAAF).

es sich in seiner unmittelbaren Nähe befindet (WUNDER 1927, PIPPING 1926, 1927).

Daß auch bei den Fischen Geruch und Geschmack verschiedene Aufgaben haben, wird durch einen alten Versuch v. UEXKÜLLS (1895) belegt. Katzenhaie, denen man eine tote Sardine ins Becken wirft, beginnen bald zu suchen, und sie finden sie mit Hilfe ihres Geruchsinnens; war die Sardine in Chinipulver geknetet, so wird sie eben-

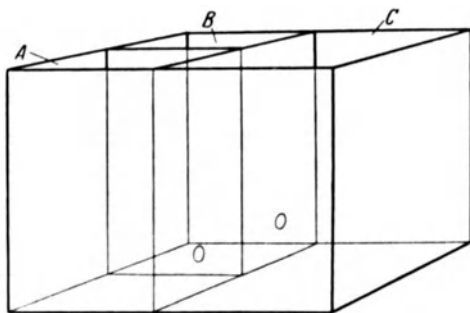


Fig. 10. Versuchsbecken zur Prüfung auf Artduft, vgl. Text (nach WREDE).

so eifrig gesucht und gepackt, aber wieder ausgespuckt. Die Sonderung in chemisches Nah- und Fernsinnesorgan wird aber bei manchen Fischen dadurch verwischt, daß hier dem Geschmacksorgan Möglichkeiten der Entfaltung gegeben sind, die bei Landwirbeltieren nicht in Frage kommen. Bei diesen

Wasser umspült ist, besteht keine Notwendigkeit, daß sich der Sitz des Geschmacksinnens auf das Innere der Mundhöhle beschränkt. Tatsächlich findet man seine Endorgane auch auf den Lippen und in der Kopfhaut; wo Bartfäden vorhanden sind, erscheinen sie mit Geschmacksknospen übersät; ja beim Zwergwels (*Amiurus nebulosus* RAF.) und bei der Bartgrundel (*Nemachilus barbatula* L.) verbreiten sie sich über den ganzen Körper bis zur Schwanzflosse. Mächtig entwickelte Äste des *N. facialis* versorgen hier

die Geschmacksorgane des Rumpfes, eine Auftreibung am Vorderende des verlängerten Markes deutet schon äußerlich auf die starke Entwicklung des Geschmackszentrums hin (Fig. 9). Welse (HERRICK 1904, PARKER 1912) und Bartgrundeln (DIJKGRAAF 1933, S. 208) können Schmeckstoffe an beliebigen Stellen ihres Körpers wahrnehmen und richtig lokalisieren. Bei der Elritze, bei der das Geschmacksorgan bei weitem nicht diese Entfaltung erfahren hat, fand KRINNER (1934) durch Dressurversuche, daß die Empfindlichkeit für den Geschmack des Rohrzuckers die unsere etwa um das 100fache übertrifft. Die Leistungsfähigkeit einer Bartgrundel harrt noch der Untersuchung. Doch ist klar, daß das Geschmacksorgan bei Fischen durch die Empfindlichkeit und Lage seiner Organe für das Aufsuchen der Nahrung eine alarmierende und lokalisierende Bedeutung gewinnen kann, die ihm bei landbewohnenden Wirbeltieren völlig fremd ist. Sein Aufgabenbereich rückt dadurch an den des Geruchsinnens näher heran.

Was über die biologische Bedeutung des Geruchsinnens bei Fischen bisher bekannt ist, beschränkt sich auf die Funktion der Nahrungssuche. Es war eine naheliegende Vermutung, daß bei gesellig lebenden Fischen, wie es unsere Elritzen (*Phoxinus laevis* Ag.) sind, auch der Zusammenhalt im Schwarm eine geruchliche Grundlage haben könnte. An Elritzen, die man aus dem Wasser nimmt, ist ein artgenerer, individuell verschieden

starker Duft ohne weiteres für uns erkennbar. Frl. WREDE (1932) ist auf meine Veranlassung der Frage nachgegangen, ob die Elritzen selbst auf diesen Artduft achten. Ein Versuchsbecken (Fig. 10) war durch Glasplatten in 3 Abteilungen *A*, *B* und *C* geteilt. Die beiden kleineren Abteilungen standen je durch ein Loch mit *C* in Verbindung. Nun wurden z. B. in die Abteilung *A* einige Elritzen gesetzt und nach 1 Stunde wieder entfernt. Die Verbindungslöcher waren so lange durch Glasplatten verschlossen. Sodann brachte Frl. WREDE eine blinde Elritze in die Abteilung *C* und gab die Löcher frei. Wenn der herumschwimmende Fisch an das Loch bei der Abteilung *B* kam, blieb er teilnahmslos, während er vor dem Loch bei *A* ein lebhaftes Interesse bekundete. In den gesamten Versuchen schwamm er mehr als doppelt so oft durch das Loch in die Abteilung, die mit Artgenossen besetzt gewesen war, als in die andere mit reinem Wasser. War es ein unruhiges Tier, so kam es in jener Abteilung oft zur Ruhe — als wenn es sich im Duftkreis von seinesgleichen wohlfühlte. Versuche darüber, ob es sich wirklich um geruchliche oder um geschmackliche Reize handelt, blieben damals unvollständig. Doch wurde diese Frage kürzlich durch HANS GÖZ geklärt im Rahmen einer Arbeit, von deren Ergebnissen ich nun einiges berichten will¹⁾.

Es sollte entschieden werden, ob Elritzen die Artgenossen und andere Fische geruchlich erkennen und voneinander unterscheiden. Die angewandte Methode war die Differenzdressur. Die von Göz getroffene Anordnung ist, leicht schematisiert, in Fig 11 dargestellt. Der Versuchsfisch, eine geblendete Elritze²⁾, befindet sich in einem Becken mit Wasserdurchlauf. Zur Dressur auf den Duft z. B. eines Zwergwelses wird ein solcher in einem Behälter über dem Versuchsbecken aufgestellt und der Zufluß, ohne daß seine Stärke geändert wird, durch Umlegen der Glasröhre von *R* nach *R'* durch das Welsbecken geleitet. Sobald die herumschwimmende Elritze zufällig an den Wassereinflaß, also unter die Mündung des Trichters *T* kommt, erhält sie mit einem Futterstab ein Stückchen Fleisch. Dies wird täglich mehrmals wiederholt. Schon nach wenigen Dressurfütterungen ist es so weit, daß die Elritze beim Einleiten von Zwergwels-Wasser in auffälliger Weise durch Schnappen am Boden nach dem gewohnten Futter zu suchen beginnt, sobald sie in den Bereich des Trichters kommt. Sie zeigt uns dadurch, daß sie den Zwergwels-Geruch bemerkt hat. Bringt man nun in zwischengeschalteten Versuchen statt des Zwergwelses einen anderen Fisch, etwa einen Artgenossen, also eine andere Elritze als Duftspender über das Becken, so gibt der Versuchsfisch auch in diesem Falle zunächst die Futterreaktion. Er bekommt aber

¹⁾ Die Arbeit von Göz wird in der Z. vergl. Physiol. erscheinen.

²⁾ Die Blendung ist notwendig, um Fehlerquellen auf dem Wege optischer Eindrücke auszuschalten. Sie wird in Urethannarkose ausgeführt.

kein Futter, vielmehr wird er durch einen leichten Schlag mit einem Glasstab gestraft. Nach längerer Fortsetzung dieser Differenzdressur, die einige Geduld erfordert, erreicht man, daß die blinde Elritze nur mehr auf das Zwergwels-Wasser und nicht auf das Elritzen-Wasser reagiert. In einer Versuchsreihe, die ich als Beispiel herausgreife, hat das Tier, nachdem die Dressur einmal saß, in 25 Versuchen mit Zwergwels-Wasser ohne Ausnahme die Futterreaktion, in 25 regellos zwischen-

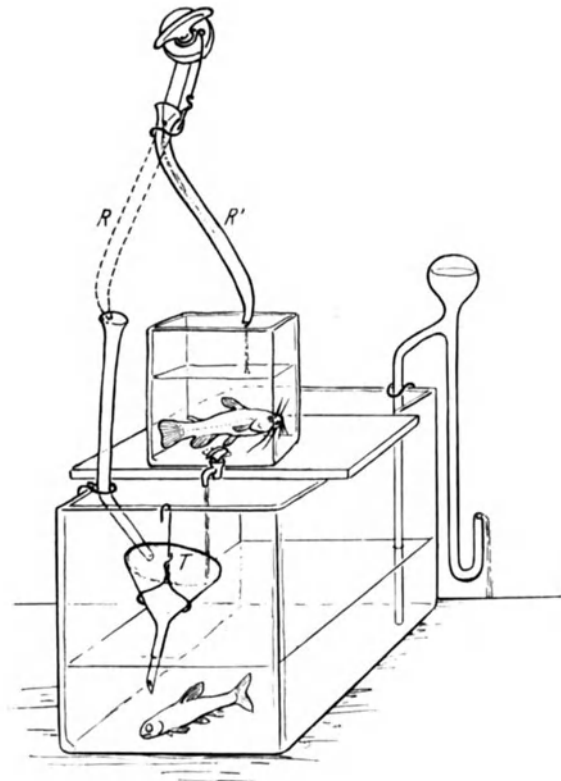





















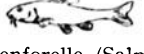
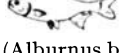



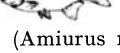
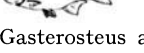
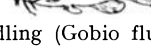
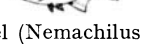




Fig. 11. Anordnung zur Dressur einer blinden Elritze (unteres Becken) auf den Duft eines Zwergwelses (im oberen Becken). *T* Trichter für den Wassereinflaß. *R* Regulärer Wasserzulauf, *R'* Zulauf während der Dressur (nach Göz).

geschalteten Versuchen mit Elritzen-Wasser 23 mal keine Reaktion, nur 2 mal (fehlerhaft) die Futterreaktion gegeben (Tabelle 1, Versuchsreihe 1). Das Ergebnis wird nicht beeinträchtigt, wenn man als Duftspender abwechselnd andere Individuen der gleichen Art benützt. Es handelt sich also um das Erkennen eines Artgeruches.

Dasselbe Versuchstier wurde sodann von Zwergwelsduft auf den Duft einer Laubenart (*Alburnus bipunctatus* L.) umdressiert. Spender des Gegenduftes blieb vorerst der Artgenosse, eine Elritze. Die Versuchsreihe verlief fehlerlos (Tabelle 1, Reihe 2). Als sodann die Unterscheidung zweier Laubenarten, also zweier Vertreter der gleichen Gattung (*Alburnus bipunctatus* L. und

Tabelle 1. Übersicht der gesamten Versuchsreihen an der Elritze *Phox 18* zur Prüfung ihrer Fähigkeit, verschiedene Fischarten geruchlich zu unterscheiden.

Versuchsreihe	Spender des Dressurduftes	Spender des Gegenduftes	Zahl der Versuche mit			
			dem Dressurduft	positiven Reaktionen	dem Gegenduft	positiven Reaktionen (Fehler!)
1	Zwergwels (<i>Amiurus nebulosus</i>) 	Elritze (<i>Phoxinus laevis</i>) 	25	25	23	2
2	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Elritze (<i>Phoxinus laevis</i>) 	13	13	12	0
3	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Uckelei (<i>Alburnus lucidus</i>) 	24	21	24	19
4	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Flußbarsch (<i>Perca fluviatilis</i>) 	33	32	18	2
5	Zwergwels (<i>Amiurus nebulosus</i>) 	Flußbarsch (<i>Perca fluviatilis</i>) 	7	7	4	0
6	Zwergwels (<i>Amiurus nebulosus</i>) 	Äsche (<i>Thymallus vulgaris</i>) 	18	10	13	8
7	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Äsche (<i>Thymallus vulgaris</i>) 	15	14	9	2
8	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Koppe (<i>Cottus gobio</i>) 	11	11	8	0
9	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Bartgrundel (<i>Nemachilus barbatula</i>) 	6	6	4	0
10	Gründling (<i>Gobio fluviatilis</i>) 	Regenbogenforelle (<i>Salmo shasta</i>) 	19	19	9	0
11	Zwergwels (<i>Amiurus nebulosus</i>) 	Regenbogenforelle (<i>Salmo shasta</i>) 	11	11	7	0
12	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Regenbogenforelle (<i>Salmo shasta</i>) 	11	11	3	0
13	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Uckelei (<i>Alburnus lucidus</i>) 	33	32	15	5
14	Schneider (<i>Alburnus bipunctatus</i>) 	Stichling (<i>Gasterosteus aculeatus</i>) 	23	22	6	1
15	Zwergwels (<i>Amiurus nebulosus</i>) 	Stichling (<i>Gasterosteus aculeatus</i>) 	13	12	4	0
16	Gründling (<i>Gobio fluviatilis</i>) 	Bartgrundel (<i>Nemachilus barbatula</i>) 	33	31	15	3

A. lucidus HECK.) verlangt wurde, blieb ein Erfolg aus (Reihe 3). Doch hat dasselbe Versuchstier später (Reihe 13 in Tabelle 1) auch diese Unterscheidung geleistet. Daß sie ihm schwer fiel, wurde durch sein zögerndes Verhalten noch deutlicher verraten als durch die zahlenmäßigen Ergebnisse. Während in den anderen Versuchen meist nach wenigen Sekunden die Entscheidung zwischen positiver oder negativer Reaktion gefallen war, blieb der Fisch jetzt oft bis zu 1 Minute unschlüssig. — *Im ganzen hat diese begabte Elritze in 16 Versuchsreihen, deren Durchführung viele Monate beansprucht hat, von 15 verschiedenen Fischpaaren 14 einwandfrei zu unterscheiden gelernt* (vgl. Tabelle 1)¹⁾. Stichproben mit mehreren anderen Versuchsfischen haben gezeigt, daß diese Erfolge keineswegs als Ausnahmeleistungen zu werten sind.

Nach Ausschaltung des Geruchsinnens (durch beiderseitige Entfernung des Bulbus olfactorius) lernen die Elritzen immer noch, auf die chemischen Reize, die von einem anderen Fisch ausgehen, zu reagieren. Es sind also *Schmeckstoffe* an der Wahrnehmung beteiligt. Eine Differenzdressur zwischen verschiedenen Fischgattungen gelingt aber nicht mehr. *Die Unterscheidung der verschiedenen Arten* ist also eine Leistung des *Geruchsinnens*. Das Mißlingen der Differenzdressur kann nicht etwa einer „Schockwirkung“ im Gefolge der Operation zugeschrieben werden. Die Entfernung des Bulbus olfactorius ist ein leichter Eingriff, und Dressuren auf dem Gebiete des *Geschmacksinnens* (Unterscheidung von Fischgeschmack und Zucker- geschmack) gelingen nachher so gut wie zuvor.

Die unerwarteten Erfolge ermutigten zu gesteigerten Anforderungen. *Vermag die Elritze mit Hilfe des Geruchsinnens ihre Artgenossen auch individuell zu unterscheiden?* Bei einer ersten Versuchsreihe wurden als Spender für den Dressurduft und für den Gegenduft zwei männliche Elritzen gleicher Herkunft und gleichen Aussehens herangezogen. Ein Erfolg blieb zunächst aus. Der Versuchsfisch gab auch bei der zweiten Elritze die Futterreaktion. Durch das wiederholte Versagen ließ sich Göz zu einer heftigen Strafe mit dem Glasstab verleiten, bis der gejagte Fisch aus dem Becken sprang. Wäre ich dabei gewesen, so hätte ich ein so drakonisches Vorgehen verhindert, denn es führt meist zu einer nachhaltigen Vergrämung. Es ist aber gut, daß ich nicht dabei war, denn das ausnahmsweise dickfellige Versuchstier schien eine solche Behandlung zu brauchen. Von da ab saß die Dressur. In insgesamt 10 Versuchsreihen mit diesem Fisch *hat sich sodann die Fähigkeit, zwei männliche oder zwei weibliche oder zwei verschiedengeschlechtliche Elritzen geruchlich zu un-*

¹⁾ Die Lauben lernte sie, wie erwähnt, erst in einer zweiten Versuchsreihe (vgl. Reihe 3 und 13 in Tabelle 1); ein unbefriedigendes Ergebnis hatte auch die Reihe 6, doch lag dies wahrscheinlich nur daran, daß sie wegen Materialmangel vorzeitig abgebrochen werden mußte.

terscheiden, ausnahmslos bestätigt. Auch wenn eine *andere Fischgattung* als Duftspender diente, wurde die Aufgabe gelöst: die Elritze lernte es — wenn auch schwerer — zwischen 2 Laubenindividuen (*Alburnus bipunctatus*), einem Männchen und einem Weibchen, mit der Nase die Differentialdiagnose zu stellen. Daß auch *Lurche*, also Vertreter einer anderen Tierklasse, für die Elritze einen erkennbaren und charakteristischen Duft besitzen, wird durch die gelungene Differenzdressur zwischen Wasserfrosch und Grasfrosch und zwischen Bergmolch und Feuersalamander belegt. Dagegen konnten die Elritzen verschiedene Individuen des Grasfrosches oder verschiedene Individuen des Bergmolches geruchlich nicht auseinanderhalten. Mit einer solchen Forderung, deren Erfüllung für sie ja auch biologisch bedeutungslos wäre, ist die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit anscheinend überschritten.

Als Göz im Verlauf seiner Versuche auch einmal einen Hecht als Duftspender verwendete, erlebte er eine Überraschung. *Die blinde Elritze reagierte auf den Hechtgeruch primär durch Flucht- bewegungen.* Auf heftiges Herumschießen im Aquarium folgte ein Absinken und Stillhalten, ein Starrezustand, der stundenlang anhalten konnte. Von 52 in einer Versuchsreihe geprüften Elritzen zeigten 46 entweder diese Schreckreaktion oder (noch häufiger) sie reagierten sogleich durch Stillhalten und Absinken. 11 Elritzen aus dieser und einer anderen Versuchsreihe, die auf den Hechtduft nicht angesprochen hatten, wurden einem hungrigen Hecht beigelegt und erlebten es, daß zwei von ihren Genossen geschnappt wurden; hernach wieder geprüft, zeigte die Mehrzahl der Überlebenden auf Hechtgeruch die Schreckreaktion. Ein Kontrollversuch lehrte, daß der Aufenthalt der Elritzen in Gesellschaft eines *satten* Hechtes ihr Verhalten nicht verändert. Erst die Erfahrung mit dem *räubernden* Fisch veranlaßt die psychologische Umstellung. Das geschilderte Benehmen, das sie primär oder auf Grund einer üblen Erfahrung an den Tag legen, ist im Sinne der Arterhaltung in hohem Grade zweckmäßig — nicht nur die eilige Flucht, sondern ebenso sehr das völlige Stillhalten; denn der Hecht läßt sich beim Erkennen und Packen seiner Nahrung nicht nur durchs Auge, sondern auch sehr wesentlich durch die Seitenorgane leiten, und diese sprechen auf die vom schwimmenden Fisch erzeugten Wasserbewegungen an (vgl. WUNDER 1927, DIJKGRAAF 1933). Es ist aber bemerkenswert, daß *einzelngehaltene, blinde* Elritzen diese Reaktion auf Hechtduft am deutlichsten zeigen; *sehende, einzeln gehaltene* Tiere reagieren nicht so heftig, *im Schwarm gehaltene sehende* Elritzen in der Regel überhaupt nicht. Hier macht sich wohl die Kontrolle der Vorgänge durch das Auge und die beruhigende Wirkung des geselligen Lebens geltend.

Der Geruchssinn kann also den Fischen nicht nur bei der Nahrungssuche, nicht nur beim Erkennen und Unterscheiden der Artgenossen und entfernteren

Verwandten dienlich sein, sondern auch als Warner vor dem Feinde. Hiermit komme ich auf Versuche von anderer Art, die mich seit mehreren Jahren beschäftigen und ihren Ausgangspunkt in einer Gelegenheitsbeobachtung hatten¹⁾. An einer seichten Uferstelle des Wolfgangsees prüfte ich damals einen Elritzenschwarm, der durch wiederholte Fütterung zutraulich gemacht war, auf die Fähigkeit der Fische, die Schallrichtung zu erkennen. Bei diesen Experimenten sah ich zweimal, wie der Schwarm nach Verletzung eines seiner Mitglieder stark verschreckt wurde. Eigens darauf gerichtete Beobachtungen in folgenden Sommern bestätigten die Tatsache. Die nächstliegende Vermutung, daß der verletzte Fisch die Schwarmgenossen durch sein Verhalten oder durch Lautäußerungen warnt, bewahrheitete sich nicht. Denn auch mit einer getöteten verletzten Elritze läßt sich dieselbe

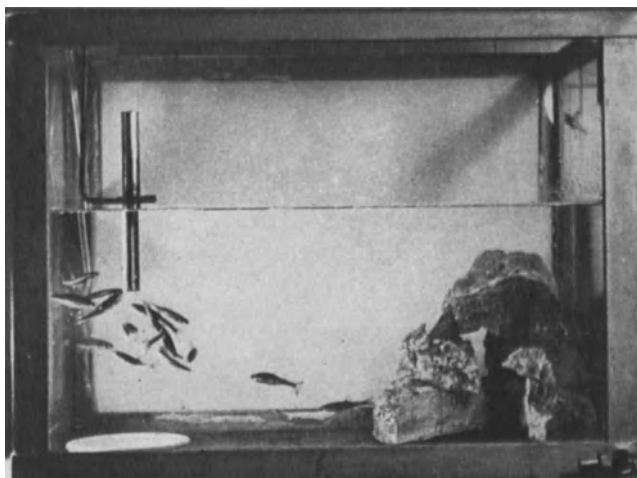


Fig. 12. Versuchsbecken mit einem Elritzenschwarm. Links das Rohr, durch welches das Futter eingebracht wird, rechts hinten das aus Steinen errichtete Versteck. Der Schwarm war mit zerkleinerter *Barschhaut* gefüttert worden. Das Bild zeigt, wie er sich 1 Minute später so vertraulich wie sonst sein übliches Futter (zerkleinerte Regenwürmer) vom Rohr holt (aus einer Filmaufnahme).

Wirkung erzielen. Es ist auch nicht der *Anblick* des verletzten oder toten Kameraden, der die anderen in die Flucht jagt. Denn ein bis zur Unkenntlichkeit zerstückelter Fisch, ja der filtrierte Extrakt eines solchen löst denselben Schrecken aus. Er ist offensichtlich einem chemischen Reizstoff zuzuschreiben. Versuche mit Auszügen aus den verschiedensten Organen ergaben, daß er seinen Sitz, wenn auch vielleicht nicht ausschließlich, so doch vorwiegend in der *Haut* der Elritze hat. Ein verletzter oder zerstückelter Barsch oder der Hautextrakt eines solchen blieb dagegen ohne

¹⁾ Darüber habe ich in dieser Z. 1938, 601 nach dem damaligen Stand der Arbeit bereits berichtet. Ich wiederhole davon nur, was zum Verständnis des Folgenden notwendig ist und verweise im übrigen auf jenen Aufsatz.

jede erkennbare Wirkung. Es wird demnach *aus der verletzten Haut der Elritze ein Schreckstoff* frei, der die Artgenossen warnt und zur Flucht veranlaßt. Wie sie sich dabei benehmen, sei hier noch einmal geschildert:

Ein zutraulicher Schwarm ist gleich zur Stelle, wenn man mit dem Boot angefahren kommt. Wird das Futter (zerkleinerte Regenwürmer oder Fleisch) an dem gewohnten Platz ins Wasser gebracht, so fällt er sofort darüber her. Die Fische lassen sich weder durch lebhaftere Bewegungen noch durch geräuschvolles Herumpoltern im Boot verschrecken. Nun werfen wir ihnen z. B. eine tote, verletzte Elritze oder die zerstückelte Haut einer solchen vor. Sie knabbern daran; „es dauert oft mehrere Sekunden, bisweilen $\frac{1}{2}$ —1 Minute, ehe sie etwas merken. Dann ist es, als würde ihnen etwas Gräßliches aufdämmern. Sie ziehen sich von der Beute zurück, einzelne unter ihnen scheinen heftig zu erschrecken, es gibt ein Durcheinanderhuschen und kopfloses Herumfahren, oft drängt sich dann der ganze Schwarm abseits zu einem dichten Haufen zusammen, und nun genügt das geringste Vorkommnis: ein leiser Tritt im Boot, eine Handbewegung, das Zuschlagen einer Türe in einem entfernten Hause — und der ganze Schwarm stiebt davon und entschwindet im tieferen Wasser. Auch ohne erkennbaren Anlaß zieht er nach kurzer Zeit geschlossen ab und kommt außer Sicht. Meist kehrt er nach einigen Minuten wieder, aber nur um den Futterplatz in respektvollem Abstand von mehreren Metern scheu zu umkreisen. Nach einer Weile sieht man einzelne Individuen aus dem Schwarm gegen den Futterplatz vorstoßen, aber die anderen folgen nicht nach, und so kehren sie selbst schleunigst wieder um. Wenn sich schließlich einige bis an den Futterteller wagen, rafften sie rasch ein paar Bissen auf und flitzen wieder davon wie von bösen Geistern verfolgt. . . Dieses schreckhafte Benehmen kann (ohne neuerlichen Anlaß) stundenlang, ja in gemäßigter Form mehrere Tage anhalten.“¹⁾

Eine genauere Analyse der Erscheinung im freien See war mit Schwierigkeiten verbunden; deren größte war, daß ein verschreckter Schwarm für weitere Versuche nicht mehr gut brauchbar ist. So mußte ich bald stundenweit das Ufer absuchen, um einen neuen, geeigneten Schwarm zu finden. Darum verlegte ich die Fortsetzung der Versuche größtenteils ins Laboratorium. Auch im Aquarium wird ein Elritzenschwarm meist in wenigen Tagen zahm und steht dann in Erwartung des Fleisches zutraulich an der Futterstelle. Gibt man den Fischen zerkleinerte *Barschhaut* zu fressen und kurz darauf ihr übliches Futter, so holen sie sich dieses, so wie sonst, ohne Scheu vom Futterrohr (Fig. 12).

¹⁾ v. FRISCH 1938, 602.

Bietet man aber zerkleinerte Elritzenhaut oder gießt man durch das Futterrohr Extrakt von Elritzenhaut¹⁾, so spielt sich alles, von der sich steigenden Erregung bis zur Flucht, die hier in das aus Steinen errichtete Versteck führt, mit der gleichen Deutlichkeit und in derselben Art ab wie im freien Gewässer (Fig. 13). Nachher braucht man die Tiere nur zu entfernen, das Becken gründlich zu säubern und neu zu beschicken, um die Versuche fortzusetzen²⁾. Von den Ergebnissen will ich, ohne auf Einzelheiten einzugehen, das Wesentliche berichten³⁾.

Die bisher mitgeteilten Tatsachen weisen auf einen chemischen Reizstoff hin, der von der verletzten Elritzenhaut ausgeht. Doch hatte ich sowohl im See wie im Aquarium beobachtet, daß eine tote Elritze auch bei unverletzter Haut den Schwarm in gleicher Weise verschrecken kann. Es war nicht geklärt, ob auch in diesem Falle eine chemische Wirkung vorliegt oder ob der *Anblick* des toten Artgenossen seine Kameraden in die Flucht treibt. Das letztere schien glaubhafter. Doch tauchten bald Zweifel auf. Wenn ich eine Elritze für 20 Minuten in eine 5proz. Urethanlösung brachte, so war sie tot. Ließ ich einen derart getöteten Fisch, in 2 Schlingen aus dünnen Darmsaiten befestigt, im Versuchsbecken reglos am Futterplatz schweben, so ergriff der zutrauliche Schwarm unter allen Zeichen eines rasch sich entwickelnden panischen Schreckens, wie es oben geschildert wurde, die Flucht ins Versteck (6 Versuche). Beließ ich aber eine Elritze nur 1—2 Minuten in der Urethanlösung, bis die Atembewegungen stillstanden, so blieb dieser tief betäubte, aber noch lebende Fisch⁴⁾ inmitten des Schwarmes ohne jede Wirkung (3 Versuche). Auch eine tote Elritze machte auf die anderen gar keinen Eindruck, wenn ich sie in einer Kuvette aus planparallelen Gläsern am Futterplatz einhängte, so daß sie gut sichtbar war, ohne daß sich aber chemische Reizstoffe geltend machen konnten (4 Versuche). *Daß tatsächlich der Schrecken nicht auf optischem, sondern auf chemischem Wege ausgelöst wurde*, hat sich in weiteren Versuchsreihen überzeugend bestätigt. Ich brachte nicht mehr die mit Urethan betäubten oder getöteten Fische selbst in das Versuchsbecken, sondern ließ nur 100 ccm von dem Wasser einfließen, in dem ich sie

¹⁾ Zum Eingießen von Extrakten und anderen Lösungen wurde ein winkelig abgebogenes Glasrohr in das Futterrohr eingesetzt.

²⁾ Ein Beispiel für die Protokollführung, die bei den Beckenversuchen viel genauer gehandhabt werden kann als bei Freilandversuchen, findet sich in meinem Aufsatz von 1938, 603, 604.

³⁾ Die ausführliche Arbeit wird in der Z. vergl. Physiol. erscheinen.

⁴⁾ In fließendes Wasser versetzt, erholte er sich wieder.

nach der Urethanbehandlung für $\frac{1}{4}$ Stunde hatte liegen lassen. Wasser aus einem Gefäß, in dem einige *lebende* Elritzen $\frac{1}{4}$ Stunde herumgeschwommen waren, vermochte — wie zu erwarten war — die Zutraulichkeit des Schwarmes in keiner Weise zu beeinträchtigen (7 Versuche). Ebenso wirkungslos blieb das Wasser, in dem einige mit Urethan *betäubte* Elritzen (1—2 Minuten in 5% Urethan) $\frac{1}{4}$ Stunde gelegen hatten (6 Versuche). Das Wasser aber, in dem dieselben Fische *getötet* (nach 12—20 Minuten langem Aufenthalt in 5% Urethan) $\frac{1}{4}$ Stunde gelegen hatten, löste den gleichen Schrecken aus, wie die toten Tiere selbst (6 Versuche).

Es war denkbar, daß die 5proz. Urethanlösung bei längerer Einwirkung auf osmotischem Wege die Haut angreift und dadurch den Schreckstoff frei macht. Ich suchte darum nach einem anderen

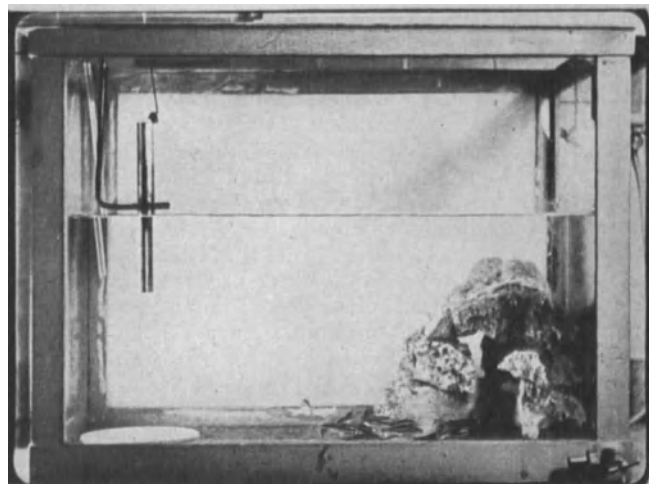


Fig. 13. Das Versuchsbecken mit demselben Schwarm etwa 1 Minute nach Fütterung mit zerkleinerter Elritzenhaut. Der Schwarm hat sich erst an den Boden gedrückt und ist jetzt im Begriff, eilig ins Versteck zu flüchten (aus derselben Filmaufnahme wie Fig. 12).

Mittel, die Fische ohne Verletzung der Haut reizlos abzutöten. Durchleiten von Stickstoff durch ihr Atemwasser führt zu einem heftigen Exzitationsstadium; dieses läßt sich vermeiden, wenn man dem Wasser die harmlose Menge von $\frac{1}{4}$ % Urethan zusetzt und so eine leichte Narkose herbeiführt. Die Atmung stand nach etwa $\frac{1}{2}$ Stunde still. Derart vorbehandelte Elritzen wurden wieder an Fadenschlingen in das Versuchsbecken gebracht. Waren sie $\frac{1}{3}$, 1 oder 2 Stunden im Stickstoffwasser gewesen, so reagierte der Schwarm nicht auf sie. Nach 3—5stündigem Aufenthalt im Stickstoffwasser waren die Ergebnisse wechselnd, nach 7stündigem Aufenthalt lösten sie immer heftigen Schrecken aus. Kontrollversuche ergaben, daß sie zwar schon nach 1stündigem Verweilen im Stickstoffwasser nicht mehr zum Leben erwachen, daß aber ihr Blutkreislauf erst nach 2—3 Stunden zum Stillstand kommt (in 5% Urethanlösung schon

nach 10—20 Minuten). Der Stillstand des Kreislaufs wird das Absterben der Haut zur raschen Folge haben. Ich deute diese Befunde dahin, daß aus der abgestorbenen Haut auch ohne äußere Verletzung der Schreckstoff frei wird und sich dem umgebenden Wasser mitteilt. Die starke 5proz. Urethanlösung mag auf osmotischem Wege diesen Vorgang noch beschleunigen.

Unter natürlichen Verhältnissen wird einem Freiwerden des Schreckstoffes durch mechanische Hautverletzungen die größere biologische Bedeutung zukommen. Um diese richtig beurteilen zu können, ist es wichtig zu wissen, in welcher Verdünnung der Stoff noch wirksam ist. Ich habe dies folgendermaßen geprüft: 0,2 g von der abgezogenen Haut einer eben getöteten Elritze werden in stets gleicher Weise mit der Schere zerkleinert und in einem Becherglas mit 200 ccm Leitungswasser von Zimmertemperatur verteilt, alle 5 Minuten geschwenkt und nach ½ Stunde filtriert. Von dem so hergestellten und hernach in verschiedenem Maße verdünnten Hautextrakt werden bei einem Versuch 100 ccm durch das Futterrohr (vgl. Fig. 12) in das Versuchsbecken eingegossen. Eine Minute nach Beginn des Eingießens wird Futter eingebracht und das Verhalten der Fische beobachtet. Ohne daß ich an dieser Stelle auf die große individuelle Verschiedenheit der Schwärme eingehen will¹⁾, sei nur hervorgehoben, daß gut reagierende Elritzen durch den Hautextrakt noch bei einer Verdünnung von 1 : 200, manchmal auch noch bei einer Verdünnung von 1 : 500 verschreckt werden. Anschaulicher ausgedrückt, bedeutet das: wenn ich 0,2 g Haut — das entspricht der Körperhaut einer etwa 7 cm langen, also mittelgroßen Elritze — in kleine Stücke schneide und in einem Wasserglas voll Wasser ½ Stunde liegen lasse, dann filtriere und 5 Tropfen des Filtrates einem Weinglas voll Wasser beimische, so kann ich mit dieser Menge des verdünnten Extraktes manchmal noch eine starke Wirkung auslösen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Mischung beim Eingießen in das große Versuchsbecken nochmals, leider in unberechenbarer Weise, sehr stark verdünnt wird.

Der niedere Schwellenwert legt die Vermutung nahe, daß der chemische Reizstoff auf das Geruchsorgan wirkt. Man kann den Geruchsinn durch beiderseitige Zerstörung des Riechnerven und Entfernung des Bulbus olfactorius leicht und zuverlässig ausschalten, ohne den Geschmacksinn zu schädigen. Aus so operierten Elritzen zusammengesetzte Schwärme reagieren auf den Schreckstoff entweder überhaupt nicht oder nur durch eine rasch vorübergehende Verschüchterung. Ich habe davon schon 1938 berichtet und nichts Neues hinzuzufügen. „Demnach ist der Schrecken der normalen Elritzen in erster Linie durch eine geruchliche Wahrnehmung bedingt. Jedoch scheint

der Geschmacksinn manchmal in geringem Maße beteiligt zu sein¹⁾.“

Für die biologische Beurteilung des Schreckstoffes und der durch ihn ausgelösten Wirkung war es weiter wichtig, die Verbreitung dieser merkwürdigen Erscheinung in der Fischwelt kennenzulernen. Dabei handelt es sich erstens um die Frage, ob ein für Elritzen wirksamer Schreckstoff nur von der Haut ihrer Artgenossen oder auch von der Haut anderer Fischarten entwickelt wird, und zweitens um die Frage, ob die Schreckreaktion eine Sonderheit der Elritzen ist oder ob sie auch bei anderen Fischen vorkommt.

Zur ersten Frage konnte ich schon 1938 mitteilen, daß der Verwandtschaftsgrad von Bedeutung ist. Die Haut von 8 verschiedenen Fischen, die zu anderen Familien gehörten als die Elritze, hatte sich als unwirksam erwiesen; 4 von 8 damals geprüften Arten, die, wie die Elritze selbst, zur Familie der Cypriniden (Karpfenfische) gehörten, waren dagegen deutlich wirksam: ich hatte bei meinen Elritzenschwärmen durch Verfütterung von zerkleinerter Haut oder durch Eingießen des (unverdünnten) Hautextraktes von jenen 4 Arten die Schreckreaktion auslösen können. Die Methode war aber in doppelter Hinsicht unbefriedigend. Wenn der Schwarm auf die zerkleinerte Haut einer anderen Art reagierte, so blieb der Wirkungsgrad im Vergleich zur Haut von Artgenossen unbekannt. Und wenn er nicht reagierte, so blieb die Frage offen, ob der Schwarm nicht verhältnismäßig stumpf war und ob nicht empfindlichere Elritzen auf jene Haut doch reagiert hätten. Ich habe darum diese Versuche in großem Umfange neu aufgenommen und war bestrebt, zu einem quantitativen Maße nicht nur für die Empfindlichkeit der jeweils verwendeten Schwärme, sondern auch für den relativen Wirkungsgrad der anderen Fischhäute zu gelangen. Man muß sich nur darüber klar sein, daß diese „quantitativen“ Ergebnisse nicht den Ansprüchen standhalten können, die der Chemiker mit diesem Begriff verbindet. Der Ausfall der Reaktion ist in beträchtlichem Ausmaße von äußeren Faktoren und von der individuellen Veranlagung des Schwarmes abhängig, daher so variabel, daß nur Näherungswerte erzielt werden können²⁾. Die Methode sei an einem Beispiel erläutert.

Es soll die Haut des Moderlieschens (*Leucaspilus delineaatus* SIEB.) in ihrem Wirkungsgrad mit der Elritzenhaut verglichen werden. Wir bereiten aus 0,2 g Moderlieschenhaut und aus 0,2 g Elritzenhaut in genau gleicher Weise einen Extrakt. In einem Vorversuch hat sich gezeigt, daß ein Elritzenschwarm durch 100 ccm unverdünnten Hautextrakt vom Moderlieschen stark verschreckt wird. Ein anderer Schwarm spricht auf 100 ccm Moderlieschen-Hautextrakt in der Verdünnung 1 : 20

¹⁾ Ich habe darüber schon in meiner 1. Mitteilung (1938, 602 und 604) einiges gesagt.

¹⁾ v. FRISCH 1938, 605.

²⁾ Für genaue Angaben muß ich auf die ausführliche Darstellung verweisen.

Tabelle 2. Wirkungsgrad der Haut verschiedener Cypriniden auf Elritzenschwärme, bezogen auf den Wirkungsgrad der Elritzenhaut = 1.

	Hautextrakte von	Zahl der mit diesen Extrakten geprüften Elritzenschwärme	Wirkungsgrad (Näherungswert)	
a) Unterfamilie: Cyprininae	Strömer	Telestes agassizi Heck.	7	I
	Perlfisch	Leuciscus Meidingeri Heck.	3	I
	Schneider	Alburnus bipunctatus L.	3	$\frac{1}{2}$
	Barbe	Barbus fluviatilis Ag.	4	$\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$
	Laube	Alburnus lucidus Heck.	5	$\frac{1}{3}$
	Gründling	Gobio fluviatilis Cuv.	4	$\frac{1}{4}$
	Moderlieschen	Leucaspius delineatus Sieb.	6	$\frac{1}{5}$
	Goldorfe	Idus melanotus Heck.	5	$\frac{1}{5}$
	Nase	Chondrostoma nasus L.	4	$\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$
	Blicke	Blicca bjoerkna L.	5	$\frac{1}{5} - \frac{1}{10}$
	Zärte (Schied)	Abramis vimba L.	4	$\frac{1}{10}$
	Plötze	Leuciscus rutilus L.	5	$\frac{1}{10}$
	Aitel (Döbel)	Squalius cephalus Heck.	9	$\frac{1}{10}$
	Brachsen	Abramis brama L.	9	$\frac{1}{10} - \frac{1}{20}$
	Lederkarpfen	Cyprinus carpio L.	6	$\frac{1}{10} - \frac{1}{20}$
	Karassche	Carassius carassius L.	6	$\frac{1}{10} - \frac{1}{20}$
	Bitterling	Rhodeus amarus Bl.	3	$\frac{1}{40}$
	Goldfisch	Carassius car. auratus L.	4	$\frac{1}{50}$
	Rotfeder	Scardinius erythrophthalmus L.	8	$\frac{1}{50}$
	Schleie	Tinca vulgaris Cuv.	3	$\frac{1}{50} - \frac{1}{100}$
b) Unterfamilie: Cobitidinae	Steinbeißer	Cobitis taenia L.	6	$\frac{1}{2}$
	Bartgrundel	Nemachilus barbatula L.	6	$\frac{1}{5}$
	Schlammbeißer	Misgurnus fossilis L.	3	0

nicht an; durch 100 ccm Elritzen-Hautextrakt in der Verdünnung 1 : 50 wird er deutlich, aber nicht sehr stark verschreckt; wir entnehmen daraus, daß dieser Schwarm verhältnismäßig stumpf ist und gewinnen bereits einen Anhaltspunkt für den gesuchten relativen Wirkungsgrad. In 2 weiteren Versuchen erzielen wir bei diesem Schwarm mit 100 ccm Moderlieschen-Hautextrakt 1 : 10 eine deutliche, mit Elritzen-Hautextrakt 1 : 40 eine noch stärkere Wirkung. Also ist die Elritzenhaut mehr als 4 mal, vermutlich etwa 5 mal so wirksam wie die Haut des Moderlieschens. Dies bestätigt sich an einem anderen Schwarm, bei dem Moderlieschen-Hautextrakt 1 : 20 die gleiche Wirkung auslöst wie Elritzen-Hautextrakt 1 : 100. Wenn wir den Wirkungsgrad der Elritzenhaut = 1 setzen, ist der Wirkungsgrad der Moderlieschenhaut = $\frac{1}{5}$.

In solcher Weise habe ich die Haut von sämtlichen mir erreichbaren Vertretern der Cypriniden vergleichsweise durchgeprüft. Die Ergebnisse sind, nach dem Wirkungsgrad geordnet, in Tabelle 2 zusammengestellt. In den letzten Zeilen (Tabelle 2b) sind einige Cypriniden aufgeführt, die im System wegen mancher Besonderheiten in eine eigene Unterfamilie eingereiht werden. Tabelle 3 bringt alle Versuche mit der Haut von Fischen, die anderen Familien angehören.

Der Überblick lehrt, daß der für Elritzen wirksame Schreckstoff weit, aber nicht allgemein verbreitet ist und daß hierbei zweifellos die Verwandtschaft eine gewisse Rolle spielt: Die Haut der 17 geprüften Fischarten, die nicht zu den Cypriniden gehören, war so gut wie unwirksam (Tabelle 3); wo hier bei unmittelbarer Anwendung von zer-

stückelter Haut oder unverdünntem Extrakt eine Reaktion beobachtet wurde (Huchen, Saibling, Forelle, Kampffisch, Zander), ergab der quantitative Vergleich im Höchsthalle den Wirkungsgrad $\frac{1}{100}$. Dagegen war die Haut der 23 geprüften Familiengenossen (Tabelle 2) mit einer einzigen Ausnahme (Schlammbeißer) wirksam. Der Wirkungsgrad der Elritzenhaut wurde in keinem Falle übertroffen, wohl aber in 2 Fällen nahezu oder völlig erreicht: Der Strömer steht der Elritze auch im System sehr nahe, vom Perlfisch kann man dies wohl nicht behaupten. Auch sonst ist innerhalb der Cypriniden eine gewisse Parallele zwischen Wirkungsgrad und systematischer Verwandtschaft wohl festzustellen, man findet aber auch erhebliche Abweichungen. So ist die Haut des Steinbeißers, der von den Systematikern in eine andere Unterfamilie eingereiht wird, nur um die Hälfte weniger wirksam als die Elritzenhaut, während sich die Haut seines nahen Verwandten, des Schlammbeißers, als ganz wirkungslos erwiesen hat. Leider fehlt eine neuere Bearbeitung des Systems der Cypriniden.

Zur zweiten oben gestellten Frage: ob außer den Elritzen auch andere Fische durch die verletzte Haut von Artgenossen zur Flucht veranlaßt werden, habe ich bisher nur einige Stichproben machen können. Flußbarsche (*Perca fluviatilis* L.) — typische Raubfische — haben in Freilandversuchen mit der größten Gier die zerstückelte Haut von Artgenossen verzehrt, ohne sich dadurch im geringsten vergrämen zu lassen. Dagegen wurden, gleichfalls in Freilandversuchen, zahlreiche Aitel (*Squalius cephalus* Heck.), die durch Fütterung an eine bestimmte Uferstelle gewöhnt

Tabelle 3. Wirkungsgrad der Haut von Vertretern anderer Fischfamilien auf Elritzenschwärme (in den positiven Fällen bezogen auf den Wirkungsgrad der Elritzenhaut = 1).

Familie	Art	Zahl der mit zerkleinerter Haut geprüften Elritzenschwärme	Zahl der mit Hautextrakt geprüften Elritzenschwärme	Wirkungsgrad
Petromyzontidae	Flußneunauge <i>Petromyzon fluviatilis</i> L.	1	1	0
Siluridae	Zwergwels <i>Amiurus nebulosus</i> Raf.	1	—	0
Salmonidae	Bachforelle <i>Salmo fario</i> L.	1	3	$\frac{1}{200}$
	Huchen <i>Salmo hucho</i> L.	3	5	$\frac{1}{100}$
	Bachsaiibling <i>Salmo fontinalis</i> Mitch.	4	8	$\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{200}$
	Regenbogenforelle <i>Salmo irideus</i> Gibb.	1	—	0
	Äsche <i>Thymallus vulgaris</i> Nilss.	1	—	0
Esocidae	Hecht <i>Esox lucius</i> L.	1	—	0
Cyprinodontidae	Schwertfisch <i>Xiphophorus helleri</i> Heck.	1	1	0
Anguillidae	Aal <i>Anguilla vulgaris</i> L.	—	1	0
Gasterosteiformes	Stichling <i>Gasterosteus aculeatus</i> L.	1	1	0
Osphromenidae	Großflosser <i>Macropodus viridiauratus</i> Lacep.	2	1	0
	Kampffisch <i>Betta splendens</i> Reg.	4	5	$\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{200}$
Percidae	Flußbarsch <i>Perca fluviatilis</i> L.	31	24	0
	Zander <i>Lucioperca sandra</i> Cuv.	2	2	$\frac{1}{200}$
Cichlidae	Blattfisch <i>Pterophyllum scalare</i> C. V.	1	1	0
Cottidae	Groppe <i>Cottus gobio</i> L.	1	—	0

waren, durch vorsichtig eingebrachten Hautextrakt von einem Artgenossen derart verschreckt, daß sie auch durch reichlich eingeworfenes Futter in der folgenden Stunde an dieser Uferstelle nicht mehr heranzulocken waren. Auf Extrakt von Barschhaut hatten sie 2 Tage vorher nicht reagiert. In Aquarienversuchen ließen sich auch an Schwärmen von Rotfedern (*Scardinius erythrophthalmus* L.) und Bitterlingen (*Rhodeus amarus* BL.) durch Haut oder Hautextrakt von Artgenossen deutliche Schreckreaktionen auslösen. Aitl (in ihrer Jugend), Rotfedern und Bitterlinge sind gesellig lebende Friedfische. *Es bleibt zu untersuchen, ob ein Schreckstoff der Haut bei schwarmbildenden Friedfischen allgemein verbreitet ist*¹⁾ — wie man aus biologischen Erwägungen annehmen möchte. Hiermit komme ich auf die Bedeutung des Warnstoffes und der von ihm ausgelösten Reaktion im Leben der Fische.

Es war zu vermuten, daß beim Überfall eines Raubfisches auf einen Schwarm der Schreckstoff, der aus der verletzten Haut des Opfers frei wird, die Schwarmgenossen zur rechtzeitigen Flucht veranlassen kann. Es schien nur fraglich, ob die Schreckstoffmenge, die in solchem Falle ins Wasser gelangt, für eine derartige Wirkung ausreichend ist. Um hierfür einen Anhaltspunkt zu gewinnen, habe ich folgenden Versuch ausgeführt: Ein mäßig großer (26 cm langer) Hecht wurde in ein etwa 20 l fassendes Aquarium mit Wasserdurchlauf gesetzt und mehrere Tage nicht gefüttert. In einem anderen, etwa 150 l Wasser enthaltenden Becken befand sich ein zutraulicher Elritzenschwarm. Ich schöpfte aus dem Hechtbecken 100 ccm Wasser und ließ sie durch das Futterrohr bei den Elritzen einfließen. Sie wurden dadurch nicht verschreckt und holten sich bei der an-

¹⁾ Die Frage wird zur Zeit in unserem Institut verfolgt.

schließenden Fütterung sofort die zerkleinerten Regenwürmer. 20 Minuten später ließ ich abermals 100 ccm Wasser aus dem Aquarium des Hechtes einfließen; dieser war aber inzwischen mit 2 Elritzen gefüttert worden. Auch diesmal kam der Schwarm an das Regenwurmfutter, aber es war noch keine Minute verstrichen, als sich die Fische zum Versteck zurückzogen und mehrmals schreckhaft durcheinanderfuhren. Solange die Beobachtung währte (10 Minuten), wagte sich keiner mehr an den Futterplatz. Von 3 weiteren entsprechenden Versuchen fielen noch 2 positiv aus, d. h. das vor der Fütterung des Hechtes aus seinem Becken geschöpfte Wasser war unwirksam, während es nach Verfütterung auch nur einer Elritze einen zutraulichen Schwarm ausgiebig verschreckte. In einem Falle hat der Hecht die verschluckte Elritze später wieder ausgewürgt, ein andermal habe ich den Hecht getötet und seine Beute aus dem Magen herausgeholt; beide Fische zeigten einige mehrere Millimeter lange Rißwunden und überdies einige stichförmige Hautverletzungen durch die Hechtzähne. Mit diesen Versuchen scheint mir erwiesen, daß die beim Fassen und Verschlingen der Beute bewirkten Hautverletzungen genügend Schreckstoff freimachen, um bei den Elritzen der Umgebung eine Fluchtreaktion auszulösen.

Göz hatte beobachtet, daß einzeln gehaltene Elritzen schon auf Hechtgeruch allein durch Flucht oder Stillhalten reagieren. Wenn sie sich im Schwarm anders verhielten, so war doch anzunehmen, daß sie den Hechtgeruch bemerkten und vielleicht, äußerlich nicht erkennbar, in einen Zustand gesteigerter Reaktionsbereitschaft geraten konnten. Dies hat sich in weiteren Versuchsreihen bewahrheitet. Ich ließ in das Schwarmbecken Elritzenhautextrakt einfließen, der so stark verdünnt war, daß keine Reaktion eintrat; wenn ich dann Hautextrakt einlaufen ließ, der im gleichen

Maße verdünnt war, aber mit *Hechtwasser* statt mit reinem Wasser, so wurde der Schwarm oft deutlich verschreckt; das Hechtwasser allein hatte keine Wirkung, der Hecht war in diesen Fällen natürlich nicht gefüttert worden. Von 21 verwertbaren derartigen Versuchsreihen hatten 13 ein positives Ergebnis.

Die Wirkung des Schreckstoffes aus der verletzten Haut von Artgenossen kann also durch den Geruch des bösen Feindes selbst, des Hechtes, beträchtlich verstärkt werden. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß die Fluchtbereitschaft und die Fluchtdistanz durch die *optische* Wahrnehmung des Verfolgers noch weiter gesteigert wird. Ich habe in dieser Richtung mit Hechten keine Versuche gemacht. Aber es ist mir im freien See wiederholt aufgefallen, daß sich ein *zutraulicher* Elritzenschwarm durch das Erscheinen kleiner *Barsche*, wie sie in der gleichen Ufergegend häufig vorkommen, durchaus nicht stören läßt und diesen kaum überlegenen Räubern erst auf kürzesten Abstand durch geschickte Wendungen ausweicht; ist aber der Schwarm durch verletzte Elritzenhaut *verschreckt*, so ist in der Folgezeit schon das Auftauchen eines kleinen Barsches in weiter Entfernung ein hinreichender Anlaß zu schleuniger Flucht.

Bleibt solche optische Bedrohung aus, bleibt die Warnung auf das Gebiet des chemischen Sinnes beschränkt, dann erweist sich *die Scheu des verschreckten Schwarmes in hohem Grade als ortsgebunden*. Bei Aquarienversuchen ist dies wegen des beschränkten Raumes nicht zu erkennen. Bei Freilandversuchen sieht man die Elritzen nach der Vergrämung den Platz, wo sie den üblen Geruchseindruck empfangen haben, in beträchtlichem Abstand umkreisen, ohne daß sie an das lockende Futter herankommen; wenn später die eine oder andere einen Vorstoß unternimmt, pflegt sie in schreckhafter Eile etwas von dem Futter aufzunehmen und rasch wieder davonzuflitzen. Derselbe Schwarm geht zur selben Zeit in einer Entfernung von wenigen Metern ohne Zögern und ganz zutraulich an dort eingebrachtes Futter. Es wäre ja auch nicht günstig für die Elritzen, wenn sie sich durch ein Ereignis, das in jedem See zu

den alltäglichen Tragödien gehört, den Appetit verderben ließen. Durchaus zweckmäßig aber erscheint jene nachhaltige Scheu vor dem Schauplatz des Erlebnisses und das Verlagern der Nahrungstreifen in benachbarte Gebiete, solange dort weder Nase noch Auge etwas Bedrohliches wahrnimmt.

Literatur.

S. DIJKGRAAF, Untersuchungen über die Funktion der Seitenorgane an Fischen. Z. vergl. Physiol. **20**, 162—214 (1933). — K. v. FRISCH, Vergleichende Physiologie des Geruchs- und Geschmackssinnes. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie **11**, 203—239 (1926) — Riechen und Schmecken beim Menschen und bei den Tieren. Natur u. Volk **65**, 269—283 (1935) — Zur Psychologie des Fisch-Schwarmes. Naturwiss. **1938**, 601—606. — C. J. HERRICK, The organ and sense of taste in fishes. Bull. Un. States fish commission **22**, 239—272 (Washington 1904). — C. HESS, Neue Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Zool. Jb. (Phys.) **33**, 387—440 (1913). — M. KRINNER, Über die Geschmacksempfindlichkeit der Elritzen. Z. vergl. Physiol. **21**, 317—342 (1934). — E. MATTHES, Geruchsdressuren an Meerschweinchen. Z. vergl. Physiol. **16**, 766—788 (1932) — Weitere Geruchsdressuren an Meerschweinchen. Z. vergl. Physiol. **17**, 464—490 (1932). — W. NAGEL, Vergleichend physiologische und anatomische Untersuchungen über den Geruchs- und Geschmackssinn und ihre Organe. Bibl. Zool. **7**, H. 18, 1—207 (1894). — G. H. PARKER, The relation of smell, taste and the common chemical sense in vertebrates. J. Acad. nat. Sc. Philadelphia **15** (2.), 221—234 (1912). — M. PIPPING, Der Geruchssinn der Fische mit besonderer Berücksichtigung seiner Bedeutung für das Aufsuchen des Futters. Soc. Sci. Fenn., Comm. Biol. II. **4** (Helsingfors 1926) — Ergänzende Beobachtungen über den Geruchssinn der Fische mit besonderer Berücksichtigung seiner Bedeutung für das Aufsuchen des Futters. Soc. Sci. Fenn. Comm. Biol. II. **10**, (Helsingfors 1927). — R. STRIECK, Untersuchungen über den Geruchs- und Geschmackssinn der Elritze. Z. vergl. Physiol. **2**, 122—154 (1924). — J. v. UEXKÜLL, Vergleichend-sinnesphysiologische Untersuchungen. I. Über die Nahrungsaufnahme des Katzenhaies. Z. Biol. **32**, 548—566 (1895). — W. L. WREDE, Versuche über den Artduft der Elritzen. Z. vergl. Physiol. **17**, 510—519 (1932). — W. WUNDER, Sinnesphysiologische Untersuchungen über die Nahrungsaufnahme bei verschiedenen Knochenfischarten. Z. vergl. Physiol. **6**, 67—98 (1927).

Die chemische Untersuchung des Schreckstoffes aus Elritzenhaut.

Von RUDOLF HÜTTEL, München¹⁾.

Die vor längerer Zeit in Angriff genommene Arbeit zur Reindarstellung des Elritzen-Schreckstoffes mußte unterbrochen werden. Es seien deshalb die bisherigen Ergebnisse der Untersuchung, obwohl das Ziel noch nicht erreicht ist, kurz mitgeteilt.

Die Tests wurden in der von v. FRISCH²⁾ beschriebenen Weise ausgeführt. Die Aquarien enthielten durchschnittlich 25 l Wasser und waren mit 8 Elritzen besetzt. Die zu prüfenden Substanzen löste man in 100 ccm Wasser. 1 Minute nach Beginn des Eingießens

der Lösung ins Aquarium wurde mit zerhacktem Fleisch gefüttert und die Zählung der ans Futter kommenden Tiere begonnen. Unter diesen Bedingungen waren verdünnte Extrakte, von denen 100 ccm 0,5 mg frischer Elritzenhaut entsprachen, gerade hinreichend, um normal empfindliche Elritzenschwärme so zu beeinflussen, daß mindestens 10 Minuten lang kein Fisch ans Futter ging.

Zuerst war die Frage zu prüfen, ob nicht die Anwesenheit gewisser zur Anreicherung des Schreckstoffes notwendiger Chemikalien und Lösungsmittel in den Testlösungen die Testergebnisse beeinflussen könne. Dies war nicht der Fall bei Methyl-, Äthyl- und Butyl-

¹⁾ Chemisches Universitätslaboratorium München.

²⁾ Naturwiss. **26**, 601 (1938).

alkohol und bei Aceton (geprüfte höchste Konzentration je 1 g pro 100 ccm), Pyridin (0,5 g), Amylalkohol (0,1 g), n/100-Schwefelsäure und n/100-Ammoniak. Auch Toluol und Octylalkohol (je 100 ccm gesättigte wässrige Lösung) waren ohne Effekt. Dagegen zeigten die niederen Fettsäuren (Ameisensäure bis Buttersäure) in der Konzentration n/100 eine gewisse leichte Schreckwirkung, geringere Konzentrationen aber waren wirkungslos. 0,1proz. Salzlösungen (geprüft wurden Natriumsulfat, Kaliumchlorid und Natriumacetat) waren regelmäßig ohne Einfluß, doch riefen dieselben Salze in 1proz. Lösung jedesmal eine sehr rasch vorübergehende, aber deutliche Nervosität hervor. Da die typische, unvergleichlich viel stärkere Wirkung des Schreckstoffes von Substanzmengen verursacht wird, die um einige Zehnerpotenzen unter diesen Konzentrationen liegen, war eine Störung durch diesen Effekt nicht zu befürchten.

Der Schreckstoff liegt in der Haut wahrscheinlich in sehr locker gebundener Form vor. Aus Elritzen, die ohne mechanische oder chemische Einwirkung durch Ersticken getötet werden, beginnt er erst einige Stunden nach dem Tode — vielleicht infolge einsetzender autolytischer Prozesse — auszutreten. Tötet man die Elritzen jedoch durch Einwirkung von Methanol, n/10-Essigsäure oder 10proz. Salzlösungen, so entfalten diese Lösungen sofort nach dem rasch erfolgenden Tode annähernd die volle Schreckwirkung¹⁾.

Die den getöteten Elritzen abgezogenen Häute können frisch oder nach raschem, scharfem Trocknen über Phosphorperoxyd extrahiert werden. Als Extraktionsmittel erwies sich mit Essigsäure schwach angesäuertes Wasser als vorteilhaft. Auch Methanol ist anwendbar, doch nimmt damit die Extraktion längere Zeit in Anspruch.

Die erhaltenen rohen wässrigen Wirkstofflösungen können nur aufbewahrt werden, wenn man sie steril hält. Der wirksame Faktor ist nicht kochbeständig (nach 10 Minuten Kochzeit waren nur noch etwa

20% der anfänglichen Wirkung feststellbar). Mineralsäuren und Laugen zerstören ihn schon bei Raumtemperatur. Er ist ausgesprochen hydrophil und nicht flüchtig. Die rohen Konzentrate sind auch in wasserhaltigem Alkohol oder Aceton löslich, unlöslich aber in den wasserfreien Lösungsmitteln. Mit Butylalkohol ist der Schreckstoff aus wässriger Lösung nur schwer ausschüttelbar, doch kann man die Extraktion durch tagelanges Perforieren im Vakuum vollkommen gestalten. Mit zunehmender Reinheit werden die Fraktionen in Wasser immer schwerer löslich. Der Schreckstoff ist dialysierbar und mit Bleiacetat bei p_H 8–9 fällbar; dabei soll ein Überschuß des Fällungsmittels vermieden werden. Man kann ihn aus wässriger oder methanolischer Lösung an Fullererde, Floridin-Bleicherde oder Aluminiumoxyd adsorbieren, nicht aber an Permutit, Calciumcarbonat oder Magnesiumoxyd. Doch gelingt die Elution nur schwierig, am besten mit Wasser-Pyridin-Gemischen.

Von dem reinsten Präparat — erhalten durch Kombination der eben genannten Reinigungsoperationen — zeigen 0,1 γ die gleiche Wirksamkeit wie ein Extrakt aus 0,5 mg frischer Elritzenhaut, die Anreicherung beträgt also 1:5000. Diese Substanz ist ein farb- und geruchloses, in Wasser ziemlich schwer lösliches Pulver. Von etwas weniger reinen Fraktionen liegen Stickstoffanalysen vor, die 25–30% Stickstoff ergaben. Zusammen mit den Löslichkeitseigenschaften macht dies wahrscheinlich, daß in den fraglichen Fraktionen *purin- oder pterinähnliche Substanzen* angereichert sind. Die Murexidprobe und die WEIDELSCHE Reaktion verlaufen jedoch negativ.

In Konzentrationen von 1 mg (gelöst in 100 ccm Wasser) wurde eine Reihe von Naturstoffen ähnlicher Eigenschaften, wie eben beschrieben (besonders Aminosäuren und diesen verwandte Stoffe, weiter Guanin und Xanthin) auf Schreckwirksamkeit geprüft. Sie alle waren unwirksam.

Herrn Prof. VON FRISCH danke ich sehr für die Ausführung der Teste in seinem Laboratorium, sowie für die Besorgung des Tiermaterials.

¹⁾ Vgl. auch v. FRISCH, vorstehenden Aufsatz.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über die Zusammenwirkung des H₂S mit Schwermetallsalz auf das Lab.

Die Inaktivierung des Labes durch Salze von Schwermetallen, wie Hg, Au, Pt und Cu, verläuft im allgemeinen langsam. Merkwürdigerweise aber wird dieser Inaktivierungsprozeß verstärkt, wenn man H₂S in das Lab-Schwermetallsalzgemisch einleitet. Selbst im Falle, wo das Schwermetallsalz für sich allein fast keine Inaktivierung zu verursachen imstande ist, tritt die Inaktivierung nach der Einleitung des H₂S deutlich in Erscheinung. H₂S für sich allein kann das Lab nicht inaktivieren, sondern es scheint vielmehr die Labwirkung zu befördern.

Das zu diesem Versuch verwendete Lab ist ein Handelspräparat (Dr. FRAENKEL und Dr. LANDAU). Jeder Versuch wurde bei Zimmertemperatur (etwa 20–25°) durchgeführt. Die Wirksamkeit des Labes wird aus der Zeitspanne umgerechnet, die für die Gerinnung der hinzugesetzten Milch nötig ist. Die Zeit von dem Zusatz der Milch bis zum Beginn der Gerinnung ist im allgemeinen der Labmenge umgekehrt proportional.

In Tabelle 1 ist ein Beispiel der Labinaktivierung durch HgCl₂ im Zusammenspiel mit H₂S dargestellt. Für das Zustandekommen der in Frage gestellten Inaktivierung gibt es ein Optimum in der Konzentration des H₂S, wie die Tabelle veranschaulicht. Das Optimum liegt unabhängig von der Konzentration des HgCl₂ bei etwa $\frac{n}{3000}$. Die Kon-

zentration des H₂S (etwa $\frac{n}{1000}$), die in der Tabelle angegeben ist, wird nach Mischung der HgCl₂- und Lablösung je in gleicher Menge auf $\frac{1}{3}$ herabgesetzt, d. h. bei der Einwirkung auf etwa $\frac{n}{3000}$.

Für die Resultate ist die Reihenfolge, in der die 3 Komponenten zusammengebracht werden, von Wichtigkeit. Bei dem Versuche in dieser Tabelle wurde H₂S in Lösung zu dem HgCl₂-Labgemisch hinzugesetzt. Werden aber HgCl₂ und H₂S erst gemischt und dann der Lablösung zugefügt, so erzielt man nur eine viel geringere Inaktivierung, etwa $\frac{1}{2}$ im Vergleich mit der eben genannten. Im Verlaufe der Zeit nach der Mischung büßt das HgCl₂-H₂S-Gemisch an Wirksamkeit beträchtlich ein. Nach Ablauf von etwa zwei Stunden bei Zimmertemperatur behielt das Gemisch fast keine labschädigende Wirkung bei. Diese Erscheinung wurde auch mit AuCl₃, PtCl₄ und CuSO₄ beobachtet, nicht aber mit FeCl₃ und Pb-Acetat.

Aus dem oben Geschilderten können folgende Schlüsse gezogen werden: Wenn man H₂S mit Schwermetallsalz mischt, wird wahrscheinlich irgendeine Substanz gebildet, die auf das Lab schädigend einwirken kann. Für die Bildung dieser Substanz gibt es ein Optimum in der Konzentration des H₂S. Diese optimale Konzentration liegt ganz unabhängig von derjenigen des Schwermetallsalzes bei etwa $\frac{n}{3000}$. Die auf diesem Wege gebildete Substanz scheint in dem Maße labil, daß ihre Wirksamkeit auch bei Zimmertemperatur allmählich verlorengeht. Die Substanz wäre

Tabelle 1. Inaktivierung des Labes durch HgCl_2 im Zusammenspiel mit H_2S .

Konzentration des H_2S	$n/20$	$n/40$	$n/80$	$n/160$	$n/320$	$n/640$	$n/1280$	$n/2560$	$n/5120$	$n/10240$	$\text{H}_2\text{O}^*)$	
Konzentration des HgCl_2	$n/1000$	38	32	48	69	72	140	110	72	31	20	19
	$n/2000$	36	29	35	54	76	74	115	54	25	18	17
	$n/5000$	32	33	35	43	52	56	50	35	22	19	15
	$n/10000$	22	23	24	31	39	46	39	26	19	16	15
$n/20000$	12	14	17	20	21	22	18	13	
An Stelle des HgCl_2 wurde H_2O zugesetzt; es handelt sich also um die Wirkung des H_2S für sich allein.	9	10	10	10	12	13	14	14	15	14	14	

1 ccm Lablösung (0,01 %) + 1 ccm wässrige Lösung des HgCl_2 + 1 ccm wässrige Lösung des H_2S + 1 ccm Milch; in dieser Reihenfolge wurden die 4 Komponenten rasch zusammengedrückt. Die Zahlen geben die Zeitspanne (Sek.) an, die vom Zusatz der Milch bis zum Beginn der Milchgerinnung verstrichen ist. Die angegebene Konzentration des HgCl_2 und H_2S ist die vor der Mischung der 4 Komponenten.

allerdings im Wesen eine Schwermetall-Schwefelverbindung. Ihre Wirksamkeit aber wäre von der Art der Bindung oder von dem Kolloidalzustand abhängig. Die Wirksamkeit des mit dieser Substanz versetzten Labes wird fast momentan herabgemindert. Diese merkwürdige Erscheinung ist nicht nur dem Lab eigentümlich, da wir vor kurzem nachweisen konnten, daß sie auch bei einigen Virusarten, wie Vaccinevirus und Bakteriophagen, reproduzierbar ist. Der Bakteriophage wird in Anwesenheit sowohl der oben genannten Salze als auch von FeCl_3 und Pb-Acetat durch H_2S seiner Aktivität beraubt. Die in Frage stehende Erscheinung könnte in irgendeiner Beziehung damit stehen, daß H_2S den höheren Organismen schädlich ist.

Shanghai (China), Shanghai Science Institute, den 5. April 1941. HIDEO MORIYAMA. SHUNKICHI OHASHI.

*) An Stelle des H_2S wurde H_2O zugesetzt; es handelt sich also um die Wirkung des HgCl_2 für sich allein.

Steuerwirkung eines geladenen Teilchens im Feld einer Sekundäremissionskathode.

Befestigt man auf der metallischen Objektplatte eines Elektronenabtasters¹⁾ isoliert eine Metallsonde (Fig. 1) und erteilt ihr eine negative Vorspannung u_s gegen die Platte, so zeigt sie sich im Elektronenbild von einem schwarzen Hof umgeben, dessen Durchmesser mit u_s zunimmt und bis über eine Zehnerpotenz größer werden kann als der Sonden-durchmesser (Fig. 2 links). Dieselbe Erscheinung stellt sich an einem lose auf die Objektplatte gelegten Glimmerplättchen ein (G in Fig. 1 und 2).

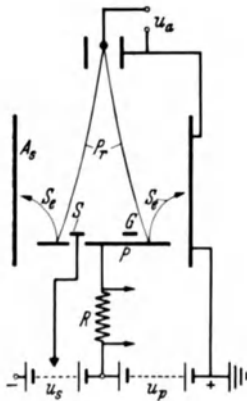


Fig. 1. Versuchsanordnung. K Glühkathode, Pr abtastender Primärstrahl, Se Sekundärelektronen, P Objektplatte, S Sonde, G Glimmerplättchen, u_a Anodenspannung, u_s Sonden-spannung, u_p Platten-spannung gegen die Sekundäremissionsanode A_s , R Eingangswiderstand des Verstärkers für die Bildschreibröhre.

Der Vorgang erklärt sich aus der Feldverteilung um eine solche Sonde, welche derjenigen einer Plationröhre mit positiv vorgespannter Steuerplatte ähnlich ist, bei der die Kathode die Rolle der Sonde übernimmt: Bei hohen negativen Spannungen u_s bleibt die Feldstärke auch in größerer Entfernung von der Sonde niedrig, so daß die emittierten Sekundärelektronen durch das Feld der Anode A_s nicht abgesaugt werden können. Man sieht also im Elektronenbild direkt die in der Umgebung der Sonde vor der Kathode schwebende Raumladungswolke; ihr Durchmesser nimmt erwartungsgemäß mit dem Strom der Primärelektronen zu und mit zunehmender Spannung u_p an der Sekundäremissionsstrecke ab. Bei großem u_s sind die Raumladungswolken trotz der quadratischen Form der Sonde und des gleichgroßen Glimmerplättchens kreisrund.

Der gefundene Effekt erklärt verschiedene Beobachtungen am Elektronenabtaster, deren Deutung bisher unsicher war: die scheinbare Herabsetzung der Sekundäremission in

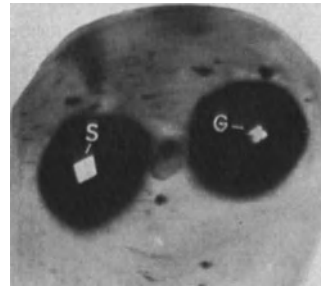


Fig. 2. Bild zweier Raumladungswolken. Durch Wahl von u_s ist der Durchmesser der Raumladung um die Sonde dem Raumladungsdurchmesser um das negativ aufgeladene Glimmerplättchen angeglichen. $u_s = 800 \text{ V}$, $u_p = 100 \text{ V}$, $i_s = 3 \cdot 10^{-6} \text{ A}$, $u_a = 4000 \text{ V}$. Durchmesser von Sonde und Glimmerplättchen 2,5 mm. Durchmesser der Raumladungswolken $\sim 15 \text{ mm}$.

Vertiefungen und Rillen²⁾ eines metallischen Objekts, in denen wegen der dort niedrigeren Feldstärke die Raumladung liegen bleibt; die scheinbar kleinere Sekundäremission in der Mitte einer zur SE-Anode konzentrischen runden Objektplatte³⁾; ferner das Auftreten schwarzer Flecken im Elektronenbild, die an kleine, nahezu unsichtbare, isolierende Staubteilchen von weniger als $1/10$ des Fleckdurchmessers gebunden sind, welche negativ aufgeladen werden⁴⁾, sobald ihr Sekundäremissionsfaktor bei der gewählten Geschwindigkeit der Primärelektronen kleiner als 1 geworden ist. Die erstaunlich große Wirkung solcher kleinen isolierenden Staubteilchen auf der Kathode ergibt sich daraus, daß der Durchmesser des gesperrten Kathodenbereichs mit dem Sonden-durchmesser, der Sonden-spannung und der Sonden-höhe nur langsam abnimmt (nach einer vereinfachten Rechnung mit der dritten Wurzel aus diesen Größen), so daß z.B. Teilchen von $\approx 0,01 \text{ mm}$ Durchmesser bei einer Aufladespannung von $\approx 1 \text{ Volt}$ schon ein Gebiet zu sperren vermögen, das etwa ihrem dreißigfachen Durchmesser entspricht. Auch beim Zustandekommen des „Störsignals“ von Bildabtaströhren⁵⁾ kann der beobachtete Effekt eine entscheidende Rolle spielen, sobald die negative Aufladung der freien Glimmeroberfläche diejenige der Mosaik-Photokathoden überwiegt.

Mittels der Sonde ist auch eine Messung der Aufladespannung isolierender Teilchen auf einer metallischen Objektplatte möglich. Bringt man z. B. ein Glimmerstückchen von gleichem Querschnitt und gleicher Höhe wie die Sonde auf die Objektplatte (Fig. 2 rechts), so ergibt die für gleichen Durchmesser beider Höfe abgelesene Sonden-spannung seine Aufladespannung. Wie das Beispiel der Fig. 2 zeigt, ist diese schon bei normalen Abtastspannungen relativ hoch. Wird R in den Stromzweig zwischen A_s und u_p verlegt, so zeigt sich übrigens auch bei hoher positiver Sonden-spannung gegen die Objektplatte im Elektronenbild ein

Hof; in diesem Falle bleiben die emittierten Sekundärelektronen in der Gegend des Hofes aber nicht in Form einer Raumladung liegen, sondern werden statt zu A_s zur näher gelegenen Sonde abgesaugt. Der Hof zeigt also in diesem Fall um die Sonde eine geringere Raumladung an als die vor der übrigen Plattenfläche vorhandene.

Ich danke der deutschen Forschungsgemeinschaft für Bereitstellung der Mittel und Herrn E. UNVERHAU für Durchführung wesentlicher Messungen.

Berlin, Abteilung für Röhrentechnik des Elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule, den 7. April 1941. M. KNOLL.

- 1) M. KNOLL, Z. techn. Physik 16, 467 (1935). — M. KNOLL u. R. THEILE, Z. Physik 113, 260 (1939).
- 2) M. KNOLL, l. c. (Abb. 13).
- 3) Ebenda (Abb. 12).
- 4) M. KNOLL, Physik. Z. 1941 (im Druck).
- 5) Vgl. z. B. M. KNOLL, Z. techn. Physik 19, 307 (1938).

Über die Sekundärstrahlung der Mesotronen.

Es wurden mit einer vollautomatischen Nebelkammer¹⁾ Untersuchungen über die kleinwinkeligen Bothe-Schmeiser-Schauer²⁾ angestellt.

Die Nebelkammer, die 25 cm Durchmesser und 5 cm Tiefe aufwies, war im Innern mit zwei 0,5 cm starken Blei-

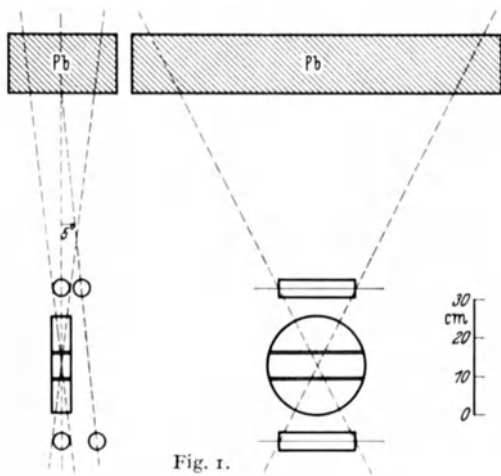


Fig. 1.

platten versehen. Als Gasfüllung wurde in der üblichen Alkohol-Wassermischung gesättigtes Argon von gegenüber dem Atmosphärendruck leicht niedrigerem Druck verwendet. Die für die Steuerung der Kammer vorgesehenen Zählrohre ($20 \times 4,5$ qcm) waren mit Argon und Alkoholdämpfen gefüllt: Auflösungsvermögen 10^{-6} Minuten. Die Ausdehnung der Kammer wurde durch die vierfache Koinzidenz der 4 Zählrohre (s. Fig. 1) gesteuert. Der von den beiden Zählerpaaren ausgeblendete Winkel war vollständig von einem 15 cm starken Bleipanzer ausgefüllt.

Die vom Bleipanzer ausgehenden und eine Koinzidenz ergebenden Schauer hatten einen Divergenzwinkel von 5° . Der Versuch wurde in einem Raum des Instituts gemacht; die darübergelegenen Stockwerke entsprechen einer Stärke von ungefähr 100 g/qcm.

In den 222 Arbeitsstunden des Geräts wurden insgesamt 213 photographische Aufnahmen gemacht, von denen 40 keine, die übrigen 173 indessen Spuren kosmischer Strahlungen aufweisen.

Blöß 7 von den Aufnahmen lassen einen einzigen Strahl erkennen, der durch die Kammer geht, ohne Sekundärstrahlung zu verursachen. Bei allen übrigen sind Sekundärstrahlungen zu beobachten, die sich deutlich als elektronische und photonische Strahlungen verhalten und sich nach dem Schema ВНАВНА-HEITLER vervielfachen. Tabelle 1 gibt die Anzahl der beobachteten Sekundärstrahlen.

Aus der Tabelle wie auch aus Fig. 2, in welcher eine der gemachten Aufnahmen³⁾ als Beispiel wiedergegeben ist, geht deutlich hervor, daß die kleinwinkeligen Schauer meist nicht Mesotronen-, sondern Elektronen- und Photonenschauer sind, die die übliche Zerteilung erfahren.

Wenn indessen Mesotronen-Schauer existieren, so sind sie jedenfalls eine seltene Erscheinung.

Mailand (Italien), Physikalisches Institut der Kgl. Universität, den 15. April 1941. GIUSEPPE COCCONI.

- 1) Ricerca Scientifica, im Erscheinen.
- 2) W. BOTHE, K. SCHMEISER, Ann. Physik 32, 161 (1938).
- 3) Die Nebelkammer wurde aus zwei zueinander um 60° geneigten Richtungen photographiert.

Röntgenographische Hochtemperaturaufnahmen an Berylliumoxyd.

Das in der chemischen und keramischen Industrie viel verwendete BeO wurde bezüglich verschiedener Eigenschaften röntgenographisch untersucht. Die Versuche an dünnen gesinterten Probestäbchen¹⁾ erstreckten sich auf die Bestimmung der Gitterkonstanten, der thermischen Ausdeh-

Tabelle 1.

Anzahl der Sekundärstrahlen	1	2	3	4	5—6	7—9	10—14	15—19	20—29	30—40	>40
Anzahl der Aufnahmen . .	13	19	25	23	20	12	20	8	13	11	2

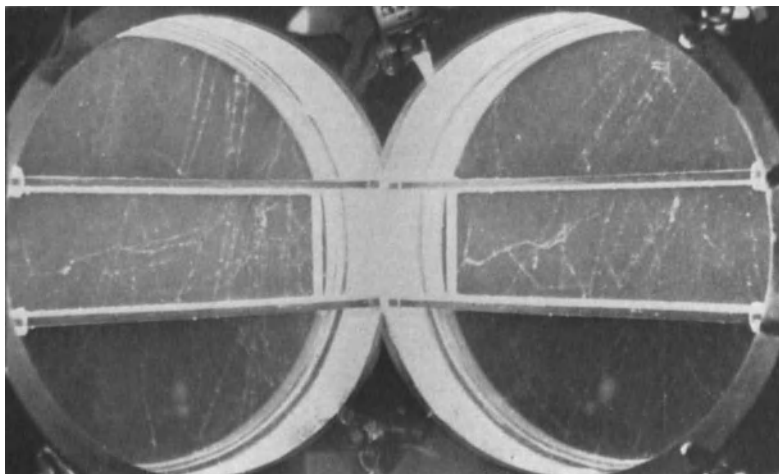


Fig. 2.

nung, der charakteristischen Temperatur und auf die Frage, ob die Röntgeninterferenzen bei Temperatursteigerung eine merkliche Änderung ihrer Schärfe erleiden.

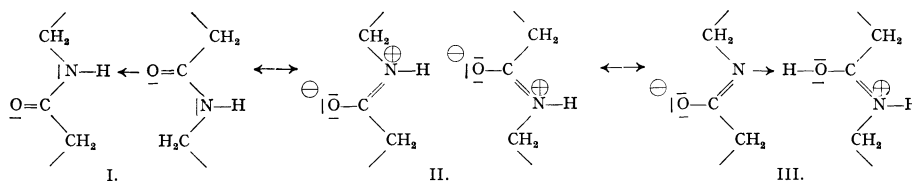
Das diamantähnlich kristallisierende, hexagonale BeO besitzt nach den vorliegenden Versuchen eine Gitterkonstante $a = (2,695 \pm 0,001) \text{ \AA}$ und ein Achsenverhältnis $c/a = 1,633$ bei $20^\circ 2$). Die Gitterkonstanten und die mittleren thermischen Ausdehnungskoeffizienten sind in der Tabelle aufgeführt; das Achsenverhältnis bleibt über den Temperaturbereich praktisch unverändert.

Die Höhe der charakteristischen Temperatur kann aus dem photometrisch ermittelten Intensitätsabfall der Röntgeninterferenzen bei Temperaturerhöhung angenähert angegeben werden. Der so gefundene Wert stellt, da die

Temperatur in Grad	a in Å	Temperaturbereich	mittl. therm. Ausdehnungs-Koeffizient
20	2,695	0—200°	$5,8 \cdot 10^{-6}$
225	2,698	200—400°	$7,3 \cdot 10^{-6}$
400	2,703	400—600°	$9,0 \cdot 10^{-6}$
700	2,710	600—800°	$10,6 \cdot 10^{-6}$
1000	2,719	800—1000°	$12,1 \cdot 10^{-6}$

DEBYESche Theorie nur für einfache kubische und hexagonale Gitter gilt, zunächst nur einen Anhalt dar, weil BeO ein zusammengesetztes Gitter ist. Die ZENERSche Theorie³⁾ des Temperaturfaktors für einfache hexagonale Gitter kann zum Vergleich nicht herangezogen werden, da für BeO keine elastischen Daten vorliegen. Es muß somit in der DEBYESchen Theorie eine mittlere Atommasse eingesetzt werden, ein Verfahren, was sich schon früher im Falle des NaCl nach Messungen von JAMES bewährt hat. Zur Berechnung der charakteristischen Temperatur wurde der Intensitätsabfall von Summationsspektren verwendet, d. h. von Interferenzen, bei denen die Strukturaktoren der beiden Atomarten additiv zusammentreten, wie z. B. (1120). Die Auswertung führt auf eine charakteristische Temperatur von $\theta = 1280^\circ$ abs. Die röntgenographischen Messungen wurden demnach in einem Temperaturbereich zwischen $T/\theta = 0,23$ und $T/\theta = 1,0$ durchgeführt (T abs. Temp.). Der Wert von θ stellt einen Mittelwert dar zwischen θ_{\parallel} und θ_{\perp} zur Hauptachse des hexagonalen Gitters. Dieser Wert stimmt nun gut überein mit einem Wert, der aus Messungen der Molekularwärme⁴⁾ folgt. Diese kalorischen Daten gehören gut der Debye-Funktion für einfache feste Körper (spezifische Wärme c_v in Abhängigkeit von T/θ). In der Übereinstimmung der aus der röntgenographischen und aus der thermischen Messung sich ergebenden Werte für die charakteristische Temperatur kann auf die noch erlaubte Anwendung der DEBYESchen Theorie auf diamantähnliche zusammengesetzte Gitter geschlossen mit zwei Atomarten werden (z. B. ALN, SiC).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde weiter ein Vergleich der Schärfe derselben Röntgeninterferenzen bei verschiedenen Temperaturen gezogen. Bei den Röntgenaufnahmen wurde das BeO-Stäbchen nicht gedreht, so daß bei schwach divergentem Primärstrahlenbündel die Interferenzen desselben Kristallites bei niedriger und bei hoher Temperatur unmittelbar miteinander auf demselben Film verglichen werden konnten. Während nach der älteren DEBYESchen Theorie⁵⁾ sich die Schärfe einer Röntgeninterferenz bei zunehmender Temperatur nicht ändert, wird in den späteren Theorien von FAXÈN⁶⁾ und WALLER⁷⁾ eine Verbreiterung gefordert, die bei hohen Temperaturen sogar so groß werden soll, daß die eigentliche Interferenz (Laue-Anteil) ganz in der kontinuierlichen Wärmestreuungstrahlung



verschwindet. Bei einfachen kubischen Gittern hat danach die Intensität I_2 der Wärmestreuungstrahlung, der sich die Interferenzen überlagern, den Wert

$$I_2 = \frac{|\psi|^2}{R^2} \cdot e^{-2M} \cdot \sum_1^{\infty} T_v$$

wobei ψ die Amplitude, R den Abstand vom Streuzentrum, M den Temperaturfaktor bedeuten. Die Reihenglieder T_v besitzen an den Stellen, an denen die LAUESche Interferenzfunktion Maxima besitzt, ebenfalls Maxima, die sich von dem Laue-Anteil durch eine mehr oder weniger starke Verwaschung und durch sehr geringe Intensität unterscheiden. Die T_v stehen in direkter Beziehung zu den elastischen Konstanten des Gitters. Für ein ideales NaCl-Kristallfragment schätzt WALLER diesen bisher noch nicht beobachteten Beitrag der T_v zum (600)-Reflex auf etwa 4%. Hier wurde

nun durch Vergleich der analogen Interferenzen eines bestimmten Kriställchens bei einem Streuwinkel von etwa $2\theta = 110^\circ$ festgestellt, daß eine Änderung der Interferenzschärfe beim Übergang von 20° zu 1000° sicher weniger als 5% der Halbwertsbreite beträgt (Genauigkeitsgrenze). Bei diesen Versuchen wurde das empfindliche Kriterium benutzt, daß bei FeK α -Strahlung und dem angegebenen Streuwinkel gerade das $\alpha_1\alpha_2$ -Dublett bei den benachbarten (013)-, (012)-, (112)- und (021)-Interferenzen als aufgelöst erscheint. Diese Aufspaltung ist aber wesentlich von der Schärfe der Interferenzen abhängig, da bei einer nur geringen Linienverbreiterung die Interferenzen der α_1 - und α_2 -Linie zusammenfließen. Somit kann gesagt werden, daß eine Änderung der Schärfe einer Röntgeninterferenz für den vorliegenden Fall und für diesen Temperaturbereich außerhalb der angegebenen Grenze nicht eintritt. Wahrscheinlich wird eine solche merkbare Beeinflussung der Interferenzschärfe durch die Wärmeschwingungen des Gitters höchstens in einem Temperaturbereich erwartet werden können, in dem schon erhebliche Anharmonizitäten der Gitterschwingung eintreten, also in der Nähe des Schmelzpunktes.

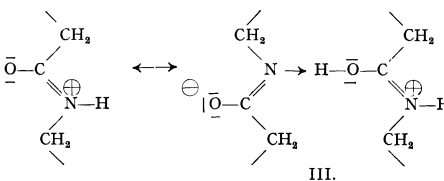
Zur Zeit Feldpostnummer L 37878, Luftgaupostamt Berlin, den 30. April 1941. H. NITKA.

- 1) Der Deutschen Gold- und Silber-Scheideanstalt, Frankfurt a. M., danke ich für Überlassung der Proben.
- 2) H. ZACHARIASEN, Z. phys. Chem. 119, 201 (1926).
- 3) Vgl. ZENER u. BILINSKY, Physic. Rev. 50, 489 (1937) — JAUNCEY u. BRUCE, Physic. Rev. 51, 60 (1937).
- 4) A. MAGNUS u. H. DANZ, Ann. Physik 81, 407 (1926); LANDOLT-BÖRNSTEINSche Tabellen (nach Messungen von P. GÜNTHER). — Der Schmelzpunkt von BeO liegt bei 2570° nach Messungen von v. WARTENBERG u. WERTH, Z. anorg. u. allg. Chem. 190, 178 (1930).
- 5) P. DEBYE, Ann. Physik 43, 49 (1914).
- 6) H. FAXÈN, Z. Physik 17, 266 (1923) — Ann. Physik 54, 615 (1918).
- 7) I. WALLER, Ann. Physik 83, 154 (1927).

Bemerkung zu meiner Mitteilung „Über die zwischen linearen Kettenmolekülen mit Peptidbindungen wirkenden Kräfte“.

Herr Dr. EISTERT macht mich freundlichst darauf aufmerksam, daß die Formulierung der Wasserstoffbindung in meiner obengenannten Mitteilung mißverständlich ist. Das ist insofern richtig, als sie den Eindruck erweckt, als ob zwischen Stickstoff- und Kohlenstoffatom direkte Bindung durch gemeinsame Elektronen eintritt. Natürlich ist dies nicht der Fall, und man muß daher, sofern man eine präzisere

Darstellung als die allgemein übliche: $\text{NH} \dots \text{O}=\text{C}$ anstrebt, wohl besser die Elektronenformeln angeben:



Elektronenpaare sind in üblicher Weise durch Striche bzw. Pfeilstriche gekennzeichnet. Der Pfeilstrich bedeutet, daß das Atom, von dem er ausgeht, ein Elektronenpaar besitzt, an das das Proton gebunden werden könnte.

Man könnte zweifelhaft sein, ob die Formel III zur möglichst richtigen Wiedergabe der wirklichen Verhältnisse noch notwendig ist. Ließe man sie fort, so würde das bedeuten, daß die Wasserstoffbindung wesentlich elektrostatischer Natur ist. Beim heutigen Stand unserer Kenntnisse muß diese Frage offen bleiben.

Wir haben allerdings bei der Untersuchung der Wasserstoffbindung beim kristallisierten Dihydrat der Oxalsäure feststellen können, daß der Abfall der Elektronendichte zwischen den beiden mittels Wasserstoffbindung verbundenen Sauerstoffatomen besonders flach¹⁾ und symmetrisch zu ihrem Mittelpunkt verläuft. Dies muß man wohl so deuten, daß das bindende Wasserstoffatom den beiden Sauerstoff-

atomen gleichartig angehört. Die beim Oxalsäure-Dihydrat vorliegenden Verhältnisse sind aber nicht ohne weiteres auf die zwischen NH- und CO-Gruppe vorhandene Bindung zu übertragen.

Ludwigshafen a. Rh., I.G. Farbenindustrie A.G., Forschungslaboratorium Oppau, den 3. Mai 1941. R. BRILL.

¹⁾ Vgl. Naturwiss. 27, 677 (1939).

Resistenzversuche mit polyploiden Pflanzen.

Die Annahme einer höheren Resistenz oder Anpassungsfähigkeit polyploider Formen spielt seit HAGERUP¹⁾ und TISCHLER²⁾ eine Rolle bei pflanzengeographisch-ökologischen Betrachtungen [vgl. MÜNTZING³⁾, FISCHER und SCHWANITZ⁴⁾, neuerdings die Literatur bei LEHMANN⁵⁾], sie ist wichtig für die praktische Pflanzenzüchtung [vgl. SCHWANITZ⁶⁾, SCHLÖSSER⁷⁾] und nicht zuletzt für Fragen der Artbildung [vgl. WETTSTEIN⁸⁾]. Trotz der Vielgestaltigkeit und Tragweite aller dieser Probleme sind, gegenüber den vielen Beobachtungen über Form und Entwicklung von Polyploiden, Untersuchungen über ihre physiologische Leistung immer noch spärlich und, soweit vorhanden, nicht frei von Widersprüchen [vgl. SCHWANITZ⁶⁾, PIRSCHLE⁹⁾]. Derart entbehrt

die eingangs genannte Annahme noch weitgehend der experimentellen Grundlagen; ganz abgesehen davon, daß der Stoffwechsel polyploider Pflanzen an sich Interesse beansprucht, da das Polyploidieproblem eine ausschließliche botanische Angelegenheit ist.

Im Zuge der seit längerer Zeit eingeleiteten stoffwechselphysiologischen Untersuchungen an Polyploiden^{9,13)} wurden auch Versuche in Wasserkulturen durchgeführt. Das Ergebnis eines solchen Wasserkulturversuchs mit *Stellaria media* 2n und 4n, in dem die Gesamtkonzentration der Nährlösung variiert wurde, ist in Tabelle 1 kurz dargestellt. Im einzelnen wird darauf zusammen mit den ausgeführten Analysen an anderer Stelle zurückzukommen sein. Vorläufig läßt sich nur sagen, daß weder nach dem Aussehen der Pflanzen noch in ihrer Länge oder in ihrem Gewicht irgendeine Überlegenheit der 4n in Erscheinung trat. Im Gegenteil blieben in den verdünnten ($\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{3}$ NL) und konzentrierteren (3 NL, 10 NL) Nährlösungen die 4n gegenüber den 2n stärker zurück als in der „normalen“ Nährlösung (NL). Und wenn in der Länge mit zunehmender Verdünnung eine gewisse Angleichung der 4n an die 2n erfolgt, so handelt es sich dabei ($\frac{1}{10}$ NL) um absterbende Kümmerpflanzen. Wasserkulturversuche mit *Epilobium collinum*, in

Tabelle 1.

Wasserkulturen		$\frac{1}{10}$ NL	$\frac{1}{3}$ NL	NL	3 NL	10 NL
Länge (cm)	2n	12,24	17,99	21,45	23,78	17,67
	4n	11,20 91	13,67 76	16,22 76	15,94 67	9,54 54
Frischgewicht (g)	2n	0,32	0,68	1,06	1,46	0,69
	4n	0,20 62	0,57 84	1,27 120	0,70 48	0,32 46
Trockengewicht (mg)	2n	52,1	91,1	142,1	159,3	72,9
	4n	28,6 55	70,1 77	149,6 105	63,8 40	29,1 40

Stellaria media (20. VII. bis 14. IX. 1940). Länge, Frischgewicht und Trockengewicht je Pflanze (Wurzel plus Sproß); Mittelwerte, die Differenzen 2n/4n sind nur teilweise statistisch gesichert. Die kursiven Zahlen bedeuten das Verhältnis der 4n- zu den entsprechenden 2n-Werten (2n = 100). — NL „normale“ Nährlösung (0,002 mol NaNO₃, 0,002 mol KCl, 0,002 mol CaCl₂, 0,0008 mol MgSO₄, 0,001 mol Na₂HPO₄/H₃PO₄-Gemisch, 0,000001 mol Fe-Zitrat, pH etwa 5.

Tabelle 2.

Klimakammern	Länge (cm)	Frischgewicht (g)	Trockengewicht (mg)
I konstant (heißfeucht)	2n } alles abgestorben; 4n etwa 4 cm, Stengel und Blätter braun und welk; 2n etwa 5—6 cm, länger frisch und auch sonst kräftiger		
II konstant (heißtrocken)	2n } braune dürre Reste, etwa 3—4 cm, von Anfang an kein Unterschied zwischen 2n und 4n, beide nach kurzer Zeit abgestorben		
III konstant (gemäßigt)	2n 18,2 ± 1,43	3,01 ± 0,932	303 ± 76,2
	4n 14,2 ± 1,34 78	2,85 ± 0,464 95	293 ± 91,1 86
IV konstant (kalt)	2n 9,6 ± 0,77	1,15 ± 0,418	129 ± 48,1
	4n 8,6 ± 0,72 90	1,04 ± 0,109 90	122 ± 14,0 95
tags I/nachts IV (heißfeucht/kalt)	2n 8,5 ± 0,69	0,41 ± 0,074	53 ± 10,6
	4n 6,3 ± 0,72 74	0,28 ± 0,081 69	41 ± 7,1 78
tags II/nachts IV (heißtrocken/kalt)	2n 5,3 ± 0,59	0,20 ± 0,068	43 ± 11,6
	4n 5,1 ± 0,38 96	0,17 ± 0,079 85	35 ± 6,7 81
tags III/nachts IV (gemäßigt/kalt)	2n 19,2 ± 1,88	3,35 ± 0,598	298 ± 62,1
	4n 14,2 ± 1,62 74	2,85 ± 0,972 85	265 ± 96,4 79
tags I/nachts III (heißfeucht/gemäßigt)	2n 13,8 ± 1,86	1,02 ± 0,193	133 ± 27,1
	4n 7,6 ± 1,32 55	0,60 ± 0,142 58	74 ± 11,3 61
tags II/nachts III; (heißtrocken/gemäßigt)	2n 6,0 ± 1,23	0,18 ± 0,067	42 ± 12,1
	4n 4,7 ± 0,73 78	0,19 ± 0,035 106	39 ± 5,8 94
Wechsel I/II (heißfeucht/heißtrocken)	2n } 4n nach kurzer Zeit abgestorben, knapp 4 cm; 2n halten länger durch, 5—6 cm, zur Zeit der Ernte auch braun und welk		
Wechsel I/III (heißfeucht/gemäßigt)	2n 7,3 ± 0,88	0,35 ± 0,201	77 ± 27,6
	4n } 4n braune vertrocknete Reste, 4—5 cm, Stengel teilweise noch grün und saftig, Blätter vollkommen vertrocknet		
Wechsel II/III (heißtrocken/gemäßigt)	2n 6,1 ± 0,79	0,35 ± 0,105	76 ± 13,5
	4n 5,3 ± 0,53 87	0,34 ± 0,039 97	63 ± 5,3 83

Stellaria media (12. III. bis 23. IV. 1941). Länge, Frischgewicht und Trockengewicht je Pflanze (Sprosse); Mittelwerte $\pm t \cdot m$, mittlere Fehler unter Berücksichtigung der Zahl der Pflanzen und der Freiheitsgrade für $P = 0,01$. Die kursiven Zahlen bedeuten wieder das Verhältnis der 4n- zu den 2n-Werten (2n = 100). — I (heißfeuchtes Klima) Temperatur 30—32°, Luftfeuchtigkeit 90—95%; II (heißtrocken) 30—32°, 40—50%; III (gemäßigt) 20—21°, 60 bis 70%; IV (kalt) 10—11°, 60—70%. In allen Kammern täglich 14 Stunden Beleuchtung mit Nitalampen, Lichtintensität 7000—8000 Lux. — I konstant: andauernd in Kammer I, analog II konstant usw.; tags I/nachts IV: tagsüber (während der Beleuchtung) in Kammer I (heißfeucht), nachts (bei Dunkelheit) in Kammer IV (kalt), analog tags II/nachts IV usw.; Wechsel I/II: halbe Woche Tag und Nacht in Kammer I, andere halbe Woche Tag und Nacht in Kammer II, analog Wechsel I/III usw.

denen auch einzelne Nährsalze für sich variiert wurden, erbrachten ähnliche Ergebnisse.

Zielen diese in verschiedener Richtung noch auszubauen- den Wasserkulturversuche auf die *edaphischen* Faktoren ab, so wurden hinsichtlich *klimatischer* Faktoren Versuche in den Klimakammern des Instituts¹⁰⁾ eingeleitet. Das Ergebnis eines solchen gleichfalls mit *Stellaria media* durchgeführten Versuchs ist in Tabelle 2 zusammengefaßt. Außer konstanten Bedingungen (I heißfeucht, II heißtrocken, III gemäßigt, IV kalt) wurden einzelne Gruppen einem regelmäßigen Tag/Nacht-Wechsel (I/IV, II/IV usw.) unterworfen und bei anderen Gruppen halbwochentlich die Bedingungen gewechselt (Wechsel I/II usw.). Auch hier erwiesen sich in keinem Fall die *4n* überlegen. Wo Unterschiede in Erscheinung traten, hielten — und meist mit erheblichem Abstand — die *2n* besser durch. Am eindrucksvollsten war das Bild in der Gruppe Wechsel I/III (halbe Woche heißfeucht, halbe Woche gemäßigt): die *4n* zur Zeit der Ernte ausnahmslos welk und abgestorben, die *2n* im Wuchs zwar zurück, aber noch frisch. Man beachte ferner die großen Wachstumsunterschiede zwischen den *2n* und *4n* in der Gruppe tags I/nachts III, wie überhaupt heißfeuchtes Klima (konstant oder im Wechsel mit anderen Bedingungen) für die *4n* relativ zu den *2n* besonders nachteilig war. Durch heißtrockenes Klima (auch im Wechsel mit gemäßigt oder kalt) wurden beide Genotypen schwer geschädigt, die *2n*- und *4n*-Werte liegen hier, wie übrigens auch bei III konstant und IV konstant, völlig innerhalb der Fehlergrenzen. Auch diese Klimakammerversuche werden in verschiedener Hinsicht abzuwandeln sein, um so mehr, als über die Hitze- und Kälteempfindlichkeit (Frost- und Dürresistenz) von Polyploidien bereits mehrere, in wesentlichen Punkten allerdings nicht übereinstimmende Angaben vorliegen [SCHLÖSSER⁷⁾, KOSTOFF¹¹⁾, HEILBRONN¹²⁾, GYÖRFFY¹³⁾].

Es wäre mehr als verfrüht, aus den hier kurz skizzierten Ergebnissen schon allgemeine Schlußfolgerungen zu ziehen, bevor nicht *verschiedene Arten* in dieser und ähnlicher Form abgeprüft sind. Und dann handelt es sich vorläufig um *autopolyploide* Formen, während in der Natur (und auch in der Praxis) in der Hauptsache, wenn nicht ausschließlich, *Allopolyploide* in Betracht kommen. Wie verschieden sich die identische Vermehrung eines Chromosomensatzes gegenüber einem Zusammenfügen verschiedener Genome auswirkt, hat hinsichtlich der Zellgröße von Moosen neuerdings wieder v. WETTSTEIN⁸⁾, hinsichtlich ihres osmotischen Wertes BECKER¹⁴⁾ gezeigt. Wir halten es für richtig, auch bei höheren Pflanzen auf synthetischem Wege — wenn man so sagen darf — Formen mit bekanntem Genominhalt auf-

zubauen, mit einfachen Typen beginnend, und diese dann schrittweise auf ihre physiologische Leistung hin zu prüfen; wobei das stoffwechselphysiologische Moment im Vordergrund stehen soll und Konsequenzen für die eingangs genannten Probleme nur berücksichtigt werden, als sie sich zwanglos ergeben.

Weitere Untersuchungen sind im Gange. Sie werden mit Unterstützung des Reichs- und Preußischen Ministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und mit Unterstützung des Reichsforschungsrates durchgeführt.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, Abteilung von WETTSTEIN, den 6. Mai 1941. KARL PIRSCHLE.

Zur Polymerisation in einem Fällungsmittel.

Polymerisiert man ein Vinylderivat, etwa Styrol, in Lösung, so erhält man bei gleicher Konzentration je nach dem Lösungsmittel Polymerisate etwas verschiedenen Molekulargewichtes¹⁾. Die untersuchten Lösungsmittel sind mit einer Ausnahme sämtlich gute Lösungsmittel auch für das Polymerisat. Polyacrylsäure, hergestellt in Toluol (das nur das Monomere löst, das Polymere aber ausfällt), besaß, wie es schien, unabhängig von der Temperatur, etwa das gleiche Molekulargewicht²⁾. Da jedoch die Molekulargewichtsbestimmung an Polyakrylsäure schwierig und unsicher ist, wurden die Versuche an Styrol wiederholt.

Auch vom biologischen Standpunkt schienen solche Versuche von Interesse, denn vielfach dürften die natürlichen Hochmolekularen so entstanden sein, daß die monomeren Bestandteile in den Zellsäften noch löslich sind, das Polymere aber nicht mehr löslich ist. Hiermit hätte auch die angeblich gleiche Länge aller Ketten in Naturstoffen zusammenhängen können.

Vergleichende Versuche an Styrol, gelöst in Äthylalkohol, der das Polymere ausfällt, und in dem guten Lösungsmittel Benzol ergab nun bei gleicher Temperatur praktisch das gleiche Molekulargewicht, und ferner die Abnahme des Molekulargewichtes mit steigender Temperatur auch in Äthylalkohol. Folgende Zahlenwerte wurden aus je 2 Bestimmungen erhalten.

Temperatur	Äthylalkohol		Benzol	
140°	51600	—	54000	53600
170°	27400	30400	31900	29200
200°	23800	22600	21200	22400

Versuche, durch Fraktionieren nach G. V. SCHULTZ die Verteilung der Kettenlängen festzustellen, ergaben ebenfalls keine deutlichen Unterschiede. — Die Lösungen wurden in kleinen, abgeschmolzenen Röhren durch 72stündiges Erhitzen polymerisiert. Die Molekulargewichte wurden aus der spezifischen Viskosität mit der Konstanten $K_m = 0,8 \cdot 10^{-4}$ errechnet.

Der Einfluß des Lösungsmittels auf die Polymerisation besteht nach G. V. SCHULTZ¹⁾ in einem Eingriff nur in die Keimbildungsreaktion. Man kann auch bei einem Eingriff in den Kettenabbruch entweder nach SÜSS, PILCH und RUDORFER¹⁾ oder in anderer Weise zu einer befriedigenden Darstellung kommen. Die Fähigkeit oder Unfähigkeit, das Polymerisat zu lösen, hängt jedoch in keinem Fall mit dem Lösungsmiteleinfluß auf die Polymerisation zusammen.

Aachen, Institut für theoretische Hüttenkunde und physikalische Chemie der Technischen Hochschule, den 16. Mai 1941. E. JENCKEL. S. SÜSS.

¹⁾ H. SÜSS, K. PILCH u. M. RUDORFER, Z. physik. Chem. A 179, 361 (1937) — H. SÜSS u. A. SPRINGER, Z. physik. Chem. A 181, 81 (1937). — G. V. SCHULTZ, A. DINGLINGER u. E. HUSEMANN, Z. physik. Chem. B 43, 385 (1939).

²⁾ E. JENCKEL u. E. BRAÜCKER, Z. physik. Chem. A 185, 465 (1940).

¹⁾ O. HAGERUP, Hereditas (L und) 16, 19—40 (1932).

²⁾ G. TISCHLER, Proc. VI. intern. Bot. Congr. 1935, 54; Bot. Jb. 67, 1—35 (1935).

³⁾ A. MÜNTZING, Hereditas (Lund) 21, 263—378 (1935/36).

⁴⁾ A. FISCHER u. F. SCHWANITZ, Züchter 8, 225—231 (1936).

⁵⁾ E. LEHMANN, Jb. wiss. Bot. 89, 467/468 (1940).

⁶⁾ F. SCHWANITZ, Naturwiss. 28, 353—361 (1940).

⁷⁾ L. A. SCHLÖSSER, Forsch.dienst 3, 69—82 (1937); 10, 28—40 (1940).

⁸⁾ F. VON WETTSTEIN, Ber. dtsch. bot. Ges. 58, 374—388 (1940).

⁹⁾ K. PIRSCHLE, Planta (Berl.) 31, 349—405 (1940); Naturwiss. 29, 45—46 (1941).

¹⁰⁾ F. VON WETTSTEIN u. K. PIRSCHLE, Naturwiss. 28, 537—543 (1940). — K. PIRSCHLE u. F. VON WETTSTEIN, Biol. Zbl. 60, 626—658 (1940).

¹¹⁾ D. KOSTOFF, J. Genet. 36, 447—468 (1938).

¹²⁾ A. HEILBRONN, Rev. Fac. Sci. Univ. Istanbul 1, 56 bis 60 (1935).

¹³⁾ B. GYÖRFFY, Planta (Berl.) 32, 15—37 (1941).

¹⁴⁾ G. BECKER, Z. Abstammungslehre 60, 17—38 (1931).

Besprechungen.

MASING, GEORG, **Grundlagen der Metallkunde in anschaulicher Darstellung.** V, 127 S. und 121 Abbild. 16 cm × 24 cm. Berlin: Julius Springer 1940. Preis: brosch. RM 8,70, geb. RM 9,60.

Die Hochzüchtung, welche die metallischen Werkstoffe seit etwa einem Menschenalter erfahren haben,

hat in weiten Kreisen nicht nur der Technik und Naturwissenschaft, das Bedürfnis geweckt, sich über die Ursachen der Entwicklung und den Grund der außerordentlich feinen Anpassungsfähigkeit des Werkstoffes an den Gebrauchszweck Klarheit zu verschaffen. Darum wird man jedes Hilfsmittel begrüßen, welches

in zweckmäßiger und leichtfaßlicher Weise diesem Bedürfnis entgegenkommt, wie es bei dem MASINGschen Werkchen der Fall ist.

Es unterrichtet über den Aufbau kompakter Metalle und Legierungen aus Kristalliten, über deren Art und Wachstum, über die Methoden, sich von der Natur der Gefügebestandteile Kenntnis zu verschaffen wie von den Vorgängen, die beim Erhitzen und Abkühlen der Metallstücke in deren Innerem sich abspielen und eine Änderung der Eigenschaften herbeiführen können.

Die Beanspruchungsfähigkeit, von der die Verwendbarkeit der Werkstoffe in der Praxis abhängt, mit allen Erscheinungen, wie sie dem Beobachter mit der Steigerung der mechanischen Belastung entgegentreten von der rein elastischen über die bleibende Formänderung und die Verfestigung bis zum Bruch, wird ebenfalls anschaulich gemacht und das Verständnis geweckt für die molekularen Vorgänge, welche die äußeren Erscheinungen begleiten und u. a. mit Hilfe der Röntgenstrahlbeugungen verfolgt werden können.

Wir finden Ausführungen über Translationen und mechanische Zwillingbildung wie über die Beziehungen zwischen der Dehnbarkeit und den Festigkeits- bzw. Härtewerten, soweit solche bis jetzt zu übersehen sind, ferner über Eigenspannungen, plastische Biegung und Spannungskorrosion einschließlich der Spannungsbeeinträchtigung durch Erhitzen.

Die mit ihr parallel gehende Gefügebildung in Abhängigkeit vom Verformungsgrad, Glühtemperatur und Zeit, der Komplex der sog. Rekristallisationserscheinungen, ist klar dargestellt.

All diese Kapitel gewähren ein ziemlich vollständiges Bild über alle wesentlichen Fragen der mechanischen und der Wärmebehandlung des metallischen Werkstoffes.

Ein weiteres ist der chemischen Angreifbarkeit gewidmet, von der die Beständigkeit gegenüber den Einwirkungen der Atmosphäre und die Korrosionserscheinungen, die Vernichtung und Entwertung der Metalle abhängen. Die Frage des Oberflächenschutzes wird kurz berührt.

Den Schluß bilden einige Bemerkungen über kompliziertere, aus drei oder mehr Metallen bestehende Legierungen.

Für eine neue Auflage der kleinen Metallkunde würde es wünschenswert sein, einen kurzen Abschnitt über die elektrotechnisch wichtigen Eigenschaften der Mischkristallegierungen aufzunehmen. Auch ein kleiner Schönheitsfehler sprachlichen Charakters wäre zu beseitigen. Auf S. 85 heißt es:

„Wenn man einen Zinnstab vorsichtig biegt . . . hört man ein eigenartiges Knistern, das bekannte *Zinngeschrei*. Das ist weiter nichts als eine mechanische Zwillingbildung bei der plastischen Verbiegung.“

Nun, Zinngeschrei kann niemals eine Zwillingbildung sein, sondern höchstens die akustische Folge einer Zwillingumlagerung.

Weiter scheint mir die Darstellung der Beziehungen der Metallkunde zur Chemie ebenso wie die Definition der Chemie auf S. 1 nicht ganz glücklich zu sein. Die Sätze „Die Chemie ist die Lehre von den chemischen Elementen und ihren Verbindungen miteinander. Die Chemie operiert mit dem Atom des Elementes; was sie interessiert, ist das Molekül einer Verbindung, ihr Gebiet ist die Reaktion zwischen Molekülen, wie sie uns in der Reaktionsgleichung begegnet,“ fassen das Interessengebiet der Chemie doch gar zu eng; die Chemie beschränkt sich nicht auf die analytische und synthetische Seite der Lehre vom Stoffe, sondern ist Lehre vom Stoff schlechthin in ihrem ganzen Umfange.

Ohne Zweifel ist die Metallkunde zu einem sehr großen Teile Chemie und physikalische Chemie.

Doch möchte ich ausdrücklich bemerken, daß diese kleinen Erinnerungen den Wert des Büchleins in keiner Weise beeinträchtigen. Es ist und bleibt eine gute Einführung in das Gebiet der Metallkunde.

RUD. SCHENCK.

KOPFERMANN, HANS, **Kernmomente**. (Physik und Chemie in Einzeldarstellungen. Bd. IV.) Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig 1940. XVI und 270 S. Mit 117 Abbild. 23 cm × 15,5 cm. Preis geb. RM 21,60, brosch. RM 19,60.

In den letzten Jahren konnte der Referent bei verschiedenen Vorträgen, die einen Gesamtüberblick über die Kernphysik geben wollten, feststellen, daß die Kernmomente und Quadrupolmomente, wenn überhaupt erwähnt, mit einem „bekanntlich“ oder „wie aus der Hyperfeinstruktur sich ergibt“ abgetan wurden. Der Grund für diese im Interesse des Fortschrittes der Kernphysik betrübliche Erscheinung ist darin zu suchen, daß es bisher keine zusammenfassende Darstellung der vorliegenden Resultate gab und daß kleine Anfänge solcher Darstellungen immer bald durch neue weitere Arbeiten unvollständig wurden. Jetzt nach der ersten Durchmusterung des vorliegenden Arbeitsgebietes, die noch besonders abgegrenzt ist durch das gegenwärtige Zeitgeschehen, ist von dem Verfasser ein sehr günstiger Augenblick für eine solche Zusammenstellung gewählt worden, zumal noch die *direkte* Bestimmung der magnetischen Momente durch RABI und Mitarbeiter soweit ausgebildet ist, daß eine abschließende Darstellung dieser sehr aussichtsreichen Methode gegeben werden konnte. Dabei ist vielleicht zu betonen, daß die experimentellen Daten der Hyperfeinstruktur für die magnetischen Kernmomente eine erheblich größere Genauigkeit besitzen, als die angenäherten theoretischen Formeln auszunutzen erlauben. Die direkte Bestimmung der Momente gibt nun ein Mittel in die Hand, die theoretischen Formeln zu prüfen.

Der Verfasser des vorliegenden Buches, selbst ein anerkannter Fachmann, hat mit großem Geschick und Fleiß die Materie dargestellt. Beim Studium des Buches wird einem einerseits immer wieder klar, wieviel Atomkernbegriffe diesem Arbeitsgebiet ihren Ursprung verdanken, andererseits muß man auch erkennen, welche eine Menge von Tatsachen zukünftigem Fortschritte noch die Wege weisen können.

So schlagen z. B. die großen gefundenen Quadrupolmomente eine Brücke zu der fundamentalen Entdeckung HAHNS und STRASSMANNs, während das Maximum der Werte der Quadrupolmomente bei den seltenen Erden und ihre Abnahme bei Hg und Bi Analogien mit Erscheinungen aus der Kinetik der Atomkernforschung erkennen lassen.

Es hieße der Sache nicht dienen, wollte man hier und da Kleinigkeiten beanstanden. Vielleicht sei nur eine Bemerkung angebracht. Es wäre zweckmäßig gewesen, wenn sich der Verfasser entschlossen hätte, ein Verzeichnis der gesamten Arbeiten zu bringen. Der Leser hätte sich dann darauf verlassen können, ohne bei anderen Autoren noch suchen zu müssen, wirklich kein Tatsachenmaterial übersehen zu haben.

Abschließend kann man nur Verfasser und Verlag zu dem vorliegenden Buch beglückwünschen. H. SCHÜLER.

BAWDEN, F. C., **Plant Viruses and Virus Diseases**. (A New Series of Plant Science Books. Edited by Frans Verdoorn, Vol. V.) Berlin: R. Friedländer u. Sohn. Leiden: Chronica Botanica Company 1939. X, 272 S. u. 37 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis RM 10.—, Gld 7.—.

Nach der Definition des Begriffes „Viruskrankhei-

ten“ gibt Verf. einen Überblick über die historische Entwicklung des Virusproblems und seiner Bearbeitung. Ende des 19. Jahrhunderts hat PASTEUR wahrscheinlich als erster die Ansicht von der Existenz von „pathogens“ ausgesprochen, deren Dimensionen im subvisiblen Bereich liegen. Um die Wende des 20. Jahrhunderts trat das Virusproblem sehr in den Vordergrund der Forschung. 1898 stellte BEIJERINK als erster die Behauptung auf, daß die Viren sich von Bakterien grundsätzlich auch in anderen Eigenschaften als nur der Größe unterscheiden. 1935 isolierte STANLEY, USA., als erster ein hochmolekulares Protein mit den Eigenschaften des Tabakmosaikvirus. Die Annahme, daß die Proteine die Viren selbst seien, verdichtete sich immer mehr, ist aber nach Ansicht einiger Autoren (z. B. HAAGEN) noch nicht bewiesen. Verf. gibt darauf einen Überblick über die äußeren Symptome der Viruskrankheiten, die gewisse Eigenschaften gemein haben, die sie von anderen Infektionskrankheiten unterscheiden: viruskranke Pflanzen gesunden selten, im Gegensatz zu den durch die Einwirkung von Toxinen erkrankten Pflanzen. Die Hauptmerkmale sind u. a. Verfärbung der Blätter und Verkümmern des Blattwachses. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Symptome von zwei verschiedenen Stämmen (strains) ein und desselben Virus stärker differieren können, als die von zwei nicht verwandten Viren. Aber dogmatische Feststellungen sind erst möglich nach Berücksichtigung der Umweltsverhältnisse, besonders von Licht- und Temperatureinflüssen. Bei den inneren Symptomen stellt Verf. besonders die Veränderung des normalen Gewebe- und Zellinhaltes und die intrazellularen Einschlüsse, die aber nicht bei allen Viren auftreten, in den Vordergrund. Ein besonderes Kapitel widmet er den 3 Übertragungsmethoden: Pflöpfen, Beimpfung, Luft (airborne nach SMITH, 1937). Die meisten Virusarten werden durch Insekten übertragen, Samenübertragung ist sehr selten, der Grund dafür aber noch nicht bekannt (KAUSCHE, Biol. Zbl. 1940). Die Eigenschaften des Preßsaftes werden demonstriert an Hand seiner Beständigkeit gegen Hitze, Altern und seines Verhaltens gegen den Einfluß von Chemikalien. Filtrierbarkeit konnte durch die Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration und anderer Eigenschaften des Saftes verändert werden. Die Filtrationsendpunkte wurden zur Bestimmung der Dimensionen der Viren, besonders von SMITH und MACCLEMENT, 1938, herangezogen. Es wurden auf dieser Basis Filtrationsendpunkte von 40 und 45 μ für das Tomato bushy Stunt und Tobacco necrosis Virus gemessen. Die Beziehung zwischen den Viren und den Insektenüberträgern sind wenig untersucht. Experimente sprechen für eine Inkubationszeit, deren Grund aber nicht ersichtlich ist. Höchstwahrscheinlich vermehren die Viren sich auch in den Insekten, auf jeden Fall verbreitet sich das Virus, das durch Insekten übertragen wird, schneller als das durch andere Methoden übertragene. Es gibt auch Viren, die keine Inkubationszeit im Vektor haben, sondern sofort weiterübertragen werden. Wie der Mechanismus der Übertragung ist, darüber hat sich noch nichts feststellen lassen. Verf. erörtert dann weiter einen prinzipiellen Unterschied zwischen phytopathogenen und tierpathogenen Viruskrankheiten: Tiere haben einen „Abwehr“mechanismus, der sog. „antibodies“ erzeugt, Pflanzen dagegen nicht. *Trotzdem können sie immun (resistent) werden.* Wenn sich ein Virus verändert — man spricht dann von „Stämmen“ —, verändern sich auch die Symptome. Der Ursprung der einzelnen Stämme liegt in einer Wurzel. So können z. B. die typischen Symptome einer Viruskrankheit

durch äußere Umstände vollständig verändert werden. Es besteht kein Grund, daran zu zweifeln, daß die Nukleoproteine die Viren selbst sind, und es scheint, daß, wenn ein Virus mutiert, ein neues Protein gefertigt wird. Alle Versuche betreffs einer erlangten oder zu erlangenden Immunität weisen darauf hin, daß der Schutz der Pflanze nicht darin besteht, daß sie in den Stand gesetzt werden kann, ein Eindringen des Virus zu verhindern, sondern nur dessen Vermehrung innerhalb ihres Organismus. Diese erworbene Immunität ist aber grundverschieden von der bei Tieren; denn kein Tier leidet an einer Krankheit, die es immun gegen eine andere macht. Die Anwendungsmöglichkeit serologischer Methoden als Mittel zur Feststellung und Identifizierung des Virus bewies PURDY BEALE 1928 und 1931 durch den Nachweis, daß viruskranke Pflanzen „antigens“ enthalten. Aber über die Natur der „antigens“ weiß man noch nichts. Höchstwahrscheinlich sind die spezifischen „antigens“ die Viren selbst. Eine Herabsetzung der Infektiosität ist somit durch Antisera möglich.

Die Reindarstellung von Viren gelang zuerst STANLEY 1935. Die reinen Viruspräparate haben einen verschiedenen Aktivitätsgrad, und zwar scheint der kleine Bestandteil an Kohlehydraten ein wesentlicher Bestandteil für die Aktivität des Virus zu sein. Über Größe der Viren ist viel gearbeitet worden. KAUSCHE, PFANKUCH und RUSKA haben mit der Methode des elektronenoptischen Übermikroskops eine Länge von 150 und 300 μ und eine Breite von 15 μ gemessen. Diese Größen können als endgültige angesehen werden, da sie von den genannten Verff. auf ganz anderer Basis mit neuen Methoden experimentell gesichert werden konnten.

Verf. führt also die neuesten Fortschritte und Ergebnisse an, die über das Virusproblem erlangt worden sind, stellt sie gegeneinander bzw. wägt sie gegeneinander ab. Er bringt im Überblick sowohl die einzelnen Versuche, die auf den verschiedenen Wegen unternommen worden sind, um das Wesen und die Eigenschaften der Viren zu klären, als auch die Schlüsse, die man daraus ableiten kann. Einer eigenen kritischen Stellungnahme enthält sich der Verf. in den meisten Fällen.

Das Hauptverdienst des Buches liegt darin, daß sich der Leser an Hand einer übersichtlichen Einteilung über den Stand der ihn interessierenden Fragen schnellstens unterrichten kann, wenn er auch, um einen genaueren Einblick zu erlangen, die betreffende Literatur heranziehen muß.

In Kapitel 14 schlägt Verf. sowohl bei dem theoretischen wie beim praktischen Studium eine Einteilung auf Grund der inneren Eigenschaften des Virus vor. Es scheint ihm, daß die beste Einordnung die an Hand der serologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften der Viren ist. Bevor diese Eigenschaften im einzelnen aber durchgearbeitet und erforscht sind, könnte eine vorläufige Anordnung getroffen werden, die die Gleichheit in bezug auf Stabilität, Übertragungsart und immunologische Eigenschaften der Viren im rohen Preßsaft oder in kranken Pflanzen zur Grundlage nimmt. Verf. schließt mit der Feststellung, daß die Wissenschaft noch sehr im Dunkeln tastet bezüglich der Fragen der Aktivität der Viren *in vivo*, obgleich sich das Wissen um die Natur der Viren und ihrer Eigenschaften *in vitro* in letzter Zeit erheblich vergrößert hat. Bevor diese Probleme gelöst sind, ist eine Antwort auf die Fragen: belebt oder unbelebt, wie entstehen die Viren, wie vermehren sie sich? — um nur einige der wichtigsten zu nennen — nicht möglich.

G. A. KAUSCHE, Berlin-Dahlem.

Rassen und Kulturen Afrikas.

Die geographische und völkerkundliche Erforschung Afrikas hat in den letzten Jahrzehnten so schnelle Fortschritte gemacht, daß der „dunkle Erdteil“, von dem vor 100 Jahren wenig mehr als die Umrisse bekannt waren, heute zu den ethnologisch am besten untersuchten Gebieten der Erde gehört. Das ständig anwachsende Beobachtungsmaterial erlaubt eine immer genauere Erfassung der einzelnen Volks- und Stammeskulturen und ein tieferes Eindringen in das uns so wesenfremde Leben und Denken der Eingeborenen. Wir besitzen damit ein abgerundetes Bild der heutigen afrikanischen Kulturen, ein Bild, dem es allerdings noch an der geschichtlichen Tiefe fehlt. Von dem langen Entwicklungsweg der afrikanischen Völker ist erst der letzte, die europäische Kolonialepoche umfassende Abschnitt bekannt; weiter zurück führen nur noch einzelne Traditionen und Stammesüberlieferungen, die sich schon bald in mythischer Ferne verlieren. Erst mit dem Einsetzen vorgeschichtlicher Untersuchungen und dem Aufkommen der historischen Richtung in der Völkerkunde wurde die Frage nach dem geschichtlichen Werden, nach der rassischen und geographischen Bedingtheit der rezenten Kulturen in den Mittelpunkt der Forschungsarbeit gestellt und damit zugleich die methodische Voraussetzung für eine umfassende Kulturgeschichte Afrikas geschaffen. Diese geschichtliche Betrachtungsweise wurde bereits am Ende des vorigen Jahrhunderts durch SCHURTZ, RATZEL und FROBENIUS in die Afrikanistik eingeführt. Aber erst ANKERMANN gelang es, festumrissene „Kulturkreise“ herauszuschälen und in ihrer relativen Zeitfolge festzulegen, eine wertvolle, wenn auch in manchem überholte Arbeitsgrundlage, auf der im besonderen die Wiener kulturgeschichtliche Schule (P. W. SCHMIDT, KOPPERS, MENGHIN, SCHEBESTA u. a.) weitergebaut hat. Es bleibt ihr Verdienst, die Erforschung der Pygmäen und Viehzüchter, der rhodesisch-sudanischen Hochkulturvölker sowie der afrikanischen Vorzeit vorangetrieben zu haben, wenn auch einzelne methodische Schwächen — so die übereilte Verknüpfung afrikanischer Kulturkreise mit denen anderer Erdteile — berechnete Kritik hervorgerufen haben. Zur gleichen Zeit gelang es FROBENIUS, der auf seinen zahlreichen Expeditionen wertvollstes Material zusammenbrachte, verschiedene andere Kulturkreise näher zu umreißen. Aus der gestaltlosen Fülle des Beobachtungsmaterials beginnen sich damit die Konturen historisch zusammengehöriger Kulturschichten und -gruppen abzuzeichnen.

Bedeutende Hilfe leistet dabei die Vorgeschichtsforschung, die bereits beachtenswerte Ergebnisse zeitigt hat, so den Fund des Homo Rhodiensis in Broken Hill oder die Entdeckung eines Menschen der Pithecanthropusstufe in Ostafrika durch KOHL-LARSEN. MENGHIN gelang es außerdem, die prähistorischen Funde Afrikas mit den steinzeitlichen Kulturen anderer Erdteile in Verbindung zu bringen und damit weitreichende rassische und geschichtliche Zusammenhänge aufzudecken. Die afrikanische Rassenforschung, die seit der Veröffentlichung der v. EICKSTEDTSchen „Rassenkunde und Rassengeschichte der Menschheit“ (Stuttgart 1934) über eine wertvolle, wenn auch erst vorläufige Arbeitsgrundlage verfügt, ist dagegen über Ansätze zu einer Klärung der anthropologischen Verhältnisse nicht hinausgekommen.

Die schnellen Fortschritte der Afrikanistik legten

es nahe, den gegenwärtigen Stand unseres Wissens in einer umfassenden Zusammenschau darzustellen, eine äußerst schwierige Aufgabe, die HERMANN BAUMANN in seinem richtungsweisenden Beitrag zur „Völkerkunde von Afrika“¹⁾ hervorragend gemeistert hat. Er formuliert dabei eine Reihe von Kulturkreisen, die über alle gleichartigen Versuche hinausführen und über die daher im folgenden berichtet werden soll.

Ein besonders urtümliches Volks- und Rassenelement bilden die zahlreichen *Pygmäen*horden, die in den Urwaldgebieten Kameruns und des nördlichen Kongo umherschweifen. Kleinwüchsigkeit, Neigung zur Breitschädligkeit, dicke, fleischige Nase, krauses, dunkles Haar, starker Bartwuchs und dichte Körperbehaarung kennzeichnen diese Menschengruppe, die — entgegen früheren Anschauungen — keine Degenerationserscheinung darstellt. Die Wirtschaftsform dieser Zwerge ist ein ausgesprochenes Wildbeutertum; der Mann jagt, die Frau sammelt. Infolge der nomadischen Lebensweise ist der materielle Kulturbesitz äußerst gering und auf das Lebensnotwendigste beschränkt. Als Kleidung dienen Rindenstoffschurze und Fellgürtel, als Wohnstatt einfache Windschirme, die Hauptwaffe ist der Bogen. Für Erzeugnisse bildender Kunst, Musikinstrumente oder Schmuck bleibt in dieser Kultur nur wenig Raum. Die Werkstoffe, aus denen man das spärliche Gebrauchsgerät herstellt, werden dem Wald entnommen. Töpferei und Metalltechniken sind völlig unbekannt, und auch eine Steinzeit läßt sich noch nicht nachweisen — ein wesentlicher Unterschied zur Buschmannkultur. Das soziale Leben der Urwaldzwerge ist außerordentlich spannungsarm; das gilt sowohl für die Beziehungen der Horden untereinander — Kriege sind so gut wie unbekannt — wie auch für das recht harmonische Familienleben und die patriarchalischen Verhältnisse innerhalb der einzelnen Sippen. Die Religion wird durch den Glauben an einen väterlichen Hochgott bestimmt, eine Tatsache, die P. W. SCHMIDT als Beleg für den von ihm angenommenen Urmonotheismus der ältesten Menschheitskulturen angeführt hat. Allerdings wird das religiöse Leben nicht allein von dieser Hochgottverehrung beherrscht; wie SCHEBESTA nachweisen konnte, spielt daneben auch der Zauberglaube eine bedeutsame Rolle. In der Mythologie der Pygmäen finden sich schließlich Anklänge an die mythischen Vorstellungen der Buschmänner, eine Tatsache, die auf gegenseitige Beeinflussung schließen läßt.

Diese Buschmänner repräsentieren einen anderen, ebenfalls sehr urtümlichen Kulturkreis, die *eurafrikanische Steppenjägerskultur*. Ihren Lebensraum bilden die weiten Salz- und Trockensteppen, die sich von der Sahara und dem Nordsudan über die Trockengebiete Ostafrikas bis zur Kalahari und der Wüste Namib in Deutsch-Südwestafrika erstrecken. In diesem gewaltigen Raum, über den so viele Völkerwanderungen hinweggeflutet sind, finden sich nur noch wenige verstreute Trümmer der einst kontinental verbreiteten Jägerskultur. Ihre reinsten noch lebenden Vertreter sind

¹⁾ Völkerkunde von Afrika. Mit besonderer Berücksichtigung der kolonialen Aufgabe. Von HERMANN BAUMANN, RICHARD THURNWALD und DIEDRICH WESTERMANN. Essen: Essener Verlagsanstalt 1940. VIII, 665 S., 461 Fig., 23 Kt. Preis: brosch. RM 15.—, geb. RM 20.—.

die Buschmänner, ein Volk khoisanider¹⁾ Rasse, das in die entlegenen Wüsten und Halbwüsten Südwestafrikas abgedrängt worden ist. Ein stark steppen-jägerisches Element findet sich auch bei den Sandawe, Ndorobo und Kindiga in Deutsch-Ost, von denen letztere sogar khoisanide Rassenmerkmale aufweisen. Weitere Jägergruppen sind über große Teile Afrikas zerstreut, sie finden sich zumeist in Gebieten, in denen sich auch bei den übrigen, dominanten Kulturen steppen-jägerische Substrate nachweisen lassen. In vorgeschichtlicher Zeit dürfte die Jägerkultur eine weit bedeutsamere Rolle gespielt haben. So gehören die WILTON- und SMITHFIELD-Kultur in Südafrika, die Elmenteitakultur in Kenya, das Capsien Nordafrikas und vielleicht auch die ostspanischen Felsbilder in diesen Zusammenhang. In der Pluvialzeit dürfte vor allem die Sahara ein Jägerparadies und damit ein Kerngebiet der Steppenjägerskultur gewesen sein. Diese „Urbuschmänner“ bildeten, wie ihre noch lebenden Nachfahren, eine hellhäutigere, von den Negern deutlich geschiedene Rasse, ein Unterschied, der sich auch in den Blutgruppenverhältnissen äußert: Bei den Buschmännern entfallen 56,1% auf die Blutgruppe O und 29,6% auf die Blutgruppe A, wogegen die bei den Negern häufige Gruppe B völlig zurücktritt. Bemerkenswerterweise findet sich ein ähnliches Vorherrschen der Blutgruppen AO auch bei den Lappen und Australiern, von denen letztere zahlreiche kulturelle Übereinstimmungen mit den Buschmännern aufweisen.

Für diese eurafrikanische Jägerkultur sind eine Reihe von Jagdriten und -methoden besonders kennzeichnend, so „die Jagdmaske, das Vergiften der Wasserplätze, Wurfstöcke, die Tellertrittfalle, Einstecken von vergifteten Pfeilen im Straußennest, das Verletzen der Achillesferse, das Zu-Tode-Hetzen der Gazelle im Lauf“. Auch das religiöse Denken der Buschmänner kreist um den wichtigsten Nahrungsspende, das Tier. So finden sich bei ihnen totemistische Gedankengänge, jener eigenartige Glaube an die innige, verwandtschaftliche Verbindung von Tier- und Menschenwelt, der so ganz der Jägermentalität entspricht. Auch die zahlreichen magisch-zauberischen Handlungen sollen das Jagdglück beeinflussen oder die Fruchtbarkeit des Wildes fördern. Die Jagd steht endlich auch im Mittelpunkt der Sippenerziehung. So wird die Jugend im Zusammenhang mit den Initiationszeremonien, bei denen Jagd- und Buschdämonen eine Hauptrolle spielen, in die Geheimnisse der Jägerei eingeführt und zum Abschluß der „heiligen Jagdimpfung“ mit Teilen des Wildes unterworfen.

Über den ostafrikanischen Steppengürtel, die große afrikanische Wanderstraße, drang auch eine weit jüngere Völkergruppe, die *osthamitischen* Großviehzüchter, in kühnen Eroberungszügen nach Süden, bis in die Region des Kaps und die Weidegebiete von Deutsch-Südwest. Die Angehörigen dieses Kulturkreises, der sich im Osthorn und im nördlichen Ostafrika am reinsten erhalten hat, bilden eine rassische Einheit, die äthiopische Rasse, wie sie v. EICKSTEDT genannt hat. Schlanker Hochwuchs, grazile Körperformen, langer Schädel und schmales Gesicht sind die hervorstechendsten Merkmale dieser kriegerisch-aristokratischen Bewegungsrasse, die nur geringe negride Beimischungen aufzuweisen hat. Das „Leitfossil“ dieser Kultur ist die Großviehzucht, die nicht allein die Wirtschaft, sondern auch das soziale und geistige Leben beherrscht. Das

¹⁾ Die charakteristischen Vertreter dieser „khoisaniden“ Rasse sind die Hottentotten (Khoi-Khoin) und die Buschmänner (San) in Deutsch-Südwest.

wichtigste Zucht tier und zugleich der wertvollste Besitz der Hamiten ist das Langhornrind, dessen Wartung als besonders ehrenvolle Arbeit dem Manne vorbehalten bleibt. Mit der Rinderzucht verbinden sich zahlreiche Sitten und Vorstellungen, die für den hamitischen Kulturkreis charakteristisch sind, so der Glaube an einen gemeinsamen Ursprung von Rind und Mensch, das Begraben der Häuptlinge in einer Rinderhaut, die Wahl eines „heiligen“ Stieres und vieles andere. Das Rind ist zudem ein so kostbarer, Reichtum und Macht verkörpernder Besitz, daß man es nur in seltenen Ausnahmefällen, bei Feiern und Kulthandlungen, schlachtet. Der übrige Kulturbesitz der Viehzüchter ist dagegen äußerst beschränkt; Ledermäntel und -schürzen bilden die Kleidung, kleine Bienenkorbbütten die bescheidene Wohnstatt. Auffallend gering ist auch die musische Begabung der Hirtenkrieger, deren Sinn mehr auf das sieghafte Durchdringen weiter Räume und die Organisation unterworfenen „Menschenherden“ gerichtet ist.

Neben diesen drei Kulturkreisen, deren Träger von den Negern deutlich geschieden sind, stehen die eigentlich nigritischen Kulturen, bei denen BAUMANN zwei Hauptgruppen unterscheidet: die mutterrechtliche Mittelbantukultur — mit einer Untergruppe der „Urwaldkultur“ — und die vaterrechtliche altnigritische Kultur. Diese Nigritier stellen die Hauptmasse der Afrikaner, Völker, die das rassische und ethnische Bild des Erdteils ganz anders beeinflußt haben als die kleinen Pygmäen- und Jägerhorden — lebende „Fossilien“ vergangener Menschheitsepochen — oder die dünne Adelsschicht der Hamiten. Sie sind dabei nicht allein die zahlreichste und am weitesten verbreitete, sondern auch die kolonialpolitisch bedeutsamste Menschengruppe Afrikas. Die *Mutterrechtkultur*, die sich vorerst noch mit keiner bestimmten Rasse in Verbindung bringen läßt, beherrscht einen geschlossenen Raum, der sich von Angola und dem südlichen Kongo bis zum unteren Sambesi erstreckt — Savannengebiete, in denen die Bantupflanzer Regenzeitfeldbau (Hackbau) betreiben. Diese bodengebundene Wirtschaftsform, die Selbsthaftigkeit und stabilere Lebensverhältnisse bedingt, hat zu einer Anreicherung der materiellen Kultur und zu einer üppigen Entfaltung der handwerklichen und künstlerischen Fähigkeiten geführt. Auch das Mutterrecht und die mit Fruchtbarkeitsideen zusammenhängende Höherbewertung der Frau hat in dieser Richtung gewirkt. So treffen wir hier eine entwickelte, stark sexuell betonte Plastik an, bei der die Frau, die Verkörperung der lebensspendenden Kräfte, als bevorzugtes, immer wieder von neuem abgewandeltes Motiv dient. Die religiöse Sphäre, die bei den phantasiebegabten Bantu eine große Rolle spielt, wird durch Dämonenglauben, Animismus, Besessenheitskulte, durch die Verehrung von Regengöttern und einer noch in Spuren nachweisbaren weiblichen Erdgottheit beherrscht. Von großer Bedeutung sind die Reifezeremonien, denen vor allem auch die Mädchen unterworfen werden.

Die Regenwälder des Kongo und der westafrikanischen Küste bilden den Lebensraum der „Urwaldkultur“, deren Charakter durch den Wald und die Berührung mit den Nachbarstämmen — Pygmäen und Sudanvölkern — geformt worden ist. Auch in dem Rassebild der hierher gehörigen palänegrinden oder „Urwaldrasse“, wie sie BAUMANN vorsichtiger nennt, machen sich Pygmäeneinflüsse bemerkbar: geringe Körpergröße, Rundschädlichkeit, Neigung zur Prognathie und starke Körperbehaarung weisen in diese Richtung. Das Leben dieser Urwaldstämme ist ganz

der Natur der Hyläa angepaßt. So überwiegt eine extensive Bodennutzung, die sich vielfach auf das Setzen der Bananenschößlinge und das tägliche Einern beschränkt, eine Art von Feldbeutertum, das eine Mittelstufe zwischen der rein aneignenden Wirtschaft der Pygmäen und dem systematischen Bodenaufbau der Mittelbantu darstellt. Auch die politischen Verhältnisse spiegeln die Enge und Abgeschlossenheit des Waldes, die jeder umfassenden Gemeinschaftsbildung im Wege steht. Vaterrechtlich organisierte Sippen und patriarchalisch geleitete Dorfgemeinschaften sind die größten sozialen Einheiten, ein krasser Gegensatz zu dem in weiten Räumen denkenden Hamitentum der Steppe.

Neben diesen beiden jüngeren Kulturen, die ANKERMANN noch für eine Einheit, die „westafrikanische Kultur“, gehalten hatte, steht das *Altnigritertum*, ein Kulturkreis von großer innerer Geschlossenheit, der die zahlreichen Splitterstämme des Sudan, das obere Nilgebiet und Teile Ostafrikas umfaßt. Diese alte Negerkultur, deren ursprüngliche Träger die Alt- oder Urnegere gewesen sein dürften, hat in der Kulturgeschichte Afrikas eine höchst bedeutsame Rolle gespielt, nicht zuletzt infolge der Lebenskraft, die der altnigritisch-vaterrechtlichen Großfamilie innewohnt. Vor allem das Zusammenleben der männlichen Familienangehörigen in großen Sippschaftsgehöften stärkt das Gemeinschaftsgefühl, das sich auch in der für die Religion der Altnigritier so überaus charakteristischen Ahnenverehrung äußert.

Im Gegensatz zu den Stämmen der Urwaldkultur betreiben die Altnigritier einen sehr intensiven Bodenaufbau, bei dem die Hauptarbeit vom Manne geleistet wird. Die wichtigste Anbaufrucht ist Hirse, die mit Hilfe von Grabstöcken gepflanzt und nach der Ernte in Vorratsspeichern gesammelt wird. Die Tierhaltung spielt dagegen keine bedeutende Rolle, sie beschränkt sich auf das charakteristische Tier der Pflanzerkultur, die Ziege. Die pflanzlerische Mentalität der Nigritier äußert sich schließlich auch in der Religion, die von einem ausgeprägten Kult der Erde und zauberischen, die Fruchtbarkeit fördernden Praktiken beherrscht wird.

In dieser tiefkulturellen Sphäre finden sich zahlreiche Elemente, die zu einer frühen Phase der Herrscherhochkultur überleiten. Das gilt im besonderen vom Sudan, wo die *neu- oder jungsudanische* Kultur eine derartige Hochkultur repräsentiert. Die vorwärtstreibenden Impulse entstammen vor allem dem staatlichen Bereich, so daß die neusudanische Kultur in dem Einflußgebiet der vorislamischen Reichsbildungen — Ghana, Melle und Songhai im Westen, Abessinien im Osten — am stärksten zu spüren ist. Es ist aber noch nicht im einzelnen festzustellen, inwieweit diese Entwicklung durch innere Anreicherung einheimischer Kulturen oder durch altorientalische, indische oder ägyptische Fremdeinflüsse ausgelöst worden ist. Auch die völkischen Träger lassen sich nicht genau bestimmen, doch scheint es sich bei der Herrscherschicht um vorwiegend mediterrane und äthiopische Gruppen zu handeln. Das entscheidend Neue ist die völlige Wandlung der politischen Verhältnisse: An die Stelle der demokratischen, von den Ältesten regierten Dorfgemeinde tritt der mächtige Großstaat, in dem der absolute Gottkönig mit Hilfe eines ausgedehnten Be-

amtenapparates regiert. Dieses monarchische System hat mit seinem gesteigerten höfischen Luxusbedarf auf vielen Gebieten befruchtend gewirkt. So begegnen wir hier einer kunstgewerblichen Verfeinerung der Kleidung, einer Blüte der Goldschmiedetechnik, der Schmuck- und Waffenherstellung. Auch auf dem Gebiet des Feldbaues scheint die neusudanische Kultur wesentliche Verbesserungen gebracht zu haben, so die Mistdüngung und die Einführung der künstlichen Bewässerung.

Der sudanischen Hochkultur im Norden entspricht die *rhodesische* Kultur im Süden, eine frühe Herrenkultur, die von ihrem rhodesischen Kerngebiet bis nach Uganda und dem unteren Kongo ausgestrahlt ist. Wie im Sudan hat hier eine völkische und rassische Überschichtung stattgefunden: Über die breite Masse der Altnigritier und der mutterrechtlichen Bantupflanzer lagert sich eine dünne orientalische Herrscherschicht, die anscheinend von Sofala an der Ostküste in das Innere vorgedrungen ist. Ihren deutlichsten Ausdruck fand die rhodesische Kultur in dem großen Monomotapareich, das in dem Gebiet der ehrwürdigen Ruinen von Simbabwe errichtet wurde. Wie im Sudan ist die Hochkultur auch hier an die Großstaatbildungen gebunden: das absolute Königtum, die bedeutende Stellung der Königin und der Königinmutter, ein ausgedehnter Hofstaat, Wallfahrten zu den Herrschergräbern, heilige Staatsfeuer und eine ausgeprägte Lunar-Mythologie sind einige ihrer hervorstechendsten Merkmale. Auch auf handwerklich-kunstgewerblichem Gebiet hat das Herrertum fördernd und anregend gewirkt; die Baumwollweberei, der Goldbergbau, die entwickelte Metalltechnik und vieles andere sind dafür beredete Zeugen.

Weisen die geistigen Wurzeln der rhodesischen und jungsudanischen Kultur auf Indien und den vorderen Orient, so stammt eine andere, vor allem im Sudan wirksame Kulturwelle aus der vorindogermanischen Mittelmeerwelt. Ihr Vermittler waren die Berber, die diese „syrtische“ Kultur, wie sie FROBENIUS nennt, über die Sahara nach Süden weitergeleitet haben. Mit ihnen drang auch das altmittelmeerische Mutterrecht nach Zentralafrika, wo es sich trotz des Islam noch an verschiedenen Stellen gehalten hat. Ein ähnlich hochkulturelles Element ist auch die Magna-mater-Idee, die ebenso wie die sudanische Stadtkultur und zahlreiche technische und kunstgewerbliche Errungenschaften auf den altmediterranen Kulturkreis zurückgehen.

Auf diese berberische Kulturwelle folgten im letzten Jahrtausend das Arabertum und der Islam, die weite Gebiete Nord- und Ostafrikas ethnisch umgestaltet haben.

In jüngster Zeit hat die moderne europäische Maschinenkultur auch in Afrika eine Zeitwende herbeigeführt. Mit ihrer Auswirkung auf das afrikanische Leben befassen sich die beiden letzten Hauptteile des großen Werkes. In dem Kapitel „Die fremden Eingriffe in das Leben der Afrikaner und ihre Folgen“ gibt THURNWALD einen Überblick über die Geschichte der Kolonisation und den Verlauf des Kulturwandels. WESTERMANN untersucht dagegen in seinem hervorragenden Beitrag „Sprache und Erziehung“ die volkerzieherischen Ziele der einzelnen Kolonialmächte, wobei er vor allem die gegenwärtige pädagogische Situation herausarbeitet. GEORG ECKERT.

Walther Vogt zum Gedächtnis.

Von H. BAUTZMANN, Hamburg.

Als uns, die Schüler und Freunde seiner wissenschaftlichen Arbeit, die Nachricht erreichte, daß WALTHER VOGT nicht mehr war, da überkam uns eine Trauer, die um so fühlbarer ist, als hier eine besondere Tragik wiederum das Leben eines Mannes weit vor der Höhe seine Vollendung endete. Als WALTHER VOGT dem Freunde gleicher Forschungs- und Arbeitsweise, seinem Lehrer, dem Würzburger Anatomen HERMANN BRAUS, der mit kaum 57 Jahren abberufen worden war, Worte des treuen Gedenkens widmete, da ahnte er nicht, daß er damals fast genau das umriß, was uns bei seinem schon bald nach dem 53. Geburtstage erfolgten Ableben (17. III. 1941) so besonders schmerzlich berührt: „Der Tod hat einen Riß getan, der weite Kreise erschüttert; jählings für die Außenstehenden, die den bedeutenden Forscher und Lehrer mitten im vollen Schaffen wußten, allzu rasch und erbarmungslos für die, die ihn umgaben, die seine Gefährdung durch schwere Krankheit . . . kannten oder fürchten mußten, zu früh für sein Werk. Der deutschen und ausländischen Anatomie ist einer der Besten entrissen, der Studentenschaft ein überaus beliebter und verehrter Lehrer, der Medizin ein Mittler zwischen Wissenschaft, Erziehung und praktischem ärztlichen Wirken, der Naturwissenschaft ein Biologe von umfassender schöpferischer Kraft.“

In dankbarer Erinnerung an einige reiche Arbeitsjahre (1927—1932) in seiner damaligen Münchener Abteilung will ich an dieser Stelle versuchen, wenigstens ein paar Hinweise zu geben, die den Schwerpunkt seines Seins und Schaffens

andeuten, welcher — neben all dem vielen anderen, das getan oder geplant war — in seiner kausal-analytischen Erforschung der frühen Entwicklungsvorgänge am Wirbeltierkeim gelegen ist. Schon vor dem Weltkriege — und zeitweise wieder

unterbrochen durch seinen Heeresdienst — entwickelt sich seine Vorliebe und zugleich jene unvergleichlich zähe Stetigkeit, mit der er sein Forscherleben lang die Dynamik „lebender Bewegungsformen“ (1913) zu erfassen, zu beschreiben und exakt zu bestimmen, fast bis zuletzt nicht mehr müde wird. Zum Angelpunkt seiner Bemühungen wird ihm die Frühentwicklung. Es fesseln ihn vor allem anderen die Formbildungsvorgänge der Gastrulation an sich, wie auch im Zusammenhang mit der Frage, ob und in welcher Weise etwa gewebliche Ausbildung, Zelldifferenzierung und Wachstum zur Formbildung in Beziehung stehen möchten. Ohne jemals die seit fast 100 Jahren geübte Art der Analyse am toten, histologisch zerlegten Objekt gering zu achten — VOGT hat meisterhafte Beweise dieser schweren Kunst erbracht, welche den besten klassischen Untersuchungen jener Art an die Seite gestellt werden müssen —, warnt ihn doch sein nahezu unfehlbarer Instinkt, die Analyse am

Schnitt niemals anders zu üben als zur Lösung gewisser Teilprobleme, die auch heute noch ihre Domäne bleiben.

Um das Ganze der Bewegung zu erfassen, ihren amöboiden Fluß, wie er es so gerne nannte, drängte es ihn vielmehr, sich selbst als Beobachter besser in das lebende Geschehen einzuschalten, als es bisher möglich gewesen war. Seine Methode wurde



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'W. Vogt'. The signature is fluid and cursive, with a long, sweeping tail on the 't'.

das gestaltungsanalytische Experiment; und darin begeht er nun — wie bezüglich der histologischen Methode auch — jene Wege zunächst nur mit vorsichtigster Zurückhaltung, welche, wie die von HANS SPEMANN 1916 eingeführte embryonale Transplantation, in dessen Händen erwiesenermaßen fruchtbarste Entscheidungen über die *induktive kräftemäßige* Verknüpfung von Entwicklungsvorgängen zu treffen vermochten; aber WALTHER VOGT, der die Transplantation selbst in subtilster Weise beherrschte lernte, erkannte mehr als andere, daß selbst bei diszipliniertester Strenge gegen sich selbst unter diesem Vorgehen der Beobachtung des reinen Gestaltungsablaufs *für sich* Verführungen erwachsen können, die allzu leicht in Sackgassen oder gar auf Irrwege geraten lassen. W. VOGTS hauptsächlichstes Experimentalverfahren darf man mit BRAUS' Worten wohl als *deskriptive* bezeichnen. Er trachtet bewußt, die Gefährdung auszuschalten, welche die Reinheit der Beobachtung der strömenden Gestaltung stören kann, weil Dislokationen im Keimgefüge durch Änderungen im Wirkungsgefüge der vermittelnden Kräfte auch Ablenkungen der Gestaltungswege bedeuten.

Niemand ist dankbarer gewesen als der Meister in der Aufspürung dieser vermittelnden Induktionskräfte HANS SPEMANN (dem VOGT seinerseits bereits wichtige Aufschlüsse über den Gestaltungsweg verdankte!), daß VOGTS Methode der vitalen Farbmarkierung mit Hilfe farbgetränkter Agarstückchen (1925 zusammenfassend dargestellt) nach getaner langer mühevollster Kleinarbeit, über eine notwendige fruchtbare Kritik des Bisherigen weit hinausgehend, zu jenem von uns allen damals so ersehnten Standardwerk über die Gestaltungsanalyse der Gastrulation und Mesodermbildung der Urodelen und Anuren führte; H. SPEMANN hat es freudig als wahrhaft klassischen Markstein auf dem Weg der Entwicklungsphysiologie angesprochen. Für alle Zeiten hat dies starke Werk W. VOGTS wissenschaftlichen Ruhm fest gefügt: denn keiner, der seitdem, heute oder in Zukunft irgendwie an Fragen der Frühentwicklung interessiert ist, kann an dieser ebenso tiefen, umsichtigen wie sorgfältigen Arbeit vorübergehen, welche die „Rückprojektion der Embryonalanlagen auf Keimbezirke durch direktes Verfolgen der Materialverwendung“ (1929) bei gänzlich ungestörter Entwicklung, wie sie eben nur *seine* Methode ganz garantiert, in so vollendeter Weise erbrachte. Wo immer man in die einschlägige Literatur Einblick nehmen mag, zu Hunderten von Malen findet man in Arbeiten aus den Laboratorien aller Welt VOGTS topographische Anlagekarten zugrunde gelegt und abgebildet. Sie erst haben dazu verholfen, den Grad der letzten Sicherheit der Beurteilung auch beim anderen Experiment, dem *Induktionsversuch* SPEMANNS und seiner Schüler, so gewaltig zu steigern und jene früher allzuoft empfundenen Unsicherheiten herabzusetzen, denen sich auch der gute Kenner der Verhältnisse bisher

immer noch unterworfen sah, der die Analyse vom Feineren zum Feinsten vorwärtstreiben wollte.

VOGTS Vorgehen ist bekanntlich das, den in ihrer innersten Hülle (Dotterhäutchen) belassenen und darum gegen Verletzungen und Infekte noch weitgehend geschützten jüngsten Keimen einzelne, mehrere, ja ganze Serien und Muster von blauen (Nilblausulfat) oder roten (Neutralrot) Marken durch viertelstündiges leichtes Andrücken vitalfarbengeränkter winziger Agarplättchen in jeder gewünschten Anordnung einfach „aufzustempeln“, ihre Mitwanderung dann zu beobachten und durch diesen ingeniösen Griff 20, 30 oder mehr Teilbezirke *gleichzeitig* durch die Phasen des ganzheitlich abrollenden Gestaltungsvorganges zu verfolgen. Das war genau das, was sich 1874 WILHELM HIS in seinen entzückenden, kleinen entwicklungsgeschichtlichen Essays, den „Briefen an einen befreundeten Naturforscher“ „über unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung“ einst erträumt hatte. Gewiß, es hatte auch vor VOGT Bemühungen in dieser Richtung gegeben; um nur ein Beispiel unter vielen zu nennen: FRIEDRICH KOPSCH hatte — etwa so, wie man den Verlauf der Gestirne in der Himmels-Dauerphotographie in Richtung und Schnelligkeit aus den Linien ermessen kann, die sie auf die photographische Platte einschreiben — die natürliche Wanderung an die Gastrulazellen gebundener Pigmentfleckchen auf ähnliche Weise mit großem Erfolg photographisch untersucht. Aber VOGTS Methodik reicht räumlich viel weiter! Sie erfährt auch das Innere der Keime; und wo die äußere Beobachtung notwendig ihr natürliches Ende findet, da trat die Präparation am vitalmarkierten Keim in ihre Rechte, welche die Farbmuster bis in jede noch so verborgene Nische aufdeckt und welche VOGT meisterlich beherrschte. Es gelang ihm auch bereits, einen später von anderen verbesserten Weg aufzufinden, fixatorisch die Marken in den histologischen Schnitt hinüberzueretten, der die präparativ erzielte Schau zu erweitern und bis zur Einzelzelle zu präzisieren erlaubt.

Die Liebe zu allem feinsten Technischen und eine unbestechliche Beobachtungsgabe lagen WALTHER VOGT im Blute. Man sah dies an den beseelten, nervigen, schönen Händen wie an der Bestimmtheit, mit der seine ausdrucksvollen Augen blickten. Das waren zugleich Augen eines Forschers und Künstlers! Gelegentlich konnten sie von einem ganz besonderen Zauber sein, und man sah sie dann in einer begeisternden Frische die Welt seiner Dinge in sich aufnehmen. Es fiel ihm leicht, schwierigste Raumverhältnisse verwickelter Gestalten zu durchdringen und zu lösen. Plastisches durch die Gebärde seiner ausdrucksreichen Hände vor dem Zuhörer erstehen zu lassen, war eines seiner stärksten Bildungsmittel im akademischen Unterricht. Zweifellos war seine Begabung zur Beherrschung und Mitteilung des Plastischen eine Sonderfähigkeit seiner durchaus künstlerischen Natur: einst sah ich ihn im Spiel mit seinen Kin-

dem im Schnee modellieren; aus dem Spiel glitt er in einen Zustand heiterer Freude, und es entstand dann etwas, das uns einem Maillol aus Marmor nahekommen schien. So ist wirklich, wie ich glaube, auch ein Plastiker an ihm verlorengegangen. Seine *zeichnerische* Begabung richtete sich scharf auf Klarheit, Abstraktion und Ver-sinnbildlichung von Bewegungen: in seinen Zeichnungen herrschte der dynamische Pfeil. Von einer selten glücklichen Mischung aus Klarheit im Ausdruck für das Schwierigste und Abgezogenste mit einer Wärme und modulationsfähigsten Klanglichkeit zur Suggestion der Massen und Qualitäten alles Dinglichen war seine langsam fließende, wundervolle Sprache; ganz besonders dann, wenn ihm, der jeder Pathetik abhold war, Wort für Wort aus dem Gegenstand geboren wurde, und wenn er, etwa in Vorträgen, sich um die Klärung entscheidender Überschneidungen antithetischer Deutungen mühte; wenn beispielsweise das alte Problem „Präformation oder Epigenese“, „Mosaikentwicklung oder Regulation“ zur Diskussion stand, wie er es in überzeugender formlicher Schönheit und prägnanter Kürze, den Blick immer aufs Wesentliche gerichtet, in einem Vortrag vor der Zoologischen Gesellschaft 1928 getan hat. Ein Versuch wie dieser, wegen des Ausfalles des Hauptreferenten ganze 5 Tage vor dem Kongreß von ihm erbeten, vermochte seine Darstellungsfähigkeiten zu einer souveränen Höhe zu steigern. Es will mir wie ein Symbol dieses königlichen Strebens erscheinen, wenn er sich so manches Mal als ernster Freund der Bergwelt in schwierigen Erstbesteigungen zur Höhe durchkämpfte. Das Wagnis war ihm befruchtendstes Lebenselement und Gegengewicht gegen manche Müdigkeit, zu der seine Natur neigen konnte: „Es sind doch Bergsteiger unter Ihnen!“ So leitete er einmal die Abschiedsworte an seine Studenten ein, als er anklingen lassen wollte, in welchem Sinne er eine neue schwere berufliche Aufgabe zu meistern gewillt war.

In seiner wissenschaftlichen Arbeit verharrete er nun keineswegs eigensinnig allein beim „deskriptiven“ Versuch. Das hätte der Weite seines Wollens durchaus widersprochen. Nebenher und zeitweise sehr in den Vordergrund tretend, läuft die andere Seite der Untersuchung über die *Kräfte*, die die Gestaltung treiben und ihre Harmonie sichern. Ich bedaure, in bezug auf alle diese schönen Arbeiten hier nicht näher auf das Sachliche eingehen zu können: wie etwa seine *deskriptiven* Arbeiten zahlreiche Vorstellungen ablösen, die früher als gesichertes Allgemeingut galten, wie er darin manchen gewichtigen Gegner übertrifft und wie er dabei auch, wo er sich gelegentlich einmal etwas merkwürdig angegriffen sieht, mit einem Vergnügen eigener Art die sprachlichen Klängen schärft, mit denen er dann, von geistreichem Witz beseelt, einen allzu spekulativen Spuk vertreibt.

Aus seinen zahlreichen Arbeiten zum Fragenkomplex des organisatorischen Geschehens, das ihn SPEMANN wissenschaftlich aufs tiefste verbindet, möge nur *ein* Beispiel erwähnt sein. Ohne chirurgischen Eingriff gelingt es ihm in methodischer Absicht die rechte Hälfte des „Organisators“ gegen ihre linke auszuspielen, seine Gesamtfähigkeit physiologisch aufzuspalten, zu dissoziieren: Er unterkühlt, bremst oder stoppt gar die temperaturbedingten Prozesse *einer* Hälfte der Gastrula, während er umgekehrt die der *anderen* durch Überwärmen antreibt. Den entstandenen Konflikt für die Einheit des Gestaltungsmaßes versteht er aufs klügste zu lesen, und es gelingt ihm seinerseits, die organisatorischen Phänomene SPEMANNscher Prägung von ganz neuem und fruchtbarem Blickpunkt wiederum zu analysieren. Links noch Blastula, rechts schon Neurula, Alterschimären also, das ist das äußere Ergebnis, gewonnen durch eine raffinierte technische Bravour, die aller Rückschläge Herr wird.

Man könnte noch berichten, wie er, der geborene Bastler, mit einfachen Mitteln seine Zeitraffer-Kinokamera zusammenbaut, oder wie unter der Konzeption neuer Gesichtspunkte und neuer technischer Kombinationen mit der *gefilmten* Vitalmarkierung auch diese Wege zu reichen Ernten führen.

Er war nicht ohne Ehrgeiz und von gesundem, starkem Selbstgefühl, und mancher — aber nicht von denen, welche unter ihm arbeiteten — konnte sich vielleicht nicht an die mitunter schwer zugängliche harte Art seines Lebensstils gewöhnen. Aber dieser Ehrgeiz, dieses Selbstgefühl standen immer im richtigen Verhältnis zur Leistung, und ein eingeborener Zwang seiner edlen Natur trieb ihn immer dazu, selbst auf schwierigsten Pfaden zum höchsten Ziele vorzudringen. Denn dies war die Haltung seines ganzen lebendigen Seins: Anspruchsvollste Ritterlichkeit in der Wissenschaft wie im Leben. Ob er für ein gutes wissenschaftliches Ergebnis die geschliffenste Form sucht, ob er ein prachtvoll gemaltes Bild eines alten Holländers liebt, ob er in einer von ihm selbst erbauten Steingartenlandschaft von wirklich besonderen Ausmaßen und überzeugendem Geschmack dem schönsten Ausdruck edelster Pflanzennatur nachgeht, ob es ihn treibt, seinen starken Wagen schnell, knapp, sicher und genußreich zu fahren, wenn es die Reise erfordert, ob er mit einem einstmaligen Schüler den Starnberger See durchkreuzt, wobei ihm das Kentern als 45jährigem noch durchaus dazugehört — immer war er „hart am Wind“, — bis ein grausamer Tod dies männliche Leben in tückischer Weise zerbrach — fällt, wie nur der Unverstand eines der reizvollsten und eigenwilligsten Gewächse eines alten Parkbestandes vernichten kann. Für uns aber, die wir das Glück hatten, mit ihm arbeiten zu können, *lebt* WALTHER VOGT durch sein Werk und in unserer Erinnerung. Wir danken ihm und verehren ihn als einen großen deutschen Meister.

Biologische und aerodynamische Probleme des Tierfluges.

Von ERICH v. HOLST und DIETRICH KÜCHEMANN, Göttingen.

I.

Unter den Grenzgebieten der Biologie, die sich mit menschlicher Technik berühren, gebührt dem Tierflug eine Sonderstellung sowohl in Anbetracht seiner Bedeutung als auch seiner theoretischen und praktisch-experimentellen Schwierigkeiten. Die Einstellung des Biologen und des Technikers zu dem Gebiet ist naturgemäß verschieden: Beschäftigt den Biologen der historische Werdegang der fliegenden Tierwelt, die Aufklärung der mannigfachen Anpassungen in Bau und Funktion, die natürlich nicht allein den Flügel und seine Bewegungsweise, sondern auch Muskulatur, Nervensystem und Sinnesorgane, Kreislauf und Atmung, genau genommen den ganzen Organismus betreffen, — denn das Fliegen ist eine Hochleistung, die ein Optimum von technischer Durchkonstruktion, Beschaffenheit des Baumaterials und Betriebsökonomie erfordert —, so interessiert den Physiker

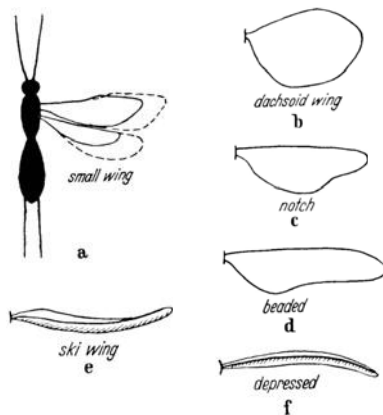


Fig. 1. Einige Beispiele weitgehender Flügeländerungen durch Mutationen bei Insekten: a) Schlupfwespe *Habrobracon*, Verringerung der Fläche auf etwa die Hälfte (der normale Flügelumriß ist gestrichelt angegeben); die Mutante ist flugfähig; b–d) Änderungen der Flügelform; e, f) (Ansicht von vorne) Änderung der Flügelwölbung bei der Taufliege *Drosophila*.

der Bewegungsvorgang selbst und die Aufklärung seiner aerodynamischen, allenfalls noch seiner energetischen Seite

Das Aufgabengebiet des Biologen, soweit es anatomische Fragen betrifft, ist erst in großen Umrissen gelöst; im einzelnen bleibt noch viel zu tun. Der Physiologe hat hier völliges Brachland vor sich, dessen Bearbeitung erst an wenigen Stellen begonnen wurde. Wer sich mit anatomisch-physiologischen Fragen an Flügeltieren befaßt, muß aber bald bemerken, daß er ohne genauere Kenntnis der physikalischen Seite nicht weiterkommt, daß seine Schlußfolgerungen unsicher oder unmöglich gemacht werden, weil ja so vieles im Organismus

hinzielt auf die Bewältigung dieser rein technischen Aufgabe. Aus dieser Not gilt es einen Vorteil zu machen; denn nicht oft bietet sich in der belebten Natur die Möglichkeit, einen Vorgang oder Funktionskomplex einem rein technischen und somit eindeutig erfaßbaren Urteil zu unterstellen. So bekommt, um nur dieses eine herauszugreifen, der soviel umstrittene, oft verpönte und doch unvermeidliche Gesichtspunkt der „Zweckmäßigkeit“ einer tierischen Bildung dort sogleich ein bestimmteres Aussehen, wo die biologische Zweckmäßigkeit zu einer technischen wird. Um ein für die heutige Genetik aktuelles Beispiel zu geben, können wir — Kenntnis der aerodynamischen Gesetzmäßigkeiten vorausgesetzt — bei Mutationsschritten, die den Flügel, seine Größe, Form, Elastizität, Behorstellung usw. betreffen und deren bei Insekten eine Fülle bekannt sind (s. Fig. 1), sogleich sagen, unter welchen Außenbedingungen (Flugbedingungen) der Träger der neuen Anlage *ceteris paribus* anders („besser“ bzw. „schlechter“) dastehen wird als die Ausgangsform; eine Aussage, die für die Beurteilung der Bedeutung dieser Abänderung für ihren Träger entscheidend wichtig ist.

Der technische Gesichtspunkt bekommt für den Biologen bei der vergleichenden Untersuchung der Mannigfaltigkeit tierischer Flugorgane in zwei Zusammenhängen besonderes Interesse: Erstens dort, wo er mit dem historischen in Konkurrenz tritt, indem Ausgangsmaterial und Entwicklungsmöglichkeiten der Anpassung an ersichtlich „angestrebte“ technische Ziele Grenzen setzen — und hier bleibt immer erstaunlich, wie weit diese Grenzen von der Natur hinausgeschoben werden, wie wenig der stammesgeschichtlich bedingte „Ballast“ einen Hemmschuh technischer Vervollkommnung darstellt. Viele Beispiele werden wir kennenlernen. — Zum zweiten sind alle jene Fälle von Interesse, wo der Flügel gleichzeitig Objekt einer Anpassung an andere, nicht flugtechnische Aufgaben ist, wo er weiteren Lebensäußerungen dienen oder sie wenigstens nicht behindern soll.

Die Aufgabe des mechanischen Schutzes z. B. spielt bekanntlich bei Insekten eine große Rolle, wo entweder eine enge gegenseitige Korrelation von Körper- und Flügelform (z. B. bei manchen Wanzen) oder eine einseitigere Anpassung eines Flügelpaares, das damit als Flugorgan mehr oder weniger ausscheidet, an die Schutzfunktion die Folge ist (z. B. bei vielen Käfern). Neben den mechanischen tritt häufig der optische Schutz, wobei auf vielfältigen Entwicklungswegen auch die Flügel mit ergriffen werden können. Die dabei auftretenden Formänderungen beeinflussen notwendig das Flugvermögen und zwingen vielfach zu seiner Aufgabe — ein Verzicht, der in all den Fällen verständlich wird, wo der Flug nicht der Nahrungssuche oder der Fortpflan-

zung, sondern vor allem der Flucht dient, also im Falle einer Tarnung durch ein unvergleichlich sparsameres Mittel ersetzt und damit überflüssig wird. Fig. 2 gibt für das Gesagte einige Stichproben aus der Gruppe der Heuschrecken. Das vergleichende Studium solcher Übergangsformen mit rückschreitender Flugfähigkeit wird besonders reizvoll dadurch, daß hier, wie auch sonst so oft, die Funktion der Form vorseilt, d. h. Formen physiologisch fluguntüchtig sind, für die ein Fliegen, technisch-anatomisch gesehen, durchaus noch in Frage käme, und weiterhin dadurch, daß rudimentäre Flugorgane immerhin noch andere Verwendung (z. B. als „Schreckmittel“ durch plötzliches Ausbreiten) finden können. Für die vergleichende biologisch-physiologisch-aerodynamische Untersuchung bietet sich hier ein weites Feld.

Bei all den angedeuteten Problemen kann der Biologe nicht ohne eine experimentell und theoretisch begründete Vorstellung dessen auskommen, was beim Fliegen physikalisch geschieht, und darüber hinaus kann ihn der Aerodynamiker lehren, auf bestimmte Zusammenhänge zu achten, Daten so zu sammeln, daß sie auch physikalisch verwertbar sind. In dieser Hinsicht fehlt es noch allenthalben; der vorliegende Aufsatz will auch dazu einige Fingerzeige geben.

Auf der anderen Seite ist der am Tierflug interessierte Physiker auf die Hilfe des Zoologen gleichfalls angewiesen; denn, abgesehen von rein praktischen Gesichtspunkten, kann auch jede einseitig physikalische Betrachtungsweise leicht zu Fehlschlüssen führen, deren die Geschichte dieses Problems eine ganze Reihe kennt, da ja beim Organismus, wie schon angedeutet, im Gegensatz zur Flugmaschine die verschiedenen, außer dem Fliegen noch zu bewältigenden Lebensfunktionen in ihrer stammesgeschichtlich bedingten Form mit der Flugleistung selbst in ein Gleichgewicht gebracht sind.

Wir können hier die Frage aufwerfen, welchen Nutzen überhaupt die Luftfahrttechnik aus der Beschäftigung mit dem Tierflug heute noch gewinnen könnte. Die Zeit, da der Vogel allgemein das ideale Vorbild und die Nachahmung seines Fluges Ziel menschlicher Flugtechnik war, ist lange vorbei; man kann sagen, daß sie mit LILIENTHALS Todessturz im Jahre 1896 abschließt. Alle bisherigen, früheren und späteren Versuche, Schwingenflugzeuge zu bauen, schlugen fehl und lehrten nur die Schwierigkeiten besser kennen — was freilich nicht hindert, daß manche auch heute und wohl auch in Zukunft den Schwingenflug als die allein vorbildliche Flugart preisen und immer wieder Schwingenflugzeuge, allerdings auf dem Papier, „erfinden“ werden. Die Zahl ernsthafter Verfechter des Schwingenfluggedankens unter den Konstrukteuren

ist jedoch gegenwärtig gering¹⁾. Da aber der tierische Schwingenflug immer unter dem Gesichts-

¹⁾ An erster Stelle wäre hier A. LIPPISCH [Flugsport 17, 246 (1925); Luftwelt 2, 106 (1935); Der Segelflieger 1936, H. 9—12] zu nennen, der in verschiedenen Aufsätzen die Sachlage zu klären versucht und auch flugfähige Modelle gebaut hat, die außer einem starren Tragflügelpaar zwei kleine elastische Schwingen besitzen, welche die Luftschaube ersetzen, — eine Teillösung, die wesentlich einfacher zu verwirklichen ist als das „Vollschwingen“prinzip der Tiere.

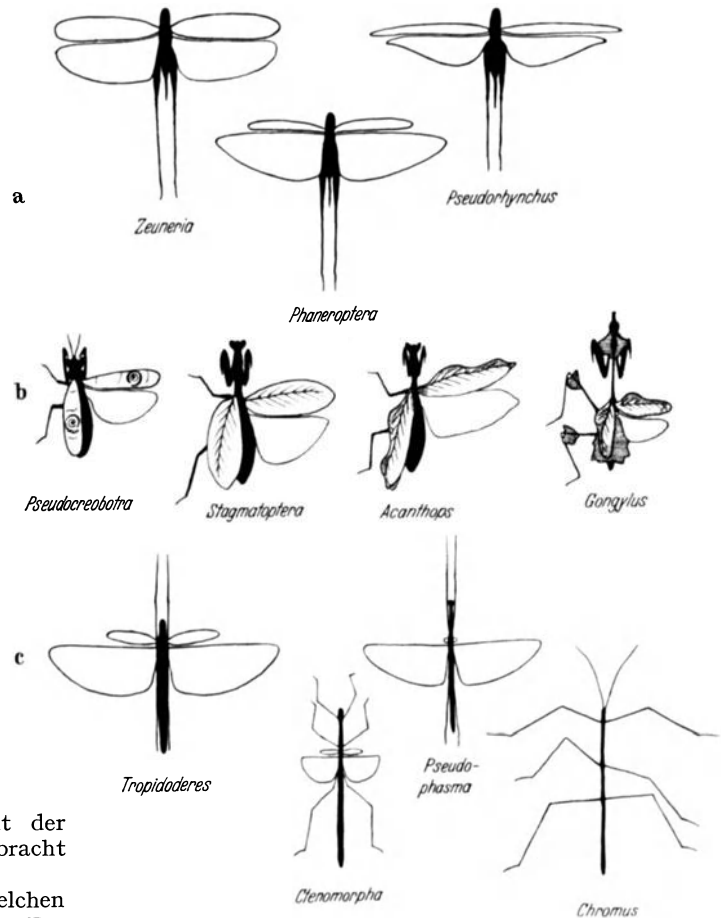


Fig. 2. Beispiele verschiedener Flügelbildungswege bei Heuschrecken. Die Typen der Reihe *a* unterscheiden sich bei etwa gleicher Größe und Flächenbelastung hauptsächlich in der Flächenform und somit in erster Linie in flugtechnischer Hinsicht. In Reihe *b* und *c* wirkt die optische Anpassung mitbestimmend auf die Flügelbeschaffenheit ein; *b*: Anänelung an Blattaussehen; die linke Form trägt (noch unter Wahrung des üblichen Flügelumrisses) die Zeichnung einer Blüte; bei der zweiten ahmt der vordere Flügel ein gelbes, frisch abgefallenes, bei der dritten ein braunes, schon angefaultes Blatt nach; die vierte stellt im ganzen ein Bündel stark zerstörter Blattreste dar, nur der in Ruhelage nicht sichtbare Hinterflügel bleibt (abgesehen von der Größenabnahme) unbeteiligt; *c*: zunehmende Anpassung an das Aussehen eines Zweiges unter Rückbildung der Flügel.

punkt einer etwaigen Nachahmung dieser Bewegungsform betrachtet wird — die Einführung des gewölbten, dicken, vorn abgerundeten Vogelprofils in die Flugtechnik durch LILIENTHAL ist die einzige heute praktisch wichtige dem tierischen Vorbild verdankte Neuerung — so hat das Interesse für Tierflug in der Technik begreiflicherweise erheblich nachgelassen. Nach unserer Auffassung haben die steten Diskussionen über menschliches Schwingenfliegen (womöglich noch mit Muskelkraft!) der Sache sogar mehr geschadet als genützt, weil sie die Aufmerksamkeit von anderen, auch für die heutige Flugtechnik noch bedeutsamen Dingen ablenkten, von Sonderaufgaben, die Flugtiere und Flugmaschinen trotz des verschiedenen Flug-

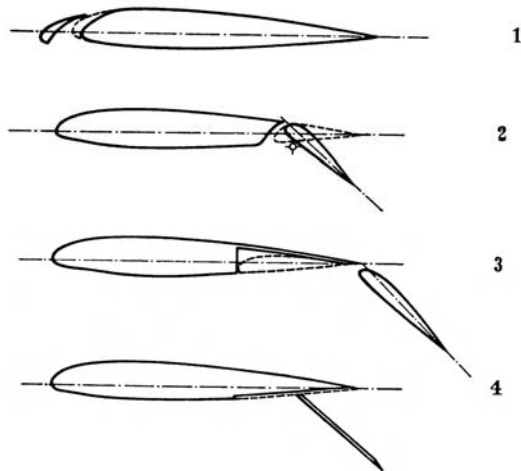


Fig. 3. Verschiedene Ausführungen von Landehilfen (Mitteln zur Hochauftriebserzeugung) bei Flugzeugen: 1. Vorflügel, 2. Spaltklappe, 3. Fowler-Flügel, 4. Spreizklappe (Zapklappe); gestrichelt: Stellung der Hilfsflächen bei Nichtgebrauch (im Schnellflug), ausgezogen: Stellung beim Langsamflug.

verfahrens in gleicher Weise lösen müssen und tatsächlich zum Teil, und zwar unabhängig voneinander, gelöst haben.

Was damit gemeint ist, sei an einem Beispiel erläutert: an der für die schnelleren, größeren Flugtiere (größere Vögel), ebenso wie für die schnellen Flugmaschinen bestehenden Aufgabe, ihre Geschwindigkeit durch besondere Hilfsmittel ohne entsprechenden Auftriebsverlust bei Bedarf herabzusetzen. Solcher „Hochauftriebsmittel“ gibt es bei Flugzeugen eine ganze Reihe, von denen Fig. 3 die wichtigsten zeigt. Ihr gemeinsames Prinzip besteht darin, einen größeren Anstellwinkel oder eine stärkere Wölbung des Flügels und damit höheren Auftrieb zu ermöglichen, ohne daß dabei die Strömung an der Flügeloberseite unter energieverzehrender Wirbelbildung „abreißt“. Die gefährdeten Zonen liegen vorne hinter der Flügel-nase und am Flügelende, weil an diesen beiden Stellen die Geschwindigkeit längs der Oberfläche stark abnimmt; hier also wird sie künstlich er-

höht, indem durch düsenartig wirkende Schlitze (auf Grund des zwischen Ober- und Unterseite bestehenden Druckunterschiedes) hindurchgetriebene Luft der Strömung an der Oberseite erneut kinetische Energie zuführt. Derartige, oft erst bei Bedarf gebildete Schlitze werden demnach vorne (Vorflügel) oder hinten (Spaltklappe, Fowlerflügel) angebracht. Der Effekt kann im Prinzip durch zahlreiche solche Spalte noch verstärkt werden,

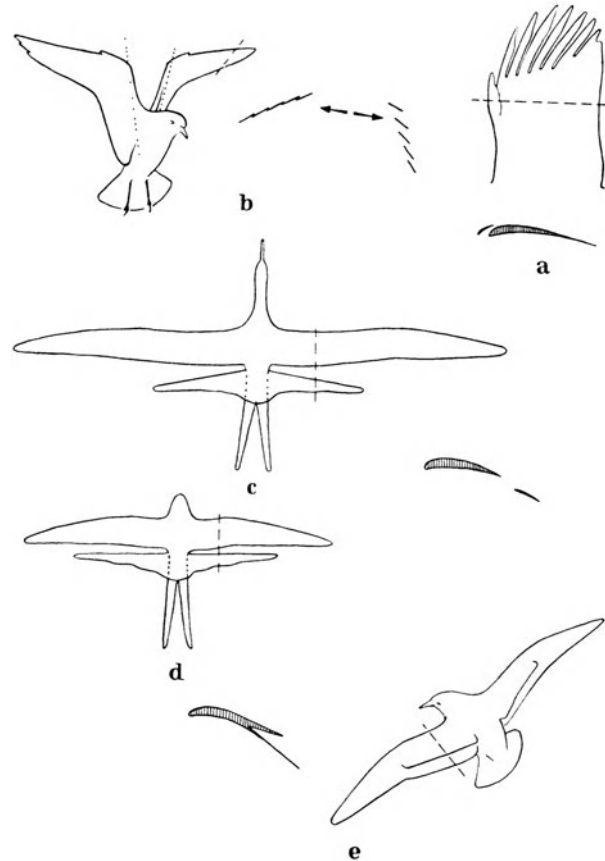


Fig. 4. Hochauftriebsmittel bei Vögeln: a) Flügel eines „Beschleunigungsrüttlers“ (Fasan) mit Spalten zwischen den Handschwingen und abgespreiztem Daumenfittich; darunter Schnitt durch die Mitte der Flügellänge. b) Möve in Rüttelstellung; die Flügel schwingen etwa um die durch Punktlinien angedeuteten Drehachsen; daneben ein Schnitt durch die Flügel-spitze bei Abschlag (= Vorschlag) und Aufschlag (= Rückschlag); der Pfeil deutet die Anströmrichtung an. c) Fregattvogel (Fregata) und d) Gabelschwanzfalke (*Elanoides furcatus*) mit geschlossenem und extrem gespreiztem Schwanz; daneben Schema eines Querschnitts. e) Möve, landend, und dabei Armschwingen und Deckgefieder als zwei Flächen voneinander abhebend; daneben schematischer Querschnitt. (b und e in Anlehnung an Momentaufnahmen.)

allerdings unter erheblicher Steigerung des Widerstandes. Eine analoge Aufgabe hat die einen Sog unter dem Flügelende und damit besseres Anliegen der Strömung über demselben bewirkende Spreizklappe.

Die genannten Hochauftriebsmittel sind auch bei vielen Vögeln verwirklicht. Bereits allgemein bekannt ist die Aufgabe des dem Vorflügel entsprechenden Daumenfittichs (Fig. 4a), dessen Abheben vom Flügel bei der Landung (und beim Start) durch Momentaufnahmen sichergestellt ist¹⁾. Das Verfahren, mehrere Spalte hintereinanderzuschalten, findet sich bei Vögeln in verschiedener Ausführung. So z. B. treten bei vielen Formen, die im Geradeausflug eine geschlossene Fläche haben, beim Rütteln auf der Stelle im Moment des Flügel-aufschlages Spalte zwischen den Handschwingen auf (Fig. 4b). Bei den „Beschleunigungsrüttlern“ (K. LORENZ) sind die Handschwingen am ausgedehnten Flügel ständig durch Schlitze getrennt, so daß eine analoge Wirkung hier bei Auf- und Abschlag in Frage kommt. Auch viele größere Vögel, zumal Aufwindsegler, haben oft weite Spalte zwischen den Handschwingen (vgl. Fig. 5a). Auf die vermutlich in den einzelnen Fällen aerodynamisch unterschiedene Wirkung solcher Spaltflügel sei hier mangels exakterer Daten nicht näher eingegangen.

Das Herausfahren eines Flügelteiles nach hinten, wie beim Fowlerflügel, wobei Flächenvergrößerung, Wölbungssteigerung und Spaltwirkung auftriebs erhöhend zusammenwirken, kommt bei den Vögeln aus anatomischen Gründen nicht in Frage; dafür nutzen manche offenbar die Möglichkeit aus, einen langen und tief gegabelten, gleichsam aus zwei nach hinten geschlagenen Flügeln bestehenden Schwanz an den Flügel heranzuspreizen. Eine Tendenz in dieser Entwicklungsrichtung findet sich bei vielen verschiedenen Vogelarten; Extremfälle sind der Fregattvogel (Fregata) und noch auffälliger ein amerikanischer Falke (Elanoides furcatus), bei dem die längste Schwanzfeder mit der längsten der sehr langen Handschwingen an Festigkeit, Profilwölbung und Länge weitgehend übereinstimmt (s. Fig. 4c, d). Die hier angegebene Wirkungsweise des Gabelschwanzes wurde von uns zunächst theoretisch erschlossen, dann bei Schwalben und Seglern beobachtet; später fanden wir bei A. MAGNAN²⁾ eine vom Autor mit einer gewissen Verwunderung und ohne Versuch einer Deutung

¹⁾ Vgl. E. STRESEMANN, Aves (in Handbuch d. Zool.) 1931, 572; schöne Bilder, vor allem vom Storch, finden sich auch bei K. LORENZ [J. f. Ornithol. 81, 107 (1933)]. Nach seiner Schilderung zu schließen, kann auch die erste Handschwinge diese Funktion übernehmen (Alpendohle). Auf die inhaltsreiche und auf unvoreingenommenen Beobachtungen beruhende Arbeit von LORENZ sei besonders hingewiesen. Sie ist wohl das beste, was seit LILIENTHAL zum Problem des Tierfluges geschrieben wurde, obgleich manche der darin vorgetragenen Deutungen sich nicht werden aufrechterhalten lassen.

²⁾ Nach A. MAGNAN (Le vol des oiseaux et le vol des avions, Paris 1931, S. 133) hat dieser Vogel die Fähigkeit, plötzlich ohne sichtbaren Flügelschlag anzusteigen, wobei nur der Schwanz extrem gespreizt wird („trés étalée et grandement échanrée“).

beschriebene Flugart des Fregattvogels, die genau auf unsere Annahme paßt¹⁾.

Vom Bestehen einer der Spreizklappe analogen Vorrichtung bei Vögeln haben uns Beobachtung und Momentaufnahmen landender Möven überzeugt. Hier werden bisweilen die Armschwingen so weit herabgewinkelt, daß sie sich vom Deckgefieder trennen und zwischen beiden eine keilförmige Öffnung entsteht, wie Fig. 4e erläutert.

Die am Beispiel der Hochauftriebsmittel aufgezeigten Parallelen zwischen Vogel und Flugzeug legen die Annahme nahe, daß sich bei näherem Studium des Tierfluges auch für die Technik neue und wichtige Formen der Ausnutzung von Luftkräften würden finden lassen; eigene Erfahrungen, auf die wir hier nicht näher eingehen dürfen, bestätigen diese Vermutung aufs beste.

II.

Auch bei einer Betrachtung von der theoretisch-aerodynamischen Seite her bietet der Tierflug eine Fülle interessanter Probleme. Die so erstaunlich weite Spanne der absoluten Größen der Flugtiere — von 9 m Spannweite beim ausgestorbenen Flugsaurier Pteranodon bis 2 mm und darunter bei Insekten — und die nicht weniger weite Spanne der Fluggeschwindigkeiten — von gegen 200 km pro Stunde Maximalgeschwindigkeit beim Wanderfalken (Falco peregrinus) und über 100 km/Std. bei einer Anzahl weiterer Vögel bis zur Maximalgeschwindigkeit von 4—5 km/Std. und darunter bei gewissen Insekten — legt eine Abschätzung des Bereichs der REYNOLDSSchen Zahlen nahe, die für die Flugtiere in Frage kommen. Die REYNOLDSSche Zahl $Re = \rho v l / \mu$, wobei v die Geschwindigkeit, l eine charakteristische Länge (Flügel-tiefe), ρ die Dichte des Mediums und μ dessen Zähigkeit bedeutet (μ/ρ beträgt für Luft bei Zimmertemperatur etwa $15 \cdot 10^{-6}$ m²/sec), bezeichnet das Verhältnis der Trägheitskräfte zu den Zähigkeitskräften. Ihre Bedeutung liegt darin, daß die Bewegungsgesetze von Strömungen je nach dem Überwiegen der Trägheitskräfte (große Re) oder der Zähigkeitskräfte (kleine Re) wesentlich verschieden sind. Die REYNOLDSSche Zahl liegt bei vielen Vögeln im Horizontalflug erheblich über 100000 (Bussard etwa 250000, Taube und Fregattvogel etwa 300000, Wanderfalk bis zu 550000). Diese Zahlen liegen nicht allzu weit unter denen unserer Flugzeugtypen (einige 1000000); damit hängt zusammen, daß auch die Flügel der Vögel in Form, Profil und Oberflächenbeschaffenheit den Flugzeugtragflächen durchaus vergleichbar sind (vgl. Fig. 5a).

Gänzlich anders liegen die Verhältnisse jedoch bei der Mehrzahl der Insekten. Eine gewisse Schwierigkeit bietet hier die hohe Schlagfrequenz, weil dadurch die einzelnen Stellen der Flügelspann-

¹⁾ Selbstverständlich haben viele, so z. B. alle weichen und locker gebauten, Gabelschwänze der Vögel nicht aerodynamische, sondern andere biologische Aufgaben.

weite mit sehr verschiedener Geschwindigkeit angeströmt werden. Als Mittelwerte REYNOLDSScher Zahlen kann man abschätzend angeben: Kohlweißling 500, Hummel 4000, Libelle 6000. Bei diesen kleinen REYNOLDSSchen Zahlen ist es nun sehr fraglich, ob sich überhaupt eine Zirkulation um den Flügel, wie sie die Tragflügeltheorie vor-

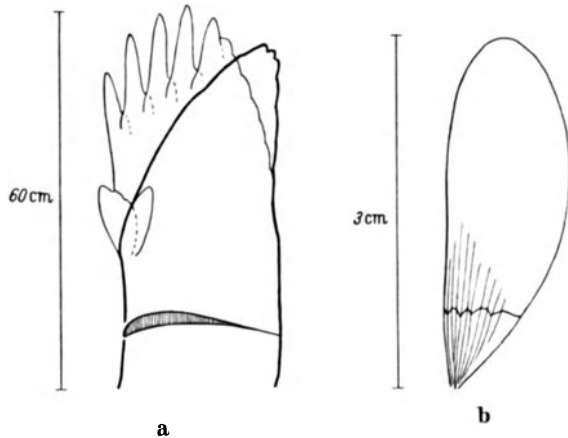


Fig. 5. a) Flügelumriß bei gebeugter und gestreckter Hand und Profil eines frischen Bussardflügels; b) Umriß und „Profil“ eines Libellenflügels (*Calopteryx*).

aussetzt, ausbildet. Es ist bekannt, daß bei den REYNOLDSSchen Zahlen der in der Flugtechnik üblichen Größenordnung diese ideale Strömung deshalb als Näherung für die wirkliche Strömung verwendbar wird, weil durch die turbulenten Reibungsschichten¹⁾ die Strömung praktisch bis zum hinteren Ende des Flügels anliegt. Bei niederen REYNOLDSSchen Zahlen wird die Strömung jedoch vorzugsweise laminar sein. Bei laminaren Reibungsschichten bilden sich leicht infolge des Energieverlustes durch innere Reibung Rückströmungen aus, was eine Ablösung der Strömung vom Flügel und damit Auftriebminderung bedeutet. Diese Erscheinung kann aber durch Anbringung irgendeiner Vorrichtung, die Turbulenz in der Reibungsschicht erzeugt (z. B. eines dünnen Drahtes vor oder über der Flügelvorderkante), hintangehalten werden, weil der dadurch bedingte Teilchenaustausch quer zur Stromrichtung den wandnahen Schichten Bewegungsenergie zuführt, wodurch einer Rückströmung entgegengewirkt wird. Unter diesem Gesichtspunkt könnte man auch bei Insekten Vorrichtungen vermuten, die eine möglicherweise laminare Strömung künstlich turbulent machen. In der Tat findet man bei mikroskopischer Betrachtung an vielen Insektenflügeln, und zwar besonders an der Vorderkante, Borsten, Zähne oder ähnliche Gebilde, die durchaus diesem

¹⁾ Der Begriff der Reibungsschicht wurde von L. PRANDTL eingeführt und beruht auf der Vorstellung, daß Zähigkeitswirkungen nur in unmittelbarer Wandnähe eine Rolle spielen, während im Außenraum mit einer idealen, reibungslosen Strömung gerechnet werden kann.

Zweck dienen können (vgl. Fig. 6). Die besonders häufige Beborstung ist in solchen Fällen nicht überraschend, wo sie sich über den ganzen Körper erstreckt und somit wohl eine Schutzfunktion, auch für den Flügel, haben könnte; in anderen Fällen aber (z. B. bei *Oligarces*) sind die Borsten auf den Flügelrand beschränkt, und zwar nur soweit, als derselbe als Tragfläche wirksam ist; hier dürfte eine andere als die vermutete aerodynamische Funktion der Borsten schwerlich in Frage kommen. Auch die Tatsache, daß der Insektenflügel eine dünne, oft aus Festigkeitsgründen an der Basis mehrfach geknickte Platte ist (Fig. 5 b), ist bei kleinen REYNOLDSSchen Zahlen nicht unbedingt von ungünstigem Einfluß auf die Strömung.

Eine zweite Gruppe von aerodynamischen Problemen betrifft die schwingende Bewegung des Flügels und somit die Tatsache, daß die Umströmung der Fläche nicht stationär ist. Die instationäre Tragflügeltheorie, welche wir für einen theoretischen Überblick zu Rate ziehen müssen¹⁾, hat gezeigt, daß die physikalischen Vorgänge dabei durch einen neuen Parameter ν , die reduzierte Frequenz, gekennzeichnet sind. $\nu = ns/v$ wird aus der Frequenz n des Flügelschlags, der Halbspannweite s und der Anströmgeschwindigkeit v gebildet²⁾. Für Vorgänge am Flügelschnitt ist die mit der halben Flügeltiefe $l/2$ gebildete reduzierte

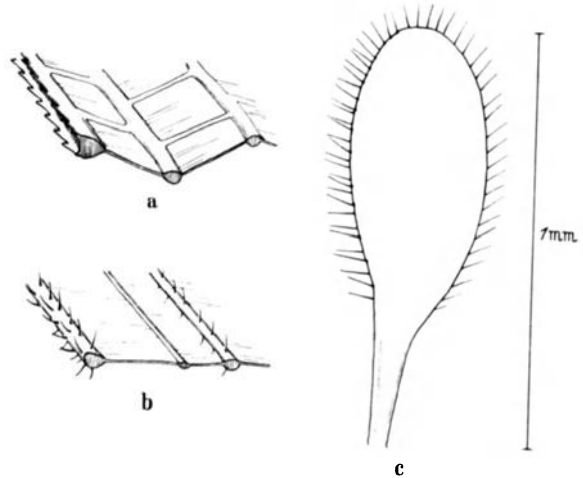


Fig. 6. Turbulenzerzeugende Vorrichtungen an Insektenflügeln: a) Schnitt durch die Vorderkante eines Libellenflügels (*Calopteryx*) mit zwei Reihen von Zähnen, b) durch die entsprechende Zone eines Mückenflügels (*Tipula*) mit allseitiger Beborstung der Vorderkante, c) Flügel einer Gallmücke (*Oligarces*) mit behaartem Rande. (Der Vergrößerungsmaßstab ist in den 3 Fällen etwa gleich.)

Frequenz maßgebend. — Bei $\nu = 0$ ist die Bewegung stationär, mit wachsendem ν macht sich

¹⁾ Vgl. H. G. KÜSSNER [Luftfahrtforsch. 13, 410 (1936); 17, 370 (1940)].

²⁾ $1/\nu = \lambda/s$ bedeutet die auf die Halbspannweite s bezogene Wellenlänge λ .

zunächst der Einfluß der durch die Zirkulationsänderung periodisch abgehenden Wirbel und dann der Einfluß der Massenbeschleunigungen der Luft bemerkbar. Ist ν klein (etwa in der Größenordnung 0,1—0,2), so kann man die instationären Einflüsse vernachlässigen und annehmen, daß in jedem Zeitpunkt näherungsweise die Strömungsverhältnisse herrschen, wie sie im stationären Falle sein würden.

Die reduzierten Frequenzen der mittleren bis größeren Vögel im Horizontalflug bewegen sich nach verschiedenen vorliegenden Daten um 0,1 [z. B. Wanderfalke um 0,06, Taube um 0,08, Krähe um 0,11, Rebhuhn um 0,12¹⁾]. Man könnte daher versuchen, hier mit einer quasistationären Theorie auszukommen. Eine solche für den Fall einer einfachen Bewegung (wobei der Flügel als Ganzes auf- und abschwingt) soll weiter unten gebracht werden. — Bei vielen Insekten und manchen kleinen Vögeln, ebenso bei größeren für Start und Landung, dürfte die reduzierte Frequenz jedoch wesentlich größer sein. Im Extremfall des Fliegens auf der Stelle, wobei die Flügel meist in annähernd horizontaler Bahn bewegt werden (Kolibri, viele Insekten), könnte man eine Theorie in Anlehnung an die beim Hubschrauber entwickelten Vorstellungen versuchen, worauf in diesem Aufsatz jedoch nicht näher eingegangen sei.

III.

Die bisherigen Darlegungen dienten der näheren Erläuterung unserer Meinung, daß eine theoretisch-experimentelle Aufklärung des Tierfluges sowohl der Biologie als auch der Technik und Aerodynamik fruchtbare Dienste leisten könnte. Welche Möglichkeiten stehen nun zur Erforschung des Gebietes heute zur Verfügung?

Auf rein biologischer Seite sind die Methoden, insbesondere die physiologischen (Muskel-, Nerven-, Sinnesphysiologie usw.), im allgemeinen weit genug entwickelt, um die Beschäftigung mit den Problemen der tierischen Flugbewegung aussichtsreich zu machen. Für die kinematisch-technische Seite werden gute, unter völlig natürlichen sowie unter verschiedenen experimentellen Bedingungen hergestellte Zeitlupenfilme unentbehrlich sein. Die experimentelle Erforschung der tierischen Flugmechanik findet freilich allenthalben ihre Grenzen in der Tatsache, daß es sich um Lebewesen handelt, die auf jeglichen Zwang mit gestörter oder abgeänderter Funktion reagieren, wodurch sich viele notwendige Messungen, etwa im Windkanal, sowie Versuche über den Leistungsbedarf beim Fliegen usw. von selbst verbieten. Diese Tatsache hat den einen von uns (v. H.) veranlaßt, auf Grund mehrjähriger umfangreicher Versuche an Tieren und mit verschiedenartigen (zum

¹⁾ Es gibt zwar zahlreiche Messungen von Geschwindigkeiten und Schlagzahlen, aber leider keine zusammengehörigen unter dem Gesichtspunkt der reduzierten Frequenz, weshalb den angegebenen Zahlen eine gewisse Unsicherheit zukommt.

Teil neukonstruierten) Getrieben sowie mit in verschiedener Weise bewegten Flügeln, Schwingenflugmodelle zu entwickeln, die in allen wesentlichen Merkmalen die verschiedenen tierischen Flugformen nachahmen. An ihnen lassen sich, wie weiter unten gezeigt sei, genauere Messungen leichter durchführen, da man hier alle wirksamen Kausalfaktoren in der Hand hat. — Der Begriff des „Modellversuchs“ hat in Biologie und Technik eine verschiedene Färbung. Biologische Modelle (etwa der Protoplasmabewegung, der Nervenleitung, der nervösen Koordination) geben, wie heute wohl allgemein zugegeben wird, nur formale Analogien und haben somit hauptsächlich heuristischen und didaktischen Wert. Modellversuche in der Technik (etwa Windkanaluntersuchungen oder Versuche an freifliegenden Modellen, wie sie z. B. beim Studium des Trudelns mit Erfolg benutzt werden) betreffen bereits den Gegenstand selbst, nur unter vorgegebenen, die Sachlage vereinfachenden Bedingungen. Diese Möglichkeit, zu vereinfachen, von vielen mitwirkenden Faktoren jeweils nur einen zu variieren und so seine Rolle im Rahmen des Ganzen zu erkennen, bietet auch die Untersuchung freifliegender Schwingenmodelle. Sie wird daher besonders als Bindeglied zwischen der Theorie und den Flugverfahren in der Natur unentbehrlich sein.

IV.

Um einen genaueren Einblick in die beim Schwingenschlage vorliegenden Bedingungen zu erhalten, sei als Diskussionsgrundlage im folgenden eine quasistationäre Theorie entwickelt, die von einer vereinfachten Bewegung des Flügels ausgeht. Es sei dabei angenommen, der Flügel schwinde als Ganzes auf und nieder, führe also an jeder Stelle des Querschnitts die gleiche Bewegung aus.

In einem raumfesten Koordinatensystem (x -Achse horizontal, positiv nach vorn; z -Achse vertikal, positiv nach oben; Längeneinheit: Halbspannweite s ; $x/s = \xi$; $z/s = \zeta$) verlaufe die Bewegung eines Punktes des Flügelmittelschnitts in der Bahn

$$\zeta(\xi) = a \cos 2\pi\nu\xi$$

wobei a die Amplitude der Schlagschwingung (in Halbspannweiten gemessen) und $\nu = ns/v$ [mit n = Schlagfrequenz, v = (konstante) Bahngeschwindigkeit] die reduzierte Frequenz bedeutet, welche wir, wie oben dargelegt wurde, als kleine Größe ansehen wollen. Der Flügel soll ferner noch relativ zur jeweiligen Anströmrichtung seinen Anstellwinkel α um einen Mittelwert α_0 mit der Amplitude α_1 periodisch ändern:

$$\alpha(\xi) = \alpha_0 + \alpha_1 \cos(2\pi\nu\xi - \varphi).$$

Dabei ist zunächst eine Phasendifferenz φ zwischen Schlagschwingung und Anstellwinkelschwingung zugelassen, deren Optimum wir später bestimmen werden. Wir können nun die sich aus dieser Bewegung ergebenden Kräfte bestimmen. Als Einheit der Kräfte wählen wir wie üblich $\frac{\rho}{2} v^2 F$,

wobei ρ die Dichte des Mediums und F die Flügelfläche ist. Für die Luftkraft senkrecht zur jeweiligen Anströmrichtung (Auftrieb c_a) erhalten wir nach der PRANDTL'schen Tragflächentheorie und unter der Voraussetzung elliptischer Auftriebsverteilung über die Spannweite (was keine wesentliche Einschränkung bedeutet) einen linearen Zusammenhang mit dem Anstellwinkel:

$$c_a(\xi) = c'_a \cdot \alpha(\xi)$$

mit

$$c'_a = \frac{d c_a}{d \alpha} = \frac{2\pi}{1 + 2/L} = \text{const.},$$

wobei mit L das Seitenverhältnis $4s^2/F$ des Flügels bezeichnet ist. Die Luftkraft in Richtung der jeweiligen Anströmung (Widerstand c_w) setzt sich aus dem induzierten Widerstand c_{wi} , welcher quadratisch von c_a abhängt, und dem Profilwiderstand c_{wp} , welcher als vom Anstellwinkel unabhängig angenommen wird, zusammen:

$$c_w(\xi) = \frac{c_a^2(\xi)}{\pi A} + c_{wp}.$$

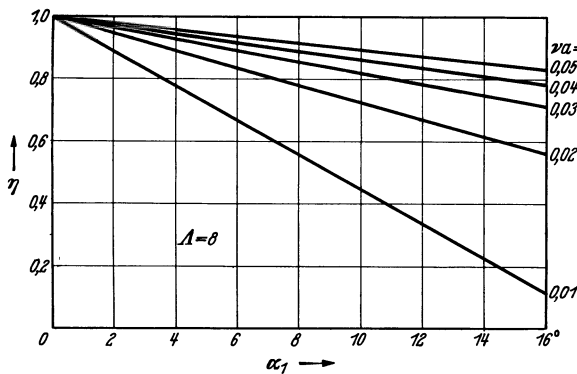


Fig. 7. Vortriebswirkungsgrad für den als Ganzes schwingenden Flügel.

Es interessieren uns nun vor allem die Komponenten der Luftkraft c_z in vertikaler und c_x in horizontaler Richtung. Wir bezeichnen mit

$$\gamma(\xi) = -\frac{d\xi}{d\xi} = 2\pi v a \sin 2\pi v \xi$$

den Winkel zwischen der Bahn (Anströmrichtung) und der Horizontalen an jeder Stelle ξ , welcher nach unseren Voraussetzungen als klein angenommen werden kann, so daß $\sin \gamma \approx \gamma$, $\cos \gamma \approx 1$ ist; dann bestehen zwischen c_x , c_z und c_a , c_w die Beziehungen¹⁾

$$c_z = c_a + c_w \cdot \gamma \approx c_a,$$

$$c_x = -c_a \cdot \gamma + c_w.$$

Damit haben wir die Mittel an der Hand, in jedem Bahnpunkt Horizontal- und Vertikalkraft zu bestimmen. Wir rechnen noch ihre Mittelwerte über eine Wellenlänge der Schwingung aus:

$$\bar{c}_z = v \int_0^{1/v} c_z(\xi) d\xi = \frac{2\pi}{1 + 2/L} \alpha_0 = c'_a \cdot \alpha_0 = c_{a0}$$

¹⁾ Vertikalkräfte haben nach oben, Horizontalkräfte nach hinten positives Vorzeichen. Daher erscheint ein Vortrieb mit negativem Vorzeichen.

und entsprechend

$$\bar{c}_x = -\pi c'_a \cdot \sin \varphi \cdot v a \cdot \alpha_1 + \frac{c_{a0}^2}{\pi A} \left(1 + \frac{\alpha_1^2}{2\alpha_0^2} \right) + c_{wp},$$

wobei $c_{wi} = c_{a0}^2/\pi A$ der induzierte Widerstand ist, welchen der Flügel haben würde, wenn er stationär unter dem Winkel α_0 angeströmt würde. Diese Gleichung zeigt uns, daß die mittlere Vertikalkraft \bar{c}_z durch die Schwingenbewegung nicht geändert wird, und daß wir in der Tat außer einem zusätzlichen induzierten Widerstand (Schwingenwiderstand)

$$\frac{c_{a0}^2}{\pi A} \cdot \frac{\alpha_1^2}{2\alpha_0^2} = \frac{c_a^2}{2\pi A} \cdot \alpha_1^2$$

(welcher übrigens genau halb so groß wie der zu einer stationären Anströmung unter α_1 gehörige

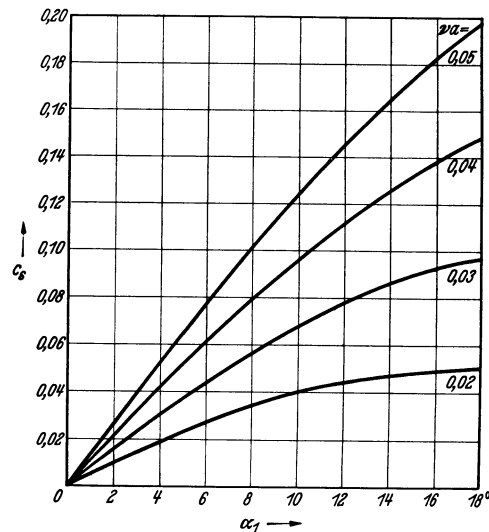


Fig. 8. Die durch den als Ganzes schwingenden Flügel erreichten Schubbeiwerte \bar{c}_s .

ist) auch eine nach vorn wirkende Kraft, den Schwingenvortrieb

$$-\pi c'_a \sin \varphi \cdot v a \cdot \alpha_1$$

erhalten. Um diesen möglichst groß zu machen, müssen wir zunächst $\varphi = \pi/2$ setzen: Die Anstellwinkelschwingung muß der Schlagschwingung um $\pi/2$ nacheilen, was unmittelbar anschaulich ist. Weiter erkennt man die Notwendigkeit einer Anstellwinkeländerung, denn für $\alpha_1 = 0$ erhält man im Mittel keinen Vortrieb. Der Vortrieb wird größer mit zunehmender Schlagamplitude $v a$ und mit zunehmender Anstellwinkelamplitude α_1 . Beide sind jedoch nach oben begrenzt: v durch die Voraussetzungen der quasistationären Theorie, a im praktischen Falle aus konstruktiven Gründen und α_1 durch die Forderung, daß der maximale Anstellwinkel $\alpha_0 \pm \alpha_1$ nicht zum Abreißen der Strömung am Profil führen darf.

Da der durch die Schwingenbewegung gleichzeitig hervorgerufene Widerstand quadratisch mit α_1 wächst, wird es zweckmäßig sein, zu überlegen,

¹⁾ $v a = a s/\lambda$ ist die auf die Wellenlänge λ bezogene Schlagamplitude.

bei welchen Schlag- und bei welchen Anstellwinkelamplituden der betrachtete Schwingenantrieb die günstigsten Ergebnisse liefert. Wir definieren daher einen Vortriebswirkungsgrad¹⁾

$$\eta = 1 - \frac{\text{Schwingenwiderstand}}{\text{Schwingenvortrieb}} = 1 - \frac{1}{\pi(\Lambda + 2)} \cdot \frac{\alpha_1}{\nu a}.$$

Der Vortriebswirkungsgrad ist demnach um so größer, je größer die Schlagamplitude νa und je kleiner die Anstellwinkelamplitude α_1 ist (siehe Fig. 7). Ein größeres Seitenverhältnis des Flügels setzt η ebenfalls herauf. Abgesehen von der sehr kleinen Schlagamplitude $\nu a = 0,01$ finden wir Wirkungsgrade, die denen beim Propellerantrieb im Flugzeugbau gleichkommen. Ob man die außergewöhnlich guten Wirkungsgrade bei kleinen Anstellwinkelamplituden α_1 praktisch ausnutzen kann, hängt davon ab, ob der damit hervorgerufene Schub \bar{c}_x (= Schwingenvortrieb + Schwingenwiderstand)

$$\bar{c}_x = -\pi c'_a \sin \varphi \nu a \alpha_1 + \frac{c_a^2}{2\pi\Lambda} \alpha_1^2$$

ausreicht, den gegebenen stationären Widerstand zu überwinden. Um diese Frage schneller zu überblicken, ist in Fig. 8 der Schub \bar{c}_x über α_1 für verschiedene νa aufgetragen. (Für ein Flugzeug einschließlich Rumpf und Fahrwerk liegt der zu überwindende Widerstand \bar{c}_w im Horizontalflug in der Größenordnung 0,05.)

Um von vornherein für die spätere Anwendung klare Verhältnisse zu schaffen, seien einige übersichtliche Beispiele besprochen. Für einen gegebenen Flügel haben wir drei voneinander unabhängige freie Parameter: Den mittleren Anstellwinkel α_0 (oder entsprechend c_{a_0}), die Anstellwinkelamplitude α_1 und die Schlagamplitude νa . Eine einfache Bewegung wäre die, daß der Anstellwinkel — maßgebend für die auftretenden Luftkräfte ist der Anstellwinkel gegenüber der jeweiligen Anströmrichtung, von dem hier allein die Rede ist, nicht der gegen die Horizontale — sich nicht ändert ($\alpha = \alpha_0 = \text{const}$; $\alpha_1 = 0$). Wir erhalten dann in jedem Bahnpunkt den gleichen Auftrieb c_{a_0} , während der beim Flügelabschlag entstehende Vortrieb durch den entsprechenden Rücktrieb beim Aufschlag wieder aufgehoben wird (Fig. 9a). — Einen anderen Grenzfall erhalten wir, wenn wir $\alpha_0 = 0$ setzen und dafür α_1 von Null verschieden annehmen. In diesem Fall wird der beim Abschlag entstehende Auftrieb durch den entsprechenden Abtrieb beim Aufschlag kompensiert. Dafür erhalten wir für beide Bewegungsphasen übereinstimmend einen (allerdings in seiner Größe periodisch schwankenden) Vortrieb (Fig. 9b, ausgezogene Kurven). — Zwischen diesen Extremen

¹⁾ Dieser ist (für $\bar{c}_x = 0$) gleichzeitig das Verhältnis zwischen der Leistung, die wir hineinstecken müssen, um nur den stationären Anteil $c_{w_i_0} + c_{w_p}$ des Widerstandes zu überwinden, und der Leistung, die wir tatsächlich aufwenden müssen, und welche um den Betrag Schwingenwiderstand \times Fluggeschwindigkeit größer ist als die erste.

sind verschiedene Zwischenformen denkbar. Von Fig. 9b ausgehend, erhalten wir bei kleinem mittlerem Anstellwinkel einen dementsprechend kleinen von Null verschiedenen mittleren Auftrieb (Fig. 9c). Fig. 9d stellt den besonderen, später noch zu erwähnenden Fall dar, wo nirgends Abtrieb auftritt, aber Vortrieb und Auftrieb beim Aufschlag vorübergehend Null werden. In Fig. 9e nähern wir uns dem Fall a; wir haben zwar eine entsprechend der kleinen Anstellwinkelschwankung geringe Auftriebsschwankung, dafür aber nur kleinen Vortrieb. Die hier noch eingezeichneten gestrichelten Kurven deuten an, wie sich die Situation verkehrt, wenn die Anstellwinkelschwankung der Schlagschwankung nicht um $\pi/2$ nach-, sondern voreilt, ein Fall, auf den auch noch zurückzukommen sein wird.

Bisher war die Voraussetzung gemacht, daß sowohl die Schlag- als auch die Anstellwinkelschwankung rein sinusförmig verlaufen. Daß diese Tatsache die Allgemeingültigkeit der Anwendung des hier Vorgetragenen nicht beeinträchtigt, sei noch kurz dargetan. Es ergibt sich das einmal schon aus der Tatsache, daß man beliebige Kurven in harmonische Schwingungen auflösen kann. Für eine nicht sinusförmige Bahnkurve $\zeta(\xi)$ läßt sich auch auf andere Weise unser Satz, daß ohne Anstellwinkeländerung im Mittel kein Vortrieb entstehen kann, leicht einsehen. Wir setzen nur voraus, daß $\zeta(\xi)$ eine periodische Funktion (mit der Periode $\lambda/s = 1/\nu$) ist:

$$\zeta(\xi_0) = \zeta(\xi_0 + 1/\nu)$$

Sei $\alpha = \alpha_0 = \text{const}$, so ist auch $c_a = c_{a_0} = \text{const}$ und $c_{w_0} = \text{const}$. Der mittlere Vortrieb:

$$\bar{c}_x = \nu \int_{\xi_0}^{\xi_0 + 1/\nu} c_x(\xi) d\xi$$

ist dann wegen $c_x(\xi) = -c_{a_0} \cdot \gamma(\xi) + c_{w_0}$ und $\gamma(\xi) = -d\zeta/d\xi$ gleich:

$$\bar{c}_x = c_{a_0} \nu [\zeta(\xi_0 + 1/\nu) - \zeta(\xi_0)] + c_{w_0} = c_{w_0}.$$

Ein Beispiel für eine solche Bewegung zeigt Fig. 9f.

Auch den Fall einer nicht sinusförmigen Anstellwinkelschwankung kann man nach der angegebenen Methode behandeln. Fig. 9b gibt in den gestrichelten Kurven ein Beispiel.

Eine weitere Voraussetzung war die konstante Anströmgeschwindigkeit. Schwankt diese um einen Mittelwert v_0 nach

$$v(\xi) = v_0 + \Delta v(\xi) = v_0 \left(1 + \frac{\Delta v(\xi)}{v_0} \right)$$

um den kleinen Beitrag Δv , so läßt sich nach der PRANDTL'schen Tragflügeltheorie leicht zeigen, daß dieser Geschwindigkeitsänderung Δv eine Anstellwinkeländerung

$$\Delta \alpha = \alpha \frac{\Delta v}{v_0}$$

entspricht, womit der Anschluß an unsere früheren Überlegungen hergestellt ist. Auf diesem Wege würden wir also z. B. auch für den Fall konstanten

Anstellwinkels $\alpha = \alpha_0$ einen im Mittel nicht verschwindenden Vortrieb erhalten.

Wir sind bisher auf den dritten Parameter, die Schlagamplitude νa , nicht weiter eingegangen. Die Bewegung des tierischen Flügels unterscheidet sich bekanntlich von der eben behandelten vor allem darin, daß der Flügel am Rumpf angelenkt ist, so daß die Schlagamplitude nach dem Flügelende hin zunimmt. Die Theorie wäre also dahin zu erweitern, daß a als von der Koordinate y in Spannweitenrichtung abhängig angesetzt wird. Diese Bewegung bringt gegenüber der theoretisch behandelten neben unwesentlichen Nachteilen vor allem praktische Vorteile mit sich. Der Hauptnachteil läge darin, daß die Auftriebsverteilung

nicht mehr elliptisch wäre, was eine Zunahme des induzierten Widerstandes zur Folge hätte. Es wäre allerdings eine Bewegung denkbar, bei der die zunehmende Schlagamplitude mit einer solchen Abnahme des Anstellwinkels einhergeht, daß die elliptische Auftriebsverteilung bestehenbleibt. Diese Bewegungsart hätte aber mit der als Ganzes auf- und abschwingenden Platte einen entscheidenden Nachteil gemein: die große Schwankung der Vertikalkraft im Verlaufe einer Schwingung. Diese Schwankung aber muß zu einer um so stärkeren Auf- und Abbewegung des Massenschwerpunktes

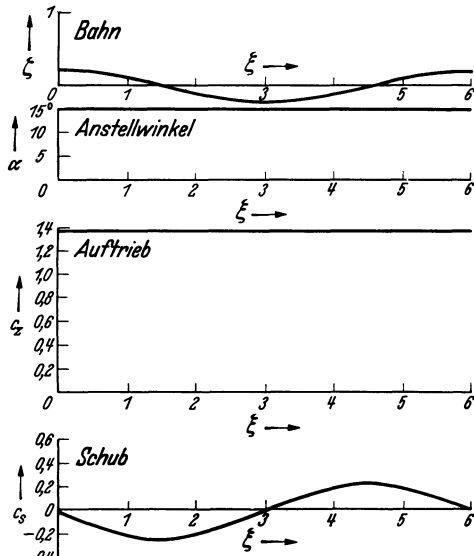


Fig. 9a. $a = 0,2$; $\nu a = 0,033$; $\alpha_0 = 15^\circ$; $\alpha_1 = 0$; $c_z = 1,37$; $c_s = 0$.

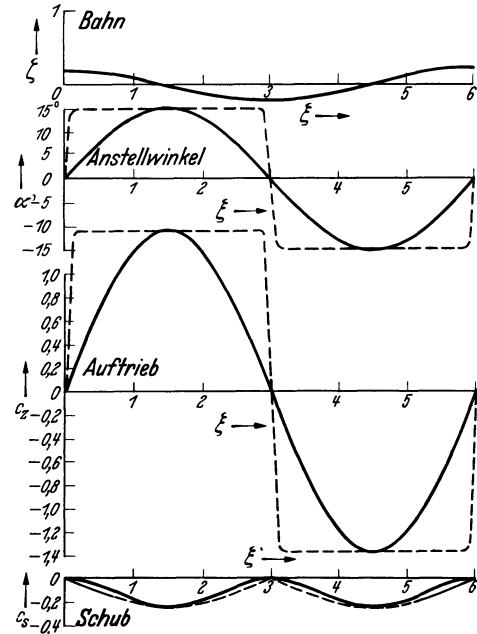


Fig. 9b. — $a = 0,2$; $\nu a = 0,033$; $\alpha_0 = 0$; $\alpha_1 = 15^\circ$; $c_z = 0$; $c_s = -0,11$; $\eta = 0,79$.

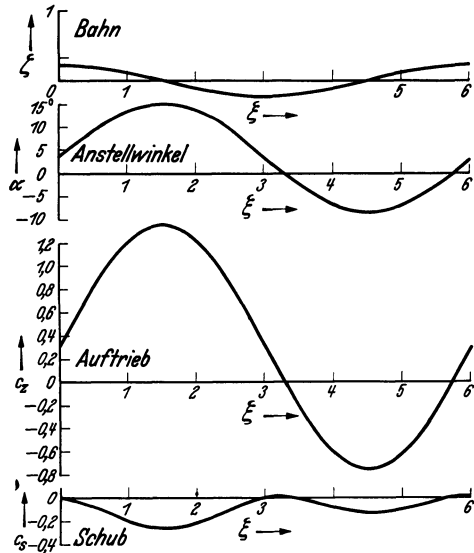


Fig. 9c. $a = 0,2$; $\nu a = 0,033$; $\alpha_0 = 3,75^\circ$; $\alpha_1 = 11,25^\circ$; $c_z = 0,34$; $c_s = -0,09$; $\eta = 0,84$.

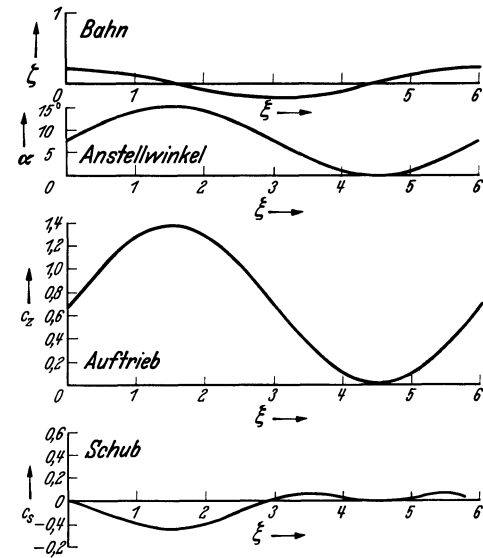


Fig. 9d. $a = 0,2$; $\nu a = 0,033$; $\alpha_0 = 7,5^\circ$; $\alpha_1 = 7,5^\circ$; $c_z = 0,68$; $c_s = -0,064$; $\eta = 0,90$.

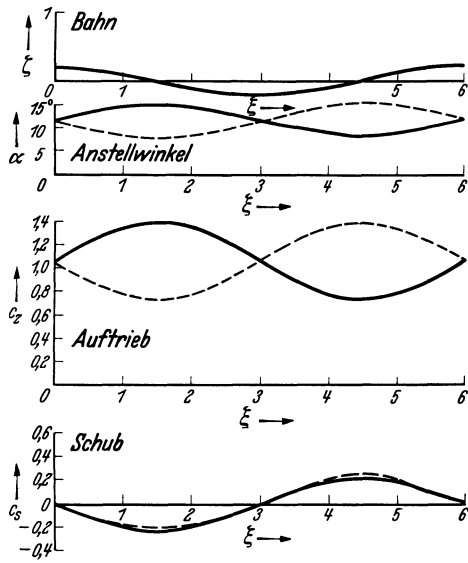


Fig. 9e. — $\varphi = \pi/2$; $a = 0,2$; $va = 0,033$; $\alpha_0 = 11,25^\circ$; $\alpha_1 = 3,75^\circ$; $c_z = 1,03$; $c_s = -0,034$; $\eta = 0,95$.
 --- $\varphi = -\pi/2$; $a = 0,2$; $va = 0,033$; $\alpha_0 = 11,25^\circ$; $\alpha_1 = 3,75^\circ$; $c_z = 1,03$; $c_s = 0,034$; $\eta = 0,95$.

Fig. 9. Verschiedene Bewegungsformen und die zugehörigen Luftkräfte im Verlaufe einer Schwingung für den als Ganzes schwingenden Flügel.

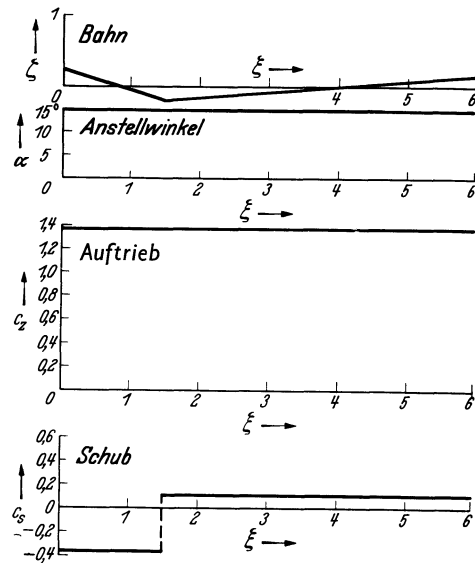


Fig. 9f. $a = 0,2$; $va = 0,033$; $\alpha_0 = 15^\circ$; $\alpha_1 = 0$; $c_z = 1,37$; $c_s = 0$.

führen, je geringer ceteris paribus die Schlagfrequenz ist. Betrachtet man nun daraufhin große, langsam schlagende Vögel, so ist von einer nennenswerten vertikalen Pendelbewegung des Rumpfes (im Horizontalflug) nichts zu beobachten; nur sehr langflügelige und zugleich leicht flächenbelastete Formen (z. B. Seeschwalben) zeigen diese Bewegung in merklichem, aber immer noch geringem Ausmaß. Die Kompensation dieser Vertikalbewegung wird aber gerade bei einer Winkelschwingung, wie sie der tierische Flügel ausführt, dadurch möglich gemacht, daß die einzelnen Flügelzonen verschiedene Schlagamplituden haben und deshalb verschiedene Funktionen übernehmen können. Auf welche Weise dies möglich ist, soll im folgenden Abschnitt an Hand der Flugmodelle erläutert werden.

V.

Auf die Geschichte des Schwingenflugmodellbaus („Vollschwingen“-M.), — ein langes Kapitel, wenn man die Zahl derer zum Maßstab nimmt, die sich auf dem Gebiet versucht haben, ein ganz kurzes, wenn man das Ergebnis betrachtet —, sei an dieser Stelle nicht näher eingegangen; soweit uns bekannt, ist über die lange zurückliegenden Ergebnisse PÉNAUDS, der um 1870 ein kleines Modell mit elastischen Flügeln mittels Gummimotor und einfachem Kurbelgetriebe (in einer Bewegung, die man allenfalls als „Rütteln“ bezeichnen könnte) zum Steigen brachte, niemand wesentlich hinausgekommen. Die Hauptschwierigkeiten einer naturgetreuen Darstellung der Bewegung beruhen einmal in der richtigen kombinierten Schlag- und Dreh-

bewegung des Flügels, zum zweiten in der nicht minder wichtigen, aber anscheinend stets außer acht gelassenen richtigen Kraftverteilung (das fast immer verwendete Schubkurbelgetriebe ist für diesen Zweck ungeeignet, vgl. auch Fig. 10), und schließlich in der Herstellung einer stabilen Fluglage. Eine eingehendere Beschreibung, wie diese 3 Aufgaben bei den von uns konstruierten Flugmodellen gelöst sind, würde hier zu weit führen. Die folgenden allgemeinen Angaben mögen genügen.

Was die Flügelbewegung selbst anlangt, so sind hier Schlagamplitude, Anstellwinkeländerung und Verwindung der Fläche längs der Spannweite variabel und beliebig einstellbar. Die Kraftverteilung während einer Schlagphase ist ebenfalls in weiten Grenzen veränderlich, ebenso kann das Kraftverhältnis zwischen Ab- und Aufschlag, das ja auch bei den einzelnen tierischen Flugarten sehr wechselt, beliebig eingestellt werden. Ein Ausgleichsgetriebe sorgt dafür, daß sich die im Ver-

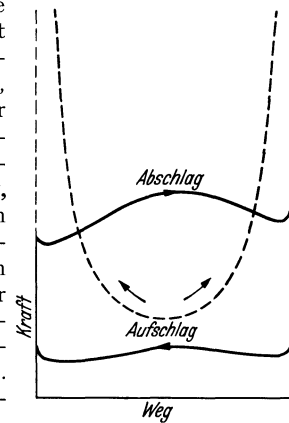


Fig. 10. Verlauf der vom Motor auf den Flügel ausgeübten Kraft während einer Schwingung bei dem als Beispiel behandelten Flugmodell (vgl. Fig. 13). Zum Vergleich die Kraftverteilung bei einem Schubkurbelgetriebe (gestrichelte Kurve).

lauf der Flügelschläge nachlassende Spannung des Gummimotors nicht auf die Flugbewegung aus-

wirken kann; die Flügelschläge können nach Wunsch mit gleichbleibender oder allmählich oder plötzlich steigender bzw. sinkender Kraft ausgeführt werden. Die Flugmodelle können leicht vom Boden starten und im Winkel bis über 45° steigen, manche auch vorübergehend auf der Stelle rütteln. Die Flugdauer beträgt bei den bisher gebauten Modellen von 0,3 bis 2,2 m Spannweite 20 bis 60 sec; an den Kraftflug schließt sich ein Gleitflug an. Die allgemeine Stabilität, auch bei Nur-Flügelmodellen, ist über Erwarten gut, selbst in stärker bewegter Luft. Einige typische Flugbilder geben die Fig. 11 und 12. Es sei noch erwähnt, daß es uns vorerst allein darauf ankam, überhaupt die Möglichkeit einer Darstellung tierischer Flugformen zu erweisen — in der Hauptsache beschäftigten uns bisher die Flugarten der mittelgroßen bis großen Vögel, der Fledermäuse, der Flugsaurier¹⁾, der Libellen und der größeren Tagfalter —; ins einzelne gehende Übereinstimmung mit der Bewegungsart eines bestimmten Fluges wurde bisher nicht angestrebt, wird aber auf der vorliegenden Grundlage ohne sehr große Schwierigkeit zu erreichen sein²⁾. Für den hier von uns verfolgten Zweck, den „Existenzbeweis“ für die neue Methode zu erbringen, mag es genügen, von einem einzelnen Beispiel genauere Daten vorzulegen und an deren Hand einige bemerkenswerte Punkte etwas näher ins Auge zu fassen.

Fig. 13 gibt die kurvenmäßige Auswertung einer mit Zeitlupenfilm festgehaltenen

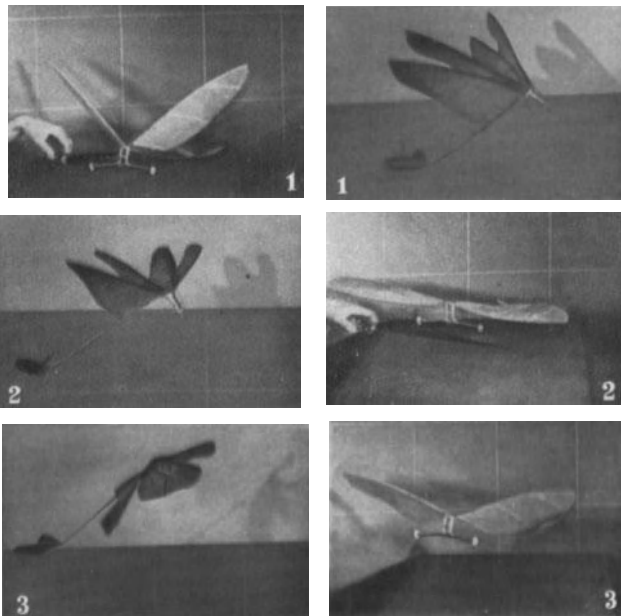


Fig. 11. Bilder aus Zeitlupenfilmstreifen von zwei Schwingenflugmodellen; links: Modell mit einfachem Spaltflügel, im Steigwinkel von etwa 40° „hochrüttelnd“, rechts: ein anderes Modell beim Bodenstart (vgl. dazu die vom gleichen Modell aufgenommene Kurve Fig. 13). Reihenfolge der Bilder: 1. oberer Umkehrpunkt der Bewegung, 2. Abschlag, 3. Aufschlag. Der Gummimotor befindet sich beim linken Modell im Flügel (unter der Flügelvorderkante), beim rechten im unteren Querrohr des Fahrgestells.

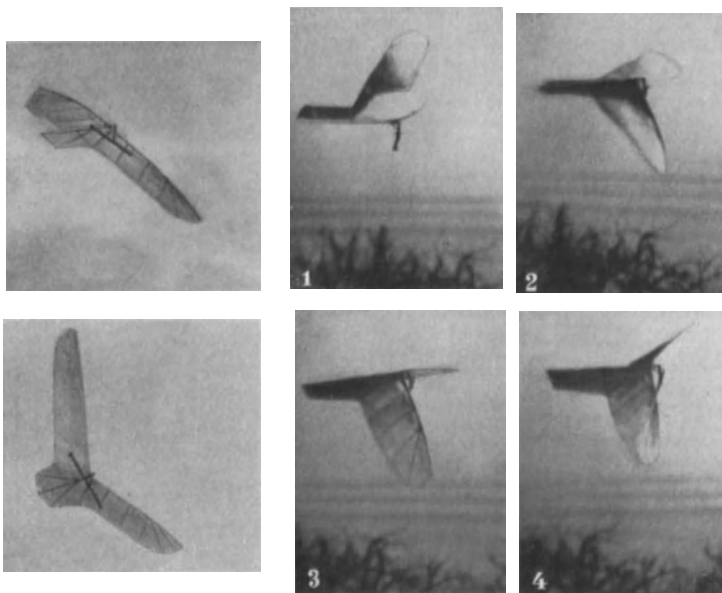


Fig. 12. Momentbilder eines im Freien fliegenden „Nurflügel“modells bei Ansicht von unten und von der Seite.

¹⁾ Über die Flugtechnik der Pterosaurier und ihre besonderen, interessanten Probleme soll an anderer Stelle auf Grund eingehender Modellversuche berichtet werden; hier sei nur erwähnt, daß auch die Flugweise mit Hilfe einer elastischen, lediglich an der Vorderkante eingespannten Flughaut, wie sie für diese Tiere typisch ist (der enorm verlängerte vierte Finger stellt den Spannbügel dar), im Modell nachgeahmt werden kann.

²⁾ Verschiedene Modelle sind mehrfach der Öffentlichkeit vorgeführt worden; so z. B. beim Reichswettbewerb für Saalflugmodelle 1940 des NS.-Fliegerkorps in Breslau, wo sie durch Preise ausgezeichnet wurden; ferner vor der Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung in Berlin anlässlich eines am 29. I. 1941 gehaltenen Vortrags des einen Autors (v. H.). Beschreibungen der in Breslau gezeigten Flugleistungen finden sich bei W. HAAS [Luftfahrt u. Schule 6, 22 (1940)]; im gleichen Heft auch ein Aufsatz v. H.s über denselben Gegenstand und bei H. WINKLER [Modellflug 6, 2 (1940)], der auch die Kinetik der Breslauer Modelle darstellt.

Flugstrecke, und zwar startet das Modell ohne Erteilung einer Anfangsgeschwindigkeit im „Sprungstart“ vom Boden. Die mittlere Zone der Kurve zeigt das für diese Flugart typische Bild. Der Schwerpunkt führt erstens eine gewisse schwache, periodische Bewegung senkrecht zur mittleren Bahnrichtung aus. (Erwähnt sei, daß im Horizontalflug diese Pendelbewegung analog wie bei den Vögeln fast völlig verschwindet.) Zweitens zeigen sich periodische Geschwindigkeitsschwankungen, deren Ausmaß sich aus den durch gleiche Zeitintervalle getrennten Kurvenpunkten anschaulich ergibt: mit einer steiler werdenden Bahn geht ein Geschwindigkeitsanstieg einher. Der Versuch, aus der Bewegung des Schwerpunktes Rückschlüsse auf die wirksamen Luftkräfte zu ziehen, mag hier unterbleiben. Auch auf die auffällige Tatsache, daß der als Folge des Flügelabschlags zu erwartende Geschwindigkeits- und Höhengewinn sich erst sehr verspätet (nämlich während des Aufschlages!) bemerkbar macht, sei nur hingewiesen. Bei der gegebenen Kraftverteilung für Flügelanlauf- und abschlag, die Fig. 10 wiedergibt, ist die mittlere Geschwindigkeit beider Bewegungsphasen (wie bei vielen Vögeln), etwa übereinstimmend. Eine geringe, aber deutliche Verzögerung bemerkt man jeweils am oberen Umkehrpunkt der Flügelbewegung: das Modell verharrt etwas länger in der stabilen Fluglage mit erhobenen, als in der instabilen mit gesenkten Flügeln.

In der nachfolgenden Zahlentafel sind außer einigen allgemeinen Angaben über das Modell eine

Zahlentafel.

Spannweite $2s$	0,8 m
Flügelfläche F	0,07 m ²
Gewicht G	0,007 kg
Flächenbelastung G/F	0,1 kg/m ²
Motorleistung N	0,000 35 PS
Leistungsbelastung G/N	20 kg/PS
Schlagwinkel	60°
mittlerer Steigwinkel	18°
mittlere Frequenz n	2,7 sec ⁻¹
mittlere Geschwindigkeit des Schwerpunktes \bar{v}_s	1,8 m/sec
mittlere Geschwindigkeit der Flügelspitze	3 m/sec
α_0 an der Flügelwurzel	≈ 15°
α_1 an der Flügelwurzel	≈ 5°
α_0 an der Flügelspitze	≈ 3°
α_1 an der Flügelspitze	≈ 17°
mittlerer Auftriebsbeiwert \bar{c}_a	0,49
mittlerer Widerstandsbeiwert \bar{c}_w	0,37
mittlerer Schubbeiwert \bar{c}_s	0,52
reduzierte Frequenz $\nu = ns/\bar{v}_s$	0,6
REYNOLDSSche Zahl $Re = \rho \bar{v}_s F / 2 \mu s$	10 ⁴

Reihe ausgewerteter Daten für die mittlere Flugstrecke des Kurvenbildes 13 aufgeführt. Bei dem geringen Gewicht ist die Flächenbelastung des Modells um eine Größenordnung kleiner als die von Vögeln entsprechender Größe. Im Zusammenhang damit ist auch die mittlere Geschwindigkeit des Schwerpunktes erheblich geringer. Das bedingt aber bei der angegebenen, nicht in gleichem Maße verringerten Schlagfrequenz eine relativ hohe reduzierte Frequenz. Es wird u. a. eine Aufgabe der Zukunft sein, Schwingenmodelle herzustellen, die hinsichtlich Flächenbelastung, Geschwindigkeit — und somit REYNOLDSScher Zahl — sowie

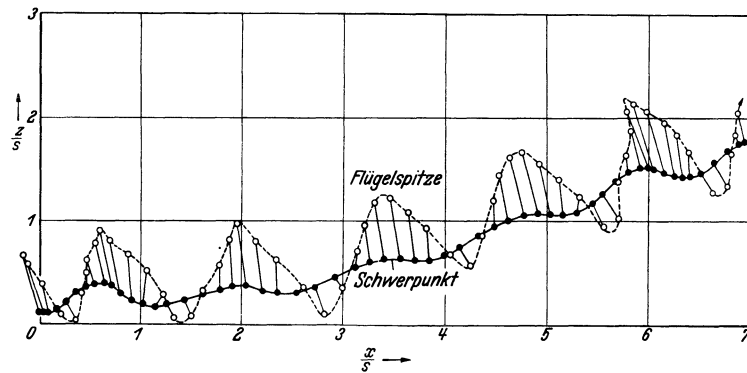


Fig. 13. Bewegung des Schwerpunktes und der Flügelspitze im Raum (x -Achse nach vorn, z -Achse nach oben; s = Halbspannweite) beim Start des als Beispiel behandelten Modells. Zeitlicher Abstand zweier Punkte: $3/80$ sec. (Auswertung eines Filmstreifens mit 80 Bildern pro sec.)

hinsichtlich der reduzierten Frequenz mit den betreffenden Flugtieren möglichst übereinstimmen.

Die Leistungsbelastung erscheint im Vergleich mit den im Flugzeugbau üblichen Werten (2 bis 8 kg/PS) als außerordentlich hoch. Dabei ist jedoch zu beachten, daß dieser Wert von der absoluten Größe abhängig ist. Bezeichnen wir das Verhältnis der linearen Abmessungen zweier betrachteter Flugzeuge mit $\kappa = l_{\text{Modell}}/l_{\text{Flugzeug}}$, so ist es üblich, anzunehmen, daß sich die Gewichte wie κ^3 verhalten. In unserem Falle ist jedoch das Gewicht des Modells so klein, daß man für G mindestens eine Änderung mit der 5. Potenz der Längenabmessungen ansetzen muß. Nimmt man an, daß die Luftkräfte in beiden Fällen vergleichbar sind, so kann man nach den Methoden der Ähnlichkeitsmechanik, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, zeigen, daß sich in unserem Falle die Leistungsbelastungen wie $\kappa^{-3.2}$ verhalten müßten¹⁾. Damit kommen wir vom Modell ausgehend zu einem Flugzeug mit einer Leistungsbelastung unter 1 kg/PS; das bedeutet, daß das Modell im Verhältnis zu seinem Gewicht einen außergewöhnlich starken Motor besitzt. — Aus dieser Betrachtung geht übrigens noch hervor, daß Flugmaschinen wie Flugtiere, solange die Luft-

¹⁾ Nimmt man an, daß sich die Gewichte wie κ^3 verhalten, so ändern sich die Leistungsbelastungen wie $\kappa^{-1.2}$

kräfte vergleichbar bleiben, mit abnehmender absoluter Größe mit einem relativ zum Gewicht schwächeren Motor die gleichen Flugleistungen erzielen.

Die hier berührten Gesetze der Ähnlichkeitsmechanik werden auch in anderen Fällen gute Dienste leisten können. So ist es mit ihrer Hilfe möglich, viele aus dem Flugzeugbau bekannte Daten bei der Analyse des tierischen Fluges zu verwerten und andererseits die verschiedenen Flugtiere untereinander zu vergleichen.

Die trotz des geringen Gewichtes und der langsamen Schlagfrequenz relativ geradlinige Bewegung des Schwerpunktes läßt darauf schließen, daß die Vertikalkraft im Verlaufe einer Schwingung nur wenig schwankt. Damit kommen wir auf das schon oben berührte Problem der Funktionsteilung längs der Flügelspannweite. Schon LILIENTHAL¹⁾ hatte angenommen, daß bei den Vögeln die rumpfnaher Flügelzone vorzugsweise für einen stetigen Auftrieb und die Flügelenden für Vortrieb sorgen. Obwohl unsere Auswertungsmethode in diesem Punkte noch nicht die wünschenswerte Genauigkeit erreicht hat²⁾, sehen wir in der Tat an unserem Beispiel, daß die rumpfnaher Zone bei geringer Anstellwinkelamplitude und großem mittlerem Anstellwinkel, das Flügelende umgekehrt mit großer Anstellwinkelamplitude und kleinem mittlerem Anstellwinkel arbeitet. Die Anstellwinkelverhältnisse entsprechen damit in unserem Falle qualitativ an der Flügelwurzel denen von Fig. 9e (und zwar denen der gestrichelten Kurven) und an der Flügelspitze denen von Fig. 9c. Es ergibt sich also, daß die äußere Flügelzone während des Aufschlages von oben angeströmt wird und somit zwar Vortrieb aber auch Abtrieb liefert³⁾. Dieser Abtrieb wird jedoch durch einen zusätzlichen Auftrieb der rumpfnahen Zone zum Teil kompensiert. Zwischen Flügelspitze und Rumpf wird es nun einen Flügelschnitt geben, welcher gerade unter dem Anstellwinkel Null angeströmt wird (Fig. 9d); diese Stelle wandert beim Aufschlag von der Spitze her zunächst über den Flügel nach innen und dann wieder zurück. — Beim Abschlag haben wir an allen Stellen der Spannweite Auftrieb und Vortrieb; der letztere wird dabei wieder in der Hauptsache vom Flügelende erzeugt, da dieses die größte Schlagamplitude hat.

Das hier angeführte Beispiel stellt insofern einen

¹⁾ O. LILIENTHAL, Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, 3. Aufl. München u. Berlin 1939.

²⁾ Da bei unseren bisherigen Modellen die mechanisch vorgegebene Bewegung des Flügels durch dessen Elastizität noch modifiziert wird, ist eine völlig genaue Feststellung des Bewegungsablaufs nur mit Hilfe sehr scharfer Zeitlupenfilme möglich.

³⁾ Es sei hierbei nochmals darauf hingewiesen, daß die Fig. 9 nur für den theoretisch behandelten Fall der an jeder Stelle der Spannweite die gleiche Bewegung ausführenden Fläche gilt. Für eine quantitative Aussage müßte man in unserem Falle die gegenseitige Beeinflussung der (verschiedene Bewegungen ausführenden) einzelnen Flügelschnitte mit berücksichtigen.

mittleren Fall dar, als sowohl eine weitere Zunahme der beim Aufschlag negativ angeströmten Flügelpartie als auch eine Abnahme derselben bis auf Null möglich ist. Im ersten Falle nähern wir uns dem Rüttelflug, bei dessen Extremfall, dem Flug auf der Stelle, die gesamte Fläche abwechselnd positiv und negativ angestellt ist; im anderen Falle kommen wir zu einer Flugweise, wie sie wahrscheinlich von vielen Vögeln (sicher von Ringeltauben) im schnellen Horizontalflug verwirklicht wird. Endgültige Feststellungen hierüber stehen noch aus.

Die angegebenen Luftkraftbeiwerte \bar{c}_a , \bar{c}_w und \bar{c}_s sind nicht aus einer quasistationären Theorie im obigen Sinne erhalten, sondern aus den Gleichgewichtsbedingungen für den stationären Steigflug. Ist γ_0 der mittlere Bahnwinkel, so muß der mittlere Auftrieb \bar{A} der Gewichtskomponente $G \cdot \cos \gamma_0$ das Gleichgewicht halten und ebenfalls der mittlere Schub \bar{S} gleich den mittleren Widerstand \bar{W} vermehrt um die Gewichtskomponente $G \cdot \sin \gamma_0$ sein:

$$\bar{A} = G \cdot \cos \gamma_0$$

$$\bar{S} = G \cdot \sin \gamma_0 + \bar{W}.$$

In diesen Gleichungen sind G und γ_0 bekannt, außerdem auch \bar{S} , welches sich aus der Motorleistung N (in PS) und der mittleren Geschwindigkeit \bar{v} des Schwerpunktes berechnen läßt:

$$\bar{S} = 75 \eta N / \bar{v},$$

Wir wollen den Wirkungsgrad η für unsere Abschätzung zu 0,5 annehmen, da darin auch die Verluste im Getriebe usw. enthalten sein müssen. Auf diese Weise erhalten wir \bar{A} , \bar{W} und \bar{S} und daraus auch ihre Beiwerte. Widerstands- und Schubbeiwert sind außerordentlich groß. Das erklärt sich u. a. aus der Steilheit der Flugbahn (der Bahnwinkel an jeder Stelle ist bedeutend größer, als bei der quasistationären Theorie vorausgesetzt war), wodurch eine nicht geringe Komponente des Auftriebs, auf die mittlere Bahnrichtung bezogen, teils als Widerstand, teils als Schub erscheint. Es sei bemerkt, daß eine grobe Abschätzung mittels einer quasistationären Theorie zu ähnlich hohen Werten führt. Zum Vergleich zeigt Fig. 14 eine kurze Flugstrecke eines anderen Modells mit einem Steigwinkel von 40°. Die noch steilere Bahnkurve (die Flugart nähert sich schon dem Rütteln) mit einer reduzierten Frequenz $r = 0,9$ ergibt noch größere Beiwerte: $\bar{c}_a = 1,2$; $\bar{c}_w = 1,1$; $\bar{c}_s = 2,4$. Alle diese Beiwerte sind auf die mittlere Geschwindigkeit des Massenschwerpunktes bezogen.

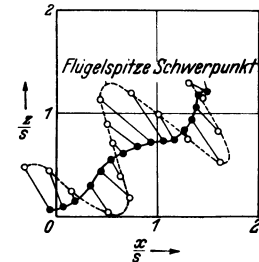


Fig. 14. Bewegung des Schwerpunktes und der Flügelspitze im Raum beim Steigflug eines anderen Flugmodells. Einzelheiten wie in Fig. 13.

VI.

An die Besprechung der Flügelbewegung selbst und ihrer Wirkung sei noch eine kurze Betrachtung

über die Stabilisierung des ganzen Flugapparates angeschlossen. Da der Flügel, wie wir sahen, eine genau dosierte Drehung um seine Längsachse auszuführen hat, ergibt sich vor allem die Frage, wodurch die hierbei auftretenden Drehmomente um die Querachse des Flugtieres bzw. Flugmodells kompensiert werden. Die Beobachtung der Natur lehrt, daß bei den größeren oder wenigstens lang-

sich erst mit Hilfe guter Filmaufnahmen genauer feststellen lassen¹⁾.

Am Drehmomentenausgleich um die Querachse kann weiterhin auch die Masse des Körpers in verschiedenem Maße teilhaben. Eine gewisse, wenn auch untergeordnete Rolle mag bei Vögeln mit langem Hals und langen Beinen das Ausstrecken derselben nach vorne und hinten, also weit weg vom Drehpunkt, spielen (Fig. 15 b). In Flugzuständen, wo mangels ausreichender Anströmung die Schwanzfläche kaum eine Wirkung entfalten kann, wie beim Flug auf der Stelle, wird (mindestens bei langsam schlagenden Formen) der Schwerpunkt möglichst tief gelagert (Fig. 4 b). Bei sehr vielen Insekten, die sich auf dieses Fliegen auf der Stelle spezialisiert haben, fehlt überhaupt eine besondere Stabilisierungsfläche.

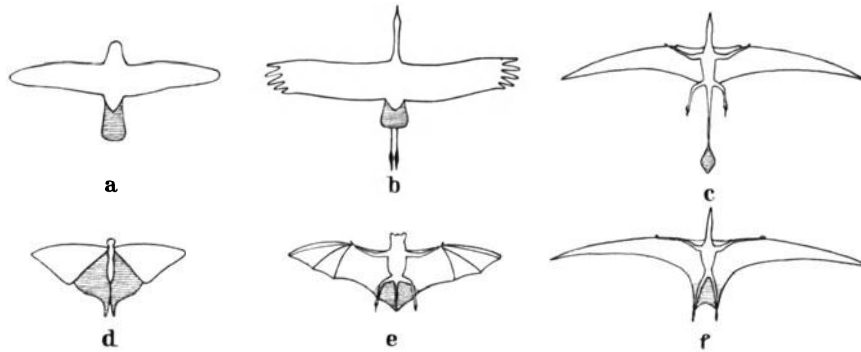


Fig. 15. Lage der Stabilisierungsfläche (schattiert) bei verschiedenen Flügeltieren; a) und b) Vögel, c) Flugsaurier vom Typ Ramphorhynchus, d) Tagfalter, e) Fledermaus, f) Flugsaurier vom Typ Pteranodon.

sam schlagenden Flügeltieren im wesentlichen zwei Möglichkeiten verwirklicht sind. Entweder ist eine besondere, von den Flügeln getrennte Fläche, der Schwanz der Vögel oder die Hautplatte gewisser Flugsaurier mit langem Eidechschwanz, am Hinterende angebracht (Fig. 15 a—c); oder aber die hintere Mittelzone der Flügel selbst übernimmt die stabilisierende Funktion, wie es die Fledermause, ferner ein anderer Flugsauriertyp sowie die in dieser Hinsicht fledermausartig fliegenden größeren Tagfalter zeigen (Fig. 15 d—f). Beide Arten der Stabilisierung sind auch im Flugmodell darstellbar. Unsere bisherigen Versuche in dieser Richtung ergaben, daß beim zweiten Typ die betreffende hintere Flügelzone die Auf- und Abbewegung der Flügel wohl mitmachen kann, sich aber an der Drehung um die Flügellängsachse naturgemäß nicht beteiligen darf (vgl. Fig. 12, wo man bei den Aufnahmen von der Seite diese Bewegung des „Schwanz“teiles der Flügel erkennen kann). Weiterhin ergab sich, daß beim Flugmodell die Größe dieses Flächenteils ein gewisses Minimum nicht unterschreiten darf, ohne die Stabilität um die Querachse aufzuheben (beim Nur-Flügelmodell von Fig. 12 z. B. war nach Verkleinern dieser hinteren Flügelregion um ein Drittel ein stabiler Flug nicht mehr möglich). Bei den Flügeltieren kann im Gegensatz dazu diese Zone weitgehend reduziert sein (viele Fledermäuse und vermutlich auch Flugsaurier); den Vögeln ist selbst bei völligem Verlust der Schwanzfläche ein Fliegen noch möglich. An dieser Stelle zeigt sich die klare Überlegenheit der Tiere, die auch eine labile Fluglage mittels ständiger reflektorischer Korrekturen meistern. Der Mittel, die sie hierzu anwenden können, ließen sich verschiedene nennen; wie sie es tatsächlich tun, wird

Besondere Beachtung verdient in diesem Zusammenhang der Flug der Libellen, die bekanntlich

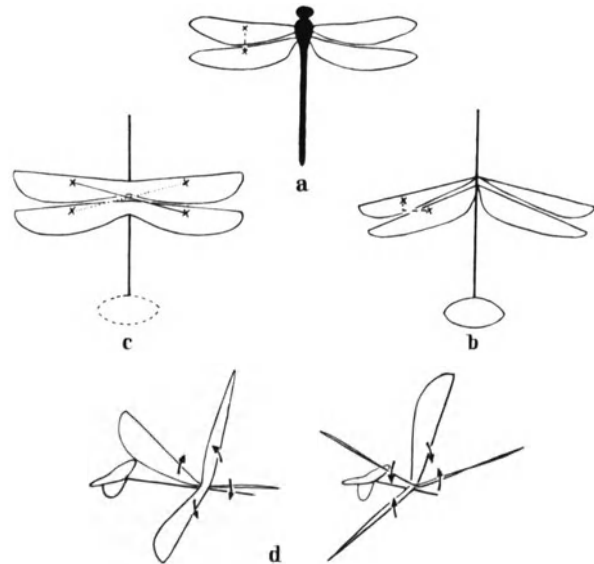


Fig. 16. a) Habitus einer Libelle; b) und c) Flugmodelle nach dem Libellenflugprinzip. In b) werden die Flügelpaare wie bei der Libelle alternierend, in c) über Kreuz alternierend bewegt. Die Kreuze deuten die jeweilige Lage der Druckpunkte an. d) Skizzen zweier typischer Flügelstellungen des Modells c) (nach Filmaufnahmen); die kleinen Pfeile bezeichnen die jeweilige Schlagrichtung der Flügel.

¹⁾ K. LORENZ beschreibt, daß ein schwanzloser Busard deutlich behindert (unter stabilisierendem Vor- und Zurückbewegen der Flügel), schwanzlose Krähen dagegen ohne sichtbare Beeinträchtigung fliegen konnten.

die Fähigkeit besitzen, ihre beiden Flügelpaare gegensinnig, d. h. im zeitlichen Phasenabstand von einer halben Schwingung, zu bewegen. Der Vorteil einer solchen Flugweise liegt darin, daß sich die Unterschiede in der Wirkung von Auf- und Abschlag ständig gegenseitig kompensieren, da beide Bewegungen jeweils gleichzeitig von je einem Flügelpaar ausgeführt werden. Der Massenschwerpunkt kann daher, im Gegensatz zur Flugweise der Vögel, Fledermäuse usw., mit nahezu gleichbleibender Geschwindigkeit eine geradlinige Bahn zurücklegen. Der Nachteil besteht im Auftreten eines erheblichen Drehmomentes um die Querachse infolge des Abstandes in Längsachsenrichtung, den die Druckpunkte¹⁾ beider Flügelpaare besitzen (vgl. Fig. 16a). Diesen Schaden gleichen die Libellen erstens durch eine sehr starke Längsstreckung der Körpermasse aus — der typische dünne, lange Libellenkörper ist ohne Zweifel ein Korrelat zur Flugweise — und dann, wie es scheint, durch Einhalten einer relativ hohen Schlagfrequenz; bei kleineren benötigten Luftkräften wird offenbar vorzugsweise die Amplitude und nicht, wie sonst üblich, die Frequenz herabgesetzt.

Das Flugverfahren der Libellen ist am Flugmodell wesentlich einfacher als das der Vögel darzustellen. Die relativ langsame Schlagfrequenz der bisher von uns gebauten Modelle (Spannweite nicht unter 30 cm) verlangt freilich als zusätzlichen Momentenausgleich die Anbringung einer Schwanzfläche. Man kann dieses Drehmoment stark verringern, indem man die Flügel schräg nach hinten verlaufen läßt (Fig. 16b), was eine Annäherung der Druckpunkte in Längsachsenrichtung ermöglicht; beseitigt wird es, wenn man die Flügel über Kreuz miteinander schlagen läßt (Fig. 16c, d). In diesem Falle ist ein stabiler Flug (bei nicht zu geringer Schlagfrequenz) auch ohne jede weitere Fläche, wie bei der Libelle selbst, durch-

¹⁾ Unter Druckpunkt ist hier der Schwerpunkt der Auftriebsverteilung des rechten und linken Flügels getrennt verstanden.

aus möglich. Bei größerer Bauweise macht allerdings ein gewisses Moment um die Hochachse die Anbringung mindestens einer vertikalen Stabilisierungsfäche notwendig, während eine weitere horizontale die Flugsicherheit erhöht²⁾.

Diese kurzen Ausführungen über das bisher im Schwingenmodellbau Erreichte sollten nur zeigen, daß ein sicherer Ausgangspunkt für exakte Messungen geschaffen ist; eine gründliche Weiterentwicklung der Modelle für die besonderen Meßzwecke ist jedoch erforderlich. In Verbindung mit einer noch auszubauenden Theorie würde es dann möglich sein, den Einfluß der Einzelheiten der Flügelpaarbewegung, die Rolle der absoluten Größe, der Flügelform und der Flächenbelastung und, damit zusammenhängend, der reduzierten Frequenz und der REYNOLDSSchen Zahl, den Einfluß der Kraftverteilung, die gegenseitige Beeinflussung mehrerer Flächen (Vorflügel, Spaltflügel, Doppelflügel der Libellen und Heuschrecken usw.), die verschiedenen Möglichkeiten der Steuerung und Stabilisierung und vieles weitere festzustellen. Damit wäre auch für eine künftige Entwicklung der menschlichen Flugtechnik in dieser Richtung — eine Möglichkeit, die sich heute ebensowenig bestreiten wie beweisen läßt — die nötige exakte Basis gegeben.

Enges Zusammenwirken biologischer und physiologischer, physikalisch-technischer und aerodynamischer Methoden und Anschauungsweisen, wozu dieser Aufsatz eine Anregung geben wollte, wird hoffentlich bald dazu führen, daß aus diesem Gebiet, das nach so verschiedenen Seiten Interessantes bietet, und das bisher — sei es wegen seiner Schwierigkeiten, sei es aus Widerspruch gegen alle unkritisch-optimistische Vorstellungen oder aus dem Gefühl einer längst über die Natur erreichten Überlegenheit heraus — so sehr vernachlässigt wurde, ein neuer blütenreicher Zweig der deutschen Wissenschaft erwächst: die *Flugbiophysik*.

²⁾ Ein Flugmodell dieses Typs von 0,5 m Spannweite führte beim oben erwähnten Breslauer Wettbewerb Steigflüge von 6–7 m Startüberhöhung und bis zu 44 sec Dauer aus.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Versuche über Impfung von Kaninchen gegen aviäre Tuberkulose.

Bereits KOCH und später v. BEHRING haben beobachtet, daß die immunisierenden Eigenschaften abgetöteter Tuberkelbakterien sich im nichtwasserlöslichen Anteil vorfinden (KOCHS T.R. und v. BEHRINGS T.C.). Beide Forscher waren bestrebt, ein leichter resorbierbares Vaccin von geringerer lokaler Reizwirkung als der unbehandelte Tuberkelbakterien darzustellen. Man hat gefunden, daß auch anderen Fraktionen von Tuberkelbakterien ein gewisses Immunisierungsvermögen eigen ist. In erster Linie gilt dies von den Lipoidfraktionen, doch können auch entfettete Bakterien als Vaccine wirken. Eine große Anzahl antigene Substanzen ist aus den Tuberkelbakterien isoliert worden; die entsprechenden Antikörper scheinen jedoch für die Immunität keinerlei Bedeutung zu haben. Offensichtlich kennt man keinen unzweideutigen Zusammenhang zwischen Immunisierungsvermögen und chemischer Fraktion oder Antigenstruktur.

Die Versuche, über welche hier berichtet werden soll, gingen aus von der Arbeitshypothese, daß die Tuberkelbakterien als komplexe Antigene Substanzen enthalten können, welche mit den für die Immunisierung wichtigen Antigenen in Konkurrenz zu treten oder sie zu maskieren vermögen. Es läßt sich dann die Möglichkeit denken, durch Fraktionierung von Tuberkelbakterien eine Fraktion zu gewinnen, in welcher das immunisierende Prinzip höhere Konzentration oder bessere Wirkung hat als in den Tuberkelbakterien.

Kaninchen wurden während eines Monats mit 50 auf wiederholte kleine Gaben verteilten Milligramm verschiedener Fraktionen subcutan geimpft. Nach 6wöchiger Erholungspause erhielten die Tiere eine intravenöse Injektion von virulenten Vogeltuberkelbakterien in einer Dosis, welche normale Kaninchen innerhalb etwa 30 Tagen tötete. Als Vaccinstamm wurde ein avirulenter aviärer Stamm Bang verwendet, welcher seit einer Reihe von Jahren in Statens Veterinärbakteriologiska Laboratorium zu Stockholm zur Gewinnung von Tuberkulin in Gebrauch ist. Ein Teil dieser

Bakterien wurde nach ANDERSON sukzessiv mit Alkohol-äther, 25proz. Alkohol und salzsaurem Äther extrahiert. Diese Fraktionen zeigten keinen oder nur unbedeutlichen Vaccineffekt, wohl aber besaßen die in dieser Weise kräftig entfetteten Rückstände deutliche immunisierende Wirkung.

Ein anderer Teil der Bakterien wurde nach MÜDD und FLOSDORF bei tiefer Temperatur in der Kugelmühle behandelt und 5mal nacheinander unter Mahlung in der Kugelmühle im Eisbad mit destilliertem Wasser extrahiert. Sowohl die vereinigten Wasserauszüge wie der extrahierte Rest zeigten Vaccinwirkung. Bei einem vorhergegangenen Versuche mit nicht ganz so energischer Extraktion mit physiologischer Kochsalzlösung wies der Extrakt keinerlei Immunisierungsvermögen auf, wohl aber war dieses im ungelösten Rückstande noch vorhanden. Weitere Extraktion des Bakterienrückstandes mit Natriumsalicylat in 10proz. Lösung lieferte keine Ausbeute. Behandlung mit 2proz. Igeponlösung, wobei ein weiterer Teil des Bakterienrestes in Lösung ging, schien eine teilweise Zerstörung der immunisierenden Eigenschaften zu bewirken.

Tabelle 1. Lebensdauer der einzelnen Tiere in Tagen nach virulenter Infektion.

I	II	III	IV	V	VI	VII
23	23	19	20	21	28	21
23	26	22	20	33	29	21
25	26	25	28	33	73	26
25	27	26	37	55	>90	40
26	27	27		60		75
27	33			61		82
28	41			77		>90
28	41			84		
29	53			>90		
29	>90			>90		
30						
30						
33						
37						
38						
42						

- I. Kontrolltiere, nicht vorbehandelt. $M = 29,6 \pm 0,9$. Tiere vorbehandelt mit:
- II. Nur zermahlene Bakterien, 50-mg-Dosis.
- III. Nur zermahlene Bakterien, 17-mg-Dosis.
- IV. Nur zermahlene Bakterien, 150-mg-Dosis.
- V. Säure- bzw. laugebehandelten Emulsionen.
- VI. Wasserextrakt.
- VII. Resten nach Extraktion mit Wasser.

Bei Impfung mit wässriger Suspension der gemahlene, sonst aber unbehandelten Bakterien ergab sich die Vaccinosis 50 mg als optimal. Dosen von 17 und 150 mg zeigten keine Schutzwirkung. Der Effekt der 50-mg-Dosis der nicht fraktionierten Bakterien schien jedoch schwächer zu sein als der des wässrigen Auszuges bzw. der extrahierten Reste. Ein Teil der nicht separierten wässrigen Emulsion wurde 18 Stunden bei Zimmertemperatur mit Salzsäure bzw. Natronlauge (p_H 1,9 bzw. 10,0) behandelt. Diese beiden Vaccine zeigten stärkeren Effekt, als die unbehandelte Emulsion oder eine der Fraktionen. Vergleichbare Wirkung wurde nur durch Impfung mit starken Dosen lebender Bakterien erzielt.

Die Ergebnisse dieser Versuche scheinen zu zeigen, daß das immunisierende Prinzip dieser Bakterien sich bei Entfettung nicht zu irgendwie erheblichem Teile extrahieren läßt, sondern in dem entfetteten Rückstande bleibt. Lediglich bei sehr energischer Extraktion mit Wasser geht ein Teil der immunisierenden Eigenschaften in die wässrige Lösung über; der extrahierte Rest ist auch weiterhin ein wirksames Vaccin.

Behandlung mit Säure bzw. Lauge verstärkt in hohem Grade die immunisierende Wirkung einer wässrigen Emulsion gemahlener Bakterien. Entweder kann das bedeuten, daß solche Behandlung die Antigeneigenschaften des Vaccins herausholt und leichter zugänglich macht, oder auch, daß sie konkurrierende oder maskierende Substanzen zerstört, ohne dabei das immunisierende Antigen zu schädigen, welches dann stärker zur Wirkung kommen kann.

Die Untersuchung wurde mit Unterstützung durch „Svenska Nationalföreningen mot Tuberkulos“ ausgeführt. (Die Versuche werden fortgesetzt.)

Upsala (Schweden), Fysikalisk-Kemiska Institutionen und Hygienisk-Bakteriologiska Institutionen, Upsala Universität, den 22. April 1941. GÖSTA WIDSTRÖM.

Die Lokalisation der Adenylnukleotide in der quergestreiften Muskelfaser.

Die Purin- und Pyrimidinbasen haben eine sehr hohe Absorptionsbande bei 2600 Å. Da sich von Elementen mit einem Durchmesser bis zu etwa 1μ hinab das Ultraviolettabsorptionsspektrum aufnehmen läßt, kann diese charakteristische Absorption zur Lokalisierung dieser Substanzen in der Zelle verwendet werden¹⁾.

Das Ultraviolettabsorptionsspektrum eines etwa 20μ dicken lebenden Muskelfaserbündels von *Drosophila* mit so schwacher Vergrößerung, daß die Zellstrukturen nicht optisch aufgelöst werden, schräg durch das Bündel gemessen, weist ein deutliches Maximum bei 2600 Å auf. Die Höhe dieser Bande entspricht der Größenordnung nach dem Puringehalt, welcher beispielsweise beim Frostmuskel chemisch bestimmt worden ist. Außerdem tritt bei 2800 Å die Absorption der Tyrosin- und Tryptophankomponente des Muskeleiweißes hervor. Da über 90% der Purine des Muskels als Adenylnukleotide vorkommen²⁾ und nennenswerte Quantitäten von Pyrimidinen nicht beobachtet worden sind, müssen Adenylsäure und Adenosintriphosphorsäure den Hauptteil der Absorption der Muskelfaser bei 2600 Å bedingen. Eine Mikrophotographie einer Muskelfaser bei dieser Wellenlänge zeigt, daß die Segmente, welche im sichtbaren Licht am schwächsten doppeltbrechend sind, eine stärkere Ultraviolettabsorption haben als die dazwischen liegenden (an Flußkrebs, Tauflye, Frosch, Säugetieren untersucht). Lichtbildserien mit derselben Beleuchtungsapertur bei anderen Wellenlängen ergeben, daß dies zum größten Teil durch eine eigentliche Absorption in Wellenlängen unter 3000 Å und nur in geringerem Maße durch Lichtbrechung bedingt wird. An gewissen Muskelfasern von *Astacus* und *Drosophila* mit bis 14μ hohen Muskelfächern konnten *Absorptionsmessungen in einzelnen Muskelsegmenten* durchgeführt werden. Dieselben wurden bei den Wellenlängen von 2850 Å, 2650 Å sowie in einer Reihe von Fällen auch 2480 Å oder 2310 Å ausgeführt, der Gegend des Eiweißmaximums, Nukleotidmaximums und Punkten innerhalb des kurzwelligen Gebietes entsprechend, wo die Nukleinsäureabsorption rasch sinkt, während die Eiweißabsorption steil ansteigt. Für die isotropen Segmente war die Absorption bei 2650 Å weit höher als bei 2850 Å, während für die anisotropen die Absorptionen ungefähr gleich waren, doch in einzelnen Fällen etwas wechselnd; meistens war die 2850-Å-Absorption die höhere. Die Absorption der isotropen Segmente liegt bei 2850 Å etwas über derjenigen der anisotropen und bei 2650 Å hoch über derselben. In den kürzeren Wellenlängen nähern sich die Absorptionswerte der beiden Segmente einander rasch, indem die Absorption der isotropen sinkt und die der anisotropen steigt. Diese Resultate zeigen, daß die Absorption der anisotropen Segmente durch Eiweißstoffe sowie einen niedrigen, wechselnden Gehalt an Substanzen mit der 2600-Å-Bande, d. h. an Adenylnukleotiden, bedingt wird. Die Absorptionskurve der isotropen Bänder wird dagegen von der hohen Nukleotidabsorption bei 2600 Å beherrscht, welche sich über eine Eiweißabsorption von derselben Größenordnung wie in den anisotropen Segmenten lagert.

Die Adenylnukleotide, Substanzen, welche die Unterlage eines der primären exothermischen Prozesse beim Vorgang der Muskelkontraktion darstellen, sind demzufolge hauptsächlich in Segmenten lokalisiert, die mit den längsverlaufenden Myosinketten enthaltenden, als der eigentliche Ort der Kontraktion betrachteten Segmenten regelmäßig abwechseln. Das ultraviolett-mikroskopische Bild zeigt oft, wie kleinere Teile der stark absorbierenden Substanzen in den isotropen Segmenten in die anisotropen Partien zwischen den Fibrillenbündeln hinabfließen — inwieweit es sich hierbei um Kunstprodukte handeln kann, das läßt sich nicht entscheiden. Bei einer derartigen Betrachtungsweise ist auch die Beobachtung, daß die Adenosintriphosphatase, um ihre Wirkung entfalten zu können, an das Myosin ge-

bunden sein muß³⁾, von Interesse, da dieselbe auf die Möglichkeit hinweist, daß auch derjenige Faktor, welcher den exothermischen Prozeß *auslöst*, strukturegebunden sein kann.

Die sich langsam kontrahierende glatte Muskulatur läßt einen derartigen Strukturbau gänzlich vermissen.

Stockholm, Chemische Institution des Karolinischen Instituts, den 10. Mai 1941.

T. CASPERSSON. B. THORELL.

¹⁾ CASPERSSON, Naturwiss. 29, 33 (1941).

²⁾ PARNAS, Biochem. Z. 206, 16 (1929).

³⁾ ENGELHARDT u. LJUBIMOWA, Nature (Lond.) 144, 668 (1939).

Bemerkung zu der Arbeit von K. H. Meyer „Über die Anordnung der Glucosereste im Glykogen“.

In H. 19 der Naturwiss.¹⁾ bringt K. H. MEYER eine Notiz über Glykogen, die mit dem allgemeinen Teil seiner vor kurzem in der Helvet. chim. Acta²⁾ in französischer Sprache erschienenen Arbeit identisch ist. Seine darin vorgeschlagene Glykogenformel stimmt im wesentlichen mit der unserigen³⁾ aus dem Jahre 1937 überein.

Auf Grund von viskosimetrischen wie osmotischen Messungen in Verbindung mit den Endgruppenbestimmungen von HAWORTH führten wir damals den Nachweis, daß das Glykogen aus annähernd kugelförmigen Makromolekülen mit stark verzweigten Glucoseketten besteht. Durch die Sichtbarmachung der Glykogenmoleküle⁴⁾ fanden diese Aussagen eine volle Bestätigung. Die zahlreichen Veröffentlichungen des Freiburger Laboratoriums⁵⁾ über Glykogen werden von MEYER weder in seinen oben genannten Publikationen noch in seinem vor kurzem erschienenen Buch: *Hochpolymere Chemie, 2. Band*⁶⁾, angeführt; vielmehr schreibt er diese neuen Erkenntnisse über den Bau des Glykogenmoleküls HAWORTH, HIRST und ISHERWOOD zu.

HAWORTH⁷⁾ hat bekanntlich auf Grund einer falschen Deutung seiner Endgruppenbestimmungen früher angenommen, daß Stärke und Glykogen relativ kurzkettige Fadennmoleküle besitzen; diese sollten sich dann sekundär zu den Micellen assoziieren. Erst nach Erscheinen unserer Arbeit über den verzweigten Aufbau der Stärkemoleküle, in der wir auf die fehlerhaften Überlegungen hinwiesen, zieht neuerdings dieser Forscher wie auch seine Mitarbeiter für Glykogen einen makromolekularen Bau in Betracht⁸⁾, ohne allerdings in der ersten Arbeit eine bestimmte Entscheidung zwischen einem makromolekularen oder micellaren Aufbau zu treffen. Der Beweis für den makromolekularen Bau wurde von uns durch polymeranaloge Umsetzungen erbracht.⁹⁾

Freiburg i. Br., Forschungsabteilung für Makromolekulare Chemie des Chemischen Laboratoriums der Universität, den 14. Mai 1941.

H. STAUDINGER. E. HUSEMANN.

¹⁾ K. H. MEYER, Naturwiss. 29, 287 (1941).

²⁾ K. H. MEYER et M. FULD, Helvet. chim. Acta 24, 375 (1941).

³⁾ H. STAUDINGER u. E. HUSEMANN, Liebigs Ann. 530, 1 (1937).

⁴⁾ E. HUSEMANN u. H. RUSKA, J. prakt. Chem. 156, 1 (1940) — Naturwiss. 28, 534 (1940).

⁵⁾ H. STAUDINGER u. E. HUSEMANN, Ber. dtsh. chem. Ges. 70, 1451 (1937). — H. STAUDINGER, Naturwiss. 25, 673 (1937). — Derselbe in C. R. CARLSBERG, Sér. chim. 22, 494 (1937). — E. HUSEMANN, Papierfabrikant 36, 559 (1938). — H. STAUDINGER u. F. ZAFF, J. prakt. Chem. 157, 1 (1940). — H. STAUDINGER, Organische Kolloidchemie. Braunschweig: Vieweg 1940.

⁶⁾ S. 393. Leipzig: Akad. Verlagsbuchhandlung 1940.

⁷⁾ W. N. HAWORTH u. Mitarbeiter, J. chem. Soc. Lond. 1932, 2277, 2375 — Chem. a. Ind. 1934, 1059; 1935, 865 — J. chem. Soc. Lond. 1935, 1201, 1214, 1299.

⁸⁾ HAWORTH, HIRST, ISHERWOOD, J. chem. Soc. Lond. 1937, 577. — HAWORTH, HIRST, SMITH, J. chem. Soc. Lond. 1939, 1914.

Ein Papillom-Virus aus Kaninchenhaut.

Bei den nordamerikanischen Cottontail-Kaninchen ist ein gutartiges, aber sehr ansteckendes Hautpapillom verbreitet (Fig. 1), das durch ein Virus übertragen wird¹⁾. Auch Hauskaninchen sind für die Krankheit empfänglich; die bei

diesen Tieren nach intradermalen Einreibungen von SHOPE-Extrakten entstehenden Hauttumoren lassen sich aber nur sehr selten durch zellfreie Extrakte weiterverimpfen²⁾. Dagegen gehen die Papillome der Hauskaninchen im Gegensatz zu denen der Cottontails häufig in Carcinome über³⁾. Worauf diese Unterschiede beruhen, konnte bisher nicht festgestellt werden.

Im Laufe von Versuchen, über die ich im Biol. Zbl. ausführlich berichten werde, habe ich mehrfach zellfreie Extrakte aus der Haut äußerlich gesunder Hauskaninchen in die mit Sandpapier oberflächlich verletzte Haut ebensolcher Tiere ein-

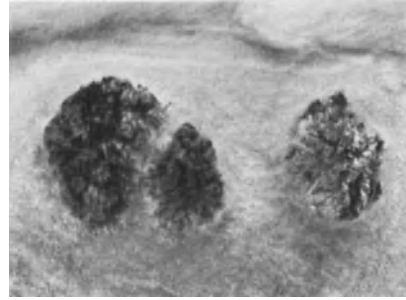


Fig. 1. Cottontail-Papillom ($\frac{3}{4}$ nat. Größe).

gerieben. Vier von fünf bisher untersuchten Hautextrakten verschiedener Hauskaninchen induzierten bei den Empfängern Papillome, die genau so aussahen wie Cottontail-Papillome (Fig. 2) und sich wie diese zellfrei auf weitere Hauskaninchen übertragen ließen. Ein Tier, das in derselben Weise mit einem Extrakt aus der eigenen Haut behandelt worden war, bekam ebenfalls ein typisches Papillom. Die für diese Versuche verwendeten Kaninchen waren weder vor



Fig. 2. Durch Hautvirus ausgelöstes Papillom ($\frac{3}{4}$ nat. Gr.).

noch nach den Extraktversuchen mit Virustieren in Berührung gekommen; die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Infektion scheidet also aus.

Unsere Beobachtungen lassen ebenso wie die damit vergleichbaren Befunde bei Herpes simplex, bei der Virus III-Infektion der Kaninchen und bei der Ektromelie der Mäuse zwei Deutungen zu: Entweder erfolgt bei der Übertragung eine Neubildung von Virus aus normalem Zelleiweiß (endogene Virusentstehung), oder aber ein latentes Virus wird durch den Eingriff pathogen. In beiden Fällen erhebt sich die weitere Frage, ob sich der betreffende Vorgang bei der Verarbeitung der Explantate zu Extrakten oder erst in dem empfangenden Gewebe abspielt.

Solange die Identität zwischen dem Hautvirus und dem SHOPEschen Papillomvirus nicht erwiesen ist, muß nunmehr mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß alle bisher beobachteten Hauskaninchenpapillome sowie deren Tendenz zu carcinomatöser Entartung auf Wirkungen des „Hautvirus“ zurückgehen.

Die Arbeiten wurden mit Unterstützung des Reichsforschungsrates und der I. G. Farbenindustrie (Werk Elberfeld) durchgeführt.

Berlin-Dahlem, Arbeitsstätte für Virusforschung der Kaiser Wilhelm-Institute für Biochemie und Biologie, den 15. Mai 1941. R. DANNEEL.

- ¹⁾ R. E. SHOPE, J. of exper. Med. 58, 607 (1933).
²⁾ R. E. SHOPE, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 32, 830 (1935).
³⁾ P. ROUS, J. W. BEARD, J. of exper. Med. 62, 523 (1935) — Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 32, 578 (1935).

Über die Oberflächenenergie von Metallkristallen.

Wegen des Vergleiches von röntgenographisch indirekt ermittelten Oberflächen mit den zugehörigen Erhöhungen der Lösungswärmen¹⁾ bestand für uns großes Interesse an einer Kenntnis der Oberflächenenergien von Metallen. Durch neuere Arbeiten von M. VOLMER²⁾, W. KOSSEL³⁾ sowie J. N. STRANSKI⁴⁾ und dessen Mitarbeitern R. KAISCHEW und L. KRASTANOW⁵⁾ sind Voraussetzungen geschaffen worden, welche eine recht genaue Berechnung der Oberflächenenergien aus den Sublimationswärmern gestatten, wenn man es mit einatomaren Gittern zu tun hat. Nach VOLMER²⁾ gilt im Temperaturbereich der Gültigkeit des Gesetzes von DULONG und PETIT

$$N \cdot \varphi_{1/2} = \lambda + \frac{1}{2} RT,$$

worin bei einatomaren Gittern λ die atomare Sublimationswärme, N die LOSCHMIDTSche Zahl und $\varphi_{1/2}$ die Ablösearbeit eines Kristallbausteines (Atoms) aus der Halbkristalllage⁴⁾ und damit die halbe Ablösearbeit aus dem Inneren des Kristalls bedeutet. Nach neuesten experimentellen Untersuchungen von STRANSKI⁴⁾ ist bei hexagonal dichtester Kugelpackung die Ablösearbeit der Kristallbausteine von den nächsten Gitternachbarn φ_1 rund 99mal so groß wie die von den übernächsten φ_2 . Eine einfache Überlegung zeigt, daß dann Entsprechendes auch für das kubisch flächenzentrierte Gitter zu erwarten ist.

Die Berechnung der Oberflächenenergien vereinfacht sich dadurch nicht nur ganz wesentlich, sondern gewinnt auch erheblich an Sicherheit.

Für die Berechnung der Oberflächenenergie benötigt man die Kenntnis der halben Ablösearbeit eines gittermäßig richtig auf die (nicht in die) betreffende Oberfläche gebauten Bausteines und die Zahl der Bausteine pro Quadratzentimeter, bei Mitberücksichtigung von φ_2 unter Umständen auch noch die Ablösearbeit der übernächsten Bausteine und deren Zahl pro Quadratzentimeter. Notwendige Voraussetzungen sind also außer der Sublimationswärme Gittertyp und Gitterkonstante bzw. der daraus berechnete Atomdurchmesser. Die erforderlichen Sublimationswärmern für die „Standardtemperatur“ von 25° können für eine große Zahl von Metallen mit recht guter Zuverlässigkeit einer zusammenfassenden Arbeit von KELLEY⁶⁾ entnommen werden. Die Berechnungen setzen natürlich einatomaren Dampf voraus.

Einige auf dem geschilderten Wege erhaltenen Resultate inden sich in Tabelle 1 und 2. Die Oberflächenenergie ist

Tabelle 1. Hexagonal dichteste Kugelpackung ($\varphi_{1/2} = 6 \varphi_1 + 3 \varphi_2$).

Metall	Sublimationswärme bei 25° in kcal	Gitterkonstante in Å	σ_{001} (Oberflächenbildungsarbeit pro Atom = $1,5 \varphi_1 + 1,5 \varphi_2$)
Mg	35,91	3,203	728 erg/cm ²
Zn	31,19	2,659	898 erg/cm ²
Cd	26,75	2,973	617 erg/cm ²

Tabelle 2. Kubisch flächenzentriertes Gitter ($\varphi_{1/2} = 6 \varphi_1 + 3 \varphi_2$).

Metall	Sublimationswärme bei 25° in kcal	Gitterkonstante in Å	σ_{001} (Oberflächenbildungsarbeit pro Atom = $2 \varphi_1 + 1 \varphi_2$)	σ_{111} (Oberflächenbildungsarbeit pro Atom = $1,5 \varphi_1 + 1,5 \varphi_2$)
Al	67,5	4,041	1923 erg/cm ²	1674 erg/cm ²
Ni	98,28	3,5168	3696 erg/cm ²	3222 erg/cm ²
Cu	81,53	3,608	2913 erg/cm ²	2535 erg/cm ²
Ag	69,12	4,078	1934 erg/cm ²	1683 erg/cm ²
Au	90,49	4,0704	2539 erg/cm ²	2210 erg/cm ²
Pb	46,39	4,940	886 erg/cm ²	771 erg/cm ²

darin mit einem σ bezeichnet, welches die betreffende Fläche als Index trägt. Der Einfluß von φ_2 ist entsprechend obigem Befund von STRANSKI abgeschätzt und mit berücksichtigt. Er beträgt für σ_{001} in Tabelle 1 + 0,5 %, für σ_{001} in Tabelle 2 null % und für σ_{111} in Tabelle 2 + 0,5 %.⁷⁾ Für σ_{001} von Tabelle 2 ist dabei mit den φ_2 auch die Ablösearbeit der übernächsten Atomschicht berücksichtigt.

Man ersieht aus den Tabellen, daß bei den Metallen recht hohe Oberflächenenergien herauskommen und daß die früher bekannt gewordenen Zahlen erwartungsgemäß⁸⁾ nur untere Grenzwerte darstellten.

Beim kubisch raumzentrierten Gitter sind die Ablösearbeiten von den zweitnächsten Nachbarn φ_2 von größerer Bedeutung, weil diese nur wenig weiter entfernt sind als die nächsten Nachbarn (Entfernungsverhältnis 1:1,154). Wenn man annimmt, daß die Anziehungskräfte mit der 13. Potenz der Entfernung abnehmen⁹⁾, so erhält man die in Tabelle 3 wiedergegebenen Zahlen, die größenordnungsmäßig richtig sein dürften. Bei σ_{001} ist dort mit den φ_2 wieder die Ablösearbeit der zweitnächsten Atomschicht mitberücksichtigt.

Tabelle 3. Kubisch raumzentriertes Gitter ($\varphi_{1/2} = 4 \varphi_1 + 3 \varphi_2$).

Metall	Sublimationswärme bei 25° in kcal	Gitterkonstante in Å	σ_{001} (Oberflächenbildungsarbeit pro Atom = $2 \varphi_1 + 1 \varphi_2$)	σ_{110} (Oberflächenbildungsarbeit pro Atom = $1 \varphi_1 + 1 \varphi_2$)
Cr	89,37	2,878	3610 erg/cm ²	2750 erg/cm ²
α -Fe	96,68	2,861	3980 erg/cm ²	3010 erg/cm ²

Ein wesentliche Folgerung aus den oben mitgeteilten Zahlen ist die, daß Oberflächeneffekte bei Metallen thermodynamisch, katalytisch usw. sehr viel größere Bedeutung haben, als man bisher meist annahm.

Eine ausführliche Arbeit mit weiteren Berechnungen, bei welchen u. a. auch die Umrechnung der oben mitgeteilten freien Oberflächenenergien in die sehr nahe benachbart liegenden Gesamtoberflächenenergien, sowie die Berechnung des Energieinhaltes bestimmter aktiver Stellen gebracht wird, erscheint demnächst in einer Fachzeitschrift.

Stuttgart, Laboratorium für anorganische Chemie der Technischen Hochschule, den 17. Mai 1941. R. FRICKE.

¹⁾ Letzte Arbeit: R. FRICKE u. W. SCHWECKENDIEK, Z. Elektrochem. 46, 90 (1940). — S. a. R. FRICKE, Z. angew. Chem. 51, 863 (1938).

²⁾ Zusammenfassung bei M. VOLMER, Kinetik der Phasenbildung. Th. Steinkopff 1939.

³⁾ W. KOSSEL, Leipziger Vorträge 1928.

⁴⁾ J. N. STRANSKI, Ber. dtsch. chem. Ges. 72 (A), 141 (1939) und viele andere Arbeiten von STRANSKI und Mitarbeitern.

⁵⁾ R. KAISCHEW u. L. KRASTANOW, Z. physik. Chem. (B) 23, 158 (1933). — Ähnliche Probleme behandelten in neuester Zeit H. DUNKEN, H. KLAPPROTH u. K. L. WOLF, Kolloid-Z. 91, 217 (1940), sowie P. A. THIESSEN u. E. SCHOON, Z. Elektrochem. 46, 170 (1940).

⁶⁾ K. K. KELLEY, Bull. U.S.-Department interior Bureau of Mines 1935, 383; zitiert in LANDOLT-BÖRNSTEIN-ROTHS Tabellen 3, Erg.-Bd., 2709 ff. (1936).

⁷⁾ gegenüber einer Berechnung nur auf Grund der φ_1 .
⁸⁾ R. FRICKE, l. c., oder R. FRICKE u. F. R. MEYER, Z. physik. Chem. (A) 181, 409 (1938).

⁹⁾ Aus STRANSKIS oben genannter Untersuchung folgt etwa die 13. bis 14. Potenz (!), was für gerichtete Bindungen zu den nächsten Nachbarn zu sprechen scheint.

d-Peptid-Spaltung durch Enzympräparate pflanzlicher Herkunft.

Die erst in jüngster Zeit beobachtete und rasch zu Interesse gelangte *d*-Peptid-Spaltung durch Enzympräparate schreibt man heute einem neuen Typus von Peptidasen, den „*d*-Peptidasen“, zu. Für die nähere Untersuchung dieser Enzyme haben Präparate tierischer Herkunft gedient. Über ihr Vorkommen äußert sich kürzlich K. MAYER¹⁾ in einer zusammenfassenden Abhandlung: „es scheint auf die höheren Tiere beschränkt zu sein.“

Spaltung von *d*-Peptiden läßt sich aber — wie wir zeigen werden — auch im Falle von Enzympräparaten pflanzlicher Herkunft beobachten. Hier ist sie unter ganz anderen

Bedingungen anzutreffen und besitzt ohne Zweifel eine andersartige Bedeutung als man anfänglich im Bereich des Tierreichs annahm und zum Teil auch heute noch annimmt. Als wichtiges Vorkommen haben wir zunächst wachsende Teile von Keimpflanzen erkannt.

Dieser Befund scheint uns von ganz außerordentlicher Bedeutung; er berührt grundlegende Fragen pflanzenphysiologischer, enzymchemischer und chemischer Art und gibt u. a. Anlaß zu folgenden Überlegungen:

1. Ist die Fähigkeit zur Spaltung von d-Peptiden nur in wachsenden Pflanzenteilen oder auch in ausgewachsenen vorhanden?

2. Für den Fall der Beschränkung auf wachsende Pflanzenteile ist zu entscheiden, ob das Enzym nur in den wachsenden Teilen von Keimpflanzen anzutreffen ist oder ob es sich auch in den Streckungszonen hinter den Vegetationspunkten älterer Pflanzen sowie in den wachsenden Teilen der ausdauernden Pflanzen, welche alljährlich aus Knospen austreiben, findet.

3. Beschränkt sich das Vorkommen des neuen Enzymtypus auf bestimmte Pflanzengruppen oder ist er Allgemeinbesitz des Pflanzenreichs?

4. Ist das Vorkommen im wachsenden Gewebe gebunden an den Vorgang der Zellteilung oder der Zellstreckung?

5. Kommt das Vermögen zur d-Peptid-Spaltung Enzymen zu, die absolute stereochemische Spezifität zeigen, also als „d-Peptidasen“ im strengsten Sinne des Wortes zu bezeichnen sind? Oder besteht ihre Eigenart darin, daß sie an Stelle eines absoluten sterischen Auswählens — etwa analog dem Verhalten der Lipasen — eine „relative Spezifität“ zeigen, d. h. zur Spaltung beider Komponenten, wenn auch mit ungleicher Geschwindigkeit, befähigt sind?

6. Es wäre aber auch möglich, daß die Spezifitätsabwandlungen nicht im Enzymmolekül selbst begründet sind, sondern vielmehr durch abdissoziierende Stoffe, die die Zelle unter bestimmten physiologischen Bedingungen bildet oder benützt, verursacht werden.

7. In Anbetracht der in neuerer Zeit von verschiedenen Seiten gemachten Angaben über das Vorkommen *razemisierender* Enzyme³ sollten weitere Untersuchungen auch in folgender Frage zu einer auf dem Experiment beruhenden Entscheidung kommen: Es ist nicht gerade wahrscheinlich, aber an und für sich möglich, daß die d-Peptide durch eine *Razemase* der Spaltung durch die bekannten l-Peptidasen zugänglich gemacht werden; die in Erscheinung tretende Umsetzungsgeschwindigkeit würde dabei durch die Geschwindigkeit des *Razemisierungsvorganges* limitiert werden.

8. Worin besteht im Bereich des pflanzlichen Zellgeschehens die Bedeutung dieser Enzyme? Dienen sie zur „Abwehr“ der Bildung bzw. Anhäufung von Peptiden „unnatürlicher“ Konfiguration oder ist diese Bildung gerade ihre besondere Aufgabe?

9. Finden im *Eiweißaufbau pflanzlicher „d-Peptidase“* Vorkommnisse d-Peptide Verwendung; ist die bisher als „unnatürlich“ bezeichnete Peptid-Komponente wirklich unnatürlich?

Die Entdeckung der „d-Peptidasen“ ist im Falle der tierischen Enzyme das große Verdienst von E. WALDSCHMIDT-LEITZ und K. MAYER⁴. Darüber hinaus haben diese Forscher die Aufmerksamkeit auf einen evtl. Zusammenhang zwischen dem Auftreten dieser Enzyme und dem Bestehen malignen Gewebes gelenkt, diese Frage durch neue Gedanken gefördert und ganz allgemein der „d-Peptidase“ erst ihre Aktualität gegeben. Zu den Untersuchungen, die uns nunmehr die Auffindung im Pflanzenreich ermöglichten, wurden wir durch einen Widerspruch in der Literatur angeregt. Eine Arbeit von J. BERGER und M. J. JOHNSON⁵, die einige Monate früher als diejenige der Prager Autoren veröffentlicht wurde, enthält einige nicht weiter ausgewertete Angaben über eine Spaltung von d-Leucylglycin durch Auszüge aus Grünmalz. Diesem Befunde stehen indes gegenteilige Feststellungen gegenüber; so bemerken H. v. EULER und B. SJÖMAN⁶ ausdrücklich, daß nur die l-Form von Leucylglycin gespalten wird. Konnte demnach die d-Peptid-Spaltung im Falle gekeimter Gerste bisher als unentschieden gelten, so ist sie nunmehr als *tatsächlich vorhanden* und darüber hinaus als *im Pflanzenreich weiter verbreitet* bewiesen.

Im voranstehenden sollte nur das Grundsätzliche in bezug auf d-Peptidspaltung durch Enzympräparate pflanzlicher

Herkunft mitgeteilt werden. Die experimentelle Untersuchung der oben skizzierten Probleme, die bereits im Gange ist, möchten wir uns vorbehalten; wir werden demnächst im Rahmen einer Untersuchungsreihe über Peptidasen⁷ in der Biochem. Z. eingehender über die ersten Ergebnisse berichten.

Ausgewählte Belege für die d-Peptid-Spaltung:

1. *Enzymmaterial*: Unsere Enzymlösungen, die d-Peptid-Spaltung hervorrufen, sind wässrige Auszüge aus an der Luft oder im Vakuumexsikkator über Kalk getrockneten Keimpflanzen oder Keimpflanzenteilen. Diese wurden nach dem Zerkleinern bis zur Pulverfeinheit mit der 10fachen Gewichtsmenge destillierten Wassers 2 Stunden bei Zimmertemperatur ausgezogen. Wenn dabei das p_H unter 6 sank, nahmen wir eine vorsichtige Neutralisation mit verdünnter Ammoniaklösung vor. Wo eine Dialyse durchgeführt wurde, erfolgte sie während $\frac{1}{2}$ —1 Tag in Hammelblinddärmen gegen destilliertes Wasser, wodurch eine beträchtliche Herabsetzung des Laugenverbrauches bei der Anfangsstoppung eintrat: beispielsweise von 0,86 ccm $\frac{1}{20}$ -KOH pro 1 ccm Titrationsprobe auf 0,22 ccm $\frac{1}{20}$ -KOH (im Falle der Versuche mit Weizenkeimlingen). Die Keimung der Samen erzielten wir durch 48stündiges Weichen in Wasser und anschließendes Ausbreiten der Samen auf feuchtes Filterpapier. Sie erfolgte bei Zimmertemperatur und nahm bei den verschiedenen Samen zwischen 4 und 12 Tagen in Anspruch. Der „Blattkeim“ (Coleoptile und das von dieser umschlossene erste Laubblatt) wies Längen zwischen 0,5 und 1,5 cm auf.

2. *Versuchsansatz*: Der Versuchsansatz beträgt 10 ccm (gelegentlich nur die Hälfte); im 10 ccm-Ansatz befinden sich 0,188 g d, l-Leucylglycin (= 5 ccm einer Stammlösung, die in 100 ccm 3,76 g Dipeptid und 6 ccm $\frac{1}{1}$ -Kalilauge enthält; p_H der Lösung = 7,8). Die Reaktionslösung ist also hinsichtlich des Dipeptids 0,1-molar. An Enzymlösung wurden jeweils 4 ccm zugegeben. Die Versuchstemperatur betrug 37°. In der Untersuchungsprobe von 1,0 ccm zeigt bei Anwendung des Titrationsverfahrens von R. WILLSTRÄTTER und E. WALDSCHMIDT-LEITZ 1,00 ccm $\frac{1}{20}$ -alkoholischer Lauge den Endpunkt der Spaltung durch l-Dipeptidase, das sind 50%, an. Dem Ansatz sind 5 Tropfen Toluol zugefügt.

In den Versuchen mit Metallsalzzusatz sind $MnCl_2$ und $CoCl_2$ in einer Konzentration entsprechend einer 0,001-molaren Lösung, $MgCl_2$ in 10fach höherer Konzentration vorhanden.

3. *Versuchsergebnisse*: Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 1 mit 7 wiedergegeben. Die Werte der Aciditätszunahme in Versuchen: Enzymlösung ohne Substrat bzw.: Enzymlösung + Metallsalz ohne Substrat sind nur bei undialysierten Lösungen beachtlich; bei den angeführten Werten der Dipeptidspaltung sind sie bereits in Abzug gebracht. Aus den Ergebnissen lassen sich nachstehende Folgerungen ziehen:

a) Einen hohen Dipeptidasegehalt (Wirkung gegenüber Leucylglycin) weisen die Keimpflanzen der Linse (*Lens esculenta*), der Erbse (*Pisum sativum*), des Hafers (*Avena sativa*), des Weizens (*Triticum vulgare*), der Gerste (*Hordeum vulgare*) (Tabelle 1 mit 7) und des Roggens (*Secale cereale*) auf.

b) Die Umsetzungsgeschwindigkeit der l-Komponente des Dipeptids läßt sich durch Zusatz gewisser Metallsalze, besonders von Mangan- und Magnesiumionen, erhöhen (Tabelle 1 mit 7). Da der Aktivierungseffekt im Falle dialysierter

Tabelle 1. Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln der Linse.

(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)			
	ohne Zusatz		Mn^{++} ($\frac{1}{1000}$ mol.)	
2	0,40	(20 %)	0,96	(48 %)
19	1,10	(55 %)	1,36	(68 %)
43	—	—	1,66	(83 %)
72	1,16	(58 %)	1,76	(88 %)
94	—	—	1,80	(90 %)
142	1,30	(65 %)	1,90	(95 %)

Tabelle 2. Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln der Erbse.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)					
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)	
1	0,14	(7%)	0,40	(20%)	0,38	(19%)
2	0,26	(13%)	0,68	(34%)	0,68	(34%)
4	0,50	(25%)	0,94	(47%)	0,96	(48%)
28	1,04	(52%)	1,26	(63%)	1,06	(53%)
72	1,14	(57%)	1,62	(81%)	1,14	(57%)
139	1,18	(59%)	1,82	(91%)	1,18	(59%)
188	1,20	(60%)	1,96	(98%)	1,20	(60%)

Tabelle 3. Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln des Hafers.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)					
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)	
1	0,48	(24%)	0,58	(29%)	0,50	(25%)
2	—	—	0,92	(46%)	—	—
6	—	—	1,10	(55%)	—	—
24	1,08	(54%)	1,20	(60%)	1,00	(50%)
47	—	—	1,40	(70%)	—	—
95	1,20	(60%)	1,60	(80%)	1,10	(55%)

Tabelle 4. Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln des Weizens.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)					
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)	
1	0,52	(26%)	0,64	(32%)	0,62	(31%)
2	—	—	0,92	(46%)	—	—
40	1,04	(52%)	1,54	(77%)	1,00	(50%)
90	1,10	(55%)	1,70	(85%)	1,02	(51%)

Tabelle 5. Dialysierter Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln des Weizens.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)					
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)	
1	0,18	(9%)	0,34	(17%)	0,42	(21%)
4	—	—	0,92	(46%)	0,94	(47%)
26	0,96	(48%)	1,14	(57%)	—	—
76	1,00	(50%)	1,38	(69%)	1,02	(51%)

Tabelle 6. Dialysierter Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln der Gerste.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)							
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)		Co ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)	
1	0,26	(13%)	0,50	(25%)	0,52	(26%)	0,36	(18%)
2	0,46	(23%)	0,84	(42%)	0,80	(40%)	0,56	(28%)
4	0,80	(40%)	1,00	(50%)	0,94	(47%)	0,84	(42%)
9	0,98	(49%)	1,14	(57%)	—	—	—	—
26	0,98	(49%)	1,34	(67%)	0,94	(47%)	0,96	(48%)
49	0,98	(49%)	1,50	(75%)	—	—	—	—
74	—	—	—	—	0,96	(48%)	1,00	(50%)
97	1,02	(51%)	1,68	(84%)	—	—	—	—
162	—	—	—	—	0,96	(48%)	1,06	(53%)
190	1,02	(51%)	1,74	(87%)	—	—	—	—
240	—	—	—	—	1,00	(50%)	1,12	(56%)

Tabelle 7. Dialysierter Auszug aus Primordialwurzeln der Gerste.
(Verlauf der Spaltung von d, l-Leucylglycin.)

Versuchsdauer (Stdn.)	Aciditätszuwachs (ccm n_{20} -Lauge) in 1 ccm Untersuchungsprobe (Prozent Spaltung)					
	ohne Zusatz		Mn ⁺⁺ ($1/1000$ mol.)		Mg ⁺⁺ ($1/100$ mol.)	
1	0,10	(5%)	0,20	(10%)	0,16	(8%)
4	0,34	(17%)	0,74	(37%)	0,60	(30%)
7	0,50	(25%)	0,94	(47%)	0,84	(42%)
23	0,96	(48%)	1,16	(58%)	0,88	(44%)
71	1,04	(52%)	1,46	(73%)	0,94	(47%)
140	1,04	(52%)	1,64	(82%)	0,96	(48%)
188	1,04	(52%)	1,70	(85%)	0,96	(48%)
212	—	—	1,70	(85%)	—	—

Lösungen im allgemeinen beträchtlicher ist als bei den ursprünglichen Auszügen (vgl. Tabelle 4 und 5), sind in diesen natürlichen Aktivatoren vorhanden, die eine mehr oder weniger vollständige Aktivierung bewirken.

c) Für die Beobachtung der *d*-Peptidspaltung eignen sich nur die *nichtdialysierten* (aktivatorhaltigen) Auszüge (Tabelle 1 mit 4); Mangansalzzusatz läßt die Erscheinung noch wesentlich deutlicher werden (Tabelle 1 mit 4). *Dialysierte* Extrakte (ohne Mn⁺⁺-Zusatz) spalten praktisch nur bis 50% oder ganz wenig darüber (Tabelle 5 mit 7): Entweder bleibt hier die *d*-Komponente völlig unangegriffen oder die Spaltung geht nur mit äußerst geringer Geschwindigkeit voran, so daß die Wirkung erst in Versuchszeiten erkennbar würde, in denen das Enzym einer Schädigung und Zerstörung anheimfällt. Sobald Dialysate jedoch Zusatz von *Mangansalz* erhalten, erlangen sie die Fähigkeit zur Spaltung der *d*-Komponente (Tabelle 5 mit 7). Eigenartigerweise vermögen Magnesiumionen diese Wirkung nicht hervorzubringen (Tabelle 5 mit 7). Das bedeutet, daß die Aktivierung der *l*-Peptid- und *d*-Peptid-Spaltung durch Mn⁺⁺ und Mg⁺⁺ nicht parallel geht: Mn-Ionen aktivieren die *l*- und *d*-Peptid-Spaltung gut, Magnesium dagegen fungiert nur im Falle der *l*-Peptid-Spaltung als Aktivator. Der natürlich vorkommende Aktivator kann demnach nicht oder jedenfalls nicht ausschließlich aus Magnesiumsalzen bestehen. Wahrscheinlich kommt die natürliche Aktivierung durch das Zusammenwirken bestimmter Spurenelemente, z. B. des Mangans, mit gewissen Aminosäuren zustande.

Dafür spricht unser Befund, daß bestimmte Kombinationen dieser Art, z. B. Mn⁺⁺ + *Cystein*, wirksamer sind als Mn⁺⁺ allein.

d) Die *Geschwindigkeit*, mit der die Spaltung der *d*-Komponente erfolgt, ist weit geringer als die Umsetzungsgeschwindigkeit der *l*-Komponente; in Versuchen mit Mangansalzzusatz geht die *d*-Peptid-Spaltung je nach Herkunft und Gewinnung des Enzyms 35—70mal langsamer vor sich.

Tübingen, Pharmazeutische Abteilung des Chemischen Instituts der Universität, den 15. Mai 1941.

E. BAMANN. O. SCHIMKE.

¹) Peptidasen, in: Die Methoden der Fermentforschung. S. 2002. Leipzig 1941.

²) Vgl. dazu K. LINDERSTRÖM-LANG u. H. HOLTER, Hoppe-Seylers Z. 204, 15 (1932).

³) Siehe dazu: W. FRANKE, in: Handbuch der Enzymologie, S. 791. Leipzig 1940.

⁴) Hoppe-Seylers Z. 262, IV (1939).

⁵) J. of biol. Chem. 130, 655 (1939).

⁶) Biochem. Z. 264, 237 (1933); siehe auch H. LÜERS u. L. MALSCH, Wschr. Brauerei 46, 265 (1929).

⁷) I. Mitt.: Über die Mangan- und Kobaltaktivierung der Dipeptidasen. Biochem. Z. 308, 130 (1941).

Über ein neues bei der bakteriophagen Lyse auftretendes Formelement.

Bei der Fortsetzung der Versuche zur Sichtbarmachung der bakteriophagen Lyse¹) wurde in Kulturen von Streptokokken, Enterokokken, Staphylokokken, Proteus, Ruhr- und Colibakterien, denen homologe Phagenstämme zugesetzt waren, das in Fig. 1 wiedergegebene Gebilde gefunden. Seine Form erinnert an die eines Spermiums oder eines sporentragenden Tetanusbazillen. Es besteht aus einem

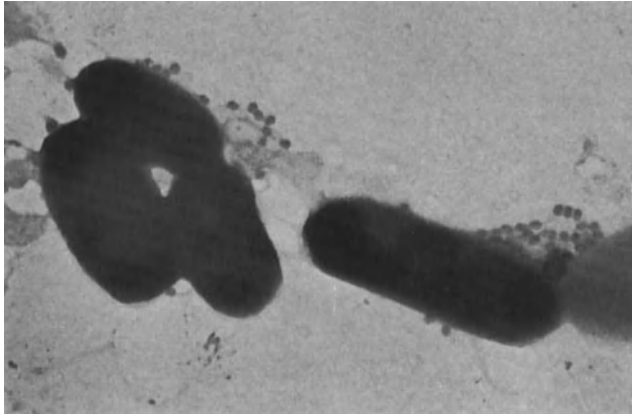


Fig. 1. 5037/41. Auftrocknung aus einer mit Lysat versetzten Aufschwemmung von Ruhrbakterien (Formalinfixation). El.opt.: 12000:1; Abb. 18000:1.

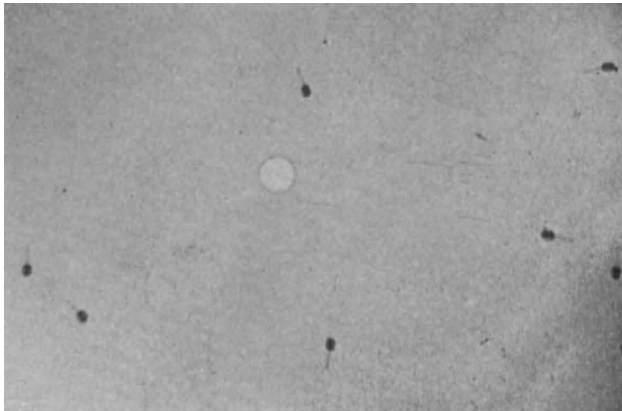


Fig. 2. 5025/41. Wie Fig. 1, mit Bakterien als Vergleichsmaßstab (Osmiumfixation). El.opt. 10000:1; Abb. 15000:1.

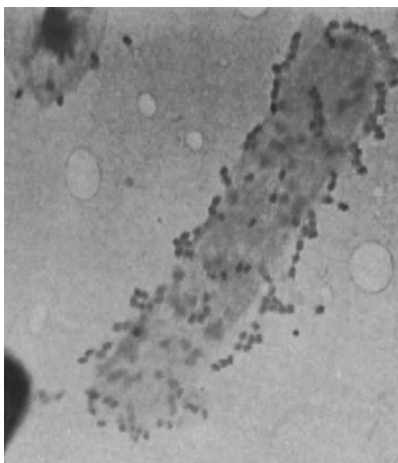


Fig. 3. 5725/40. Auftrocknung aus einem Lyseversuch mit Proteusbakterien (unfixiert). El.opt.: 18000:1.

massendichten (dunkeln) kugeligen Teil und einem stäbchenförmigen Fortsatz. Der kugelige Teil kann eine Innenstruktur erkennen lassen und mehr oder weniger deutlich gedoppelt sein (diplokokkenförmig). Der Fortsatz zeigt vorwiegend eine einheitliche Länge, kann aber auch länger oder kürzer sein oder völlig fehlen. Die Gebilde messen 60—100 $m\mu$ in der Breite und einschließlich des Fortsatzes etwa 250—400 $m\mu$ in der Länge. Die Stärke des Fortsatzes beträgt um 20 $m\mu$ und entspricht damit einerseits etwa der Dicke einer Bakteriengeißel, also einer Differenzierung des Protoplasmas, andererseits der Breite eines makromolekularen Tabakmosaik-Virusteilchens. Zwischen den bei verschiedenen Bakterien auftretenden Formen bestehen gewisse Unterschiede in bezug auf die Gliederung des Kopfes und die Ausbildung des Fortsatzes.

Das neue Formelement ist bisher nur bei der bakteriophagen Lyse beobachtet worden. Unter Umständen haftet es an den Bakterien (Fig. 2) oder auch an isolierten Bakterienmembranen (Fig. 3) und kann dann so ausgerichtet sein, daß der Fortsatz nach dem Zellinnern gerichtet ist. Welche Beziehung es zu den Phagen bzw. zum Phagenprotein hat, wie seine Bildung erfolgt, ob und wie es in den Vorgang der Bakterienauflösung eingreift, ist noch nicht geklärt. Es ist möglich, daß es sich bei den abgebildeten Elementen um die Phagen selbst handelt und daß die früher als Phagenprotein abgebildeten Teilchen²⁾ nur ein sekundäres bei der Lyse auftretendes Produkt, ähnlich anderen geformten Produkten des Bakterienstoffwechsels³⁾, darstellen. Es wäre aber auch denkbar, daß es ein Abkömmling der Bakterienzelle ist, der noch nicht die letzte bei der übertragbaren Lyse wirksame Einheit darstellt. Nach der Gewinnung von Reinpräparaten soll zu dieser Frage gemeinsam mit G. A. KAUSCHE und E. PFANKUCH Stellung genommen werden. Falls wir im Sinne STAUDINGERS alle Makromoleküle als Moleküle auffassen, die aus einer sehr großen Anzahl gleicher Grundmoleküle aufgebaut sind, ist das neue Formelement auf Grund seiner Gestalt nicht als makromolekulares Proteinmolekül anzusprechen. Sollte es den Phagen selbst darstellen, so gewänne die Hypothese d'HERELLES an Wahrscheinlichkeit, wonach es sich bei den Bakteriophagen um organisierte Gebilde handelt.

Berlin, Erste Medizinische Universitätsklinik der Charité, und Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens & Halske A.G., den 20. Mai 1941.
H. RUSKA.

¹⁾ H. RUSKA, Naturwiss. 28, 45 (1940).

²⁾ E. PFANKUCH u. G. A. KAUSCHE, Naturwiss. 28, 46 (1940).

³⁾ H. RUSKA, Z. Hyg. 1941, im Druck.

Untersuchung über das „19-Minuten“-Isotop von Molybdän und das daraus entstehende Isotop von Element 43.

Anfang 1940 wurde von SAGANE, KOJIMA, MIJAMOTO und IKAWA über das bis dahin als 24-Minuten-Molybdän bekannte Molybdänisotop eine kurze Notiz veröffentlicht¹⁾. In dieser teilten sie mit, daß die bisher beobachtete Molybdänaktivität von 24-Minuten-Halbwertszeit²⁾ in Wirklichkeit komplex ist und aus einem 19-Minuten-Molybdän besteht, welches ein Isotop des Elements 43 (Masurium) von 9 Minuten Halbwertszeit nachbildet.

Sie fanden nämlich für das mit langsamen Neutronen bestrahlte chemisch abgetrennte Molybdän — nach Abzug der gleichzeitig entstehenden Molybdänaktivität von 67 Stunden Halbwertszeit — eine typische Anstiegskurve. Sie deuteten diese in der üblichen Weise durch die Annahme eines 19-Minuten-Molybdäns, welches ein 9 Minuten-Element 43 nachbildet. Gleichzeitig gaben sie direkte Versuche über die chemische Abtrennung des nachgebildeten Elements 43 an, welche die aus der Anstiegskurve von ihnen erschlossene Halbwertszeit von 9 Minuten auch experimentell bestätigten.

Anfang dieses Jahres erhielten wir durch die Herren Professor HAHN und Dr. STRASSMANN freundlicher Weise Kenntnis von ihren vorläufigen, auffälligen Ergebnissen über die aktiven Molybdänisotope, welche bei der Uranspaltung entstehen³⁾. Im Zusammenhang hiermit haben wir die Arbeit von SAGANE und Mitarbeitern nachgeprüft. Über unsere Ergebnisse soll hier kurz berichtet werden:

Zur Aktivierung des Molybdäns benutzten wir verlangsamte Neutronen von Beryllium, welches mit Deuteronen beschossen wurde. Unsere Anstiegskurve, gemessen an chemisch abgetrenntem Molybdän, stimmt mit den Angaben von SAGANE und Mitarbeitern überein. Sie zeigt einen Anstieg mit ungefähr 9 Minuten und einen Abfall mit ungefähr 18 Minuten. Wir suchten dann nach dem nachgebildeten Element 43. Die von uns chemisch abgetrennte Aktivität von Element 43 zeigte aber in allen Versuchen eine Halbwertszeit von $14,0 \pm 0,3$ Minuten und nicht von 9 Minuten, wie sie SAGANE und Mitarbeiter aus ihrer Molybdänanstiegskurve erschlossen, und, worauf besonders hingewiesen werden muß, auch chemisch nachgewiesen hatten. Den Widerspruch zwischen dem von uns experimentell zu 14 Minuten bestimmten Wert der Halbwertszeit von Element 43 und der Deutung der von SAGANE und Mitarbeitern und uns in Übereinstimmung gemessenen Anstiegskurve konnten wir folgendermaßen klären: Durch periodische Abtrennungen bestimmten wir durch einen direkten Versuch, über die Arbeit von SAGANE und Mitarbeitern hinausgehend, die Halbwertszeit der Molybdänmuttersubstanz und fanden einen Wert von $14,6 \pm 0,3$ Minuten. Auch dieser Wert für die Molybdänaktivität steht im Widerspruch zu der von SAGANE und Mitarbeitern und uns gemessenen Anstiegskurve, wenn man sie nach SAGANE und Mitarbeitern deutet. Auf Grund der von uns gemessenen fast gleichen Halbwertszeiten von $14,6$ Minuten für Molybdän und $14,0$ Minuten für Element 43, lassen sich obige Widersprüche als nur scheinbare jedoch leicht aufklären. Es ist nämlich in dem wohl selten vorkommenden Fall, daß Mutter- und Tochtersubstanz gleiche Halbwertszeit haben, die Anstiegskurve nicht mehr einfach die Differenz zweier e-Funktionen, sondern enthält ein Glied mit $t \cdot e^{-\lambda t}$. Dasselbe gilt asymptotisch für fast gleiche Halbwertszeiten. Wenn man mit den von uns gemessenen Halbwertszeiten für Molybdän und Element 43 — unter Berücksichtigung der Absorption im Zählrohr — die theoretische Anstiegskurve für diesen besonderen Fall der Zerfallstheorie zeichnet, erhält man tatsächlich eine genaue Übereinstimmung mit den gemessenen Molybdänanstiegskurven. Der Abfall der Anstiegskurve erfolgt nur scheinbar mit 19 Minuten. Bei längerem Beobachten, das durch die gleichzeitig mitgebildete 67-Stunden-Aktivität von Molybdän sehr erschwert wird, würde die Kurve sich langsam einem 14,6-Minuten-Abfall annähern. Damit sind also unsere Ergebnisse vollkommen verständlich und in sich widerspruchsfrei. Gänzlich ungeklärt bleibt allerdings die Frage, warum SAGANE und Mitarbeiter für ihr chemisch abgetrenntes Element 43 eine Halbwertszeit von 9 Minuten gefunden haben, welche so gut zu ihrer — sicher nicht richtigen — Deutung der Anstiegskurve paßt. Für die obere Grenze des β -Spektrums unseres 14-Minuten-Elements 43 fanden wir aus Absorptionsversuchen einen Wert, welcher ungefähr mit dem von SAGANE und Mitarbeitern für ihr 9-Minuten-Element 43 nach gleicher Methode gefundenen Wert von 1,2 eMV übereinstimmt. Es sei darauf hingewiesen, daß auch bei der Uranspaltung unter anderem ein Molybdän von 14 Minuten entsteht, welches ein 14-Minuten-Element 43 nachbildet³⁾.

In Übereinstimmung mit SAGANE und Mitarbeitern⁴⁾ konnten wir zeigen, daß die 67-Stunden-Aktivität von Molybdän mit langsamen Neutronen von $\text{Be} + d$ und mit schnellen Neutronen von $\text{Li} + d$ angeregt wird. Sie ist deshalb der Masse Mo^{99} zuzuordnen. Die jetzt zu 14,6 Minuten bestimmte Molybdänperiode ist nur bei Bestrahlung mit langsamen Neutronen nachweisbar und ist wohl der Masse Mo^{101} zuzuordnen.

Eine ausführliche Beschreibung der Versuche erfolgt demnächst in der Z. f. Physik.

Herrn Professor HAHN und Herrn Dr. STRASSMANN

danken wir herzlich für ihren Rat bei der Durchführung der chemischen Abtrennungen.

Berlin-Dahlem, Max Planck-Institut, den 30. Mai 1941.
W. MAURER. W. RAMM.

¹⁾ SAGANE, KOJIMA, MIJAMOTO, IKAWA, Physic. Rev. 57, 750 (1940).

²⁾ SAGANE, KOJIMA, MIJAMOTO, IKAWA, Physic. Rev. 54, 543 (1938).

³⁾ Siehe die folgende Mitteilung von HAHN u. STRASSMANN.

⁴⁾ SAGANE, KOJIMA, MIJAMOTO, IKAWA, Physic. Rev. 57, 1179 (1940).

Über die bei der Uranspaltung auftretenden Molybdän-Isotope.

Unter den Produkten der Uranspaltung haben wir bisher zwei Molybdänisotope beschrieben; eines von 66 Stunden Halbwertszeit¹⁾, das zweifellos identisch ist mit dem schon vorher aus dem Molybdän selbst gewonnenen 67-Stunden-Isotop²⁾ und eines von 18 Minuten Halbwertszeit³⁾. Von letzterem gaben wir an, daß es nicht identisch ist mit dem von SAGANE und Mitarbeitern⁴⁾ beschriebenen, aus dem Molybdän entstehenden 24-Minuten-Isotop und auch nicht identisch mit dem durch Neutronenabspaltung aus dem Molybdän entstehenden Positronenstrahler von 17 Minuten Halbwertszeit⁵⁾. Daß es sich bei unserem 18-Minuten-Körper um einen Elektronenstrahler handelt, wurde kürzlich durch BOTHE und FLAMMERSFELD bestätigt⁶⁾.

Die japanischen Forscher haben nun unlängst ihre frühere Angabe über das 24-Minuten-Molybdän revidiert. Sie finden jetzt statt 24 Minuten 19 ± 1 Minuten, und weisen nach, daß dieses 19-Minuten-Molybdän ein Isotop des Elements 43 nachbildet, dessen Halbwertszeit sie zu 9 Minuten angeben⁷⁾.

Die sehr gute Übereinstimmung des neuen japanischen Befundes von 19 ± 1 Minuten Halbwertszeit für das Molybdän aus Molybdän mit unserem Wert von 18 Minuten Halbwertszeit für das Molybdän aus Uran, ließ eine Überprüfung unseres Ergebnisses notwendig erscheinen; und zwar einerseits, weil es ja jetzt wieder sehr wahrscheinlich wurde, daß die beiden Isotope identisch sind; andererseits, weil wir im Gegensatz zu den japanischen Forschern aus unseren Abklingungskurven keinen Hinweis auf die Nachbildung eines Isotops des Elements 43 erhalten hatten. Wir haben also unsere Versuche über das Molybdän aus Uran noch einmal aufgenommen und sie auf das aus dem Molybdän entstehende Element 43 (Masurium) ausgedehnt.

Durch eine merkwürdige Anhäufung schwer miteinander in Übereinstimmung zu bringender Beobachtungen stellten sich die Untersuchungen als sehr verwickelt heraus. Es ist aber jetzt gelungen, sie in zufriedenstellender Weise aufzuklären. Sie sollen an anderer Stelle (Z. Physik) eingehender besprochen und mit Kurven belegt werden.

Folgendes sind die Ergebnisse:

1. Aus dem vor einiger Zeit von uns nachgewiesenen, bei der Uranspaltung entstehenden Molybdänisotop, dessen Halbwertszeit wir zu 18 Minuten gefunden hatten, haben wir ein aktives Umwandlungsprodukt, also ein Isotop des Elements 43, mit 14 Minuten Halbwertszeit abgeschieden.

2. Der Abfall des Molybdäns erfolgt aber geradlinig mit 18-Minuten-Halbwertszeit, unabhängig davon, ob das Element 43 anwesend ist oder vorher abgetrennt war und sich erst nachbildete.

3. Zur Erklärung dieses auffallenden Befundes vermuteten wir die Existenz eines weiteren Molybdänisotops kürzerer Halbwertszeit und fanden ein solches von 12 Minuten. Es sendet sehr durchdringende β -Strahlen aus.

4. Nach Abzug der Aktivität des 12-Minuten-Körpers von der Gesamtaktivität ergab sich die Kurve, die vorher schon von SAGANE und Mitarbeitern für das aus dem Molybdän selbst hergestellte aktive Molybdän erhalten worden war, und die mit einem 18-Minuten-Molybdän und einem daraus entstehenden 9-Minuten-Körper interpretiert werden konnte und interpretiert worden war.

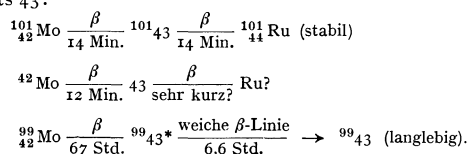
5. Da wir für das Umwandlungsprodukt dieses Isotops aber immer 14 Minuten Halbwertszeit (statt 9 Minuten) fanden und ausschließen konnten, daß unser neues Molybdän

ein Umwandlungsprodukt nachweisbarer Halbwertszeit bildet, blieb hier eine Unstimmigkeit bestehen.

6. Das Rätsel wurde gelöst durch eine neue Arbeit der Herren MAURER und RAMM⁸⁾ mit aktiviertem Molybdän aus dem Molybdän selbst, die nachweisen konnten, daß die Anstiegskurve für das sog. 18-Minuten-Molybdän so erklärt werden muß, daß ein 14-Minuten-Molybdän ein 14-Minuten-Element 43 (Masurium) nachbildet. Durch die Gleichheit der Halbwertszeiten der beiden Produkte ergibt sich auch für längere Beobachtungsdauern ein scheinbarer Abfall des Molybdäns von 18 Minuten und aus dem anfänglichen verzögerten Abfall des Molybdäns für das Folgeprodukt eine Halbwertszeit von 9 Minuten statt der wahren Halbwertszeit von 14 Minuten.

7. Nachdem diese Verhältnisse klargestellt waren, konnten wir mittels einer besonderen Meßweise die Halbwertszeiten für unsere beiden Molybdänisotope (14 Minuten und 12 Minuten) bestätigen.

8. Mit Einschluß des von uns schon früher bei der Uran-spaltung gefundenen Molybdäns von 67 Stunden Halbwertszeit kennen wir also bisher bei der Uranspaltung folgende Isotope des Molybdäns und des daraus entstehenden Elements 43:



Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, den 30. Mai 1941. OTTO HAHN. FRITZ STRASSMANN.

- 1) O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 27, 451 (1939).
- 2) G. T. SEABORG u. E. SEGRÈ, Physic. Rev. 55, 808 (1939).
- 3) O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 28, 543 (1940).
- 4) R. SAGANE, S. KOJIMA, C. MIYAMOTO, M. IKAWA, Physic. Rev. 54, 543 (1938).
- 5) W. BOTHE u. W. GENTNER, Z. Physik 106, 236 (1937).
- 6) W. BOTHE u. A. FLAMMERSFELD, Naturwiss. 29, 194 (1941).
- 7) R. SAGANE u. Mitarbeiter, Physic. Rev. 57, 750 (1940).
- 8) W. MAURER u. W. RAMM, vorstehende Mitteilung, Naturwiss. 29, 368 (1941).

Über substratspezifische Dipeptidasen.

Auf Grund unserer Erfahrungen bei den Peptidasen anaerober Bakterien (Anaero-peptidasen), der dort aufgefundenen, durch Metall + Sulfhydryl hervorgerufenen mannigfaltigen Aktivierungserscheinungen, der reversiblen Hemmungserscheinungen und des nicht nur von Bakterienart zu Bakterienart, sondern auch von Stamm zu Stamm der gleichen Art wechselnden Wirkungsvermögens für Peptide, kamen wir zur Ansicht, daß die „Dipeptidase“ und „Aminopolypeptidase“ dieser Bakterien nicht einheitliche Enzyme sein können, sondern je nach ihrer Herkunft wechselnd zusammengesetzte Gemische substratspezifischer Di- und Polypeptidasen sind¹⁾. Für die Anaero-aminopolypeptidase konnten wir diese Auffassung stichhaltig beweisen, und zwar durch ihre Zerlegung in einen Leucyl-glycyl-glycin- (und auch noch Alanyl-glycyl-glycin-) spaltenden und einen nur noch Diglycyl-glycin-spaltenden (dipeptidatisch wie proteolytisch unwirksamen) Anteil²⁾.

Auch unsere Beobachtungen über die Peptidasen des Bluserums, über die hier nachgewiesene verschiedenartige Aktivierung durch Metalle allein und die durch Komplexbildner bewirkten reversiblen Hemmungen, sowie das von Tierart zu Tierart, von Individuum zu Individuum wechselnde Wirkungsvermögen des Serums für Peptide und dessen Verhalten bei Fällungs- und Reinigungsmaßnahmen, weisen in die gleiche Richtung, d. h. sprechen gegen die Einheitlichkeit (und auch Identität) der Serum-di- und aminopolypeptidasen verschiedener Herkunft und für ihre komplexe Zusammensetzung aus art- und substratspezifischen Di- und Polypeptidasen³⁾.

Es gelang uns nun auch, die „Dipeptidase“, und zwar die vom aerob wachsenden *B. pyocyaneus* gebildete, auf einfachem Wege quantitativ in einen Leucyl-glycin- und einen Alanyl-glycin-spaltenden Anteil zu zerlegen und damit

einen weiteren schlüssigen Beweis für unsere Auffassung zu erbringen. Als Ausgangsmaterial dienten dabei proteinasefreie⁴⁾, peptidatisch wirksame Kulturflüssigkeiten, die durch 10- und mehrtägiges Wachstum des *B. pyocyaneus* (Stamm Nr. 8 unserer Sammlung) auf sog. Sauton-Nährlösung (einem „synthetischem“ Nährsubstrat, das anorganische Salze, Asparagin und Glycerin enthält) gewonnen waren⁵⁾. Solche keimfreien Kulturflüssigkeiten spalten von bekannteren Peptiden nur Leucylglycin, Alanylglycin, Leucylglycylglycin und Alanyl-glycyl-glycin nennenswert, ungefähr im Verhältnis von 12:3:24:1. Die peptidatische Wirksamkeit wird durch bestimmte Metalle, insbesondere von Magnesium, Mangan und Kobalt sehr kräftig gesteigert; auch Calcium und Eisen vermögen deutlich zu aktivieren. Komplexbildner, wie Blausäure, Cystein und Pyrophosphat, hemmen, bei $m/100$ -Konzentration so gut wie vollständig. Die Hemmung ist reversibel. Das Wirkungsoptimum der Spaltung liegt um $p_H = 8,5$ ⁶⁾. Durch Fraktionierung solcher *Pyocyaneus*-Kulturfiltrate mit Aceton (Alkohol zerstört die Alanyl-glycin-spaltende Dipeptidase fast ganz) gelingt es uns schwer den bzw. die Träger des LG- und LGG-Spaltungsvermögens von den Trägern des AG- und AGG-Wirkungsvermögens quantitativ zu trennen, wie folgendes Beispiel belegt: 100 ccm einer 12-tägigen Sauton-Kultur des *B. pyocyaneus* (Stamm Nr. 8) vom $p_H = 8$ wurden stark gekühlt und vorsichtig mit 50 ccm tiefgekühltem Aceton ($t = -8^\circ$) so versetzt, daß dabei die Temperatur nicht 0° überstieg. Nach kurzer Zeit wurde ein sich ziemlich rasch abscheidender, mikrokristalliner Niederschlag abgetrennt und nach dem Waschen in Wasser suspendiert; er ist darin schwer löslich (Vol. 25 ccm; $p_H = 8,5$; Fraktion I in Tabelle).

Tabelle.

Versuchsbedingungen: 5 ccm Ansätze; $p_H = 8,5$, Dauer 20 Stunden, $t = 40^\circ$, Toluol. Probe 2 ccm. Angewandte Kultur bei LG. 0,2, AG. 0,8, LGG. 0,1 und AGG. 2,0 ccm bzw. aliquote Teile der Fraktionen. Aktiviert wurde mit $m/100$ Mg oder $m/1000$ Mn und Co.

Preparat	Zusatz	Spaltung (ccm $n/20$ KOH)			
		LG.	AG.	LGG.	AGG.
Kultur . . .	—	0,07	0,50	0,04	0,25
	Mg	1,31	0,50	1,05	0,28
	Mn	1,36	0,79	1,22	0,47
	Co	0,19	1,75	0,13	0,70
Fraktion I . .	—	0,01	0,00	0,02	0,00
	Mg	0,03	0,02	0,01	0,02
	Mn	0,04	0,02	0,01	0,03
Fraktion II .	—	0,04	0,05	0,03	0,04
	Mg	1,07	0,04	0,87	0,05
	Mn	1,15	0,42	1,02	0,51
Fraktion III .	—	0,10	0,25	0,07	0,10
	Mg	0,01	0,12	0,01	0,06
	Mn	0,00	0,12	0,02	0,06
	—	0,04	0,26	0,01	0,07
	Mg	0,00	1,49	0,03	0,40
	Co	0,00	1,49	0,03	0,40

Die Mutterlauge versetzte man in der Kälte mit weiteren 50 ccm Aceton. Der daraufhin ausfallende, feinflockige Niederschlag löste sich nach dem Waschen nicht vollständig in Wasser, so daß die Lösung, auf $p_H = 8,5$ eingestellt, auf der Zentrifuge geklärt werden mußte (Vol. 25 ccm; Frak-

¹⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. 26, 791 (1938); 27, 276 (1939) — Biochem. Z. 302, 332 (1939).

²⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. 27, 819 (1939) — Biochem. Z. 307, 1 (1940).

³⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. 28, 765, 780 (1940) — Biochem. Z. (im Druck).

⁴⁾ Über die *Pyocyaneus*proteinase siehe E. MASCHMANN, Biochem. Z. 294, 1 (1937); 295, 402 (1938).

⁵⁾ Wir verdanken diese Kulturen Herrn Prof. B. ALBRECHT vom Staatsinstitut für experimentelle Therapie in Frankfurt a. M.

⁶⁾ G. GORBACH, Arch. Mikrobiol. 1, 565 (1930), fand ein p_H -Optimum bei 8,4.

tion II). Zur 50 % Aceton enthaltenden Mutterlauge gab man nun 200 ccm Aceton, worauf nach kurzer Zeit ein geringer Niederschlag ausfiel, der sich mit alkalischer Reaktion klar in Wasser löste (Vol. 25 ccm; $p_H = 8,5$; Fraktion III).

Im einzelnen werden wir auf die Angaben in der Tabelle demnächst in einer ausführlicheren Mitteilung über die Pyocyaneuspeptidasen in der Biochem. Z. zurückkommen.

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 30. Mai 1941.

ERNST MASCHMANN.

Über Halleffektmessungen am Selen.

Beim Selen konnte auf den Leitungsmechanismus bisher nur auf Grund seiner Eigenschaften als Gleichrichter geschlossen werden. Da beim Selengleichrichter die Flußrichtung dieselbe ist wie beim Cu_2O -Gleichrichter, war anzunehmen, daß es sich auch beim Selen um einen Defekthalbleiter handelt. Im Schrifttum sind unseres Wissens bisher keine quantitativen¹⁾ Ergebnisse mitgeteilt, die unmittelbar den Defekthalbleitungscharakter im Selen bestä-

tigen und Angaben über die Beweglichkeit der Defektelektronen machen.

Nach vielen erfolglosen Vorversuchen an Proben eigener Herstellung ist es nunmehr an einer, uns von Prof. SCHÖTTKY und Dr. WAIBEL zur Verfügung gestellten Selenprobe besonders hoher Leitfähigkeit gelungen, einen anomalen (positiven) Halleffekt einwandfrei nachzuweisen. Erst bei Verwendung „sperrfreier“ Nickelelektroden lag die Hallspannung über der Spannungsempfindlichkeit unserer Meßanordnung.

Die gemessene Hallkonstante betrug bei einer Leitfähigkeit der Probe von etwa $5 \cdot 10^{-3} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ im Mittel 200 ccm/Amp. sec. Dies entspricht einer Beweglichkeit (Hallkonstante · Leitfähigkeit) der Defektelektronen im Selen von etwa $1 \frac{\text{cm/sec}}{\sqrt{\text{cm}}}$.

Prag, Physikalisches Institut der Deutschen Karls-Universität, den 30. Mai 1941. F. ECKART. A. KITTEL.

¹⁾ Für Defekthalbleitung sprach überdies das Vorzeichen der Thermospannung: Frl. A. SCHMIDT, Z. Physik (im Erscheinen).

Besprechungen.

BRINKMANN, ROLAND, Emanuel Kayzers Abriß der Geologie. 1. Band, Allgemeine Geologie. 6., gänzlich neu bearbeitete Auflage. Stuttgart: Ferd. Enke 1940. 282 S. und 197 Abbild. Preis: geb. RM 18.60.

Sowohl EMANUEL KAYSERS „Lehrbuch der Geologie“ wie dessen verkleinerte Ausgabe, der „Abriß der Geologie“, sind längere Zeit vergriffen gewesen, und Ersatz wurde dringend nötig. Dieser ist wenigstens in bezug auf den „Abriß der Geologie“ — wenn auch zunächst nur für dessen ersten Teil, der die Allgemeine Geologie behandelt — geschaffen worden, und zwar durch ROLAND BRINKMANN. Wenn dieser Ersatz aber als „sechste gänzlich neu bearbeitete Auflage von EMANUEL KAYSERS Abriß der Geologie“ bezeichnet wird, so ist das in der Hauptsache ein Akt der Pietät seitens des Verfassers und auch des Verlegers gegenüber dem Manne, der mit seinem Lehrbuch der Lehrer ganzer Generationen von Studierenden der Geologie und der Nachbarwissenschaften gewesen war. Denn außer dem Titel ist von dem KAYSERSchen Abriß kaum etwas geblieben, mag auch hier und da einmal eine alte bewährte Abbildung wieder auftauchen. Vielmehr hat BRINKMANN in altem äußerlichem Gewande ein gänzlich neues Lehrbuch geschaffen. Und das ist kein Nachteil; denn wenn EMANUEL KAYSER sich gewiß auch bemüht hat, mit jeder neuen Auflage den in zwischen erfolgten Fortschritten der Wissenschaft gerecht zu werden, — im Hinblick auf die enorme Entwicklung speziell der Allgemeinen Geologie war doch wohl der Augenblick gekommen, wo statt Anpassung eine Neuschaffung am Platze war. So ist schon von der allgemeinen Stoffanordnung nicht viel geblieben.

Während der KAYSERSche Abriß die Allgemeine und die Historische Geologie in einem Bande behandelte, erscheinen die beiden Abteilungen nunmehr getrennt in Sonderbänden. Dabei hat glücklicherweise der zunächst vorliegende erste Teil an Seitenzahl kaum gewonnen. Das ist möglich gewesen, weil die Darstellung straff gehalten ist und sonst langatmige Auseinandersetzungen immer wieder durch sehr geschickte bildliche Darstellungen ersetzt sind.

Nach einigen Darlegungen über die Geschichte und den Begriff der Geologie gliedert sich das Buch in die *exogene* und die *endogene Dynamik*. In der *exogenen Dynamik* werden zunächst die geologischen Vorgänge im Festlandsbereich behandelt, wobei die klimatologischen und paläoklimatologischen Verhältnisse in erfreulicher

Weise ihre Würdigung gefunden haben. Es folgt das Meer mit allgemeineren Darlegungen über Gestalt, Verfrachtung und Sedimentation und anschließend eine Schilderung der einzelnen Meeresregionen (Küstenregion, Flachseeregion und pelagische Region). Die Diagenese und die Einteilung der einzelnen Sedimentgesteine schließen den ersten Hauptteil ab.

Finden wir in dem ersten Teil kaum noch KAYSERSche Relikte, so trifft das noch viel weniger für den zweiten Teil, die *endogene Tektonik*, zu. Begriffe, die bei KAYSER zum Teil nur schüchtern angedeutet wurden, sind entsprechend der modernen Entwicklung der Tektonik und Magmatotektonik mit Recht in den Mittelpunkt der Darlegungen gerückt worden. Und überhaupt wird eine vorzügliche knappe Zusammenfassung von Tektonik und Magmatismus gebracht, wie sie nur jemand geben konnte, der an der Entwicklung dieser Dinge langjährigen persönlichen Anteil gehabt hat.

Nicht nur die Geologen, sondern auch die Vertreter der Nachbarwissenschaften werden sich glücklich schätzen, daß den Studierenden jetzt wieder ein von hoher Warte geschriebener „Abriß der Geologie“ in die Hand gegeben werden kann. Er wird das alte Ansehen erneuern, das der „große“ und der „kleine Kayser“ stets gefunden hatten. HANS STILLE, Berlin.

DOTTERWEICH, H., Das Biologische Gleichgewicht und seine Bedeutung für die Hauptprobleme der Biologie. VII, 236 S. (mit 34 Abb.), 16 cm × 24 cm. Jena: Gustav Fischer 1940. Preis geb. RM 11.50, brosch. RM 10.—.

Wo immer zwei oder mehr Faktoren, die auf biologisches Geschehen Einfluß haben, voneinander und von der Zeit abhängen, ergeben sich „biologische Gleichgewichte“, deren Zahl und Art (stabil usw.) man auf mathematischem Wege leicht und elegant ermitteln kann. Von diesen grundsätzlichen Überlegungen findet man in diesem Buche nichts, was allein schon das Fehlen des Namens LORKA erweist. Ziel des Verf. ist, „den universalen Charakter des Gleichgewichtsprinzips nachzuweisen und damit ein fundamentales biologisches Prinzip von größter Tragweite allgemeingültig zu formulieren“. (Über die Berechtigung des Wortes „Prinzip“ soll hier nicht gerechtet werden.) Es werde, so heißt es im Vorwort, der Nachweis geführt, daß dieses Prinzip ebenso grundlegend wie allgemein sei, daß es überall im lebendigen Geschehen zum Ausdruck komme. „Die Allgemeinheit des behandelten Gegen-

standes wie auch das zu erwartende allgemeine Interesse an ihm ließen . . . eine allgemeinverständliche Darstellung gerechtfertigt erscheinen“ — was, wie man hinzufügen darf, die große Breite der Ausführungen dieses Buches bedingt, das „zugleich die ersten Grundzüge einer neuen biologischen Forschungsrichtung erkennen lassen soll“.

Die einleitenden Kapitel, vor allem die Ausführungen über das System, die allgemeinen Eigenschaften und die Gesetzmäßigkeiten der biologischen Gleichgewichte, nehmen über die Hälfte des Inhalts ein, bringen recht vielerlei, das grundsätzlich Wichtige aber vermißt Ref. zumeist. Die größte Tiefe der Betrachtung wird wohl dort erreicht, wo Verf. die Ansichten v. BERTALANFFY's referierend wiedergibt. Die andere Hälfte des Buches bringt ausführliche Beispiele für biologische Gleichgewichtsprozesse, unterteilt in schnell verlaufende (physiologische und ökologische) und langsam verlaufende, an deren Zustandekommen dann stets die Mutabilität beteiligt ist. Verschiedene Beispiele entstammen eigenen Forschungen des Verf., so z. B. das Kalkgleichgewicht beim Regenwurm oder die chemisch beeinflusste Mutabilität, und sind dann auch gut und anschaulich dargestellt. Aus der Physiologie werden u. a. z. B. in eigenen Abschnitten behandelt: „Reizschwelle“, „Reizgewöhnung“, „Adaptation“ usw., Gebiete, die man zunächst kaum vermuten würde. Der erfahrene Leser wird aber vieles Wichtige vermissen. Bei der „Zelle“ fehlen z. B. die umfangreichen und grundsätzlich wichtigen Überlegungen RASHEVSKY's, bei der Ökologie die Theorien VOLTERRAS

und LOTKAS einschließlich der zugehörigen Experimental- und Freilandbefunde (GAUSE u. v. a.), im Evolutionskapitel die Namen WRIGHT, FISHER, HALDANE usw., die aus der heutigen, zu großem Teile auf Gleichgewichtsbetrachtung hinauslaufenden Evolutionsforschung schlechthin nicht wegzudenken sind. Indessen scheint Verf. all dies bewußt ausgelassen zu haben, wohl mit Rücksicht auf den gedachten Leserkreis, was Ref. aber bedauert. Denn gerade diese fehlenden Beispiele könnten vortrefflich zeigen, wie fest verwurzelt der Gleichgewichtsgedanke schon heute in vielen biologischen Teilgebieten ist, wie er das Verständnis sehr verwickelter Zusammenhänge erleichtert und die Experimentalforschung anregt. Auch SIR RONALD ROSS' Betrachtungen (1908) über das Gleichgewicht Malariaerreger-Mücke-Mensch hätten in diesem Sinne und aus historischen Gründen wohl verdient, angeführt zu werden. Daß eine solche Darstellung auch ohne viel oder ganz ohne Formeln möglich ist, zeigt GAUSE'S „Struggle for existence“.

Was Verf. bietet, ist eben etwas anderes. Flüssig und allgemeinverständlich geschrieben, bildet es für den Biologen eine leichte Lektüre und regt ihn an, vieles und Bekanntes unter neuem Gesichtswinkel zu betrachten. Mag dies bisweilen nicht ohne leichten Zwang abgehen, manchmal vielleicht sogar zu Widerspruch reizen — der Wert liegt in den Anregungen, die das Buch gibt. Beispiele finden sich genug und Schriftumsverweise für den, der in diese oder jene Frage näher eindringen will, desgleichen.

WILHELM LUDWIG, Halle.

Arbeitstagung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart.

Am 25. und 26. März 1941 veranstaltete das Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung in Stuttgart eine Arbeitstagung, auf der in einer Reihe von Vorträgen ein Rechenschaftsbericht über die im vergangenen Jahr ausgeführten Arbeiten gegeben wurde. Hierbei umfaßten die Hauptthemen sowohl Arbeitsgebiete aus der Grundlagenforschung der physikalischen Chemie der Metalle als auch solche der metallkundlichen Zweckforschung. Dementsprechend hatten sich Vertreter der Wissenschaft und Industrie eingefunden, die ihrem Interesse an den behandelten Themen durch zahlreiche fördernde Diskussionsbemerkungen Ausdruck gaben. Die Zahl der Teilnehmer war mit rund 400 etwa doppelt so groß als auf den früheren Arbeitstagungen des Instituts. Wie Prof. Dr. W. KÖSTER, der die Gäste willkommen hieß, ausführte, erreichte die Zahl der Veröffentlichungen des Instituts im Jahr 1940 mit 52 die bisherige Höchstzahl. Dieses Ergebnis ist besonders erfreulich, wenn man berücksichtigt, daß die Arbeitskraft der Mitarbeiter des Instituts vorwiegend durch wehrwirtschaftliche Fragen in Anspruch genommen war.

Der Inhalt der Vorträge im einzelnen sei im folgenden kurz wiedergegeben.

Über Ergebnisse der *Thermochemie der Legierungen* sprachen G. GRUBE, FR. WEIBKE, A. SCHNEIDER und O. KUBASCHEWSKI. G. GRUBE berichtete über die Messung von Reduktionsgleichgewichten im System Chrom-Nickel. Solche Messungen eignen sich zur Bestimmung der Affinitäten und Bildungswärmen bei der Legierungsbildung in Systemen mit Komponenten verschiedener Edelkeit. Hierzu bestimmt man einmal den Dampfdruck des Sauerstoffs über dem reinen Oxyd des schwer reduzierbaren Partners und andererseits über verschiedenen Gemischen dieses Oxyds mit dem edleren Metall. Da die unmittelbare experimentelle

Messung der Sauerstoffdrucke wegen deren Kleinheit ($\sim 10^{-21}$ at) nicht möglich ist, wählte man den Umweg über das Wasserdampfgleichgewicht, indem man das Gleichgewicht der Reaktion $2\text{Cr} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2$ bestimmte. Der Sauerstoffdruck ist dann gegeben durch den im Dissoziationsgleichgewicht des Wasserdampfes bei der Meßtemperatur vorliegenden Partialdruck des Sauerstoffs. Die energetische Auswertung der Versuchsdaten ergibt für die Affinität der Legierungsbildung einen Maximalwert von 2,5 kcal/g-Atom an der Grenze des heterogenen Gebietes auf der Chromseite; die Berechnung der Bildungswärmen nach NERNST führt etwa zu dem doppelten Betrage. Ferner wird durch die Bestimmung des Reduktionsgleichgewichtes von Cr_2O_3 gezeigt, daß bei den gemessenen Sauerstoffdrucken das Cr_2O_3 unmittelbar in reines Chrom übergeht.

FR. WEIBKE berichtete über Messungen von elektromotorischen Kräften von Kupfer-Platinlegierungen gegenüber Kupfer als Bezugselektrode bei Temperaturen bis 650° mit einem eutektischen Salzgemisch LiCl-KCl, dem geringe Mengen CuCl zugesetzt waren, als Elektrolyt. Die thermodynamische Auswertung der Messungen ergab für die Änderung der freien Energie bei der Legierungsbildung ein Maximum bei etwa 55–60 At.-% Cu mit einem Wert von z. B. 3,4 kcal/g-Atom Legierung bei 650° . Die integralen Bildungswärmen erreichen Höchstwerte von 1,5–1,6 kcal/g-Atom bei 50 und von 1,4 kcal/g-Atom bei etwa 80 At.-% Cu (600°). Die Umwandlungswärmen für die geordneten Phasen CuPt und Cu_3Pt lassen sich aus dem Unterschied der Bildungswärmen bei 550 und 800° (interpoliert) zu 0,8 bzw. 0,5 kcal/g-Atom ableiten.

A. SCHNEIDER behandelte die Bestimmung der Dampfdrucke von Magnesium über Al-Mg-Legierungen mit Hilfe der Mitführungsmethode ($600\text{--}850^\circ$) sowie

des Zinks über Al-Zn-Legierungen (500–750°) mit einem nach dem Prinzip der Taupunktmethode arbeitenden Verfahren. Die Messungen, die sich über den ganzen Konzentrationsbereich der beiden Systeme erstreckten, werden vor allem im Hinblick auf den Verlauf der Aktivitätskurven ausgewertet, wobei die Kurven für die Al-Zn-Legierungen oberhalb, für die Al-Mg-Legierungen unterhalb der für ideale konzentrierte Mischungen geltenden RAOUITSchen Geraden verlaufen. Außerdem werden die Meßwerte zur Bestimmung der Änderung der freien Energie und der integralen molaren Mischungswärme herangezogen. Der Zusammenhang zwischen dem Verlauf der Aktivitätskurven und dem der Liquiduslinie sowie der Einfluß der Verbindungsbildung im festen Zustand auf den Verlauf der Aktivitätskurven werden besprochen.

Eine Reihe von Bildungswärmen und Schmelzwärmen von Legierungen wurden von O. KUBASCHEWSKI auf direktem calorimetrischem Wege bestimmt. Dabei führten die Ergebnisse über die Schmelzwärmen zu dem Schluß, daß man in der Entropieänderung von Legierungen beim Schmelzen (Quotient: Schmelzwärme/abs. Schmelztemperatur) ein annäherndes Maß für deren Ordnungszustand hat. — Bei der systematischen Auswertung der Bildungswärmen von Legierungen, wobei auch die Ergebnisse anderer Autoren berücksichtigt wurden, ergab sich folgendes: Für Legierungen vom gleichen Strukturtyp besteht eine einfache Beziehung zwischen der Raumschwindung (bzw. Raummehrung) und der Wärmetönung bei der Legierungsbildung. Die erhaltenen Kurven zeigen auch eine systematische Abhängigkeit von der Koordinationszahl, und zwar ist bei gleicher Raumschwindung die Bildungswärme um so kleiner, je höher die Koordinationszahl ist.

A. SCHNEIDER berichtete über Messungen, die zur Bestimmung der Gleichgewichtsverhältnisse bei der thermischen Reduktion von Magnesiumoxyd mit Silizium (1200–1350°) dienen. Danach verläuft die Reduktion des MgO nach der Formel $4 \text{MgO} + \text{Si} \rightleftharpoons 2 \text{Mg} + \text{Mg}_2\text{SiO}_4$ (1). Das Ergebnis wurde thermochemisch und röntgenographisch sichergestellt. Es wurde ferner gebrannter Dolomit ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$) mit Silizium reduziert; die Reaktion verläuft nach $2(\text{CaO} \cdot \text{MgO}) + \text{Si} \rightleftharpoons 2 \text{Mg} + \text{Ca}_2\text{SiO}_4$ (2). Die Gleichgewichtsdampfdrucke liegen dabei wesentlich höher als bei der Reduktion von reinem MgO. Außerdem bietet die Reduktion des Dolomits den Vorteil, daß sämtliches in die Reaktionen eingebrachtes MgO zu metallischem Mg reduziert wird, während nach (1) die Hälfte des MgO zur Bildung von Mg_2SiO_4 verbraucht wird. Die Deutung für die Wirkung des CaO-Zusatzes wird in der gegenüber MgO stärkeren Affinität des CaO zu dem primär gebildeten SiO_2 gesehen, das sekundär mit Erdalkalioxyd zu Orthosilicat reagiert. Als Beleg für die Haltbarkeit dieser Deutung werden vorläufige Ergebnisse mitgeteilt, die bei der Reduktion von MgO bei Anwesenheit von BaO gefunden wurden.

Neuere Ergebnisse über die *Technologie der Zinklegierungen* wurden in 3 Vorträgen von W. KÖSTER, E. GEBHARDT und J. SCHRAMM behandelt. W. KÖSTER gibt eine eingehende Übersicht über die sehr verwickelten Gleichgewichtsverhältnisse in dem ternären System Zink-Kupfer-Aluminium. Die bisherigen Angaben über das Zustandsdiagramm waren nicht richtig; die genaue Konstitutionsermittlung erfolgte auf Grund von thermischen, röntgenographischen und mikroskopischen Untersuchungen. Ein charakteristisches Merkmal des Systems ist die starke Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichte. Aus diesem Grunde

ist es schwierig, Gleichgewichtszustände bei tiefen Temperaturen zu erreichen.

Auf Grund der Kenntnis der Konstitution des Dreistoffsystems entwickelte E. GEBHARDT ein Verfahren, um die Maßbeständigkeit der Kupfer und Aluminium enthaltenden Zinklegierungen sicherzustellen. Die Volumenänderung der Legierungen beim Lagern bei Raumtemperatur war bisher immer ein großer Nachteil für ihre technische Verwendbarkeit. Nach den Versuchen von GEBHARDT können die Maßänderungen völlig aufgehoben werden, wenn man die Legierungen bei 240–260° anläßt und sie anschließend einer zweiten Glühung zwischen 100 und 150° unterwirft. Nach diesen Wärmebehandlungen können nur noch Volumenänderungen von höchstens 0,05% beobachtet werden. Bei verformten Werkstoffen können die Glühzeiten erheblich verkürzt werden. Der Einfluß der Wärmebehandlung auf die technologischen Eigenschaften wird an einer Legierung mit 4% Cu und 7% Al geprüft. Die Schlagbiegefestigkeit z. B. kann danach durch die vorgeschlagene Behandlung bei Preßwerkstoff um nahezu 100% gesteigert werden, während der Anstieg bei einer Gußlegierung nur ganz gering ist.

J. SCHRAMM berichtete über den Aufbau von Teilsystemen des Zinks mit Mangan, Cer, Lanthan, Titan und Zirkon. Die Zustandsdiagramme wurden hauptsächlich mit Hilfe von thermischen Analysen, Gefügeuntersuchungen und röntgenographischen Verfahren aufgestellt. Sämtliche Systeme zeichnen sich durch das Auftreten zahlreicher Verbindungen aus. Bei Ce-Zn und La-Zn haben die Zusammensetzungen CeZn_9 und LaZn_9 die höchsten Schmelzpunkte. Im zinkreichen Gebiet erstarren die Legierungen des Cers peritektisch, diejenigen von Lanthan, Titan und Zirkon eutektisch. Die Löslichkeit im festen Zn ist bei Mn am größten (~0,5%). Eine gewisse Löslichkeit ist noch bei Ce zu beobachten, während La, Ti und Zr praktisch unlöslich sind.

Zur Frage der *plastischen Verformung von metallischen Werkstoffen* sprachen R. GLOCKER, U. DEHLINGER und F. FÖRSTER. Der Vortrag von R. GLOCKER beschäftigte sich mit dem röntgenographischen Nachweis der Zerrüttung bei einer Wechselbeanspruchung. Bei dem früher benutzten Verfahren bestand der Nachteil, daß für die Bestimmung der positiven und negativen Amplitude 2 Röntgenaufnahmen notwendig sind, die zeitlich auseinanderliegen und möglicherweise nicht mehr genau demselben Spannungszustand entsprechen. Von diesem Fehler frei ist eine neu entwickelte Aufnahme-kammer, bei der der Film hinter einer sektorförmigen Blende synchron mit dem Antrieb der Prüfmaschine rotiert. Durch einen in den Strahlengang eingebauten gleichzeitig angetriebenen Schieber wird während jeder zweiten Periode der Zutritt der Röntgenstrahlung abgesperrt. Auf einem kreisförmigen Film werden durch Ausmessung der Linienverschiebungen, die auf ein und demselben Durchmesser liegen, die sämtlichen Momentanwerte der Spannung während einer Periode ermittelt. Die Ergebnisse der Durchführung solcher Versuche an Kohlenstoffstäben werden beschrieben.

Die Ausbildung der Eigenspannungen bei der Biegung von Ein- und Vielkristallstäben wurde von U. DEHLINGER besprochen. Bei der Biegung von Einkristallen aus Zn und Al tritt ein deutlicher Knick in der Beanspruchungs-Biegekurve auf. Eine quantitative Theorie zeigt, daß die äußeren Fasern schon vor dem Knick bei Erreichen ihrer kritischen Schubspannung plastisch zu fließen beginnen; eine absolute Stützwirkung der weniger beanspruchten Fasern ist also nicht vorhanden. Der Knick tritt dann ein, wenn

das Biegemoment groß genug geworden ist, daß der ganze Querschnitt plastisch fließen kann. Danach herrscht kurz vor dem Knick in den äußeren Fasern die kritische Schubspannung, in den inneren die Spannungsverteilung der elastischen Biegung. Bei polykristallinen Werkstoffen sind dieselben Verhältnisse zu erwarten, wenn statt der kritischen Schubspannung die Streckgrenze eingesetzt wird, was durch die Messung bestätigt wird. Die nach Entlasten in allen Fällen auftretenden Eigenspannungen werden beschrieben; sie können zahlenmäßig berechnet werden.

F. FÖRSTER berichtete über Versuche zum magnetischen Nachweis des Beginns der Verformung und des Aufbaues der inneren Spannungen beim Ziehen und Recken. Zur Untersuchung wurde ein Meßgerät verwendet (Ferrogaph), das es gestattet, kleinste Änderungen der magnetischen Größen eines Werkstoffes, die durch äußere Eingriffe oder innere Vorgänge bewirkt werden, nachzuweisen und zu verfolgen. Untersucht wird die Entwicklung von inneren Spannungen in Nickeldraht bei verschiedener Wärmebehandlung und nach wachsender Reckspannung sowie die Spannungsverteilung von düsengezogenem Nickeldraht.

Zu dem Hauptthema *Strukturforschung, magnetische Werkstoffe* sprach zunächst L. GRAF. An Hand von Lichtbildern von unbearbeiteten und ungeätzten Oberflächen von Metallen, die unter geeigneten Abkühlungsbedingungen erstarrt sind, wird der mikroskopische Nachweis der Mosaikstruktur der Metallkristalle erbracht und auf ihre Bedeutung für die Verformung und die Ausscheidung hingewiesen.

H. NOWOTNY berichtete über Strukturen von Metalloidlegierungen der Schwermetalle und gab eine Übersicht über die Bauprinzipien bei den Zweistoffsystemen von Chrom, Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel und Kupfer. Die Metallatome bilden stets ein Trägergitter, das durch die Einlagerung von Metalloidatomen eine Aufweitung erfährt. Diese Vergrößerung der Metallabstände bewirkt das Auftreten eines positiven Austauschintegrals, wodurch die an und für sich nichtferromagnetischen Metalle Chrom und Mangan in den Legierungen mit den Elementen der Stickstoffreihe teilweise ferromagnetisch werden.

S. SCHWEIZERHOF behandelte die Entwicklung eines magnetischen Werkstoffes, der aus 2 geeigneten Legierungen verschiedener Ausdehnungskoeffizienten schichtweise zusammenplattiert ist. Beim Abkühlen von einer genügend hohen Temperatur setzen sich die Einzelschichten dieses Mehrfachwerkstoffes gegenseitig unter homogene Spannungen, die dann eine Geradrichtung der Magnetisierungskurve zur Folge haben, wenn die Magnetostriktion der beiden Plattierungspartner das richtige Vorzeichen zur Abkühlungsspannung hat. Auf diese Weise läßt sich der Einfluß homogener Spannungen auf die Magnetisierungskurve magnetostriktiver Legierungen für die Werkstoff-

forderungen der Fernmeldetechnik praktisch verwerten. Für die magnetischen Plattierungskomponenten erweisen sich die Legierungen der Fe-Ni-Reihe als besonders geeignet.

Schmelzen und Gießen: E. SCHEIL berechnete die Lunkerformen¹⁾ einiger einfacher Formen, von Kegel und Kugel, ferner von Zylinder und Kegelstümpfen. Der Einfluß eines konischen Kopfes auf einen zylindrischen Block und der Blockkopfheizung wurde untersucht. Ferner wurden rechnerische Unterlagen zur Feststellung der Abmessungen der Steiger von Gußstücken gegeben. — Um die rechnerische Behandlung des Problems der Lunkerbildung überhaupt vornehmen zu können, mußten einige vereinfachende Annahmen gemacht werden; besonders bleibt bei der rechnerischen Erfassung die Unvollkommenheit des Nachfließens unberücksichtigt.

Für den Praktiker von besonderem Interesse waren die letzten Vorträge der Tagung von W. KÖSTER und F. FÖRSTER. Über den Füllvorgang beim Spritzgußverfahren bestehen noch verschiedene Ansichten. Zur Klärung dieser Frage wurde von W. KÖSTER ein Film vorgeführt, der diesen Vorgang sichtbar macht. Mit einer Kolbenspritzgußmaschine wurde Woodsches Metall in eine aus Glasplatten bestehende Form gespritzt und der Vorgang mit einem A.E.G.-Zeitdehner aufgenommen. Der Film zeigte die Füllung einer Rechteckplatte bei verschiedenem Anschnitt, einer rechtwinkligen und einer abgerundeten U-Form sowie eines Zerreißstabes. Die Aufnahmen bestätigen in eindrucksvoller Weise die Ansichten von FROMMER über den Füllvorgang beim Spritzguß.

Eine Reihe von neugeschaffenen Geräten zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wurde in 2 Experimentalvorträgen von F. FÖRSTER vorgeführt. Die Geräte zur zerstörungsfreien Untersuchung von Stahl gestatten: 1. den Nachweis von Rissen in Eisenproben, 2. die Messung der Einsatztiefe von gekohltem und nitriertem Stahl und 3. die unmittelbare Anzeige von Restmagnetismus in Werkstücken. Ein weiteres Gerät dient zur Prüfung der Verwechslung von Stahlproben (Legierungsart und -zustand). — Ferner wird an einem Gerät zur Untersuchung von Metallhalbzeug und Fertigteilen vorgeführt: die Prüfung der Zusammensetzung, der mechanischen und thermischen Behandlung und der Gleichmäßigkeit, die Prüfung auf Fehlstellen sowie die Prüfung auf Gleichmäßigkeit der Abmessungen. Die Diskussion war bei diesen beiden Vorträgen besonders lebhaft.

O. KUBASCHEWSKI, Stuttgart.

¹⁾ Als „Lunker“ werden Hohlräume in Gußstücken bezeichnet, die dadurch entstehen, daß die zuerst erstarrten äußeren Schichten dem Schwinden der zuletzt erstarrten inneren Schichten nicht mehr folgen können.
Die Redaktion.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 18. März 1940 sprach Herr H. VON WISSMANN, Tübingen, über **Reisen in Hadramaut**, die er im Anschluß an zwei frühere erfolgreiche Reisen im Hedschas und Yemen im Frühsommer 1939 durchgeführt hat. Die Reise ging von Aden an der Küste entlang nach Shuqra, dann ins Innere hinein zum Tal von Hadramaut, das mitsamt seinen Nebentälern eingehend untersucht wurde; dann südwärts wieder zur Küste, an dieser entlang nach Makalla und zu Schiff zurück nach Aden. Von hier wurden noch Fahrten im Hinterland von Aden und im Yemen unternommen.

Das Reisen in dem von wütenden Blutrachefehden erfüllten Hadramaut, das seit 1893 kein europäischer Forscher mehr betreten hatte, war nicht leicht. Es war überhaupt nur möglich, weil zahlreiche Bewohner dieses Landes für einige Zeit nach Niederländisch-Indien auszuwandern pflegen und oft begütert wieder zurückkehren. Dadurch ist der Fremdenhaß gebrochen, und die Forscher fanden vielfach eine überaus freundliche Aufnahme.

Zwischen der Küste und dem Tal von Hadramaut liegt ein Tafelland: eine ungeschichtete eozäne Kalk-

masse, die auch den als Schichtstufe anzusehenden Steilrand gegen das Küstenvorland krönt. Die Kalktafel senkt sich zum Innern. Das Tal von Hadramaut mit seinen Nebentälern ist in sie eingelassen; ob hier ein Bruch vorhanden ist, wissen wir noch nicht. Im Haupttal liegt der Grundwasserspiegel nahe dem Talboden und hat die Anlage der großen Datteloasen ermöglicht, welche die Kulturzentren des Landes bilden.

Am Abbruch der arabischen Tafel zum Aden-Golf wurde ein Einfallen der Verwerfungen nach Norden, also vom Graben weg, beobachtet, im Gegensatz zum Golf von Suez und zu den afrikanischen Gräben, deren Randverwerfungen zum Graben hin einfallen. Die Aufkippung des Randes am Aden-Golf hat bewirkt, daß sich das untere Hadramaut epigenetisch neu einschneidet; heute fließt selbst bei Hochwasser kein Fluß mehr in das Wadi Hadramaut hinein.

Die rassisch sehr stark gemischten Bewohner des Landes — es wurden bemerkenswert viel indische Kennzeichen festgestellt — und ihre Lebensverhältnisse wurden an Hand von Lichtbildern anschaulich beschrieben.

Herr W. CREDNER, München, schilderte am 6. April 1940 **Wirtschaftsgeographische Eindrücke einer Weltreise 1938/39**. Der Vortr. war im Sommer 1938 als KARL SCHURZ-Austauschprofessor in Amerika eingetroffen und hat im Anschluß an seine akademische Tätigkeit die Vereinigten Staaten und Westindien eingehend bereist. Im August 1939 brach er dann von Kalifornien über den Pazifik nach Yokohama auf und kehrte von Japan durch Korea, die Mandschurei und die Sowjetunion in die Heimat zurück.

Das Studium des Vortr. auf diesen Reisen galt in erster Linie der Agrarwirtschaft. Die ganze Weite des *nordamerikanischen* Kontinents ist von einer Agrarlandschaft überzogen, die in einem ursprünglichen Waldland erst durch die Besiedlung geschaffen worden ist. Diese Kulturlandschaft hat ihren eigenen Stil: Einzelsiedlungen auf staatlich zugemessenen Betriebs-einheiten. Nicht das Dorf ist der wirtschaftliche und soziale Mittelpunkt, sondern der Markt, die „town“. Aber so stark auch der Individualismus zu herrschen scheint, so ist der Farmer doch an die großen Landbau-zonen gebunden. Innerhalb dieser Zonen ist als Ergebnis eines Vorgangs, den der Vortr. als regionale Anpassung bezeichnete, eine große Einheitlichkeit festzustellen, der freilich auch wieder eine regionale Spezialisierung gegenübersteht. Die Nachbarschaft besonderer Märkte (z. B. Großstädte), das Vorhandensein ärmerer Böden mit extensiver Schafweidewirtschaft inmitten reicherer Zonen u. ä. spielen dabei eine maßgebende Rolle.

Bemerkenswert sind durch die Absatzverhältnisse bedingte Wandlungen der angebauten Gewächse. Ein charakteristisches Beispiel dafür ist das Auftreten der Sojabohne in der amerikanischen Landwirtschaft. Die Vereinigten Staaten sind nächst der Mandschurei der wichtigste Produzent dieser Frucht geworden, die im Süden an die Stelle abnehmenden Baumwollanbaues, im Norden an die Stelle des Hafers tritt — Wandlungen, die von staatlichen Forschungsinstituten und Organisationen geleitet werden. Diese Wandlungen sind keineswegs abgeschlossen. Der Baumwollgürtel im Süden ist ein im Zusammenbruch befindlicher Rohstoffraum, der sich auch heute noch nicht auf die veränderten Marktverhältnisse eingestellt hat.

Wirtschaftlich interessant ist das große Waldgebiet im äußersten Süden der Staaten: Sumpfwälder in den Flußmündungsgebieten und Kiefernwälder in den Sandgebieten zwischen den Flüssen. Die Wälder sind unendlich weit und bilden eine letzte große Reserve,

an der aber auch heute noch ein erstaunlicher Raubbau getrieben wird. In der verwüsteten Waldlandschaft ist eine Pionierfront entstanden, die aber von sehr ärmlichem Charakter ist. Man muß schon bis nach Florida gehen, um wieder in eine hochentwickelte Landschaft zu kommen, die auch zu einem Siedlungsraum geworden ist (Rentnersitze).

Auch auf dem Gebiet der Bergbauwirtschaft vereinigen sich ungeheurer Reichtum und Raubbau. Nur die hochwertigsten Erze werden ausgebeutet; das andere wird in der Erde gelassen oder auf Halde geworfen. Die Folge ist ein rasches Erliegen der Bergbausiedlungen.

Im ganzen also sehen wir als wesentliches Kennzeichen der Wirtschaft der Vereinigten Staaten Überproduktion sowohl an Nahrungsmitteln wie an mineralischen Rohstoffen.

Es folgten nun Besuche der westindischen Inseln. Die Überfahrt nach *Cuba* führte zunächst nach der Hauptstadt Havanna, einer schönen Tropenstadt, die von weiten Zuckerrohrebenen umgeben ist; in den gebirgsnahen und deshalb niederschlagsreicheren Teilen der Ebenen wird Tabak gebaut. Es ist eine alte Kulturlandschaft mit kleinen Städten spanischen Charakters. Auf dem Zuckerrohranbau beruht eine mächtige, mit amerikanischem Kapital betriebene Zuckerindustrie.

Dann ging es im Flugzeug nach *Jamaica*, das der Vortr. als eine der schönsten Inseln kennzeichnete. Sie ist gebirgig, mit nur schmalen Küstenebenen, wo amerikanisches Kapital die Bananenwirtschaft aufgebaut hat. Im Gebirge, das von Negern bewohnt ist, findet sich eine eigenartige Wirtschaftsform. Diese Neger betreiben auf ganz kleinen wirtschaftlichen Einheiten einen sehr vielseitigen Anbau für den Eigenbedarf. Daneben aber produziert jeder auch für den Weltmarkt (z. B. Bananen, Kaffee, Ingwer), und diese nicht unbedeutenden Weltwirtschaftsgüter werden von großen Organisationen zusammengekauft.

Auch auf *Haiti* gibt es eine Produktion der Neger für den Weltmarkt, ebenfalls auf kleinen Besitzeinheiten, aber hier einseitig auf Kaffee eingestellt. — *San Domingo* produziert Zucker, Kaffee und Kakao.

Auf dem amerikanischen *Puerto Rico* stehen wiederum die Küstenebenen im Dienste der Zuckerproduktion; im Gebirge wird Kaffee und Tabak gebaut. Bemerkenswert ist hier der Versuch, das Land, das in den Besitz großer Gesellschaften übergegangen ist, der eingeborenen Bevölkerung wieder in die Hände zu spielen. Erfolgreich sind die Amerikaner mit diesen Aufteilungsmethoden besonders im Gebirgsland gewesen, aber auch schon in den Ebenen, obwohl hier das Kapital stärker interessiert ist.

Alle diese Inseln zeigen ungelöste Probleme der Güterverteilung; das wirtschaftliche Leben wird überall stark durch Absatzschwierigkeiten beeinflusst.

Bei der Überfahrt nach Ostasien wurde *Hawai* besucht, auch ein amerikanisches Kolonialgebiet und wieder ein Zuckergebiet. Infolge von Arbeiterschwierigkeiten findet man hier die am stärksten mechanisierte Zuckerrohrwirtschaft der ganzen Welt. Daneben liefert die Inselgruppe 85% der Weltproduktion an Ananas, wovon 80% nach den Vereinigten Staaten gehen.

Mit *Japan* begann dann eine ganz andere Welt. Das Land macht trotz des Chinesischen Krieges einen außerordentlich geschlossenen Eindruck; infolge seiner günstigen wehrpolitischen Lage konnte der Außenhandel weitgehend aufrechterhalten werden. Die bis ins einzelne gepflegte Kulturlandschaft Japans stellt eine ungeheure Leistung dar, desgleichen das kolonialisatorische Werk in Korea und der Mandschurei im Sinne der Erhaltung des militärisch Erworbenen.

Die Reise wurde durch die Mandschurei nordwärts fortgesetzt und der russische Raum erreicht. Die Fahrt durch Sibirien war für den Vortr. besonders interessant, da er sie 8 Jahre zuvor schon einmal gemacht hat und deshalb Vergleiche ziehen konnte. Er fand überall große Fortschritte. Sehr bedeutend ist die Entwicklung des Industriebaufbaues, besonders eindrucksvoll aber die grundsätzliche Umgestaltung der Agrarlandschaft durch die Kollektivierung: überall Großbetriebsflächen, auf denen geschlossene Arbeiterscharen tätig sind. Der ganze Betrieb ist motorisiert. Auch das Bild der Siedlungen hat sich geändert und wird durch neue, allerdings sehr primitive hölzerne Großbauten beherrscht. Soziologisch bedeutet diese Entwicklung die Auslöschung des Bauerntums durch den landwirtschaftlichen Arbeiter.

Rußland ist ein ungeheurer Rohstoffraum, der mit Deutschland vereint einen gewaltigen autarken Wirtschaftsblock ergeben könnte. Der Ausbau dieses Raumes — so betonte der Vortr. in seinem Schlußwort — darf nicht mehr England zufallen, sondern muß erungen werden für Deutschland!

In einem am 15. April 1940 gehaltenen Vortrag: *Scylla und Charybdis und die Gezeitenströmungen in der Straße von Messina* analysierte Herr A. DEFANT, Berlin, die in gesetzmäßigem Rhythmus vor sich gehenden Stromerscheinungen in dieser Meeresstraße. Einleitend verfolgte er die zuerst bei Homer vorkommende Sage von Scylla und Charybdis durch die antike und mittelalterliche Literatur und betonte, daß dieser Sage ein meereskundliches Phänomen zugrunde liege, dessen richtige Erklärung schon von ARISTOTELES und später von DANTE vorausgeahnt worden sei. Die erste naturwissenschaftliche Untersuchung veröffentlichte RIBAUD (1824); moderne ozeanographische Forschungen führten VERCELLI (1922/23) und MAZZARELLI (1938) durch.

Die geringsten Wassertiefen der Straße von Messina liegen auf dem Profil Punta Pezzo-Ganzirri, das eine mittlere Tiefe von nur 80 m aufweist; die Küsten sind hier nicht ganz 4 km voneinander entfernt. Die größten Tiefen auf diesem Querschnitt bilden zwei Durchlässe von etwa 120 m Tiefe. Von dieser Schwelle, die das Ionische Meer im Süden und das Tyrrhenische im Norden voneinander scheidet, senkt sich der Meeresboden nach beiden Seiten: südwärts ziemlich genau meridional bis zu Tiefen von 1200 m, nordwärts weniger rasch und unter scharfem Umbiegen nach Nordosten bis 300 m.

Die Gezeit in den beiden hier aneinanderstoßenden Meeren ist von ausgesprochen halbtägigem Typus; die Periode beträgt ziemlich genau 12 Mondstunden. Beide Meere aber verhalten sich in bezug auf die Eintrittszeit von Ebbe und Flut gegensätzlich, d. h. wenn das Ionische Meer Hochwasser hat, hat das Tyrrhenische Meer Niedrigwasser und umgekehrt. Dieser Gegensatz muß sich in der Straße von Messina ausgleichen. Innerhalb einer Strecke von etwa 3 km ändert sich die Phase der Gezeit um fast 6 Stunden. Um 0 Uhr und 6 Uhr besteht nahezu kein Niveauunterschied; um 3 Uhr und 9 Uhr dagegen beträgt der Unterschied etwa 27 cm, und zwar ist der Wasserspiegel um 3 Uhr nach Norden, um 9 Uhr nach Süden geneigt. Das Gefälle konzentriert sich auf den innersten Teil der Straße; auf einer Strecke von 12,2 km beträgt der maximale Niveauunterschied rund 1,7 cm auf 1 km, wodurch bei der Enge der Straße erhebliche Stunden- geschwindigkeiten erzwungen werden. Zwischen 3 und 9 Uhr herrscht Strom nach Norden („rema montante“), zwischen 9 und 3 Uhr Strom nach Süden („rema scen-

dente“); die Maximalgeschwindigkeiten in beiden Richtungen sind 2 m/sec.

Diese theoretischen Rechnungen sind an Beobachtungen zu prüfen, die durch Mareographen-Aufzeichnungen an verschiedenen Stellen der Straße und durch Strommessungen auf einer 15tägigen Ankerstation des Forschungsschiffes „Marsigli“ (an der engsten Stelle der Straße auf 106 m Wassertiefe) gewonnen wurden. Die harmonische Analyse der Strommessungen durch VERCELLI hat es ermöglicht, die Stromverhältnisse in der ganzen Straße festzulegen. Im allgemeinen Mittel gibt es einen Strom, der unabhängig von der Gezeit immer vorhanden ist und als Ausgleichsströmung aufgefaßt werden muß: das leichtere tyrrhenische Wasser geht bis nahezu 30 m Tiefe nach Süden, darunter bis zum Meeresboden das kältere und salzreichere, also schwerere ionische Wasser nach Norden. Die Geschwindigkeiten sind klein (etwa 10 bis 50 cm/sec). Viel bedeutender sind die periodischen Gezeitenströme, die infolgedessen gleichmäßig die ganze Wassermasse erfassen und maximale Geschwindigkeiten von etwa 160 cm/sec aufweisen. Die Eintrittszeiten sind um 1,2 Stunden verfrüht; der Vortr. führt dies auf die Reibung zurück, besonders auf die durch die Verwirbelung zweier verschiedener Wasserarten entstehende innere (Turbulenz-) Reibung. Dadurch, daß der Gezeitenstrom längs der ganzen Straße nicht gleichzeitig kentert, treten in den engsten Teilen Stromkonvergenzen auf, die Sitz und Quelle turbulenter, aber ganz gesetzmäßiger Stromstörungen sind.

Das Auftreten der ersten von Süden kommenden Wassermassen spielt sich gegen 3 Uhr in Form einer Kopfwelle ab, der etwa 1 Stunde später eine zweite folgt; das schwere Wasser des Ionischen Meeres stürmt gegen das sich schon zurückziehende leichtere Wasser des Tyrrhenischen Meeres vor. Umgekehrt gleitet beim Beginn des von Norden kommenden Stromes das tyrrhenische Wasser ebenfalls in zwei Kopfwellen über das ionische Wasser. Hinter den Kopfwellen ist das Meer besonders unruhig. Die Höhe der Kopfwellen ist stark von der Windrichtung abhängig und kann durch diese bis zu 1½ m Höhe gesteigert werden.

In Verbindung mit den Stromkonvergenzen stehen Wirbel mit vertikaler Achse, die besonders an drei Stellen beobachtet werden: vor Peloro (Charybdis), vor Scilla (Scylla) und vor der Hafensbarre von Messina. Diese — meist zyklonischen — Wirbel, die an der Oberfläche deutlich erkennbar sind, entstehen an den Konvergenzflächen durch gegenseitige Einwirbelungen verschiedener Wasserarten; die schwerere Wasserart sinkt, während sich die leichtere einwirbelnd darüber schiebt. Sie stehen ohne Zweifel zu der Bodenkonfiguration in ursächlicher Beziehung. Für kleinere Schiffe können diese Strömungen und Wirbel, deren Durchmesser manchmal mehr als 100 m beträgt, durchaus gefährlich werden, für größere kaum.

Die Wirbel vor Scilla sind heute fast bedeutungslos, sollen jedoch vor dem Versinken der höhlenreichen Felsen von Scilla (bei dem Erdbeben von 1783) gefährlicher gewesen sein. Darüber hinaus kann die Frage gestellt werden, ob die Wirbelstärken in der Straße von Messina im Altertum oder in vorhistorischer Zeit ganz allgemein größer gewesen sind und damit der homerischen Schilderung besser entsprechen haben könnten. Diese Möglichkeit besteht, wenn man annimmt, daß die Meeresstraße früher seichter und enger gewesen ist; eine Verringerung der mittleren Tiefe von jetzt rund 100 m auf etwa 50 m würde genügen. Da das Gebiet tektonisch sehr unruhig ist, ist eine solche Änderung durchaus denkbar. KURT KAEHNE.

Zur Physiologie des Farbensehens.

Von G. VON STUDNITZ, Halle a. d. Saale.

1. Einleitung.

Im Rahmen der Erforschung des Farbensehens, das im Verlaufe seiner langen, bis in die Anfänge wissenschaftlicher Naturbetrachtung zu verfolgenden Geschichte immer wieder vom Blickpunkt der verschiedensten Wissenschaften her in Angriff genommen wurde, hat sich die Physiologie stets einer ganz besonderen Lage gegenübergesehen: Von sich aus außerstande, ein einziges objektives, rein physiologisches Moment zur Deutung der die Farbenunterscheidung und damit -empfindungen überhaupt erst ermöglichenden (im weiteren Sinne) peripheren Prozesse beizubringen, hat sie sich darauf beschränken müssen, eben diese Vorgänge entweder aus den physikalischen Gegebenheiten oder sie auslösenden Reize oder aus den psychologischen der letztlich auf sie zurückgehenden Empfindungen zu erschließen.

Den sinnfälligsten Ausdruck dafür, zu welcher gegensätzlichen Schlußfolgerungen die bevorzugte Benutzung des einen oder anderen Weges führen kann, bildet ein Vergleich der beiden derzeit am meisten genannten Theorien des Farbensehens und die große Fülle des sich an sie schließenden Für und Wider: v. HELMHOLTZ' auf Grund exakt-physikalischer Farbmischungen aufgestellte Dreikomponentenlehre und die aus der mehr phänomenologischen Einstellung HERINGS (und nicht ganz ohne schon von SCHOPENHAUER geäußerte Gedanken) entstandene Theorie der Gegenfarben.

Wenn auch der nahezu beziehungslose Gegensatz zwischen diesen beiden Hypothesen ebenso wohl (oder besser noch) aus den grundsätzlich verschiedenen Einstellungen der die beiden Verfahren handhabenden Forscher als aus den Methoden selbst erklärbar ist, so erscheint es heute dennoch nur aus dem völligen Mangel objektiv-physiologischer Momente heraus verständlich, daß sich die HERINGSsche Theorie so lange Zeit ernsthafter Beachtung und Diskussion zu erfreuen vermochte, wenigstens soweit sie den Anspruch erhebt, eine Deutung der eigentlichen die Farbunterscheidung einleitenden retinalen Primärprozesse zu geben. Die aus HERINGS Universalformel: Assimilation \rightleftharpoons Dissimilation (vgl. 1921) für den Sehprozeß abgeleitete Vorstellung, daß ein Sehstoff durch diese Wellenlänge zersetzt („dissimiliert“), durch jene dagegen aufgebaut („assimiliert“) werde, entbehrt zumindest für die Retina jeglicher experimentellen Grundlage und Wahrscheinlichkeit (vgl. schon A. FICK 1879, ferner v. STUDNITZ 1934, 1940a spez. S. 316, 1940b). Selbst ein so namhafter Vertreter der HERINGSschen Schule und Gegner der Dreikomponentenlehre wie A. v. TSCHER-

MAK räumt neuerdings (1929) ein, daß mit der Theorie der Gegenfarben „höchstens etwas über die nervösen Anteile des Sehorgans, keinesfalls etwas über die wahrscheinlich photochemischen Prozesse im reizvermittelnden Apparate der Netzhaut ausgesagt wird“ (S. 570).

Mit dem Nachweis, daß die dem Tages- und Farbsehen dienende (vgl. hier v. STUDNITZ 1940a, c) Zapfensubstanz (v. STUDNITZ 1934, 1940a, b) keinen einheitlichen Sehstoff, sondern einen Dachbegriff für einen Komplex dreier, auf verschiedene Zapfen verteilter *Farbsubstanzen* darstellt (v. STUDNITZ 1940d, e, 1941), ist die Frage nach Art und Zahl der den Farbreiz aufnehmenden und vermittelnden Stoffe dem Bereich indirekter Schlußfolgerungen bzw. beliebiger Spekulationen endgültig entzogen und darüber hinaus die Richtigkeit der genialen HELMHOLTZschen Konzeption¹⁾ von 3 „Komponenten“ (innerhalb des Zapfenapparates) auch experimentell unmittelbar erwiesen.

Infolge grundsätzlicher Unterschiede zwischen der Rot-, Gelb- und Blausubstanz²⁾ einerseits und den hypothetischen Komponenten andererseits erweist es sich jedoch als unmöglich, die Dreikomponentenlehre und damit auch die durch sie den Erscheinungen des Farbensehens gegebenen

¹⁾ Die Priorität für eine Dreigliederung des farbvermittelnden Netzhautmechanismus wird im allgemeinen, so insbesondere auch von v. HELMHOLTZ selbst, THOMAS YOUNG zuerkannt, während HELMHOLTZ das Verdienst zugeschrieben wird, diesen Grundgedanken wieder aufgegriffen und durch Einbau aller wesentlichen Daten der Psychophysik des Farbensehens erst eigentlich zu einer Theorie gestaltet zu haben. Hierbei scheint mir vielfach der Tatsache nicht genügend Rechnung getragen zu werden, daß YOUNG seine Hypothese auf Grund nicht nur heute, sondern bereits zu Zeiten HELMHOLTZ' völlig irriger Voraussetzungen aufstellte: Unter dem Eindruck von NEWTONS Entdeckung der Wellennatur des Lichtes und seines daraus resultierenden bekannten Versuchs, optische und akustische Reizung den gleichen Prinzipien zu unterstellen, greift er (1802) NEWTONS Vorstellung von der Resonatornatur der Retina unmittelbar auf und folgert nun weiter, daß es „fast unmöglich ist, anzunehmen, daß jeder empfindliche Punkt der Retina eine unendliche Zahl von Partikeln enthält, deren jeder imstande ist, in vollkommener Gleichheit mit jeder nur möglichen Welle mitzuschwingen“, so daß „die Annahme einer z. B. auf die drei hauptsächlichsten Farben Rot, Gelb und Blau beschränkten Anzahl notwendig“ werde.

²⁾ Die Benennung der 3 Farbsubstanzen erfolgte, wie in Erinnerung gebracht wird (v. STUDNITZ 1940d, 1941), nach den von ihnen maximal *absorbierten* Bereichen!

Deutungen in unveränderter Form zu übernehmen bzw. ohne weiteres auf die Farbstoffe zu übertragen. Während v. HELMHOLTZ eine — wenn auch jeweils unterschiedliche — Absorption jeder einzelnen Komponente in allen sichtbaren Spektralbezirken annahm (s. Fig. 1; für die „Endfarben“ Rot und Violett räumt er allerdings bereits die Zulässigkeit der Annahme ein, daß die betr.

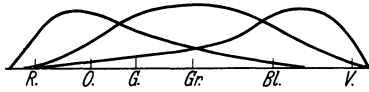


Fig. 1. Die spektralen Wirkungsbereiche der 3 Komponenten in v. HELMHOLTZ' Dreikomponentenlehre (nach v. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 1. Aufl., 1865).

Wellenlängen nur einen, nicht 2 oder gar 3 der „farbenempfindenden Nervenapparate“ erregen [2, S. 349]¹⁾, ist demgegenüber das Absorptionsspektrum jeder Farbstoffsubstanz ganz erheblich eingeschränkt (s. Fig. 2). Und weiterhin hat sich gezeigt, daß in ähnlicher Weise, wie es die Dreikomponentenlehre für die Gelbempfindung annahm, auch das Grün durch die gemeinsame Wirkung zweier Farbstoffe, der Gelb- und Blausubstanz, bewirkt wird.

Im Verlaufe der Ausarbeitung der hiermit vorgelegten neuen Fassung der Dreikomponentenlehre²⁾ auf nunmehr fester experimenteller Basis ergab sich weiterhin die Möglichkeit, mit sehr viel größerer Sicherheit als bisher in die retinalen wie zentralen Vorgänge Einblick zu gewinnen bzw.

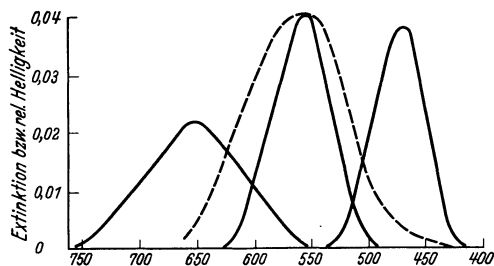


Fig. 2. Ausgezogene Kurven: Die Absorptionsspektren der 3 Farbstoffe der Ringelnatter (links die „Rot“, rechts die „Blau“, in der Mitte die „Gelb“; nach v. STUDNITZ 1940d und 1941). — Unterbrochene Kurve: Die Verteilung der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen beim (farbigen) „Tagesehen“ (nach GIBSON 1940), nach Umrechnung auf gleiche Gipfelhöhe mit der Gelbsubstanz.

zwischen beiden zu scheiden. Dabei habe ich die Vorstellungen, zu denen ich schließlich gelangte, in dieser oder jener Form, wenn auch wohl stets in jeweils anderer Verbindung, fast sämtlich bereits im älteren Schrifttum wiederfinden können.

¹⁾ Die Zahlen hinter „HELMHOLTZ“ bedeuten hier und weiterhin die Auflage der „Physiologischen Optik“.

²⁾ Die Bearbeitung der Anomalien des Farbensehens erfolgt gesondert.

Endlich wäre noch darauf hinzuweisen, daß die von v. HELMHOLTZ aufgestellten „Absorptionskurven“ seiner Komponenten so sehr aus dem Rahmen des bisher Bekannten herausfallen, daß bereits diese Tatsache allein eine Umarbeitung in einer schon rein theoretisch unseren Vorstellungen über die spektrale Absorption von Sehestoffen entsprechenden und damit der hier zwangsläufig eingeschlagenen Richtung rechtfertigen würde.

2. Farbstoffe und Farbsehen.

Wir machen die durch den Nachweis der Zapfensubstanz bzw. der komplexen Natur derselben sehr gesicherte Voraussetzung, daß der die farbigen Empfindungen einleitende retinale Primärprozeß in der gleichen Weise durch die photochemische Zersetzung eines Sehestoffes (der Farbstoffe) dargestellt wird, wie es für die Empfindung und Unterscheidung von Helligkeiten unzweifelhaft der Fall ist (vgl. v. STUDNITZ 1934, 1939, 1940a, b).

Damit würde die Farbempfindung den gleichen grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten unterliegen wie die der Helligkeit. Das läßt sich an mehreren Beispielen aus der Psychophysik des Farbensehens belegen: So wird die spezifische Farbenzeitschwelle (s. unten) durch Dunkeladaptation gesenkt, und zwar besonders deutlich für rote Lichter. Die Angaben, ob die Dunkeladaptation auch die Farbschwelle an sich senkt, was zu erwarten ist, lauten verschieden (vgl. v. TSCHEK 1929, S. 446). Auf entsprechenden Ursachen beruht auch die bekannte Abnahme der Sättigung länger einwirkender Lichter.

Dank den spezifischen Energien der zu den verschiedenen Zapfen gehörigen Ganglienzellen bewirkt die Zersetzung jeder Farbstoffsubstanz eine andere Grundempfindung; die Rotsubstanz (bzw. die zu ihren Zapfen gehörige Ganglienzellsorte) produziert die rötlichen, die Gelbsubstanz die gelblichen und die Blausubstanz die bläulichen Empfindungen.

Auf Grund des Bildes, das die spektrale Absorption der 3 Farbstoffe darbietet, läßt sich aussagen, daß die Qualität der Empfindung darüber hinaus im wesentlichen durch 2 Faktoren bestimmt wird: 1. durch die für die betr. Wellenlänge charakteristische Absorption- und damit Zersetzungsverhältnisse zweier Farbstoffe (Fig. 2) und 2. durch die Absorptions- und damit Zerfallsgröße einer einzelnen Farbstoffsubstanz.

Dies letztere bedeutet also, daß die *Quantität* der Erregung auf die *Qualität* der Empfindung Einfluß nimmt — im Gegensatz zum Helligkeitsehen, bei dem die (durch die Absorptions- und Zerfallshöhe bestimmte) Erregungsgröße lediglich die *Stärke* der Empfindung bestimmt! Wir haben diesen Unterschied als durch besondere Eigentümlichkeiten der die Farbempfindungen produzierenden Ganglienzellen bedingt anzusehen¹⁾.

¹⁾ In modifizierter Form und auf anderem Wege kommen wir hiermit zu einem ähnlichen Gedanken wie DE LA HIRE (1711), der die Farben von der Stärke abhängig ließ, mit der das Licht auf den Sehnerven treffe.

Am deutlichsten wird er durch eine Betrachtung der spektralen Absorption der Blausubstanz (Fig. 2): Der Wirkungsbereich der Gelbsubstanz endet bei etwa $490\text{ m}\mu$; alle noch kurzwelligeren Strahlen zersetzen — wenn auch in jeweils unterschiedlichem Maße — ausschließlich die Blausubstanz. Dennoch bewirken diese zwischen 490 und etwa $400\text{ m}\mu$ gelegenen Wellenlängen jeweils ganz verschiedene Empfindungen, von denen hier nur Blau, Indigo und Violett genannt seien.

Auf die Höhe der Absorption und damit auch die der Sehstoffzersetzung und Erregung nimmt nun nicht nur die Wellenlänge, sondern auch die *Intensität* des Reizlichtes Einfluß. Durch sie müßte es also ebensowohl möglich sein, die Qualität der Empfindung zu bestimmen bzw. zu verändern — in dem Sinne etwa, daß die durch eine gering absorbierte Wellenlänge produzierte Empfindung (z. B. Violett) lediglich durch Intensitätserhöhung in eine Empfindung umgewandelt wird, die an sich einem von der betreffenden Farbsubstanz stärker absorbierten Spektralbereich entspricht (z. B. Blau). Derartige Erscheinungen kennt man seit langem: Violett entfernt sich „desto mehr vom Blau, je lichtschwächer es ist“, das Blau wird „bei geringer Helligkeit mehr indigoblau, bei größerer himmelblau“ (v. HELMHOLTZ I, S. 234).

Ungleich wesentlichlicher als die Absorptions- bzw. Zerfallsgröße *einer* Farbsubstanz erscheint der andere der beiden für die Entstehung der zahlreichen Farbempfindungen verantwortlich gemachten Faktoren: das Absorptions- und damit Zersetzungsverhältnis *zweier* Farbsubstanzen. In Erscheinung zu treten vermag dieses Moment selbstverständlich nur für Wellenlängen, die im Absorptionsgebiet zweier Farbsubstanzen gelegen sind, Bezirke also, in denen sich die Absorptionspektren je zweier Sehstoffe überschneiden.

Mit Ausnahme des schmalen Bezirkes von 530 bis $555\text{ m}\mu$ ist das der ganze zwischen 490 und $630\text{ m}\mu$ gelegene Bereich, dessen für die Skala der Farbempfindungen hervorragende Stellung dann besonders deutlich wird, wenn wir uns die von KÖNIG und DIETERICI (1886; vgl. auch GULLSTRAND 1906, RAYLEIGH 1910, GOLDMANN 1922) nach dem Prinzip der Empfindungsänderung mit der Wellenlänge vorgenommene Einteilung des Spektrums vergegenwärtigen: An beiden Enden des Spektrums finden sie je eine Strecke („Endstrecke“) innerhalb deren nur Unterschiede der Helligkeit, nicht mehr aber solche des Farbentons zu finden sind (>655 und $<430\text{ m}\mu$). An diese schließen sich nach der Mitte des Spektrums zu die beiden sog. „Zwischenstrecken“ ($655-630$ und 430 bis $475\text{ m}\mu$), deren Farben noch durch Mischung der an ihren Enden gelegenen vollkommen wiedergegeben werden können. Dies ist nicht mehr möglich für die nun noch verbleibende und in ihrer Ausdehnung ($630-475\text{ m}\mu$) fast völlig mit dem Überschneidungsgebiet unserer Farbsubstanzen ($630-490\text{ m}\mu$) identische „Mittelstrecke“, inner-

halb derer sich der Farbton von einer Wellenlänge zur anderen relativ rasch ändert (v. HELMHOLTZ I, 2)¹⁾.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß die gesamte Skala der mit Gelbrot, Orange, Rotgelb, Goldgelb usw. bezeichneten Empfindungen auf dem wechselnden Absorptions- und damit Zersetzungsverhältnis zwischen Rot- und Gelbsubstanz beruht; die durch eine Ganglienzellsorte produzierte Grundempfindung tritt in der Gesamtempfindung um so mehr zurück (hervor), je geringer (stärker) die betr. Wellenlänge von dem die Erregung liefernden Sehstoff absorbiert wird. So empfinden wir die langwelligen Spektralbereiche als um so gelber, je weiter wir nach der Mitte des Spektrums und damit aus dem Absorptionsbereich der Rotsubstanz in das der Gelbsubstanz gelangen.

Unter den je zwei der Farbsubstanzen (Rot und Gelb oder Gelb und Blau) gleichzeitig zersetzenden Wellenlängen gibt es deren zwei, die etwas empfindungsmäßig Einheitliches schaffen, ohne daß der peripher noch getrennte Charakter der Erregung in der Empfindung erkennbar bliebe: Die um $575\text{ m}\mu$ gelegenen Bezirke bewirken die Empfindung Reingelb, die um 510 gelegenen die des Reingrün. Diese nähern sich in ihrem Farbton um so mehr einer der beiden ihnen benachbarten Urfarben (Gelb dem Rot bzw. Grün, Grün dem Gelb bzw. Blau), je stärker die Zersetzung der diese bedingenden Farbsubstanzen ist.

Dieses letztere wird nur dann verständlich, wenn wir hier die grundsätzlich neue und aus den Absorptionskurven der Farbsubstanzen unmittelbar ablesbare Voraussetzung machen, daß die alleinige Zersetzung der Gelbsubstanz bzw. die alleinige Erregung ihrer Ganglienzellen keine einheitlich, sondern eine gemischt wirkende Empfindung bedingt: Gelbgrün, das dem ausschließlich von der Gelbsubstanz absorbierten Bereiche zwischen 555 und $530\text{ m}\mu$ entspricht! Das Hinzutreten der Rotsbstanz bzw. die Erregung ihrer Ganglienzellen „unterdrückt“ die grüne, das der Blausubstanz die gelbe Komponente dieser Doppelempfindung, so daß wir über rein gelbe bzw. rein grüne Töne schließlich zu den rotgelben bzw. grünblauen und endlich zu den allein durch die Rot- und Blausubstanz produzierten reinroten und reinblauen gelangen. — Mit dieser Ableitung haben wir uns nun nicht nur der Lösung des alten Problems der Entstehung eines Quartetts von „Urfarben“ aus einem Terzett von Rezeptoren auf einem abermals anderen Wege genähert (vgl. v. HELMHOLTZ I, 2, DONDERS 1881, LADD-FRANKLIN 1893, SCHENCK 1907, NAGEL 1909, v. KRIS 1909, SCHJELDERUP 1920, OEHRWALL 1923), sondern sind, wie mich dünkt, mit ihr auch dem Verständnis des Auftretens von miteinander zu einer gemischten oder einfachen Empfindung vereinbaren Farben einerseits und dem von Gegenfarben andererseits erheblich nähergerückt: Rot schließt

¹⁾ Mit dieser Ungleichmäßigkeit der Farbtonänderung hängt dann wieder die unregelmäßige Verteilung der Komplementärfarben zusammen, die jener durchaus entspricht (vgl. v. HELMHOLTZ I).

Grün ebenso aus wie Blau Gelb, woraus sich eine Mischbarkeit lediglich von Gelb mit Rot und Grün und von Blau mit Grün und Rot und damit das Farbensviereck ergibt.

Unmittelbare Hinweise für das hier Abgeleitete erhalten wir aus Beobachtungen über die Ermüdung der Netzhaut mit bestimmten Farben. So sah v. HESS (vgl. v. KRIES 1909) ein grünes Licht von 517 m μ Wellenlänge nach Blauerermüdung (Erschöpfung der Blausubstanz; vgl. die gleichlaufende Deutung der retinalen Ermüdung bei v. HELMHOLTZ und v. KRIES' „Koeffizientensatz“) wie ein gelbgrünes von etwa 565 m μ , v. KRIES sah ein gelbes Licht nach Rotermüdung grüngelb, nach Grünermüdung orange (Überwiegen der Rotsubstanz über die schon durch das ermüdende Licht mehr oder weniger zersetzte Gelbsubstanz).

Die Tatsache, daß einzelne, zwei Farbsubstanzen zersetzende Wellenlängen eine „eigene“ Empfindung erzeugen können, ist von ganz hervorragender Bedeutung. Wir verdanken ihr den Vorteil der Farbeindrücke, die über die Zahl der durch totale oder partielle Zersetzung der einzelnen Farbsubstanzen entstehenden Empfindungen hinausgehen. Als zwangsläufige Folge und „Nachteil“ würde dem die alte und als Allgemeinproblem der Sinnesphysiologie viel erörterte Erfahrung gegenüberstehen, daß der visuelle Apparat, im Gegensatz etwa zum akustischen, nicht in der Lage ist, aus der Empfindung heraus zu entscheiden, ob diese durch einen einzelnen Reiz (eine Wellenlänge) oder durch gleichzeitige Einwirkung zweier verschiedener Zustände kam. Andererseits liefert aber gerade dieses Moment einen wesentlichen Hinweis auf die Arbeit des zentralen, die Farbenempfindungen bewirkenden Apparates.

Rein theoretisch ist es ja keineswegs selbstverständlich, daß die Zersetzung einer Farbsubstanz, mithin die Reizung einer Zapfensorte, Empfindungen (mit)bewirkt, die über das hinausgehen, was durch die (mehr oder minder starke) Erregung allein der ihr zugehörigen Ganglienzellsorte entsteht, gleichzeitige Reizung beispielsweise der „Rot-“ und „Gelbzapfen“ also nicht lediglich ein räumliches Nebeneinander roter und gelbgrüner Farbtöne statt der gelben und rotgelben Empfindungen schafft. Daß dies dennoch der Fall ist, deutet auf eine Interaktion („additive Verknüpfung“ nach v. HELMHOLTZ 2, S. 375, vgl. auch PREYER 1881, v. TSCHERMAK 1929 u. a.) der zu den einzelnen Zapfensorten gehörigen und die 3 Hauptempfindungen bewirkenden 3 verschiedenen Ganglienzelltypen, die ihrerseits wieder sofort die Frage aufwirft, unter welchen Bedingungen derartige zu Mischempfindungen führende Interaktionen und unter welchen eine alleinige, lediglich den Tönen seiner Grundempfindung entsprechende Arbeit eines einzigen Ganglienzelltyps gewährleistet sind.

Das Faktum der „Feldschwelle“, d. h. der Notwendigkeit, zur Erzeugung einer farbigen Empfindung Retinaareale einer bestimmten Minimalgröße zu reizen, bei deren Unterschreitung wohl

noch eine farblose Helligkeits-, nicht aber mehr eine Farbenempfindung resultiert, gibt den sehr deutlichen Hinweis, daß letztere überhaupt nur durch Reizung mehrerer bzw. einer gewissen Minimalzahl relativ eng benachbarter Zapfenindividuen eines bestimmten Areals erzeugt werden kann¹⁾. Innerhalb dieses gewissermaßen eine Funktionseinheit darstellenden Feldes treten nun die Zapfen — besser: deren Ganglienzellen — eines Typs bei Zersetzung allein der ihnen eigenen Farbsubstanz untereinander, bei auch andere Farbsubstanzen angreifenden Reizlichtern dagegen außerdem automatisch mit denen der mitgereizten anderen Sorte (Farbsubstanz) in Aktion. Während im ersteren Falle die Abstufungen der jeweiligen Grundempfindungen entstehen (Rot, Gelbgrün, Blau, Indigo, Violett), resultieren im zweiten die Mischempfindungen Gelb und Rotgelb (Rot- und Gelbsubstanz), Grün und Blaugrün (Gelb- und Blausubstanz) und endlich Purpur (Rot- und Blausubstanz), welche letzterer mangels einer fehlenden Überschneidung der Absorptionskurven von Rot- und Blausubstanz lediglich durch Wellenlängenmischung erzeugt werden kann, durch diese aber, verbunden mit jenen soeben besprochenen Eigentümlichkeiten des optischen Apparates, die Aufstellung und Schließung des „Farbenkreises“ ermöglicht.

Daß jene Interaktion zwischen den einzelnen Elementen nicht peripher-retinaler, sondern zentraler Natur ist, beweist die Erscheinung der binokularen Farbenmischung, die Möglichkeit also, farbige Mischempfindungen auch dadurch zu erzeugen, daß die eine in der Gesamtempfindung vertretene Wellenlänge auf das eine, die zweite auf die entsprechende Retinastelle des anderen Auges (und damit das gleiche zentrale Projektionsfeld) einwirkt.

Die Entstehung gewisser urfarbiger (s. unten) Empfindungen kann auch durch Komposition zweier Wellenlängen erfolgen, die jede für sich lediglich eine partielle Zersetzung der Farbsubstanz, kombiniert jedoch ohne Zweifel deren totalen Zerfall bewirken; so läßt sich Blau aus Violett und Grün herstellen. Daß auch in diesem Falle keine Entscheidung darüber möglich ist, ob es sich um eine durch eine einzelne Wellenlänge oder durch die Mischung zweier produzierte Empfindung handelt, dürfte ohne weiteres einleuchten. Die Tatsache, daß derartige durch Mischungen hergestellte Farben stets ungesättigter sind als die „einfachen“, beruht auf dem dann stets hinzutretenden, die Helligkeit und damit die Weißlichkeit vor-

¹⁾ Es würde dies eine weitere Verminderung der *Sehschärfe* in monochromatischem Licht bedeuten, die allein schon durch die Verteilung der einzelnen Farbsubstanzen auf verschiedene Zapfen eine Reduktion gegenüber der in gleichstarken Weißhelligkeiten gemessenen erfahren muß [vgl. hier die von KÖNIG in verschiedenen (Rot, Violett, Gelb, Gelbgrün) monochromatischen Bereichen gefundenen *maximalen* Sehschärfen (53'2"—66'9") mit denen, die unter optimalen Bedingungen beim Weißsehen erreicht werden (23,3 bis 64"; v. STUDNITZ 1940a, S. 293)! S. auch v. BRÜCKE 1879, BRÜNN 1904].

wiegend bestimmenden Anteil der Gelbsubstanz (siehe nächsten Abschnitt).

Was die Abgrenzung des in bezug auf Farbenempfindungen als Funktionseinheit wirkenden retinalen Areals anbelangt, so ist diese sowohl durch rein physiologische als auch durch mehr topographisch-anatomische Faktoren bestimmt. Einen sehr deutlichen Hinweis auf das erstere gibt die Abhängigkeit der Feldschwelle von der Intensität des Reizlichtes¹⁾, also der Stärke der Erregung; die Beteiligung des zweiten Faktors erhellt aus der Erscheinung der sog. „*Peripheriewerte*“: Gewisse periphere Retinapartien vermitteln keine Farbenunterscheidung mehr, sondern nur noch Helligkeitsempfindungen, und das unbeschadet des Auftretens von — hier allerdings gegenüber dem Stäbchenapparat stark zurücktretenden — Zapfen, deren Vorhandensein sowohl histologisch als auch physiologisch durch Messung der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen dargetan werden kann. Die Kurve dieser die Helligkeitsverteilung im farblos, weil genügend exzentrisch gesehenen lichtstarken Spektrum beschreibenden Peripheriewerte hat das gleiche Maximum und die gleiche Gestalt wie diejenige der Tageswerte, die also der relativen Helligkeit der Wellenlängen innerhalb des farbig gesehenen Spektrums Ausdruck verleiht (v. TSCHERMAK 1900, SCHENCK 1907, v. KRIES 1909, ZAHN 1912). In aller Klarheit erweisen diese Ermittlungen nicht nur das Auftreten von Zapfen, sondern auch deren normale Funktion; der Ausfall der Farbwahrnehmung in diesen Retinapartien kann danach nur auf ihre gegenüber den zentraleren Netzhautstellen sehr viel lockerere Stellung zurückgeführt werden, die eine Interaktion zwischen den

einzelnen Elementen bzw. ihren Ganglienzellen verbietet. Daß damit grundsätzlich das gleiche Phänomen — Unterschreitung der zur Farbenwahrnehmung notwendigen Zahl gereizter Zapfen — vorliegt wie bei Reizung zu wenig ausgedehnter zentraler Retinapartien, zeigt die Übereinstimmung, die die Kurve der Peripheriewerte nicht nur mit der der Tageswerte, sondern auch mit der der „Minimalfeldhelligkeiten“¹⁾ aufweist, die sich damit ebenfalls als durch den Zapfenapparat bewirkt dokumentiert.

Auf weitere Beispiele, die den entscheidenden Einfluß derartiger ganglionärer Interaktionen auf das Auftreten einer Farbwahrnehmung überhaupt erhellen, kann hier nur hingewiesen werden. So berichtet A. FICK (1879), daß an mehreren, getrennt nebeneinander gesehenen kleinen Objekten, die einzeln farblos erscheinen, der Farbton erkannt wird und daß „die Farben . . . um so weiter seitwärts noch vollständig oder teilweise erkannt“ werden, „je größer das Netzhautbild des farbigen Objektes ist“ (vgl. auch v. HELMHOLTZ 1). Auch die Änderung des Farbentons an der Peripherie mit der Verkleinerung der Reizfläche spricht durchaus in unserem Sinne.

Im vorhergehenden war bereits von den sog. „Urfarben“ die Rede. Es wären dies die Empfindungen Urrot, (Urgelb), Urgrün und Urblau.

Ohne hier in eine Erörterung des alten Problems von dem Zusammenhang zwischen Urfarben und Grundempfindungen, deren Objektivität oder Subjektivität eintreten zu wollen oder zu müssen, erscheint dennoch die Frage erforderlich, ob eine derartige hervorragende Stellung gewisser Wellenlängen auch aus unseren Kurven ablesbar ist und deren Identifizierung mit den die Urfarben der Autoren produzierenden berechtigt erscheint.

Bezüglich der das „Urrot“ und „Urblau“ bewirkenden Bereiche liegt es nahe, diese mit denen

¹⁾ Ganz entsprechend dürfte damit auch der Anstieg der Sehschärfe mit steigender Helligkeit seine Erklärung finden, und zwar auch für *farblose* Lichter (vgl. v. STUDNITZ 1940a, 295/296).

¹⁾ Minimalfeldhelligkeiten sind Helligkeiten mit zentralen Retinapartien, jedoch (ihrer zu geringen Ausdehnung wegen) farblos gesehener Lichter.

Tabelle 1. Vergleiche zwischen den Wellenlängen der „Urfarben“ und den Maxima bzw. Schnittpunkten der Farbsubstanzkurven.

Autor	Absorptionsmaxima der			Schnittpunkt der Absorptionskurven von Gelb- und Blausubstanz (in m μ)
	Rot-	Gelb- substanz (in m μ)	Blau-	
v. STUDNITZ (1940d)	655	555	468	515
		Wellenlänge der Urfarben		
	Rot	(Gelb)	Blau	Grün
MAXWELL (1860)	630	(530)	457	516
MÜLLER 1869, v. KRIES 1878, BRÜCKE 1878				506
PREYER 1881	683,2	(576,4)	461,1	512,4
v. HELMHOLTZ 1892		550—560		
KÖNIG und DIETERICI 1893			470	505
VOESTE 1898		560	465	496
ABNEY 1900, 1912	672		454	514
ABNEY 1906			456	512
EXNER 1902			475	508
v. KRIES 1909	660	(574,5)	471	495
v. TSCHERMAK 1938		(573)	469	502

in Vergleich zu setzen, die eine maximale Zersetzung der Rot- bzw. Blausubstanz bedingen; dem „Urgrün“ wäre die Wellenlänge zugrunde zu legen, die von Gelb- und Blausubstanz gleich stark absorbiert wird, bei der sich die Absorptionskurven dieser beiden Farbsubstanzen also schneiden (vgl. Fig. 2 und Tabelle 1; bezüglich des Maximums der Gelbsubstanz vgl. auch nächsten Abschnitt).

Dem Gelb wurde bekanntlich oftmals (z. B. v. HELMHOLTZ 1, 2; DONDERS 1881; SCHENCK 1907; NAGEL 1909; v. KRIES 1909; SCHJELDERUP 1920; OEHRWALL 1923) kein eigener „Rezeptor“, keine spezielle Farbsubstanz zugebilligt; man ließ es vielmehr durch gleichzeitige Reizung der Rot- und einer „Grün“-komponente entstehen. Als Begründung wurde dabei im wesentlichen auf die Möglichkeit der Herstellung von Gelb durch Mischung der Urfarben Rot und Grün hingewiesen, obwohl bekannt ist, daß sich Spektral-

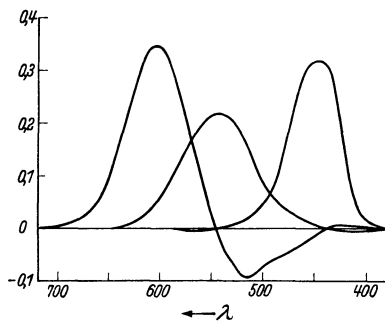


Fig. 3. Die Kurven der 3 „Grundempfindungen“ (nach GUILD-WRIGHT aus RICHTER 1940). Diese 3 Grundempfindungskurven stellen die heute seitens der Intern. Bel. Kom. als Standardkurven angenommenen dar. Sie wurden zum besseren Vergleich mit denen der Fig. 2 hier im Spiegelbild des Originals wiedergegeben.

gelb aus Spektralrot und Spektralgrün ebensowenig herstellen läßt (vgl. z. B. v. TSCHERMAK 1929) wie letzteres aus Spektralblau und Spektralgelb; in jedem Falle bedarf es zu einer der Mischfarben eines Zusatzes der zu produzierenden Farbe. Es ist dies einer der Gründe, die v. HELMHOLTZ (1892) veranlaßten, den Hauptwirkungsbereich der mittleren Komponente soweit in das Langwellige zu rücken, daß er sich nunmehr als mit dem Absorptionsmaximum unserer Gelbsubstanz zusammenfallend erweist. *Mit dieser Anfügung gelblicher Empfindungstöne an seine Grünkomponente hat nun aber v. HELMHOLTZ grundsätzlich das gleiche getan wie wir, als wir Veranlassung nahmen, den durch gewisse Zersetzungsgrade allein der Gelbsubstanz bewirkten Empfindungen bereits grüne Töne zuzusprechen!*

Der Charakter der Urfarbigkeit scheint nach der weitgehenden, aus Tabelle 1 hervorgehenden Übereinstimmung zwischen den die Urfarbe produzierenden und den die Maxima bzw. Schnittpunkte der Absorptionskurven bildenden Wellenlängen in der Tat durch die maximale Zersetzung einer Farbsubstanz (Rot und Blau) bzw. den gleich (Grün) oder auch verschieden starken (Gelb) gleichzeitigen Zerfall zweier Sehstoffe und im ersteren Falle weiter durch die nicht minder wich-

tige und auffallende Tatsache bestimmt zu sein, daß jene die maximale Zersetzung einer Farbsubstanz bewirkenden Wellenlängen stets außerhalb des Absorptionsbereiches jedes der beiden anderen Sehstoffe gelegen sind. Aus diesen Momenten heraus sind auch die wesentlichsten der den Urfarben zukommenden Eigenschaften ableitbar:

1. Die „Einfachheit“ der Urfarben Rot und Blau ergibt sich aus der Tatsache, daß die ihnen zugrunde liegenden Wellenlängen nur jeweils eine Farbsubstanz zersetzen und deren Ganglienzellen insbesondere bei maximaler Erregung jeweils eine „Grundempfindung“ zugeordnet ist (betr. der Sonderstellung des Gelb und Grün s. oben).

2. Die Unabhängigkeit der Urfarbe von der Intensität, mit deren Steigerung lediglich eine Annäherung an Weiß (s. nächsten Abschnitt), nicht aber eine Änderung des Farbentons verbunden ist, ergibt sich zwangsläufig aus der Abhängigkeit der Empfindung von der Zerfallsgröße, die bei maximale Zersetzung bewirkenden Wellenlängen eben auch durch Intensitätssteigerung keine Änderung mehr erfährt. — Der Intensitätsunabhängigkeit des Urgrün kann die gleiche Deutung zugrunde gelegt werden, wie sie der der anderen Urfarben seitens der älteren Autoren auf der Basis der „Grundempfindungskurven“ gegeben wurde, deren Urfarben durchweg in die Schnittpunkte der einzelnen Kurven verlegt wurden (vgl. Fig. 3): die Urfarbe entsteht durch gleichstarke Zersetzung zweier Farbsubstanzen, die durch eine Veränderung der Intensität beide in gleicher Weise betroffen werden. — Die Deutung der Intensitätsunabhängigkeit des HELMHOLTZschen Urgrün wäre die gleiche wie die, die wir der des Urrot und Urblau gaben.

3. Die Unabhängigkeit des Urfarbentons von der Netzhautstelle ist ohne Zweifel darin begründet, daß die ihn bewirkende maximale Zersetzung die Interaktion möglichst weniger und typenmäßig gleicher Ganglienzellen gestattet.

4. Wenn längere Einwirkung eines eine Urempfindung bewirkenden Bereichs ebensowenig einen Wechsel der eine derartige Empfindung erzeugenden Wellenlänge bedingt wie einen solchen des Bezirks, der die Urempfindung der Gegenfarbe (deren Farbsubstanz gar nicht einmal mit angegriffen wird!) produziert, so erscheint uns das nur selbstverständlich: Wieso sollten unter diesen Bedingungen andere Wellenlängen in der Lage sein, das Zersetzungsmaß einer Farbsubstanz noch zu steigern oder ein gleiches Zersetzungsverhältnis zweier Sehstoffe aufrecht zu erhalten? Und ebenso einleuchtend erscheint es, daß eine derartige „Verstimmung“ die „Kardinalpunkte“ der anderen Farben, und zwar in Richtung des ermüdenden Bereichs, verlagert: Längere Einwirkung einer Wellenlänge vermindert die Konzentration der von ihr betroffenen Farbsubstanz und senkt damit nicht nur das Maximum der spektralen Absorption, sondern verengt auch gleichzeitig ihren Gesamtwirkungsbereich. Dadurch wird es erforderlich, zur Aufrechterhaltung eines durch eine bestimmte partielle Zersetzung der betreffenden Farbsubstanz erzielten Effektes andere Wellenlängen zu nehmen, und zwar solche, die dem Maximum näher liegen. So bewirkt Blau- (Gelb-) Verstimmung eine Verlagerung der das Urgrün bewirkenden Wellenlänge nach dem kurz- (lang-) welligen Ende des Spektrums, und daß Entsprechendes auch für Rot und Gelb gilt, ist wieder nur

so verständlich, daß das eigentliche „Urgelb“ eben nicht durch maximale Zersetzung der Gelbsubstanz, sondern durch eine submaximale mit einem bestimmten Zerfallsanteil der Rotsbstanz bewirkt wird.

5. Die Tatsache, daß (bei Rot und Blau) eben jenseits der die Urfarben bewirkenden Wellenlängen der Wirkungsbereich der benachbarten Farbsubstanz beginnt, ist zum Verständnis dessen, daß die Urfarben Maxima der Sättigungsdifferenz und Farbtonunterschiedsempfindlichkeit darstellen, sicherlich ebenso bedeutungsvoll wie die, daß Urgelb und Urgrün nur durch bestimmte Mischungsverhältnisse zweier Farbsubstanzen dargestellt werden können. Ein geringer Wechsel der Wellenlänge bewirkt das Auftreten bzw. Überwiegen der durch jene andere Farbsubstanz bewirkten Empfindungen, das zu Anfang offenbar merkbarer ist als in seiner späteren Steigerung.

Es erhellt, wie ich glaube, ohne weiteres, daß alle diese aus den Absorptionskurven unserer Farbsubstanzen ganz zwanglos abgeleiteten hauptsächlich Charakteristika der farbigen Empfindungen nach der ursprünglichen Fassung von HELMHOLTZ' treffender Grundidee der Dreigliederung des Rezeptorenapparates, wenn überhaupt, nur sehr viel mühsamer und auf dem Umweg über zahlreiche Hypothesen hätten gedeutet werden können.

3. Farbe und Helligkeit.

Der relativen Helligkeit der einzelnen Wellenlängen unter den Bedingungen des Zapfensehens gibt eine Kurve („Tageswerte“) Ausdruck, die in Verbindung mit den Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen weitgehende Aufschlüsse über die Bedingtheit dieses Attributs der farbigen Empfindungen gestattet (Fig. 2).

Unzweifelhaft ist zunächst, daß der Faktor Helligkeit im wesentlichen durch die Gelbsubstanz bestimmt wird: Die von dieser maximal absorbierte Wellenlänge (555 m μ) ist unter den Bedingungen des Tagessehens die hellste Stelle im energieglichen Spektrum: nach dessen beiden Enden erfolgt ein fast gleichmäßiger Abfall der relativen Helligkeit, der dem der relativen Absorption der Gelbsubstanz (trotz der Mitbeeinflussung von Rot- und Blausubstanz, die offenbar lediglich die erheblichere „Breite“ der Tageskurve bestimmen), zunächst nahezu parallel verläuft, sich außerhalb des Wirkungsbereiches der Gelbsubstanz (jenseits 490 bzw. 630 m μ) jedoch ständig vermindert.

Dieser Endabfall der Helligkeit an sich erfolgt nun sowohl im Rot als auch im Blau trotz einer zunächst noch (von 630—655 bzw. 490—468 m μ) bemerkbaren Absorptionszunahme seitens der beiden hier in Frage kommenden Sehstoffe¹⁾ und weist auch in seinem weiteren Verlauf keinerlei

¹⁾ Vernachlässigt man die Absorptionsanstiege der Rot- und Blausubstanz und zieht von den unterhalb des Gipfels der Gelbsubstanz gemessenen Werten zu den an den Enden des Spektrums beobachteten durch, so ergibt sich zumindest für die Schildkröte eine Kurve, die mit der der Tageswerte unmittelbar zusammenfällt (v. STUDNITZ 1939, 1940 a, c)!

Parallelität zu der Absorptionsabnahme der beiden endständigen Farbsubstanzen auf.

Wenn die bevorzugte Bindung der Farbhelligkeit gerade an die Gelbsubstanz zwar ihren bisher vielfach vermuteten Charakter als einer Resultierenden zwischen 3 auch bezüglich der Helligkeit „gleichberechtigten“ Grundempfindungskurven¹⁾ (vgl. z. B. EXNER 1902) zunichte macht, so wäre sie allein dennoch als ausschließlich durch zentrale Phänomene bedingt erklärbar: Man könnte sich beispielsweise vorstellen, daß jedem Zapfen zentral 2 Sorten von Ganglienzellen entsprechen, von denen die eine die Farb-, die zweite die Helligkeitsempfindung bedingt, und daß die Schwelle der letzteren bei den die Gelbsubstanz bergenden Zapfen besonders tief, bei den die Rot- und Blausubstanz enthaltenden dagegen erheblich höher gelegen ist (vgl. z. B. v. KRIES 1909 und seine „Zonentheorie“).

Die innerhalb der alleinigen Wirkungsbereiche von Rot- oder Blausubstanz zwischen Helligkeitsabfall und Absorptionszunahme bestehende Diskrepanz macht jedoch außerdem bereits eine retinale Trennung von Farbe und Helligkeit erforderlich. Ich habe deshalb (1940d) von einer F- und einer H-Erregung der einzelnen Opticusfaser gesprochen (vgl. auch EDRIDGE-GREEN 1910, 1911, 1923), von denen die erstere den Fasern aller Farbsubstanzen gleichmäßig, letztere dagegen vorwiegend der Gelbsubstanz zuzusprechen ist; jene Diskrepanz deutet ferner auf bestimmte gegenseitige Beeinflussungen dieser beiden Erregungstypen hin, die für sehr viele Erscheinungen des Farbensinns von entscheidendem Einfluß sein dürften und die sich auf psychophysischem Wege schon allein aus den zwischen Farbton und Helligkeit bestehenden Zusammenhängen ergibt, die keineswegs eine einfache konstante Funktionsbeziehung darstellen (vgl. z. B. v. TSCHERMAK 1929).

Das Vorhandensein eigener, die farblosen (Helligkeits-) Empfindungen bedingender Ganglienzellen²⁾ (vgl. auch BERNSTEIN 1914, OEHRWALL 1923) geht meines Erachtens unmittelbar daraus hervor, daß die optischen Zentren quantitativ abgestufte Erregungen das eine Mal (Helligkeit) lediglich mit quantitativ, das andere Mal (Farbe) dagegen mit qualitativ verschie-

¹⁾ Schon KÖNIG ließ den Faktor Helligkeit nicht gleichmäßig durch alle 3 Komponenten, sondern, im Gegensatz speziell zur Blauvalenz, vorwiegend durch ihre Rotvalenz bedingt sein.

²⁾ Vgl. hier auch v. HELMHOLTZ (2, S. 439/40), der den Eindruck hat, „daß es sich bei heterochromen Helligkeitsvergleichen nicht um Vergleichen einer Größe, sondern um das Zusammenwirken von zweien, Helligkeit und Farbglut, handelt“. Man denke hier auch an das Erlöschen des Farbenflimmerns vor dem der Helligkeit (v. LIEBERMANN 1911, s. auch PORTER 1902), eine Erscheinung, die nur schwer verständlich wäre, wenn wir — bei gleicher photochemischer Basis beider Erscheinungen — auch eine gleiche ganglionäre Grundlage von Helligkeit und Farbe annehmen wollten.

denen Empfindungen beantworten, also Leistungen vollbringen, die einer einzelnen Ganglienzelle schlechterdings kaum zugesprochen werden können!

Sehr deutlich im Sinne des Auftretens verschiedener Erregungstypen spricht z. B. die Möglichkeit, Farbenblindheit unter Erhaltung des normalen Helligkeitssinnes auch durch eine Affektion der mehr peripheren Teile der Sehbahn zu erwerben (KÖLLNER 1924). Die F-Erregung ist offenbar stärker an die völlige Intaktheit des leitenden Substrates gebunden als die H-Erregung.

Daß durch jene — zunächst mehr oder weniger teilweisen — Alterationen der Sehbahn nicht gleich eine totale, sondern auch eine partielle Farbenblindheit — und zwar sowohl Rotgrün- als auch Gelbblaublindheit und beide wieder unter Erhaltung der normalen Helligkeitsverteilung — resultieren kann (KÖLLNER 1924), beweist die verschiedene Empfindlichkeit der einzelnen F-Erregungen für Störungen ihres Substrates und damit eine *Verschiedenheit der F-Erregungen in sich* (vgl. v. KRIES 1929, S. 590). — *Bemerkenswert*

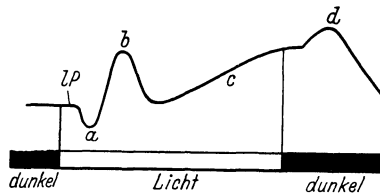


Fig. 4. Schema des Elektoretinogramms der Wirbeltiere (aus v. STUDNITZ 1940a).

ist auch hierbei das gleichzeitige Erlöschen der zu gegenfarbigen Empfindungen führenden F-Erregungen. Dieses deutet auf eine irgendwie geartete Verwandtschaft bestimmter F-Erregungen, die möglicherweise den Schlüssel zu der Möglichkeit gegenseitiger Aufhebung (s. nächsten Abschnitt) und weiterhin auch den zum Verständnis der empfindungsmäßigen Unterdrückung der grünen Komponente des Gelbgrün durch das Hinzutreten von Rot, der gelben durch das des Blau liefert.

Auf das klarste wird durch die Konstanz der relativen Helligkeitsverteilung in den oben genannten Fällen der retinale (vielleicht bereits in den Rezeptor selbst zu verlegende) Ursprung der die endgültige Erregung bzw. Erregungsform bestimmenden Interaktion zwischen H und F erwiesen: Läge er zentral, so müßte auch H durch einen Ausfall des ihm zugehörigen F merkbar beeinflußt werden.

Wir sind uns bewußt, daß diese — wie mir scheinen will: zwingenden — Ableitungen zu Schlußfolgerungen führen, die in mehrfacher Hinsicht einen gewissen Einbruch in die landläufigen Vorstellungen und Lehren der Nervenphysiologie bedeuten. Zunächst einmal nehmen sie dem JOH. MÜLLERSchen Gesetze von den spezifischen Sinnesenergien (für v. HELMHOLTZ eines der Fundamente seiner Dreikomponentenlehre und der Sinnesphysiologie überhaupt) dadurch seine Ausschließlichkeit, daß von qualitativ verschiedenen Erregungen innerhalb eines Nerven oder gar seiner Einzelfasern die Rede ist.

Gerade dieses entspricht zwar der Meinung HERINGS (s. 1921), zu der er auf Grund seiner Annahme aller Sorten von Sehsubstanzen innerhalb jedes Rezeptors (notwendigerweise; vgl. aber

auch BERNSTEIN 1914) gelangen mußte¹⁾, ferner insbesondere den Schlußfolgerungen, die WEISS (1928) aus den zu seiner Resonanztheorie führenden Versuchen unbestrittenermaßen zu ziehen gezwungen war, widerspricht jedoch der auf den Erfahrungen hauptsächlich der Elektrophysiologie aufgebauten Schulmeinung, nach der ein Nerv oder gar seine einzelne Faser qualitativ verschiedene Erregungen nicht aufweise²⁾.

Für den hier vorliegenden Fall scheint mir nun eben gerade die Elektrophysiologie die unmittelbarste Stütze für den sich aus unserer Ableitung ergebenden Schluß von qualitativ verschiedenen Erregungen innerhalb (zumindest) des Opticus bzw. seinen einzelnen Fasern zu liefern!

Das Erscheinungsbild des Elektoretinogramms (ERG.) der Wirbeltiere hat es seit jeher (vgl. schon: KÜHNE und STEINER 1881) unzweifelhaft gemacht, daß es den Ausdruck nicht eines einzelnen Vorgangs, sondern gewissermaßen die Resultierende mehrerer retinaler Prozesse darstellt. Nach der heute (vgl. GRANIT 1936, 1938) angenommenen, auf PIPER (1911) zurückgehenden Aufgliederung des ERG. in seine Teilpotentiale entsprechen die bei Belichtung auftretende „positive Eintrittsschwankung“ „b“, die „sekundäre Erhebung“ „c“ und der „negative Vorschlag“ „a“ (s. Fig. 4) verschiedenen, voneinander unabhängigen Vorgängen. Der bei Verdunklung bemerkbare „Aus-Effekt“ „d“ ist dagegen ohne Zweifel die (positive) Verdunklungsreaktion des auf Belichtung mittels des (negativen) „a“ sich äußernden Prozesses (Zusammenfassendes hierüber bei: v. STUDNITZ 1940a).

Während nun die positive Eintrittsschwankung „b“, ungeachtet der Voradaptation oder Zusammensetzung des Sehzellenmosaiks, bei Belichtung stets, und zwar derart in Erscheinung tritt, daß aus ihrer Höhe und Gestalt die relativen Reizwerte (Helligkeitswerte) der einzelnen Wellenlängen sowohl für das Stäbchen-Dämmerungs- als auch das Zapfen-Tagessehen abgelesen werden können, ist das Auftreten des negativen Vorschlags (und damit das des Aus-Effektes) weitgehend an das Vorhandensein von Zapfen bzw.

¹⁾ Entsprechendes würde für die von G. E. MÜLLER (1896, 1925), SCHENCK (1907) und SCHJELDERUP (1920) und evtl. auch KÖNIG (1893) und LADD-FRANKLIN (1893) aufgestellten Theorien gelten. — Daß G. E. MÜLLER bezüglich der retinalen Grundlage des Helligkeitssinnes so zutreffende (vgl. v. STUDNITZ 1940a), bezüglich der des Farbensehens dagegen so stark abwegige Vorstellungen entwickelte, ist darin begründet, daß man seinen „Schwarzprozeß“ beim Schwarzweißsehen, im Gegensatz zu den anderen „assimilatorischen“ Vorgängen innerhalb des Sehapparates, lediglich aus einem eine Verminderung stets der gleichen Empfindungsqualität bedingenden Erregungsausfall hervorgehen lassen kann.

²⁾ Vgl. hier jedoch KOHLRAUSCH (1929), der ebenfalls, und zwar auf elektrophysiologischer Basis, verschiedene Erregungsformen innerhalb des Opticus annimmt, die er mit einem Frequenzwechsel näher definiert!

das einer Helladaptation gebunden (Zusammenfassendes: v. STUDNITZ 1940a, c). Diese Verschiedenheiten erschließen uns also abermals eine Dualität innerhalb des Zapfenapparates und lassen uns diese *erstmalig* (vgl. noch: v. STUDNITZ 1940 a, c, S. 152!) eben *auf Grund unserer Vorstellungen über das Vorhandensein zweier grundsätzlich voneinander verschiedener Erregungstypen in Retina und Zapfen überhaupt erst verstehen*: „b“ ist ein Ausdruck der (den Stäbchen wie Zapfen gleicherweise eigenen) H-Erregung, „a“ und „d“ *veranschaulichen die ausschließlich den Sehzellen des Tagessehens zukommende F-Erregung*¹⁾!

Der unterschiedliche Anteil, den die einzelnen Zapfentypen bzw. ihre Farbsubstanzen an der Bildung der H-Erregung besitzen, wird gleichfalls auf elektrophysiologischem Wege deutlich, und zwar durch die Ergebnisse HARTLINES (1938) und GRANITS und SVAETICHINS (1939), die auf Grund jener soeben erworbenen Erkenntnis über den zwischen b und H und a/d und F bestehenden Zusammenhang ebenfalls erstmalig überhaupt erst verstanden werden können: Bei Ableitung des Belichtungspotentials einzelner Elemente der — gemischten — Froschetina ergeben sich unter diesen 3 verschiedene Typen. Am häufigsten sind Elemente, die wohl bei Verdunklung einen Aus-Effekt, nicht jedoch bei Belichtung²⁾ eine b-Welle aufweisen; wir könnten sie den die Blau- bzw. Rotsubstanz enthaltenden 2 Zapfentypen, die an der Bildung der H-Erregung zumindest den geringsten Anteil haben, gleichsetzen³⁾. Verständlicherweise weniger häufig finden sich Elemente, die sowohl bei Belichtung die positive Eintrittschwankung als auch bei Verdunklung den Aus-Effekt zeigen; sie dürften vorwiegend den die

¹⁾ Eine merkwürdige Diskrepanz liegt zunächst noch darin, daß, wie gezeigt wurde, die F-Erregung für Störungen am Leitsubstrat offenbar empfindlicher ist als die H-Erregung, andererseits aber gerade „b“ durch mechanische (KÜHNE und STEINER 1881, GRANIT und RIDDELL 1934), thermische (NIKIFOROWSKY (1911) und chemische (GRANIT 1938, HIMMELMANN und ROSEMANN 1938, HIMMELMANN 1940) an Retina und Bulbus gesetzte Insulte viel leichter unterdrückt bzw. „geschädigt“ werden kann als „a“ und „d“. Hier dürfte der Ort der Schädigung eine Rolle spielen. — Sehr auffällig ist in diesem Zusammenhang ferner folgende Parallele: Eine Negativität im ERG. bedeutet eine Senkung, eine Positivität eine Steigerung der Impulsfrequenz im Opticus (GRANIT 1936, 1938). Gerade in einem Frequenzwechsel aber sieht KOHLRAUSCH (1929) das Wesentliche der zur Farbempfindung führenden Impulse.

²⁾ Daß sich F nicht bereits bei Belichtung durch einen negativen Vorschlag äußert, mag an der außerordentlich geringen Ausbildung gerade dieser Potentialstufe liegen.

³⁾ Daß das Maximum von „d“ selbst innerhalb einer Faser schwanken kann (z. B. 530, 560, 580 m μ), dürfte ebenso auf Einflüsse von Adaptation und gegenseitiger Interaktion zurückzuführen sein wie die schwankende Lage des „b“-Maximums (zwischen 530—580 m μ) an sich.

Gelbsubstanz bergenden Zapfen entsprechen. Und am wenigsten sind Fasern anzutreffen, die nur auf die Belichtung (mit „b“), nicht aber auf die Verdunklung reagieren: wir können für sie die (unter den gewählten Adaptationsbedingungen wenig mehr in Tätigkeit befindlichen) Stäbchen in Anspruch nehmen. — Das Endglied dieser Kette von Folgerungen scheint mir der von GRANIT und SVAETICHIN aus ihren, die spektrale Empfindlichkeit der einzelnen Elemente darstellenden Kurven gezogene Schluß zu bilden, daß diese nicht wohl anders als durch die Annahme von mindestens 3 verschiedenen Zapfentypen erklärbar seien, deren jeweilige Empfindlichkeitsmaxima zwischen 450—480 bzw. 500—530 bzw. 580—600 m μ gelegen sein müßten!

Fragen wir uns nun noch nach den Empfindungen, die die — vermutlich ursprünglicheren und phylogenetisch älteren — der Helligkeit dienenden und die H-Erregung aufnehmenden Ganglienzellen hervorrufen, so kann die Antwort darauf wohl nur lauten: „farblos“ Grau bzw. Weiß!

Hierfür spricht zunächst sehr deutlich das Farblos-(Weiß-)werden sehr lichtstarker, aber auch lichtschwacher oder die Farbzeitschwelle unterschreitender, also zu kurz gebotener farbiger Reize: Im ersteren Falle dürfte die die F-Erregung bildende Molekülgruppe des Sehstoffes durch totale Zersetzung erschöpft, im letzteren infolge größerer Trägheit gegenüber der die H-Erregung produzierenden noch nicht wirksam angegriffen worden sein.

Bedeutungsvoll ist hier v. HELMHOLTZ' (1, S. 377) Feststellung, „daß jede, auch die gesättigste objektive Farbe subjektiv mit Weiß gemischt ist“, in Zusammenhang mit der weiteren, nach der er die (die Helligkeit bestimmende) Lichtstärke un-mittelbar der „Quantität Weiß“ gleichsetzt (2, S. 333, vgl. auch HECHT 1931). Wenn letzteres, insbesondere von v. TSCHERMAK (1929), uneingeschränkt nur für die farblose Graureihe zugegeben wird, so wäre hier schon rein theoretisch nach der Berechtigung einer Trennung zwischen den Grundlagen und Bedingtheiten an sich doch schließlich gleicher (vgl. hier PREYER 1881, NAGEL 1909) Empfindungen zu fragen¹⁾.

Damit wird der H-Erregung bzw. den durch ihre Ganglienzellen bewirkten Empfindungen aber ein entscheidender Einfluß auf die *Sättigung* der Farben zugestanden, die ja dem Weißanteil einer Farbe umgekehrt proportional ist.

Die Prüfung der Identifikation von Helligkeit und Weißanteil von dieser Seite ergibt abermals starke Anhaltspunkte für ihre Berechtigung: Die Sättigungs-

¹⁾ In seinem am 21. III. 1941 vor der Naturforscherversammlung in Halle gehaltenen Vortrag sprach aber A. v. TSCHERMAK in der HERINGSschen Terminologie von der Zapfensubstanz (im alten Sinne, mithin im Wesentlichen der Gelbsubstanz) direkt als von dem „Weiß-Sehstoff“!

grade der Farben fallen (v. HELMHOLTZ, 1) mit steigender Helligkeit bzw. „Gelblichkeit“: Violett — Indigo — Rot — Cyanblau — Orange — Grün — Gelb; hiermit steht in Zusammenhang, daß die Kurve der Helligkeitsverteilung beim Tagessehen weitgehende Übereinstimmung mit der der Sättigungsdifferenzen aufweist. Bei zusammengesetzten Farben, d. h. durch die Zersetzung mehrerer Farbsubstanzen entstehenden Empfindungen, ist zu berücksichtigen, daß sich die H-Erregungen (Zusammenfassendes bei v. STUDNITZ 1940a), und zwar auch beim Farbensehen [vgl. insbesondere KOHLRAUSCH 1920, 1925¹⁾], einfach summieren.

Lediglich wieder aus von Wellenlänge zu Wellenlänge und Intensität zu Intensität verschiedenen H/F-Beeinflussungen ist es verständlich, daß jede Farbe nur eine Lichtstärke besitzt, „bei welcher sie vollkommen frei von jeder Beimischung und satt erscheint“ (PREYER).

4. Die komplementären Farben.

Zum Zustandekommen der aus komplementären Farben „gemischten“ Weißempfindung ist nach dem Vorhergehenden lediglich zu fragen, wieso die durch die F-Ganglienzellen vermittelten Empfindungen — zumindest subjektiv — zum Erlöschen gebracht werden, so daß ausschließlich die durch die H-Ganglienzellen bewirkten verbleiben.

Schon durch diese Fragestellung weichen wir grundsätzlich von der alten v. HELMHOLTZschen Auffassung ab, nach der das aus Komplementärfarben gemischte Weiß eine durch die *Addition* von Teilempfindungen entstehende neue Empfindung darstellt und betrachten es mit HERING als ein *Subtraktions-* oder *Restphänomen!* Damit wird auch der so oft betonte einheitliche und selbständige Charakter der Weißempfindung abermals (vgl. v. KRIES', „Zonentheorie“) durchaus erklärlich, ohne daß es nötig wäre, ihm, wie HERING, ein spezielles Rezeptorensystem zugrunde zu legen (vgl. schon: v. KRIES 1909) oder gar seinetwegen die komplexe Natur des physikalischen Reizes zu leugnen (GOETHE 1810)!

Daß die Weißempfindung nicht, wie v. HELMHOLTZ vermutete und wie es FEDOROW (1924; vgl. auch LASAREFF) gar seinen Berechnungen der „Empfindungsformeln“ und -kurven zugrunde legte, auf einer gleich starken Zersetzung aller Farbsubstanzen beruhen kann, ergibt sich ferner ohne weiteres aus einem Vergleich bzw. einer Addition der den einzelnen Komplementärfarben auf den Absorptionskurven der Farbsubstanzen (Fig. 2) zukommenden Ordinaten. Diese Summe der Ordinaten zueinander komplementärer Wellenlängen schwankt zwischen 95 und 152 (100 = Maximum der Gelbkurve), der Anteil der Blausubstanz zwischen 55 und 72, der der Rotschubstanz zwischen

2 und 44 und endlich der der Gelbsubstanz (in umgekehrter Reihenfolge) zwischen 1 und 78; in jedem Falle sind aber alle 3 Farbsubstanzen an dem Zustandekommen des Weiß beteiligt.

Es fällt auf, daß sich Rot- und Gelbsubstanz sehr weitgehend gegenseitig vertreten können, während der Anteil der Blausubstanz an einer Komplementärmischung offenbar eine gewisse, mehr oder weniger konstante Höhe behalten muß, damit die Weißempfindung zustande kommen kann. Eine derartige Sonderstellung des Blau geht auch aus der von F. EXNER (1902) betonten Tatsache hervor, nach der Beimischung blauen Lichtes einen relativ geringen Einfluß auf die Gesamthelligkeit ausübe, was schon ihn zu der Annahme veranlaßte, daß der Empfindung Weiß ein von 1:1:1 abweichendes Erregungsverhältnis der 3 Komponenten entspreche.

Die gegenseitige Aufhebung der zu den farbigen Empfindungen führenden Erregungen und damit das subjektive Hervortreten des (empfindungsmäßig „leichteren“) Weiß ist nur auf Grund einer also auch hier notwendigerweise vorauszusetzenden Interaktion zwischen den einzelnen farbigen Empfindungen bewirkenden Ganglienzellen und einer für jede Wellenlänge und Intensität charakteristischen Erregungsform (H/F-Beeinflussung in der Retina) in ihnen verständlich, ohne daß es bisher möglich wäre, über deren Natur mehr als spekulative Vermutungen zu äußern.

Bemerkenswert ist, daß derartige Erregungsreste offenbar bereits innerhalb der Zone der die Farbeempfindungen erzeugenden Ganglienzellen möglich sind. So entsteht durch Mischung gelblichroten, urgrünen und urblauen Lichtes ein Weißerindruck; wird die blaue Komponente abgeblendet, so resultiert die Empfindung Gelb, dessen Gegenfarbe ausgefallen ist, während sich Rot und Grün weiterhin zu Weiß ergänzen.

Lediglich durch das Vorhandensein derartiger Interaktionen in Verbindung mit einem solchen bestimmter Erregungsformen der einzelnen Ganglienzellen ist auch das Auftreten der (*simultanen* und *sukzessiven*) *Kontrasterscheinungen* verständlich. Die in den Ganglienzellen eines Zapfentyps (einer Farbsubstanz) einlaufende Erregung ist zweifellos in der Lage, in die zentralen Vertreter jeder der beiden anderen Zapfensorten „einzufließen“. Wenn sie nun dort von sich aus die der spezifischen Energie dieser Ganglienzelle entsprechende Empfindung zu erzeugen vermag (z. B. negatives farbiges Nachbild), als auch ebensowohl die Verstärkung (Simultankontrast) wie umgekehrt Aufhebung (Komplementärmischungen) einer etwa bereits vorhandenen Eigenerregung der betreffenden Ganglienzelle bewirken kann, so ist das nicht gut anders als durch die Einwirkung von in jedem Falle anderen Erregungsformen zu verstehen. Die zeitliche Aufeinanderfolge etwa der verschiedenen Nachbildphasen wäre im Sinne PLATEAUS, v. HELMHOLTZ', LASAREFFS 1923, OEHRWALLS 1923 u. a. als eine unterschiedliche Dauer bzw. ein verschieden rascher Ablauf der an die einzelnen Farbsubstanzen bzw. ihre zentralen Vertreter gekoppelten Vorgänge aufzufassen.

¹⁾ Wenn hier die mit dem direkten heterochromatischen Vergleich erhaltenen Ergebnisse nicht so eindeutig ausfallen wie die mit der Flimmermethode gefundenen, so liegt das ohne Zweifel an der in der ersten Methode begründeten Schwierigkeit, empfindungsmäßig vom Farbwert zu abstrahieren (vgl. v. STUDNITZ 1940a).

Kontrastwirkungen innerhalb *eines* Elemententyps (z. B. Schwarz-Weiß-Kontrast, auch Simultankontrast) haben offenbar eine lediglich quantitative Basis: Hier hemmt die stärkere Erregung die schwächere und fördert letztere die erstere, welche Wirkungen sich nur bei Gleichheit beider (gleiche Helligkeit von In- und Umfeld) gegenseitig aufheben. — Das Ineinandergreifen von H- und F-Apparat beweist der entscheidende Einfluß, den der Helligkeitskontrast zwischen In- und Umfeld auf die Sättigung bzw. das Merklichwerden der Kontrastfarbe besitzt.

Daß den Kontrastwirkungen vorwiegend zentrale Interaktionen zugrunde liegen, ergeben v. TSCHERMAKS (1929) Beobachtungen über Auftreten des Simultankontrastes an Stellen eines infolge Neuritis des Opticus entstandenen zentralen Skotoms. Nach GUTTMANN'S (1920) Untersuchungen ist jedoch die Möglichkeit einer bereits retinalen Kontrastentstehung zumindest sehr wahrscheinlich gemacht; schon A. FICK (1879), der, ebenso wie HERING, den Simultankontrast vorwiegend retinal bedingt sein lassen wollte, nahm als mögliches Substrat für diese Vorgänge die zwischen den einzelnen „Elementen“ (Bipolaren) bestehenden Querverbindungen in Anspruch.

5. Vergleichendes.

Ein Blick auf die sich durch das Vorstehende für die *Vergleichende* Physiologie ergebenden Aufgaben und Möglichkeiten erscheint um so unvermeidlicher, als unsere gesamten Deduktionen ihren Ursprung aus eben dieser Wissenschaft nehmen, der ohne die ihr eigene Betrachtungsweise kaum jemals ermöglicht worden wäre (vgl. v. STUDNITZ 1941).

Als Grundlage alles Weiteren würde auch hier die Ermittlung der Zahl und Spektralabsorption der jeweiligen Farbsubstanzen im Vordergrund stehen. Was dabei die Wirbellosen anbelangt, wäre diese Aufgabe heute noch fast (vgl. v. STUDNITZ 1940a, S. 179ff, speziell GRAWERT, S. 180) ohne Beispiel und Anhaltspunkt. Bei den Wirbeltieren können wir wohl überall dort, wo die Retina überhaupt Zapfen in nennenswertem Maße aufweist, das Vorhandensein dreier Farbsubstanzen mit weitgehender Übereinstimmung der maximal absorbierten Wellenlängen (vgl. v. STUDNITZ 1937, 1940a, c) und spektralen Wirkungsbereiche annehmen, die unserer Übertragung der an der Netzhaut der Ringelnatter gefundenen Verhältnisse auf den Menschen überhaupt erst ihre Berechtigung verleiht¹⁾, ohne daß sich dadurch jedoch eine breitere vergleichende Untersuchung erübrigen würde; einer solchen steht vorläufig noch die Unmöglichkeit entgegen, Farbsubstanzen und Ölkugeln in der Lösung voneinander zu trennen (vgl. 1940d, 1941).

Unterschiede in der Ausbildung (Konzentration) einzelner Farbsubstanzen sind nun jedoch ganz offensichtlich von einer Wirbeltierklasse zur

¹⁾ Hier sei auch an die weitgehende Übereinstimmung des Sehpurpurs innerhalb der Wirbeltierreihe erinnert.

anderen vorhanden (1940d, 1941), die bisher insbesondere für die Rotschubstanz merkbar wurden und ebenfalls zu genaueren Vergleichen anregen. Man könnte versucht sein, bei einem Tier etwa festgestellte auffällig geringe Farbwerte bestimmter Bereiche (z. B. GREYER 1939, 1940 für das Rotsehen verschiedener Affen, BIRUKOW 1939 für das Gelbsehen des Frosches) bereits auf diesen Faktor bzw. eine zweifellos mit ihm einhergehende geringe F-Erregung zu beziehen. — Ebensowohl wäre eine derartige Schwäche des Farbensinns aber auch zentral möglich durch geringere Entwicklung der F-Ganglienzellen oder ihrer spezifischen Energien, die mit denen der benachbarten Farbzentren noch mehr oder weniger übereinstimmen; gerade BIRUKOW'S Befund von der geringen Gelbsichtigkeit des Frosches spricht sehr in diesem Sinne. Bei diesem Tier ist die Gelbsubstanz stark ausgebildet und weist ein ebenso die Helligkeit der einzelnen Spektralbereiche bestimmendes, bei 560 $m\mu$ gelegenes Maximum auf wie bei uns Menschen. Die Frage, ob der geringe Farbwert gelber Bereiche in dem hier vorliegenden Falle vorwiegend peripher oder zur Hauptsache zentral bedingt ist, kann — bei unserer vorläufigen Unkenntnis der Konstitution der Farbsubstanzen bzw. der die H- und F-Erregungen bildenden Molekülgruppen — nur die Elektrophysiologie beantworten: in der Tat zeigt die Froschretina, an der ja gerade GRANIT und SVAETICHIN arbeiteten, Aus-Effekt-Maxima auch im gelben Gebiet, so daß der weitgehende Ausfall dieser Farbe für den Frosch wohl nur durch den umrissenen geringen Entwicklungsgrad der („gelben“) F-Ganglienzellen bedingt sein kann. Es ist klar, daß dadurch auch eine relativ schwache Ausbildung der Grünsichtigkeit bedingt ist (vgl. BIRUKOW). — Umgekehrt hat die mangelhafte Rotsichtigkeit von GREYER'S Affen einen wohl mehr peripher-photochemischen Grund: eine Weißempfindung war bei ihnen durch eine (Rotgrün-) Mischung der gleichen Wellenlängen zu erzielen wie bei uns, doch bedurfte es dazu von Art zu Art wechselnder und gegenüber den beim Menschen erforderlichen stets höherer Rotanteile.

Das aus diesem Beispiel weiterhin hervorgehende Vorhandensein komplementärer, sich zu Weiß ergänzender Wellenlängen auch bei Affen gibt zunächst einen deutlichen Hinweis darauf, daß die für den Menschen angenommenen zentralen Interaktionsmechanismen nicht auf diesen beschränkt sind. Darüber hinaus aber zeigt es, daß mit eben diesen Interaktionen auch die Erscheinungen einhergehen, auf Grund deren wir die Existenz derartiger Mechanismen, ferner die von Wellenlänge und Intensität abhängiger Erregungsformen, H- und (wieder in sich verschiedener) F-Erregungen und deren gegenseitige Beeinflussung bestätigt fanden: Komplementärmischungen und auch Simultankontrast. Das ist von um so grundsätzlicherer Bedeutung, als eben diese die nervösen Grundvorgänge der Farbunterscheidung beleuchtenden Erscheinungen auch bei im System

denkbar weit voneinander entfernten farbensehenden Tieren auftreten¹⁾ (vgl. z. B. GRETHER für Affen, HAMBÜRGER 1926 für die Elritze, KÜHN 1921, 1929, M. HERTZ 1927 für die Biene, O. KOEHLER 1924 für *Daphnia*) und damit eine allgemeine und offenbar notwendige Vorbedingung der Farbunterscheidung oder (bezügl. der Komplementärmischungen und simultanen Kontraste) auch zwangsläufige Folge der sie ermöglichenden nervösen Mechanismen darstellen.

Eine andere Frage wäre die nach der Zahl der an sich möglichen Farbenempfindungen bei den einzelnen Tieren, die wir sowohl durch die Absorptionshöhe als auch durch die — Mischempfindungen ermöglichenden — zentralen Interaktionen bei gleichzeitiger Reizung zweier Farbsubstanzen bedingt fanden. Daß beide Faktoren ebenfalls wohl ganz allgemein dort, wo überhaupt ein Farbsehen auftritt, eine Rolle spielen, scheint mir die zum Teil große Zahl verschiedenfarbiger Empfindungen (z. B. WOLFF 1925: 24 bei der Elritze) bzw. die Unterscheidungsfähigkeit z. B. der Bienen auch innerhalb ihrer 4 Hauptreizqualitäten (KÜHN 1929) und endlich die Tatsache zu erweisen, daß auch *Daphnien* sehr hohe Intensitäten farbigen Lichtes nicht mehr qualitativ zu werten vermögen (KOEHLER 1924); nach GRETHERS Ergebnissen an Affen scheinen aber selbst diese Tiere (und damit wohl erst recht die übrigen Wirbeltiere oder gar die Wirbellosen) in ihrem Unterscheidungsvermögen und damit auch in der Zahl der von ihnen gesehenen Farbtöne merkbar hinter uns zurückzustehen, wofür vorwiegend zentralnervöse Faktoren verantwortlich sein dürften.

Die Zahl der Grundempfindungen endlich wird durch die Bezirke ermittelt, innerhalb deren die Fähigkeit, benachbarte Wellenlängen voneinander zu unterscheiden, optimale Werte erreicht (z. B. WOLFF 1925), wobei jedoch, insbesondere bei Wirbeltieren, die Einlagerung gefärbter Vorstufen vor dem eigentlichen Rezeptionsort (vgl. v. STUDNITZ 1941) erhebliche Einschränkungen und Verschiebungen gegenüber dem Farbensinn des Menschen hervorzubringen vermag (WAGNER 1932, WOJTUSIAK 1932, PLATH 1935), ohne daß wir diese zunächst auf die Farbsubstanzen selbst zu beziehen berechtigt wären. Näher liegt dies bei den Wirbellosen, wo derartige den Strahlenweg blockierende gefärbte Vorstufen zumindest bisher noch nicht nachgewiesen wurden und die größeren Abweichungen in Zahl und Lage der Hauptfarbbereiche (vgl. z. B. KÜHN 1929, v. BUDDENBROCK 1937) gegenüber denen der Wirbeltiere wenigstens vorläufig den Farbsubstanzen selbst zugeschrieben werden dürfen. Auf Grund unserer Erfahrungen

ist jedoch auch hier davor zu warnen, die Zahl der Farbsubstanzen der der Grundempfindungen ohne weiteres gleichzusetzen, besonders dann, wenn es sich um deren mehr als zwei handelt.

Schriftenverzeichnis.

- W. DE ABNEY, Philos. Trans. **193** (1900); **205** (1906) — Proc. roy. Soc. Lond. **87** (1912). — J. BERNSTEIN, Pflügers Arch. **156** (1914). — G. BIRUKOW, Z. vergl. Physiol. **27** (1939). — W. v. BUDDENBROCK, Grundriß der vergl. Physiol., 2. Aufl., **1** (1937). — E. BRÜCKE, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin 1878. — F. C. DONDEES, Graefes Arch. **27** (1881). — EDRIDGE-GREEN, Proc. roy. Soc. Lond. **82** (1910); **84** (1911); **204** (1923). — F. EXNER, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. **1902**. — N. T. FEDOROW, Pflügers Arch. **202** (1924). — A. FICK, Hermanns Handbuch der Physiologie **3**, **1** (1879). — K. S. GIBSON, J. opt. Soc. Amer. **30** (1940). — H. GOLDMANN, Pflügers Arch. **104** (1922). — W. v. GOETHE, Farbenlehre 1810. — R. GRANIT, Die Elektrophysiologie der Netzhaut und des Sehnerven. Kopenhagen 1936 — Docum. Ophthal. **1** (1938). — R. GRANIT u. P. RIDDELL, J. Physiol. **81** (1934). — R. GRANIT u. B. SVAETICHIN, Uppsala Läk.för. Förh. **45** (1939). — W. F. GRETHER, Comp. Psychol. Monogr. **15** (1939) — J. comp. Psychol. **29** (1940). — A. GULLSTRAND, Graefes Arch. **62** (1906). — A. GUTTMANN, Z. Psychol. **51** (1920). — V. HAMBÜRGER, Z. vergl. Physiol. **4** (1926). — G. HARTLINE, Amer. J. Physiol. **1938**. — S. HECHT, Erg. Physiol. **32** (1931). — H. v. HELMHOLTZ, Physiologische Optik. **1**. Aufl., 1865; **2**. Aufl., 1896; **3**. Aufl., 1909 — Z. Psychol. **3** (1892). — E. HERING, Reden. Leipzig 1921. — M. HERTZ, Z. vergl. Physiol. **25** (1937). — W. HIMMELMANN u. H. U. ROSEMAN, Z. Biol. **99** (1938). — W. HIMMELMANN, Z. Biol. **100** (1940). — DE LA HIRE, Mem. de l'Acad. Sc. **1711**. — TH. L. JAHN u. F. CRESITELLI, J. cell. comp. Physiol. **13** (1939). — F. CRESITELLI u. TH. L. JAHN, J. cell. comp. Physiol. **14** (1940). — O. KOEHLER, Z. vergl. Physiol. **1** (1924). — H. KOELLNER, Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, **1** (1929). — A. KÖNIG u. C. DIETERICI, Sitzgsber. Akad. Wiss. Berlin **1886** — Z. Psychol. **4** 1889. — A. KOHLRAUSCH, Ber. Physiol. **3** (1920) — Tab. biol. **1** (1925) — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, **2** (1929). — J. v. KRIES, Nachträge zu v. Helmholtz' Physiol. Optik, **3**. Aufl., 1909 — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, **1** (1929). — A. KÜHN, Naturwiss. **1921**. — Handbuch der normalen pathologischen Physiologie **12**, **1** (1929). — W. KÜHNE u. J. STEINER, Unters. physiol. Inst. Heidelberg **4** (1881). — CH. LADD-FRANKLIN, Z. Psychol. **4** (1893). — P. LASAREFF, Pflügers Arch. **201** (1923). — v. LIEBERMANN, Z. Sinnesphysiol. **45** (1911). — J. C. MAXWELL, Philos. Trans. **150** (1860). — MÜLLER, Graefes Arch. **15** (1869). — G. E. MÜLLER, Z. Psychol. **10** (1896); **97** (1925). — A. NAGEL, Nachträge zu v. Helmholtz' Physiol. Optik, **3**. Aufl., 1909. — P. M. NIKIFOROWSKY, Z. Biol. **57** (1911). — OERUM, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **16** (1904). — H. OEHRWALL, Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) **43** (1923). — M. PLATH, Z. vergl. Physiol. **22** (1935). — T. C. PORTER, Proc. roy. Soc. Lond. **70** (1902). — W. PREYER, Pflügers Arch. **25** (1881). — RAYLEIGH, Nature (Lond.) **84** (1922). — M. RICHTER, Grundriß der Farbenlehre der Gegenwart. Dresden 1940. — F. SCHENCK, Pflügers Arch. **118** (1907). — SCHJELDERUP, Z. Psychol. **51** (1920). — A. SCHOPENHAUER, Über das Sehen und die Farben. — G. v. STUD-

¹⁾ Besonders bedeutungsvoll ist in diesem Zusammenhange der 1939 von JAHN und CRESITELLI erstmalig erhobene Befund einer negativen Vorschwankung und eines Aus-Effektes (F-Erregung) in den Augen auch der wirbellosen Tiere (Fazettenauge verschiedener Insekten)!

NITZ, Pflügers Arch. 239 (1937) — Naturwiss. 1934 — Umschau 1939 — Physiologie des Sehens — Retinale Primärprozesse. Leipzig 1940 — Grundvorgänge des Sehens — 100 Jahre Sehstoffe. Halle (Leop.) 1940 — Naturwiss. 1940 — Z. vergl. Physiol. 28 (1940) — Naturwiss. 1941. — A. v. TSCHERMAK, Pflügers Arch. 82 (1900) — Handbuch der normalen pathologischen

Physiologie 12, 1 (1929) — Graefes Arch. 139 (1938). — VOESTE, Z. Psychol. 18 (1898). — H. WAGNER, Z. vergl. Physiol. 18 (1932). — P. WEISS, Erg. Biol. 3 (1928). — R. J. WOJTUSIAK, Z. vergl. Physiol. 18 (1932). — H. WOLFF, Z. vergl. Physiol. 3 (1925). — TH. YOUNG, Philos. Trans. 1802. — A. ZAHN, Z. Sinnesphysiol. 46 (1912).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über Elektronenbewegungen in Plasmen und einige Anwendungen.

Ein Plasma sei charakterisiert durch eine konstante positive ruhende Ladungsdichte (p Coul/cm³), durch welche sich Elektronen hindurchbewegen.

Denkt man sich ein mit den Elektronen bewegtes Koordinatensystem von der Geschwindigkeit v , so ist, ein-dimensional, die gesamte Stromdichte

$$i = pv + A \frac{dE}{dt}. \quad (1)$$

Das Bewegungsgesetz der Elektronen sei

$$eE = m \frac{dv}{dt} + rv, \quad (2)$$

wo $r = e/b$ einen Reibungskoeffizienten ($b =$ Beweglichkeit der Elektronen) bedeutet. Differenziert man 2 nach t und setzt dE/dt aus (1) ein, so entsteht

$$\frac{d^2 v}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dv}{dt} + \frac{ep}{m\Delta} v = \frac{ei}{m\Delta}. \quad (3)$$

Die endgültige Geschwindigkeit ist $v_s = i/p$. Diese wird von der Eintrittsstelle $t = 0$ aus aperiodisch oder periodisch erreicht, je nachdem, ob

$$\frac{r^2}{4m^2} \geq \frac{ep}{m\Delta}$$

ist. $\sqrt{\frac{ep}{m\Delta}} = \lambda$ ist die von LANGMUIR entdeckte Eigenfrequenz des Plasmas, die bei den üblichen Hg-Plasmen etwa 10^{10} sek⁻¹ beträgt. Besonders bei niedrigen Drucken (r klein, b groß) tritt der oszillatorische Fall ein, d. h. die Elektronen führen gedämpfte Geschwindigkeitspendelungen während ihrer Bewegung aus. Es gilt dann angenähert ($\lambda^2 > \frac{r^2}{4m^2}$)

$$v = (A \sin \lambda t + B \cos \lambda t) e^{-\frac{r}{2m}t} + \frac{i}{p}.$$

Der Verlauf des zugehörigen elektrischen Feldes kann aus Gl. (2) bestimmt werden, die Spannung gegen die Eintrittsstelle U als $\int_0^t E v dt$ und der Weg s als $\int_0^t v dt$. Die Elimination

von t aus der Gl. für U und s ergibt die Strom-Spannungscharakteristik der Entladung. Während sich nach Abklingen der Schwingungen ($t \rightarrow \infty$, entsprechend $s = \infty$) das bekannte OHMSche Gesetz ergibt, zeigen sich vorher bei kleinerem s abwechselnd positive und negative Charakteristiken, d. h. U nimmt abwechselnd zu und ab mit i .

Nahe der Eintrittsstelle der Elektronen in das „Plasma“ sind also anomale Zustände zu erwarten, die auch zu Schwingungen Anlaß geben können. Eine lange positive Säule wirkt weiter als Stabilisierungswiderstand in Reihe.

Insbesondere zeigt sich, daß schnelle Elektronen beim Eintritt in ein Plasma äußerst rasch abgebremst werden. Vernachlässigt man zunächst die Reibung r , so ergibt sich für v

$$v = \frac{2}{m} \frac{E_0}{\lambda} \sin \lambda t + \left(v_0 - \frac{i}{p} \right) \cos \lambda t + \frac{i}{p},$$

wo E_0 die Feldstärke beim Eintritt der Elektronen in das Plasma und v_0 die Eintrittsgeschwindigkeit ($t = 0$) bedeuten. Ist $v_0 > i/p$, so ist für $\lambda\tau = \pi$ ein Geschwindigkeitsminimum von der Größe $v_{\min} = 2 \frac{i}{p} - v_0$ vorhanden. Ist $v_0 = 2 \frac{i}{p}$, so sinkt die Geschwindigkeit auf Null, ist v_0 größer, so wird sie negativ. Für diesen Fall gilt die Gl. (1) nicht mehr. Mit einem allgemeineren Ansatz kann man zeigen, daß sich dann für $\lambda\tau < \pi$ eine virtuelle Kathode — eine ruhende Elektronen-

wolke — bildet, an der die Elektronen ihre Wanderung mit der Geschwindigkeit Null beginnen. Durch den dauernden Reibungseinfluß wird in diesen Schichten, die meist sehr dünn sind, sehr rasch die Umsetzung der Strahlgeschwindigkeit in die ungeordnete MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung durchgeführt. Setzt man $\lambda\tau = \pi$, so wird $\tau = \pi/\lambda$, d. h. in der Größenordnung von 10^{-9} sek bei üblichen Hg-Plasmen. Das erste Glied in v mit E_0 ist meist zu vernachlässigen. Der in der Zeit t zurückgelegte Weg ist

$$s = \frac{e}{m} \frac{E_0}{\lambda^2} (1 - \cos \lambda t) + \frac{1}{\lambda} \left(v_0 - \frac{i}{p} \right) \sin \lambda t + \frac{i}{p} t.$$

Für $\lambda\tau = \pi$ findet man

$$s_\tau = 2 \frac{e}{m} \frac{E_0}{\lambda^2} + \frac{i}{p} \frac{\pi}{\lambda},$$

d. h. es ist unabhängig von v_0 . Je rascher die Elektronen eingeschlossen werden, um so eher sind sie abgebremst, da für rasche Elektronen ($v_0 \gg i/p$) die Stoppstrecke immer kleiner gegen π/λ wird. Der Weg s_τ ist wesentlich durch $\frac{i}{p} \frac{\pi}{\lambda}$ bestimmt. Für übliche Hg-Plasmen wird er etwa $\frac{1}{10} - 1$ mm, kann aber bei kleinen positiven Dichten p und großen Stromdichten erheblich größer werden. Der Verlauf des elektrischen Feldes ist durch

$$E = \frac{m}{e} \frac{dv}{dt} = E_0 \cos \lambda t - \lambda \frac{m}{e} \left(v_0 - \frac{i}{p} \right) \sin \lambda t$$

gegeben. Das ursprüngliche Feld E_0 klingt ab und kann in ein Gegenfeld übergehen, das die Elektronen bremst.

Interessant ist auch der Fall, daß die Elektronen in eine gleichnamige Ladung hineinlaufen ($p < 0$), z. B. in eine Wolke angelagerter (zu negativen Ionen gewordener) Elektronen. In diesem Fall folgt aus Gl. (3), daß keinerlei Schwingungszustände in der Geschwindigkeit möglich sind, sondern nur aperiodische, wobei der eine Exponentialfaktor positiv ist, d. h. daß die Geschwindigkeit exponentiell mit wachsender Zeit anwächst, um so rascher, je größer $ep/m\Delta$ gegen r/m ist. Eintretende Elektronen werden also beschleunigt.

Vernachlässigt man auch hier die Dämpfung, so erhält man mit $n = -p$ ($n > 0$):

$$v = E_0 \frac{e}{m\lambda} \mathfrak{E} \sin \lambda t + \left(v_0 + \frac{i}{n} \right) \mathfrak{C} \cos \lambda t - \frac{i}{n},$$

$$E = E_0 \mathfrak{C} \cos \lambda t + \frac{\lambda m}{e} \left(v_0 + \frac{i}{n} \right) \mathfrak{E} \sin \lambda t,$$

d. h. sowohl v als auch E wachsen monoton an.

Dem Anwachsen in inf. ist eine Grenze gesetzt durch den Energieverlust durch Anregung und Ionisation. Es können dadurch so viele positive Ionen erzeugt werden, daß die negative Raumladung ausgeglichen oder im Vorzeichen umgekehrt wird, so daß dann wieder ein Vorgang mit positiver Dichte p folgt, in dem Geschwindigkeit und Feld abnehmen, bis durch Elektronenanlagerung wieder ein Gebiet negativer Dichte zustande kommt. Dieser Mechanismus dürfte bei der Bildung der geschichteten positiven Säule von Bedeutung sein (s. z. B. R. SEELIGER, Gasentladungen. 1934, S. 332 und 333).

Die bisher gemachte Annahme $p = \text{const}$ ist für das Zustandekommen der beschriebenen Erscheinungen nicht notwendig. Man kann auch für den Fall bewegter Ionen [entspr. Gl. (2)] zeigen, daß auch dann ähnliche Erscheinungen auftreten, nur werden die Formeln komplizierter. Es sind immer dort die Ionen am langsamsten, wo die Elektronen am schnellsten sind, und umgekehrt.

(Weiteres in einer demnächst erscheinenden Arbeit.)
München, Elektrophysikalisches Laboratorium des Elektrotechnischen Instituts der Technischen Hochschule, den 28. Mai 1941. W. O. SCHUMANN.

Eine übersehene Kartoffelvirose.

In einzelnen Kartoffelproben aus Schlesien, Mark Brandenburg, Sachsen, Berlin, wurde zuweilen in beträchtlicher Häufigkeit außer dem Blattrollvirus noch ein anderes Virus angetroffen, das mit dem Saft nicht übertragbar ist. Übertragungsversuche mit der Blattlaus Myzus (= Myzodes) persicae sowie durch Transplantation verliefen positiv. Im Feldbestand ist das Virus bei Reininfektion nach den bisherigen Erfahrungen praktisch latent, ruft aber in Mischinfektion mit anderen Viren schwere Kräuselercheinungen, unter Umständen mit Kümmerwuchs, hervor. Für den schweren „Abbau“ der Kartoffel ist es zu einem guten Teil mit verantwortlich zu machen.

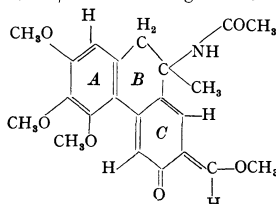
An Gewächshauspflanzen („Augenstecklingen“) äußert sich diese Krankheit zunächst durch ein starkes Aufwärtswollen der Blattdriegen, ähnlich wie bei der Blattrollkrankheit, jedoch verliert sich das Rollen in der Regel rasch wieder. Zum Unterschied von der Blattrollkrankheit bleiben die Blätter weich und biegsam und entwickeln auch nicht die für diese Krankheit charakteristische Gelbchlorose. Später gehen die Sprosse bei manchen Sorten (Altgold, Wohltmann) zu einem gesteigerten Längenwachstum über. Bei den Sorten Altgold und Ackerseggen bleiben die Blätter bedeutend kleiner als normal und die Blattdriegen entwickeln sich kleiner und schmaler. Die Blätter zeigen eine schwache, von den Haupt- und Seitennerven der Fiedern ausgehende, diffuse Verfärbung ins Gelblichgrüne, die der ganzen Pflanze ein etwas helleres Aussehen verleiht. Die Rollblätter mancher Sorten (Parnassia, Wohltmann) bilden auf der Unterseite Anthozyanflecken aus.

Da das schwere Kräuseln bei Mischinfektionen ein typisches Symptom ist, wird vorgeschlagen, das Virus als K-Virus (Kräuselvirus) zu bezeichnen. Die Virose ist mit der früher vom Verfasser [Arb. biol. Reichsanst. Land- u. Forstw. 21, 517 (1935)] unter dem Namen Rollmosaik erstmalig beschriebenen offenbar identisch.

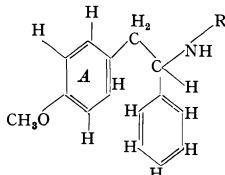
Berlin-Dahlem, Biologische Reichsanstalt, den 31. Mai 1941. E. KÖHLER.

Ein einfaches Mitosegift.

Mitosegifte sind Substanzen, welche die Teilung der Zelle beeinflussen, und zwar zumeist deren Hemmung bewirken. Als bestwirksames Mitosegift ist durch die Untersuchungen von DUSTIN das Colchicin bekannt geworden¹⁾. Die Frage des Zusammenhangs zwischen der Konstitution des Colchicins und der Mitosegiftwirkung erscheint daher von besonderem Interesse. Mit dieser Frage haben sich BRUES und COHEN²⁾ beschäftigt; sie verwendeten als Testobjekt die regenerierende Rattenleber, an der die Wirkung verschiedener Colchicin-derivate untersucht wurde. Wir haben für unsere Versuche einmal in der Gewebekultur gezüchtete Hühnerherzfibrblasten³⁾ und im Tierversuch den Mäuse-Ascites-Tumor⁴⁾ verwendet. Den Untersuchungen legten wir die Formulierung des Colchicins (Formel I) nach WINDAUS⁵⁾ zugrunde; auf die Unsicherheiten dieser Formulierung, die COOK⁶⁾ diskutiert, soll hier nicht eingegangen werden. Als einfachstes Mitosegift erwies sich das α -Phenyl- β -(p-methoxyphenyl)-äthylamin und sein N-Acetylderivat (Formel II). Das Amin wurde schon 1936 von B. REICHERT und HOFFMANN⁷⁾ dargestellt. An der Gewebekultur war das Amin mit 5 γ /ccm, das N-Acetylderivat mit 10 γ /ccm noch gut wirksam. Colchicin wirkt hierbei nach LUDFORD⁸⁾ noch mit 0,01 γ /ccm, nach eigenen Beobachtungen mit 0,04 γ /ccm.



I. Colchicin nach WINDAUS.
Wirksam mit 0,01–0,04 γ /ccm.



II. R = H: wirksam mit 5 γ /ccm.
R = COCH₃: wirksam m. 10 γ /ccm.

In diesem einfachen Mitosegift sind von der Struktur des Colchicins noch erhalten: der Ring A mit nur einer Methoxylgruppe; der Ring B ist aufgespalten, von ihm sind noch 2 C-Atome und die Aminogruppe erhalten; der Ring C ist zu einer Phenylgruppe vereinfacht. Nach unseren bisherigen Untersuchungen ist eine weitere Vereinfachung des Moleküls unter Erhaltung der Mitosegiftwirkung nicht mehr möglich: im Ring A muß mindestens eine Methoxylgruppe vorhanden sein, die Aminogruppe muß durch 2 C-Atome vom Ring A getrennt sein, und in der Seitenkette muß der Phenylrest vorhanden sein. Offen muß noch bleiben, ob dieser Phenylrest nicht auch durch einen hydrierten Ring oder eine längere aliphatische Kette ersetzt werden kann. Colchicin und dieses einfache Mitosegift erscheinen als Derivate der physiologisch und pharmakologisch bedeutsamen β -Phenyl-äthylamine (Adrenalin, Pervitin, Mescaline) oder allgemeiner der β -Ring-äthylamine, zu denen auch die biogenen Amine Histamin und Tyramin gehören. Die Substitution durch den Phenylrest in der Seitenkette bewirkt den Übergang in die Klasse der Mitosegifte; im Molekül des Colchicins ist dieser Ring in das Phenanthrenskelett eingebaut.

Eine ausführliche Beschreibung unserer Versuche erfolgt in der Zeitschrift für physiologische Chemie.

Berlin, Allgemeines Institut gegen die Geschwulstkrankheiten im Rudolf-Virchow-Krankenhaus, den 10. Juni 1941. HANS LETTRÉ. MARIANNE ALBRECHT. HANS FERNHOLZ.

¹⁾ Vgl. die Zusammenfassung von RIES, Naturwiss. 27, 505 (1939).

²⁾ Biochemic. J. 30, 1363 (1936).

³⁾ Vgl. LETTRÉ, Angew. Chemie 53, 363 (1940).

⁴⁾ LETTRÉ, Hoppe-Seylers Z. 268, 59 (1941) Angew. Chemie 54, 202 (1941).

⁵⁾ Liebigs Ann. 439, 59 (1924).

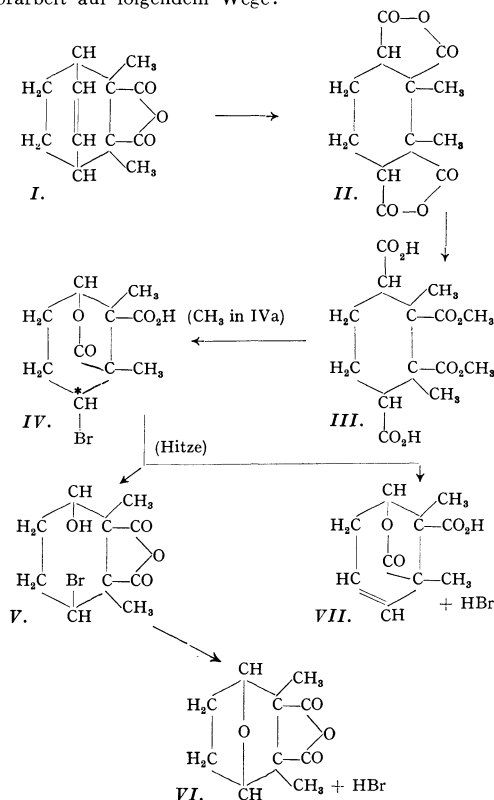
⁶⁾ J. chem. Soc. (Lond.). 1940, 195, 198.

⁷⁾ Arch. Pharmaz. 274, 153 (1936).

⁸⁾ Arch. exper. Zellforsch. 18, 411 (1936).

Synthese des Cantharidins.

Die Synthese des Cantharidins (VI) gelang nach längerer Vorarbeit auf folgendem Wege:



Das Addukt aus Dimethylmaleinsäureanhydrid und Cyclohexadien (I) liefert bei der Oxydation das doppelte Anhydrid II einer Tetracarbonsäure, das sich leicht in einen Dimethylester der Strukturformel III umwandeln läßt. In diesem stehen die veresterten Carboxyle auf einer Seite, die freien Carboxyle auf der anderen Seite der Ringebene.

Das Silbersalz von III liefert mit Brom unter Ersatz der Carboxyle durch Brom und anschließende Abspaltung von CH_3Br den Methylester (IVa) einer Bromlaktensäure IV, die mit der von GADAMER¹⁾ aus Cantharidin erhaltenen sog. Hydrobromcantharsäure identisch sein könnte, die aber tatsächlich ein Stereoisomeres dieses bekannten Umwandlungsprodukts des Cantharidins ist. Die Säure wird aus dem Ester mit wässriger Bromwasserstoffsäure erhalten. Sie schmilzt bei 186°, während Hydrobromcantharsäure (rac) bei 218–220° schmelzen soll. Wir nennen die neue Substanz epi-Hydrobromcantharsäure, da die sterische Verschiedenheit nur durch das eine asym. * C-Atom bedingt sein kann.

GADAMER¹⁾ hat gezeigt, daß Hydrobromcantharsäure beim Schmelzen etwa hälftig Cantharidin (VI) und Cantharsäure (VII) gibt, wobei sich HBr abspaltet und das Cantharidin vermutlich über ein Zwischenprodukt V entsteht. epi-Hydrobromcantharsäure verhält sich analog, nur ist sie offenbar diejenige der beiden möglichen sterischen Konfigurationen, von der aus die Cantharidinbildung weniger leicht erfolgt. Daher ist das Hauptprodukt ihrer thermischen Zersetzung Cantharsäure (VII), die damit recht glatt synthetisiert ist. Cantharidin (VI) bildet sich nur in Mengen von einigen Prozenten. Es ist zunächst durch seine charakteristische physiologische Wirkung nachgewiesen und schließlich auch in Substanz rein gefaßt und mit natürlichem Cantharidin identifiziert worden.

Die Arbeit wird ausführlich an anderer Stelle publiziert. Die synthetischen Versuche werden fortgesetzt.

Halle a. d. S., Chemisches Institut der Universität, den 1. Juni 1941. K. ZIEGLER. G. SCHENCK. E. W. KROCKOW.

¹⁾ Arch. Pharmaz. 252, 660ff. (1914).

Besprechungen.

KRENKEL, E., **Geologie der Deutschen Kolonien in Afrika**. Berlin: Gebr. Bornträger 1939. XXII, 272 S., 1 Titelbild, 5 Tafeln, 65 Textabb. 15 cm × 23 cm. Preis: geh. RM 21.60, geb. RM 24.—

KRENKEL, E., **Der Geologische Bau der Deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee**. (Deutscher Boden, Bd. 11.) Berlin: Gebr. Bornträger 1940. VIII, 127 S., 6 Tafeln, 18 Textabb. 15 cm × 23 cm. Preis: geb. RM 4.80.

In der sicheren Erwartung, daß die uns nach dem Weltkriege geraubten Kolonien zum Reiche zurückkehren, regen sich überall die Kräfte, die ein großes neues Schaffen auf kolonialem Gebiete vorbereiten. So kommen zur rechten Zeit zwei Bücher, die einen Überblick über die Geologie der ehemaligen deutschen Kolonien geben, eines in etwas größerem, das zweite in recht knappem Umfange. Beide haben E. KRENKEL zum Verfasser. KRENKEL ist durch eigene Reisen und durch dauernde Beschäftigung mit den geologischen Fragen Afrikas eine ausgezeichnete Kenner der in Betracht kommenden Verhältnisse. Von ihm stammt eine 4bändige „Geologie Afrikas“, die in einem Zeitraume von nicht ganz 15 Jahren erschienen ist.

Was KRENKEL nunmehr bringt, sind nicht etwa nur Wiederholungen aus der „Geologie Afrikas“, soweit die deutschen Kolonien in Betracht kommen; vielmehr erfolgt die Darstellung in ganz anderer regionaler Aufteilung, und vielfache Ergänzungen sind, entsprechend den in den letzten Jahren erzielten Fortschritten, gegeben. Beide Bücher geben ein treffendes Bild von den Leistungen der deutschen wissenschaftlichen Forschung im Raume des alten Kolonialbesitzes. Schlußkapitel zu jeder einzelnen Kolonie behandeln die Bodenschätze, ohne daß dabei das Grundwasser als ein z. B. für Deutsch-Südwestafrika so hochwertiger Bodenschatz vergessen worden wäre. Beide Bücher sind mit Tafeln und Textabbildungen bestens ausgestattet.

Durch die kolonialen Leistungen Deutschlands sind die ehemaligen Kolonien deutscher Boden geworden, und in diesem Sinne ist das kleinere der beiden Werke, „Der geologische Bau der deutschen Kolonien in Afrika und der Südsee“, als ein Band der von S. v. BUBNOFF herausgegebenen Schriftenserie „Deutscher Boden“ erschienen. In ihm nimmt die Darstellung der Geologie der Südsee-Kolonien, entsprechend deren Kleinheit und dem verhältnismäßig wenigem, was man schon weiß, nur einen geringen Raum ein. Zur ersten Information über die Geologie der deutschen Kolonien wird das Büchlein gewiß in weiten Kreisen Eingang finden.

H. STILLE.

SCHINDEWOLF, OTTO H., **Fortschritte der Geologie und Paläontologie**. Bd. 12, H. 41. „Konvergenzen“ bei Korallen und bei Ammonoiten. Berlin: Gebr. Borntraeger 1940. VI, 103 S., 1 Tafel und 33 Abbild. 16 cm × 25 cm. Preis geh. RM 17.50.

Vertiefte vergleichend anatomische Untersuchungen mit Ausrichtung auf Probleme allgemeiner Natur sind das Kennzeichen der Arbeiten des Verf. Interessante Ergebnisse erzielt der Verf. bei der Erforschung der Ontogenese fossiler Korallen und Ammonoiten und benutzt sie als Grundlage zu einer kritischen Besprechung des Problems der „Konvergenzen“. Die Paläoökologie ABELS hat die Konvergenzen besonders hervorgehoben und methodisch gebraucht, um die Lebensweise fossiler Tiere zu erschließen. Verf. greift die Frage der Konvergenzen vom morphologisch-phylogenetischen Gesichtspunkt an und rückt dabei die Probleme der Homologie und Analogie in den Vordergrund. Die Darstellung ist klar; ihr Hauptergebnis von allgemeinerer Bedeutung liegt in der Aufstellung neuer Definitionen für die bisher unter „Konvergenz“ verstandenen Begriffe. Es werden *Homöomorphien* und *Konvergenzen* unterschieden. Homöomorphie ist: „Formähnlichkeit homologer Organe, die durch *parallele* oder *divergente* Entwicklung entstanden ist“. Konvergenz ist: „Formähnlichkeit analoger Organe, die durch *konvergente* Entwicklung entstanden ist“. Leider dürften auch diese Definitionen keine endgültige Klarheit herstellen. Nicht jeder Morphologe wird ohne einfaches, allgemein bekanntes Beispiel verstehen, wie Formähnlichkeit etwa durch *divergente* (morphologisch divergent!) Entwicklung zustande kommen kann. Die Definition der Homöomorphie muß eine etwas ausführlichere Fassung erhalten. Die Definition der Konvergenz ist dadurch belastet, daß der Verf. auf S. 454 betont, daß es keine Konvergenzen innerhalb eines und desselben Stammes gibt. Die Formähnlichkeit der Wale und Ichthyosaurier z. B. wird nicht als Konvergenz betrachtet, sondern als heterochron-parallele Entwicklung. Nun gibt es aber bekanntlich trotzdem zahlreiche Konvergenzen im Stamme der Wirbeltiere bzw. der Tetrapoden, die der Definition des Verf. entsprechen. Die Schwanzflossen der Ichthyosaurier und der Wale sind keineswegs Parallel-Isomorphien, also letztlich homologe Gebilde, sondern durchaus konvergente Erscheinungen, Analogien. Erst recht gilt das, wenn man in das erwähnte Beispiel noch bestimmte Haifische und Knochenfische einfügt. Die Panzer der Panzerfische, rezenter Koffenfische, Schildkröten und Glyptodonten sind unmöglich als heterochrone parallele Isomorphien zu bezeichnen,

es sind echte Konvergenzen. Wohl sind die Armskelette eines Vogels, einer Fledermaus und eines Flugsauriers einander homolog, aber die Tragflächen der Flügel mit ihren wesentlichsten Bestandteilen sind echt konvergente Bildungen. — Dem Ref. erscheint die von SCHINDEWOLF gewählte Basis der Deduktionen zu schmal; Arthropoden und Wirbeltiere liefern ungleich viel mehr Beispiele, die zur Erörterung dieser Fragen herangezogen werden können und erst den Gesamtumfang der Erscheinung durch vergleichende Betrachtung erkennen lassen. WALTER GROSS, Berlin.

SCHUSSNIG, BR., *Vergleichende Morphologie der niederen Pflanzen*. Eine Einführung in deren Formbildung und Formwechsel auf entwicklungsgeschichtlicher Grundlage. 1. Teil: Formbildung. Berlin: Gebr. Bornträger 1938. VIII, 382 Seiten, 470 Abbild. 17 cm × 25 cm. Preis brosch. MR 36.—, geb. RM 38.—.

Über die vergleichende Morphologie der höheren Pflanzen gibt es seit lange mehrere Darstellungen, und die Herausgabe einer vergleichenden Morphologie der niederen Pflanzen ist deshalb mit Freude zu begrüßen. Die hier vorliegende Arbeit von Dr. BR. SCHUSSNIG behandelt in erster Linie die Algen im weiten Sinne des Wortes, die Pilze und die Flechten treten mehr in den Hintergrund, die Moose und die Farne sind beiseite gelassen.

Am eingehendsten ist die „Vergleichende Morphologie der Zelle“ behandelt. Sorgfältig und in übersichtlicher Weise ist eine Fülle von Angaben aus der speziellen Literatur zusammengestellt. Besonders ist die eingehende Behandlung des Zellkerns und der Kernteilungen zu erwähnen, des weiteren die Zusammenstellung des Plastidoms, des Chondrioms und des Vakuoms und die Darstellung der Hüllen und Membranbildung.

Im Abschnitt „die Zelle als Elementarorganismus und als Elementareinheit“ ist unter anderen den folgenden Fragen eine eingehende Behandlung gewidmet: Zellvermehrung, Kern- und Plasmarelationen, Lage und Anordnung der Plastiden, Symmetrieverhältnisse der Zelle, Polarität.

Im Abschnitte „Vergleichende Organographie“ verfolgt der Verf. die phylogenetische Entwicklung der niederen Pflanzen, von der einfachen Zelle zu Zellfäden, Zellflächen und Zellkörpern, und unterscheidet dabei 3 verschiedene Typen:

1. das Nematoblastem: d. h. einfache oder verzweigte Fäden. Von dem Typus der einfachen Zellfäden, z. B. bei *Ulothrix*, sind verzweigte Fäden, wie z. B. bei *Cladophora*, *Ectocarpus* und *Callithamnion*, abzuleiten;

2. das Siphonoblastem: d. h. einzellige, aber mehrkernige Typen, wie z. B. bei mehreren Siphoneen;

3. das Syntagma: d. h. der Thallus wird von mehreren und ursprünglich gleichwertigen Faden- oder Schlaucheinheiten aufgebaut, die sich später irgendwie differenzieren und dabei morphologisch verschiedene Organe aufbauen können. Zu diesem Typus gehören die höher differenzierten Algen.

In den oben erwähnten Typen unterscheidet der Verf. dann mehrere Untertypen, die mit verschiedenen Namen belegt werden. Nach der Meinung des Ref. ist die Nomenklatur hier ein wenig zu weit getrieben.

Im letzten Abschnitt: „Vergleichende Anatomie des Thallus“, berichtet der Verf. über das Auftreten von verschiedenen Geweben bei den niederen Pflanzen. So können Rinden- und Kortikalgewebe, Speicherungs- gewebe, Mark- und Medullargewebe und mechanische Gewebe vorhanden sein.

Und zuletzt eine besondere Bemerkung: Der Verf. beabsichtigt offenbar, im zweiten Teil seiner Arbeit die seit alters bei den Florideen gebrauchten Wörter Karposporen und Tetrasporen in Karpogonidien und Tetragonidien zu verändern. Einer solchen Veränderung der Terminologie kann der Ref. nicht beistimmen. HARALD KYLIN, Lund (Schweden).

MARTINI, E., *Lehrbuch der medizinischen Entomologie*. Jena: Gustav Fischer. 1941. 2. Aufl. XVI, 585 Seiten mit 302 Abb. 17 cm × 25,5 cm. Preis geb. RM 29.—, brosch. RM 27.—.

Mit dem Erscheinen der 2. Auflage des bekannten Lehrbuches von MARTINI über medizinische Entomologie ist einem dringendem Bedürfnis abgeholfen worden, da die 1. Auflage vor 18 Jahren erschienen ist. In dieser Zeit ist aber dieses wichtige Gebiet der angewandten Entomologie ungeheuer erweitert worden, so daß ein vor bald 2 Jahrzehnten erschienenes Lehrbuch als völlig überholt gelten muß. Das Bedürfnis nach einem neuzeitlichen Lehrbuch dieser Art war um so stärker, als wir im Gegensatz zu Frankreich, England und Amerika in deutscher Sprache nur dieses Lehrbuch besitzen, denn die Darstellung der medizinischen Entomologie in MENSES Handbuch der Tropenkrankheiten ist kein eigentliches Lehrbuch und auch stark überaltert (erschieden 1924).

MARTINI hat allein das Gesamtgebiet bearbeitet und die Fülle des neuen Stoffes kritisch mit sicherer Hand gesichtet, so daß nur das Wichtigste bei der Neubearbeitung der einzelnen Abschnitte aufgenommen wurde. Eine Erweiterung des ganzen Werkes um 123 Seiten Text und um 58 Abbildungen war aber nicht zu umgehen. Die Stoffanordnung ist die gleiche wie bei der ersten Auflage geblieben. Der 1. Abschnitt, „Bau und Leistungen der Gliederfüßler“, ist einführender Art und enthält auch ein Kapitel über „allgemeine Bekämpfungslehre“. Die beiden Hauptabschnitte behandeln die „Gliederfüßler als Schmarotzer“ und die „Gliederfüßler als Krankheitsüberträger“, während ein kleinerer Abschnitt die „Gliederfüßler als Gifttiere“ darstellt. Der Schlußabschnitt enthält die wichtigsten Angaben über „Ungezieferbekämpfung“. Im Interesse der Einheitlichkeit der Stoffbehandlung wäre dieser Abschnitt zweckmäßiger mit dem Kapitel allgemeine Bekämpfungslehre vereinigt worden.

Das Schriftenverzeichnis bildet diesmal einen besonderen Abschnitt. Verf. hat es nach den systematischen Gruppen und nach allgemeinen Gesichtspunkten geordnet und kritisch ausgewählt. In erster Linie sind Arbeiten und Werke genannt, die dem Weiterstudium dienen. Ein sorgfältiges, breit angelegtes Register (47 Seiten) ermöglicht ein rasches Finden der Einzelheiten. Wie Verf. im Vorwort betont, ist das Buch nicht nur für Ärzte und Biologen, sondern für weitere Kreise bestimmt; deshalb hat er auch elementare Dinge behandelt, die eigentlich in einem Lehrbuch über ein Spezialgebiet überflüssig sind. Über diesen Punkt kann man anderer Auffassung sein, weil dadurch eine gewisse stoffliche Belastung eintritt. Denn wer ein Lehrbuch dieser Art ernstlich benötigt, der ist mit den allgemeinen entomologischen Begriffen vertraut, oder zieht ein einführendes Werk (z. B. WEBER, Grundriß der Insektenkunde. Jena 1938) vorher zu Rate. Als Ganzes betrachtet, müssen wir MARTINI danken für die Fülle der geleisteten Arbeit, ebenso wie dem Verlag für die vorzügliche Ausstattung nach jeder Richtung hin. ALBRECHT HASE, Berlin-Dahlem.

Max Hartmann zum 65. Geburtstag.

Am 7. Juli 1941 feiert MAX HARTMANN seinen 65. Geburtstag; nahezu zwei Drittel eines Jahrhunderts hat er durchgemessen, und 40 Jahre erfolgreicher wissenschaftlicher Arbeit liegen hinter ihm. Nicht oft ist die Entwicklung eines Gelehrten und seiner Probleme so glatt, gleichsam planmäßig verlaufen wie bei ihm. Um Forstfach zu studieren, ging er als Rheinpfälzer an die damalige bayerische Forstakademie nach Aschaffenburg und trat bald in Beziehung zu dem dortigen Professor für Zoologie SPANGENBERG, einem tüchtigen Forscher, der aber die Ergebnisse seiner Untersuchungen still in seinen Schubladen speicherte, ohne damit laut zu werden. „Was euch ruft, das ist euer Beruf“, und die Biologie war es, die MAX HARTMANN rief; es zog ihn, „die Gesetzmäßigkeiten der belebten Natur kennenzulernen und an ihrer Erforschung teilzunehmen“. So nahm er im 2. Semester seinen Weg nach München, wo er in RICHARD HERTWIG einen Lehrer von hohem Ausmaß und darüber hinaus einen treu sorgenden Freund fand. Unter seiner Leitung beschäftigte er sich mit cytologischen Untersuchungen am tierischen Ei, die er 1902 als Doktorarbeit veröffentlichte, und fand die sachgemäße Anleitung zu Protozoenstudien.

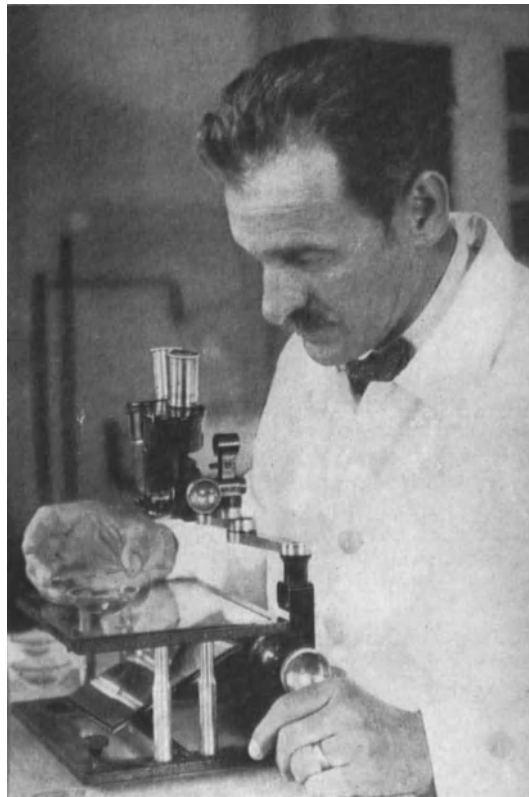
Zugleich lernte er an seinem Meister die Fruchtbarkeit einer Verbindung morphologischer mit experimenteller Forschungsweise kennen, die ihm auch in den Werken des Botanikers GEORG KLEBS vorbildlich entgegentrat.

Zunächst aber sorgte er für eine breite Tatsachengrundlage durch Untersuchungen des Baues und der Fortpflanzung von Mesozoen als einfachsten vielzelligen Tieren und von Protozoen. Vier

Jahre lang vertiefte er sich in die Vorgänge bei der Fortpflanzung der Dicyemiden, wobei ihm der Zusammenschluß der verschiedenen Formen zu einem Zeugungskreis gelang, eine Arbeit, die im Dezember 1905 von der Belgischen Akademie der Wissenschaften preisgekrönt wurde. Nachdem er seine Stellung als Assistent am Gießener Zoologischen Institut mit der

eines Leiters der Protozoen-Abteilung am Institut für Infektionskrankheiten in Berlin (jetzt Institut Robert Koch) vertauscht hatte, wurde er ganz auf Untersuchungen an Protisten hingeleitet, eine Richtung, die durch die enge Freundschaft mit FRITZ SCHAUDINN noch gefördert wurde. In schneller Folge erschienen Arbeiten an Amöben, Trypanosomen, Hämogregarinen, Trichonymphen, Phytoomonaden u. a., und bald rückte HARTMANN auf in die Reihe der besten Protozoenforscher. Als solcher folgte er 1909 einer Einladung an das Institut Oswaldo Cruz in Manginhos bei Rio de Janeiro, wo er, zum Teil zusammen mit CHAGAS, besonders eigenartige Protozoenformen untersuchen konnte. Als Protozoenforscher wurde er auch 1911 auf Vorschlag TH. BOVERIS zur Leitung einer selbständigen Abteilung an das neugegründete Kaiser Wilhelm-Institut für Bio-

logie in Dahlem berufen, neben CARL CORRENS, HANS SPEMANN und RICHARD GOLDSCHMIDT. Die Stellung an einem Forschungsinstitut mit Verpflichtung lediglich zur Verfolgung wissenschaftlicher Probleme, ohne gebundene Marschroute, ohne Lehrverpflichtung, mit trefflichen Einrichtungen, Hilfsmitteln und Räumlichkeiten ausgestattet, mit einem Stab von Mitarbeitern, bedeutete für HARTMANNS Forschungen eine ge-



M. Hartmann

waltige Förderung und gestattete ihm die Durchführung seiner Lebensaufgabe, wenn es auch bedauerlich ist, daß seine hohe Lehrbegabung nicht den jungen Studierenden zugute kam. Zwar hat er sich, nach seiner Habilitierung als Privatdozent in Gießen 1904, bei der Übersiedlung nach Berlin auch an der Friedrich Wilhelms-Universität 1906 die *Venia docendi* erworben und wurde 1909 zum ao. Professor, 1921 zum Honorarprofessor ernannt; aber er hat der Vorlesungstätigkeit nur verhältnismäßig wenig Zeit gewidmet. Dafür folgten nun Schlag auf Schlag die Fortschritte zur Lösung seiner Grundfragen.

Schon die Dicyemiden-Untersuchung hatte ihn zu Überlegungen über die Vielfalt der Fortpflanzungsweisen bei den Lebewesen, ihre Einteilung und Benennung geführt. Die durch AUG. WEISMANN'S Vortrag „Über die Dauer des Lebens“ (1882) angeregten Gedankengänge von der Unsterblichkeit der Einzelligen, zu denen u. a. auch BÜTSCHLI, GÖTTE und R. HERTWIG das Wort ergriffen hatten, beschäftigten ihn schon 1906 in einem Aufsatz über „Tod und Fortpflanzung“ und gaben weiter seinen Forschungen die Richtung.

Die Frage, ob geschlossene biologische Systeme (Individuen) dauernd in Assimilation und Wachstum erhalten werden können, ohne Alters- und Degenerationserscheinungen und ohne Reduktion des Systems durch Teilung oder sonstige Regulierungen, wurde durch Versuche an Amöben, Stentor und dem Turbellar *Stenostomum* bejahend beantwortet: die periodische operative Verkleinerung des Systems erzielte das gleiche Ergebnis wie eine normale Zweiteilung, nämlich eine fortgesetzte periodische Verjüngung. — Das Sexualitäts-Problem beschäftigte ihn auch noch nach anderer Richtung. Die Annahme bisexualer Potenz aller Lebewesen (BÜTSCHLI, SCHAUDINN) führte ihn zu Untersuchungen der Isogamie. Er fand, wie das schon von KNIEP für manche Algen nachgewiesen war, daß die Isogameten, auch wenn sie sich äußerlich nicht unterscheiden lassen, doch in ihrer Kopulationsfähigkeit nicht gleich, sondern physiologisch verschieden sind, ja noch mehr, daß ein normalerweise weiblicher Gamet A, der gegenüber einem von einem anderen Individuum stammenden männlichen Gameten B sich weiblich verhält, bei einem anderen, von einem dritten Individuum herkommenden, stärker weiblichen Gameten C als männlich auftreten kann. Diese „relative Sexualität“ entspricht durchaus einer zweigeschlechtlichen Veranlagung. HARTMANN'S Vermutung, daß dieser physiologische Unterschied der Isogameten und der Gameten überhaupt auf dem Vorhandensein verschiedener Mengen chemischer Wirkstoffe bei männlichen und weiblichen Gameten beruht, daß also die Sexualität in Quantitätsunterschieden begründet sei, konnte von ihm und seinen Schülern, zuerst von MOEWUS, im Versuch erwiesen werden. In Zusammenarbeit mit dem Chemiker R. KUHN konnten besondere Befruchtungshormone (Gamone) für die männlichen und weiblichen Gameten

bei Protisten (*Ectocarpus*, *Chlamydomonas*) und Metazoen (Seeigel, Mollusken, Tunikaten) und geschlechtsbestimmende Wirkstoffe (Termone) nachgewiesen, isoliert und analysiert werden. HARTMANN selbst hat in dieser Zeitschrift die einzelnen Schritte dieser großartigen zusammenhängenden Forschungsreihe dargestellt (Jg. 20, 1932, Heft 31 und Jg. 28, 1940, Heft 51), so daß sich eingehendere Ausführungen hier erübrigen. Die Rückführung der ursprünglich nur morphologisch bekannten Unterschiede des Geschlechts auf physiologische, und zwar chemische Besonderheiten stellt eine triumphale Krönung von HARTMANN'S Lebenswerk dar.

Bei seinen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen läßt sich aber HARTMANN nicht genügen; er gräbt tiefer. Seit 25 Jahren beschäftigen ihn naturphilosophische und erkenntnistheoretische Fragen, in Anknüpfung an eingehendes Studium der KANTSCHEN Philosophie. Er hat diesen Überlegungen schon wiederholt Darstellung gegeben in Vorträgen und auch in der Einleitung und dem Schlußkapitel seiner „Allgemeinen Biologie“ und hofft, ihnen noch weiter nachgehen zu können.

Neben diesen Reihen eingehender Untersuchungen HARTMANN'S, die in lückenloser Folge immer weiter vordringen und schließlich zum schönen Endziel führen, dürfen andere Leistungen nicht vergessen werden. Sein kleines „Praktikum der Protozoologie“ hat durch 5 Auflagen (1. Aufl. 1907, 5. Aufl. 1928) seine Vortrefflichkeit erwiesen. Im Jahre 1918 erschien das zusammen mit C. SCHILLING bearbeitete Buch „Die pathogenen Protozoen“, 1925 die bedeutende „Allgemeine Biologie“ (2. Aufl. 1933). Dazu kommen noch Beiträge zu Sammelwerken, wie dem Handwörterbuch der Naturwissenschaften, dem Handbuch der pathogenen Protozoen, dem Handbuch der Vererbungswissenschaft u. a. Dabei wird die Zeit dieses Unermüdbaren noch in Anspruch genommen durch die Schriftleitung umfangreicher Zeitschriften, in erster Linie des Archivs für Protistenkunde seit 1906, zweier Abteilungen der Zoologischen Jahrbücher, ferner der Ergebnisse und Fortschritte der Zoologie und ihrer neuen Folge; dazu kommt noch das mit dem verstorbenen ERWIN BAUR herausgegebene Handbuch der Vererbungswissenschaft. Eine gewaltige Arbeitskraft und ein nie versagender Fleiß!

Trotzdem schließt sich MAX HARTMANN nicht ab; bei aller wissenschaftlichen Vertiefung geht er nicht mit Scheuklappen durch die Welt. Er hat eine gesunde Freude am Leben. Von Jugend auf hat er Sport getrieben. Als Münchener Student war er ein eifriger und kühner Bergsteiger, bei seinen Freunden der Kraxel-Maxel. Sein winterlicher Besuch bei dem einsamen Wetterwart der Zugspitze Dr. ENZENSBERGER war bei dem einbrechenden Wettersturz eine hohe sportliche Leistung. Mit besonderer Freude hat er noch in höheren Jahren Bergtouren mit seinem gleichstrebenden Sohn Hans, dem im Himalaya verun-

glückten hoffnungsvollen jungen Gelehrten, ausgeführt. Seine Reisen führten ihn hauptsächlich zu wissenschaftlichen Stationen und Instituten, nach Villafranca, Rovigno, Neapel und nach Brasilien; aber er hat dabei stets die Schönheiten der Landschaft in vollen Zügen genossen. Eine Quelle von Genuß und Erholung ist ihm die Betrachtung von Werken der bildenden Künste, und sein Schönheitssinn erstreckt sich auch auf die geschmackvolle Einrichtung seiner Wohnung; ja seine Genußfreudigkeit geht bis zur bescheidenen Freude am Sonntagskuchen. Dabei führt ihn eine

tiefe Innerlichkeit zur Beschäftigung mit Weltanschauungsfragen und zeigt sich in seiner gesunden Religiosität.

Die Vollendung des 65. Lebensjahres gilt als Altersgrenze. Aber auch nach Überschreitung dieser Grenze wird MAX HARTMANN jung bleiben, immer neuen Forschungsweisen zugänglich und alte Gedankengänge weiterspinnend, in fortschrittlichem Vorwärtstreben. Möge ihm diese Jugendfrische noch lange treu bleiben, damit wir ihm noch für manche Mehrung unserer Erkenntnis danken können!
RICHARD HESSE.

Zur Problematik der sogenannten Uri-Lloyd-Schichtung und ihrer möglichen Bedeutung für Meereskunde, Geologie und Meteorologie.

VON RAPHAEL ED. LIESEGANG, Frankfurt a. M., Kolloid-Institut.

Der amerikanische Pharmazeut URI LLOYD hat 1881 die Beobachtung veröffentlicht, daß in einer wäßrigen Lösung eines wasserlöslichen Stoffes (Kochsalz, Sirup usw.), in welcher die Konzentration des gelösten Stoffes von unten nach oben ganz allmählich abfällt, beim Erhitzen scharfe waagerechte Bänderungen auftreten. Bei voll-

kommenem Durcherhitzen verschwinden sie, um beim raschen Abkühlen wieder aufzutreten und bei vollkommener Abkühlung zu verschwinden. In einer Anmerkung der 1916 neugedruckten Arbeit (1) heißt es: „In einem größeren Maßstabe ist dieses Prinzip in den Schichtenbildungen der ozeanischen und atmosphärischen Strömungen verwirklicht, wie uns der Golfstrom und die Schichten (Wolken) von kondensiertem Dampf zwischen den bewegten Luftströmungen zeigen.“

— Dadurch würde diese Erscheinung (die übrigens gar nichts mit der periodischen Niederschlagsbildung bei Diffusionen in Gallerten zu tun hat) vielleicht eine allgemeinere Bedeutung haben.

LLOYD, der das Gefäß von der Seite erwärmte und deshalb keine waagerechten Bänder erhielt, versuchte die Deutung: Salzreiche Lösung wird durch Erwärmung erleichtert und steigt auf der erwärmten Seite hoch, bis sie eine Lage vom gleichen spezifischen Gewicht erreicht hat. Dann strömt sie annähernd waagrecht seitwärts. Dasselbe soll sich in verschiedenen Höhen mehrfach wiederholen, wie es Fig. 1 zeigt. Aufgestreutes Pulver wurde auf jeder Schicht eine Zeitlang am Absinken gehemmt und soll das Kreisen zwischen 2 Schichten gezeigt haben. — Die gleiche Deutung versuchte er auch anzuwenden bei einem späteren Versuch, über den Wo. OSTWALD berichtete: Destilliertes Wasser wurde von oben erhitzt, von unten gekühlt. Es traten waagerechte Bänder auf.

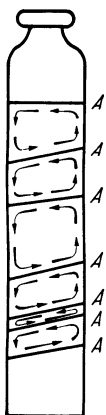


Fig. 1.
Deutung
der
Schichten-
bildung.

Da in dieser Deutung das Auftreten der mehrfachen Sprungschichten nicht ganz zu verstehen war und es auch darauf ankam, den Erwärmungsgrad in den einzelnen Schichten zu erfassen, machte ich Versuche mit folgendem kolloidem Wärmeindikator (2): Die Mischung der Lösungen von Novokain hydrochloricum und Natriumsulfid, die in der Kälte ganz klar ist, wird beim Erwärmen milchig trüb. Die Sulfidlösung wird beim Erwärmen alkalischer (vermehrte Hydrolyse). Dadurch scheidet sich die Base des Novokains in Tröpfchenform aus. Beim Abkühlen wird die Mischung wieder klar. Stellt man nun in dieser Lösung mit Kochsalz oder anderem ein Konzentrationsgefälle her, so treten beim Erwärmen mehrere trübe Schichten auf, die durch klare getrennt sind. Wärmere und kältere Lagen wechseln also ab. Bei der Ausbildung dieser Schichten zeigt sich ein Auf- und Absteigen. Von der LLOYD'schen bleibenden Zirkulation sieht man aber weder bei diesem Versuch etwas, noch dann, wenn man bei Abwesenheit des Novokains die Alkalitätsunterschiede durch den Farbumschlag von Indikatoren sichtbar macht. Stellt man den Versuch mit einfachen Salzlösungen in größeren Kolben an, so folgen die Schichten oft so dicht aufeinander, daß die Deutung durch ständige Zirkulation Schwierigkeit haben würde. Von einem zähflüssigen Sirup berichtet LLOYD, daß sich die Schichtung nach der Abkühlung tagelang erhalten habe. Entsprechend konnte ich die Schichtung in einer Gelatinelösung mit Konzentrationsgefälle dauernd erhalten, wenn die erwärmte geschichtete Lösung plötzlich durch Abkühlung zum Erstarren gebracht wurde.

Vom Wesen der Lloyd-Schichtung haben wir also noch wenig Vorstellung. Aber sie ist an sich nicht zu bestreiten und könnte deshalb vielleicht zur Deutung anderer Erscheinungen herangezogen werden.

Dem LLOYD'schen Versuch am ähnlichsten sind wohl die Verhältnisse in den von M. RÓZSA (3) untersuchten Siebenbürgener Salzseen. Das Süßwasser zufließender Bäche laugt ein Salzlager aus.

In 10 m Tiefe sind 27%, in 1 m Tiefe 7,5% Salz vorhanden. Das vom dunklen Boden in Wärme umgesetzte Sonnenlicht bringt die Erwärmung von unten. RÓZSA schichtete Salzlösungen fallender Konzentration übereinander und konnte bei Bestrahlung sprunghafte Temperatursteigerungen



Fig. 2. Horizontal gebundeter Achat.

von oben nach unten in den einzelnen Schichten feststellen, genau so, wie er sie in den Seen fand. Seine Gewächshaustheorie war richtig. Da er

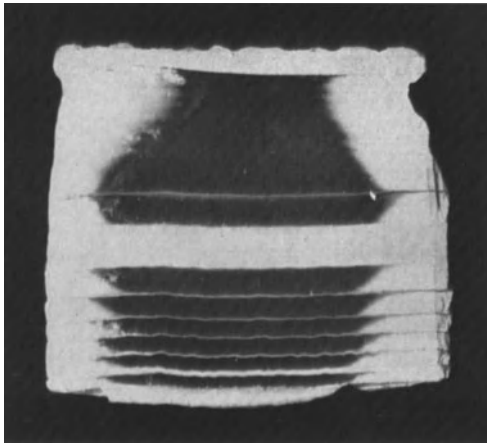


Fig. 3. Verwitterung eines Achats.

aber den Versuch von LLOYD nicht kannte, berücksichtigte er nicht, daß dieses Gewächshaus durch das Zusammentreffen von Konzentrations- und Temperaturgefälle jedenfalls wesentlich vervollkommnet werden könne.

Die Frage drängt sich auf, ob Ähnliches auch in anderen Gewässern zu erwarten sei. Vielleicht können die Temperatursprünge in jene Berechnungen eingesetzt werden, welche die Grundlage der Deutung der Entstehung der Salzlagerstätten nach VAN'T HOFF darstellen. Beziehungen wären

ferner zu suchen zu den von ARRHENIUS (4) untersuchten Sprungschichten in Binnenseen, dem Totwasser von NANSEN usw. Aber das möge nur eine Anregung zur Nachforschung sein. Denn es haben DEFANT (11) für die Sprungschicht und EKMAN (6) für das Totwasser bereits andere Deutungen versucht. Andererseits sollen in den Tiefen von Seen periodische Schichtungen kleinen Maßstabes vorkommen, die ungeklärt sind und vielleicht hierhergehören [ALSTERBERG (5)].

Eine überraschende Ähnlichkeit zeigen die waagrecht geschichteten Achate (Sard), bei denen eine Deutung durch Diffusion versagt (7). Fig. 2 zeigt mit den zugleich ausgebildeten Silikatgewächsen, daß die

Masse (etwa in Form von Wasserglas) einmal flüssig gewesen sein muß. Hier könnten LLOYD-Schichten konserviert sein. Nachahmungsversuche zeigen, daß die Silikatgewächse leicht das Konzentrationsgefälle schaffen können. Daß in jeder Lage die Dichte der Kieselsäure schwankt, zeigt Fig. 3 durch das verschieden tiefe Eingreifen der randlichen Verwitterungszone an.

Ein Sprung von diesem ehemals Zähflüssigen zu der leicht bewegten Atmosphäre ist natürlich gewagt. Trotzdem wurde einmal die Frage gestellt (8), ob das auch hier vorhandene Dichte- und Temperaturgefälle im Sinne von URI LLOYD beitragen könne zur Deutung der Fata morgana (9) und der SÜRINGSchen Wolkenstockwerke (10).

Literatur.

- (1) URI LLOYD, Kolloid-Beih. 8, 171 (1916). — (2) R. E. LIESEGANG, Kolloid-Z. 16, 13 (1915); 45, 112 (1928). — (3) M. RÓZSA, Neue Daten zur Kenntnis der warmen Salzseen. Berlin 1911. — (4) SW. A. ARRHENIUS, Lehrbuch d. kosm. Physik 1, 409. Leipzig 1903. — (5) G. ALSTERBERG, Bot. Notiser, Lund 1927 und 1928. — (6) EKMAN, Norwegian Nordpolar Expedition 1893—1896. Scientific Results 5. — (7) R. E. LIESEGANG, Zbl. Mineral. 1919, 184 — Natur u. Museum 1930, 110. — (8) R. E. LIESEGANG, Meteor. Z. Bioklim. Beibl. 1938, 184. — (9) M. MIYANISI, Sci. Pap. Inst. phys. chem. Res. 36, 198 (1939). — (10) R. SÜRING, Die Wolken, S. 13 u. 92. Leipzig 1936. — (11) DEFANT, Z. Geophysik 1936, 281.

Geoelektrische Beschaffenheit des Untergrundes und Blitzschutz.

Von VOLKER FRITSCH, Brünn.

Die Gesichtspunkte, nach denen das Einzugsgebiet und der Schutzraum von Blitzableitern beurteilt wurden, waren zu verschiedenen Zeiten recht verschieden. Im allgemeinen begnügte man sich damit, zwischen den geometrischen Dimensionen Beziehungen herzustellen. Geophysikalische Faktoren wurden im allgemeinen nicht oder nur oberflächlich beachtet. Erst als der Schutz langer Leitungen erforderlich wurde, wandte man auch ihnen größere Aufmerksamkeit zu. Es stellte sich heraus, daß die Gefährdung im Verlaufe längerer Leitungsstraßen keineswegs eine gleichmäßige ist, sondern daß sie von der geoelektrischen Struktur des Untergrundes abhängig ist. Schließlich erwiesen sich die alten Schutzkegeltheorien als vollkommen unbrauchbar. Ein ganz wesentlicher Fortschritt war es entschieden, als man einsah, daß der Blitz einen Leiter, sei es nun technischer oder geologischer Art, ganz anders beansprucht als ein Gleichstrom oder niederfrequenter Wechselstrom. Dadurch wurden sowohl für die Ableitungen als auch für die Erdungen ganz neue Voraussetzungen gültig. Die Blitzableiter, die wir heute oft auf dem flachen Lande antreffen, entsprechen in keiner Weise mehr den Anforderungen, die man nach dem heutigen Stande der Forschung an sie stellen muß, und aus diesem Grunde kommt es dann mitunter zu Einschlägen in so geschützte Objekte, die dann die Meinung unterstützen, daß der Blitzableiter überhaupt nicht imstande sei, unter allen Umständen Schutz zu bieten. Neben offensichtlich konstruktiven Fehlern bedingt sehr oft die Nichtbeachtung geophysikalischer Faktoren das Versagen einer solchen Anlage. Blitzableiter, die in jeder Hinsicht dem Stande der heutigen Forschung entsprechen, sind dagegen, wie die Statistik eindeutig beweist, unter allen Umständen verlässliche Schutzeinrichtungen. In den folgenden Zeilen sollen einige Gesichtspunkte behandelt werden, die für die Beurteilung der Blitzgefährdung unter Berücksichtigung geophysikalischer Faktoren maßgebend sind. Mit Rücksicht darauf, daß die Materie heute schon sehr umfangreich geworden ist, kann in dieser zusammenfassenden Darstellung natürlich nur einiges Wesentliches mitgeteilt werden¹⁾.

1. Die Beurteilung der Blitzgefährdung.

Unter Blitzgefährdung verstehen wir ganz allgemein die Wahrscheinlichkeit, daß irgendein untersuchter Raum von einer Blitzbahn durchsetzt wird. Es ist zunächst durchaus verständlich, daß verschiedene Stellen der Erdoberfläche in verschiedener Weise blitzgefährdet sein werden. Wesentlich wäre es, den Grad der Gefährdung zahlenmäßig auszudrücken. Um dies zu tun, kann man drei Wege einschlagen. Zunächst einmal kann man alle Blitzschläge *beobachten* und nun durch Auswertung der Ergebnisse feststellen, wie sich die Einschläge an verschiedenen Stellen auf gleichgroße Flächen verteilen. Die zweite Möglichkeit besteht darin, daß man z. B. im Laboratorium die Voraussetzungen möglichst naturgetreu rekonstruiert und durch *Modellversuche* die Gefährdung bestimmt.

¹⁾ Ausführliche Darstellung in meiner Arbeit. Einiges über die Beziehungen der Funkgeologie zur Blitzforschung, GERLANDS Beiträge f. Geophysik 54, 245 bis 328 (1939). Als Sonderdruck erschienen bei Akad. Verlages. Leipzig 1940.

Schließlich könnte man, unter der Voraussetzung, daß die verschiedenen gefährdenden Einflüsse qualitativ und quantitativ bekannt sind, für irgendeine genau bestimmte Stelle die Gefährdung *rechnerisch* ermitteln. Der erste Weg kann nur selten zum Ziele führen. Die

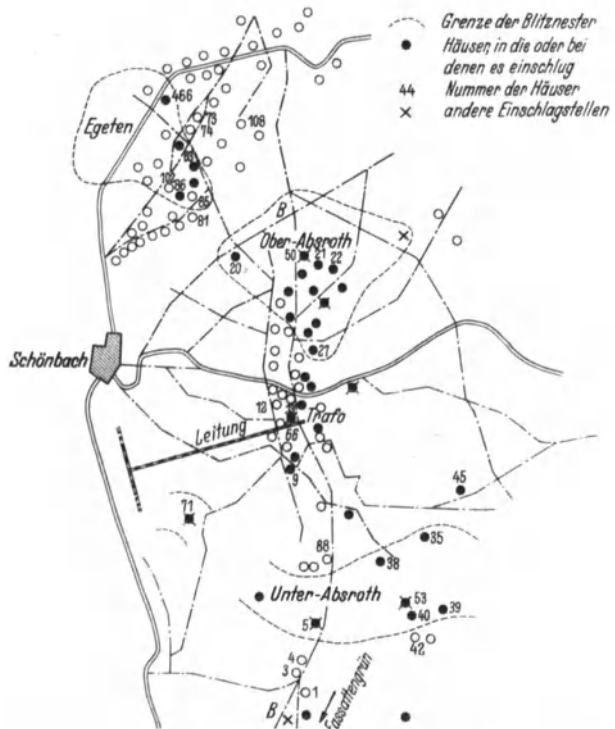


Fig. 1. Verteilung der Blitzeinschläge im Gebiete von Absroth.

Zahl der Blitzeinschläge, absolut betrachtet, ist schließlich sehr gering. Wollen wir daher brauchbare Durchschnittswerte erhalten, so müßten wir die Beobachtungen über viele Jahre erstrecken. Für einzelne Gemeinden wurden solche Statistiken geführt. Als Beispiel sei die Ortschaft Absroth im Egerlande genannt. Die Verteilung der bekannten Blitzschläge zeigt die Fig. 1. Wenn wir jedoch die Blitzschutztechnik weiter entwickeln wollen, so müssen wir die Unterlagen rasch beschaffen, und wir müssen dann auch die Möglichkeit haben, Neukonstruktionen und Verbesserungen in möglichst kurzer Frist auf ihre Brauchbarkeit zu überprüfen. Daher bleibt uns nur der zweite Weg, also der Modellversuch, oder aber die Ermittlung der einzelnen Faktoren, die zusammen die Blitzgefährdung bestimmen. Modellversuche können heute schon ganz gut brauchbare Aufschlüsse geben. Von wesentlicher Bedeutung ist indessen, daß die verschiedenen, in der Natur gegebenen Voraussetzungen vollständig berücksichtigt werden. Man darf z. B. nicht den Untergrund einfach durch eine Metallplatte darstellen, weil in Wahrheit der Untergrund meist von jener Homogenität, die der Metallplatte zukommt, weit entfernt ist. Auch sonst sind noch viele Voraussetzungen zu

erfüllen, die ich aber hier nicht näher besprechen kann. In Fig. 2 sehen wir eine Elektrode E über der Fläche T , die das Modell des Untergrundes begrenzt. Auf dieser ist dann ein weiterer Leiter E_1 errichtet. In der Figur ist bei A der Verlauf der Entladungsbahnen eingezeichnet. Wenn wir z. B. das Experiment mehrmals wiederholen, so werden soundso viele Entladungsbahnen zur Spitze der Elektrode E_1 und ein in diesem Falle wahrscheinlich geringer Rest wird direkt zur Oberfläche verlaufen. Wir können nun, wenn wir das Ergebnis z. B. photographisch festhalten, ohne weiteres die Zahl der durch die Flächeneinheit hindurchgehenden Entladungsbahnen ermitteln und dies dann graphisch darstellen. Bei b ist dies geschehen, und wir erhalten Kurven, welche Punkte gleicher Blitzgefährdung miteinander

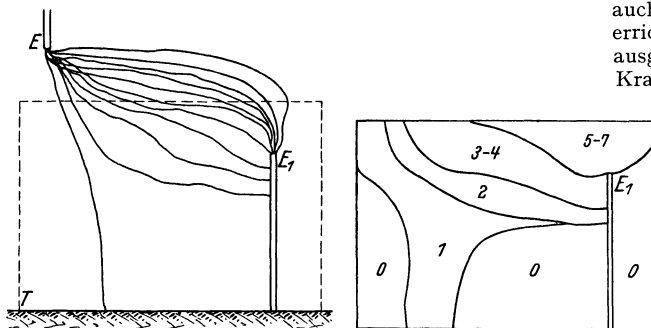


Fig. 2. Bestimmung der Blitzgefährdung.

verbinden. Praktisch wird die Elektrode E durch eine Spitze dargestellt, während die zweite Elektrode und der Untergrund den natürlichen Verhältnissen angepaßt werden müssen. Die Blitzgefährdung irgendeiner Fläche wird in diesem Falle vor allem durch die beiden Elektroden E , ihre gegenseitige Lage, geometrische Abmessung und Beschaffenheit, sowie durch die unter der Fläche T liegenden Leiter bedingt sein. Irgendwelche Veränderung dieser Faktoren wird auch die Blitzgefährdung verändern. In der Natur fällt nun die Elektrode E mit dem vordringenden Entladungshaupt zusammen. Die Blitzgefährdung wird somit hauptsächlich durch die folgenden Faktoren bestimmt sein:

1. die geometrischen Abmessungen des gefährdeten Leiters, sei es nun die Erdoberfläche selbst oder ein auf ihr errichtetes Objekt, sowie ihre Lage gegenüber ihrer Umgebung;
2. die geoelektrische Struktur des Untergrundes;
3. die Richtung, aus der die Entladung einfällt;
4. alle Faktoren, die die elektrischen Eigenschaften des Untergrundes sowie des Kontaktes zwischen dem Untergrunde und den diesen überragenden Leitern beeinflussen. In diese Gruppe gehören besonders meteorologische und biologische Faktoren.

Um die Gefährdung irgendeiner Stelle richtig zu beurteilen, genügt es indessen nicht, die erwähnten Faktoren ausschließlich an dieser Stelle zu bestimmen, sondern man muß auch noch auf die weitere Umgebung Bedacht nehmen. Es ist insbesondere möglich, daß unter bestimmten Voraussetzungen der Blitz abspringt, daß also die Gefährdung der untersuchten Stelle maßgeblich durch die Eigenschaften benachbarter bedingt ist. Die Durchführung dieser Untersuchungen ist daher keineswegs so einfach, wie dies im allgemeinen angenommen wird, und erst in den letzten Jahren, in denen besonders die Geophysik sich rasch entwickelte, war es möglich, eine richtige Übersicht zu erhalten.

Die Frage, ob es bestimmte Stellen des Untergrundes gibt, die durch eine besonders hohe Blitzgefährdung charakterisiert sind und die man als „Blitznester“ bezeichnet, wird heute in der gesamten Fachliteratur umstritten. Meiner Überzeugung nach gibt es weder theoretische Gründe, die gegen diese Annahme sprechen können, noch praktische Erfahrungen, die eine allgemeine und gleichmäßige Gefährdung bestätigen würden. Die überwiegende Zahl der praktisch tätigen Blitzschutztechniker steht heute sicher auf dem Standpunkt, daß Blitznester existieren und daß man auf sie Rücksicht nehmen muß. Gerade dem Umstande, daß man in früheren Jahren dieser Forderung nur in den seltensten Fällen entsprach, ist es zuzuschreiben, daß nicht nur wichtige Objekte, sondern vor allem auch Freileitungen in solchen gefährdeten Gebieten errichtet wurden und dadurch ständigen Einschlägen ausgesetzt sind. Hätte man bei der Trassierung von Freileitungen auf die Existenz besonders blitzgefährdeter Stellen Bedacht genommen, so wäre die Störanfälligkeit sicher ganz wesentlich verringert worden. Wenn auch, auf vornehmlich theoretischen Grundlagen, heute noch da und dort über diese Dinge gestritten wird: eine ganz wesentliche Verminderung der Störanfälligkeit in jenen Netzen, in denen man Blitznester eingrenzte und den Leitungsschutz ihrer Lage anpaßte, spricht eine vollkommen eindeutige Sprache, die nicht überhört werden kann¹⁾. Auf dem Gebiete des Gebäudeblitzschutzes wird aber heute auf diese Faktoren noch viel zu wenig Bedacht genommen. Es ist ja wohl sicher durchaus verständlich, daß man nicht bei jedem Haus zunächst untersuchen kann, ob die Stelle blitzgefährdet ist, um dann den Baugrund evtl. unbebaut zu lassen. Dies würde insbesondere innerhalb größerer Siedlungen zu ganz unhaltbaren Verhältnissen führen. Aber schließlich gibt es weite Gebiete, die ganz lose bebaut sind. Dort ist es sehr wohl möglich, auf geophysikalische Voraussetzungen Bedacht zu nehmen. Es ist schließlich sicher nicht notwendig, daß z. B. ganze Häuserzeilen über dem Ausgehenden von Verwerfern errichtet werden, die erfahrungsgemäß blitzgefährdet sind, während durch eine Verlegung um einige Dekameter ein oft ganz blitzsicheres Gelände gefunden werden könnte. Weiter gibt es Gebäude, die in ganz besonderer Weise der Einwirkung des Blitzes entzogen werden müßten, z. B. Sprengstoffabriken und Munitionslager, Tanklager usw. Bei deren Bau besteht in den meisten Fällen die Möglichkeit, das Gelände zu wählen, und es wäre nur eine selbstverständliche Forderung, wenn man hier verlangen wollte, daß auch auf geophysikalische Voraussetzungen Bedacht genommen wird. Aber auch dort, wo ein bestimmter Bauplatz vorgeschrieben ist, empfiehlt sich die Untersuchung der geoelektrischen Struktur. Zunächst einmal gewinnt man eine Übersicht über den Grad der Gefährdung und ist dadurch imstande, die Blitzschutzeinrichtungen diesem anzupassen. Dann aber ist man dadurch auch noch in der Lage, richtige Erdungsstellen nachzuweisen, die die Sicherheit der ganzen Anlage erst verbürgen können. Wenn daher heute die Forderung erhoben wird, daß die Verfahren der angewandten Geophysik und insbesondere die Verfahren der Funkgeologie, der Blitzschutztechnik zunutze gemacht werden, so geschieht dies aus durchaus praktischen und auch wirtschaftlich wichtigen Gründen.

¹⁾ Siehe zahlreiche Arbeiten besonders von LEHMANN, BAUMEISTER u. a.

2. Allgemeines über die Anordnung von Ableitern.

Jede Blitzschutzstange besteht aus der Fangstange oder Fangleitung, der Ableitung und der Erdung. Die Fangeinrichtung hat die Aufgabe, die Entladung von anderen Punkten des zu schützenden Objektes, an denen sie Schaden anrichten könnte, abzulenken. Die Entladung wird dann über die Ableitung zur Erde geführt. Früher legte man der Fangstange übertriebenen Wert bei. Man war insbesondere der Meinung, daß besonders hohe Stangen am Platze wären, man stattete die Stangen womöglich mit Platinspitzen aus, um ihre Saugwirkung zu erhöhen, usw. Heute wissen wir, daß die starke Saugwirkung überhaupt nicht in Betracht kommt, und daß mit Rücksicht darauf, daß auch der Schutzbereich, wie wir noch sehen werden, keineswegs ins Endlose wächst, die hohe Fangstange keinen Sinn hat. Dagegen wird der Ableitung weit mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Während man sich früher damit begnügte, jede Stange einzeln auf kurzem Wege mit der Erde zu verbinden, verbindet man heute bekanntlich die Ableitungen untereinander zu einem Netz, das das ganze zu schützende Gebäude überzieht. Als Regel kann man annehmen, daß kein Punkt der zu schützenden Oberfläche weiter als ungefähr 10 m von einer Ableitung entfernt sein soll. Grundlegend geändert hat sich die Erdertechnik. Während diese

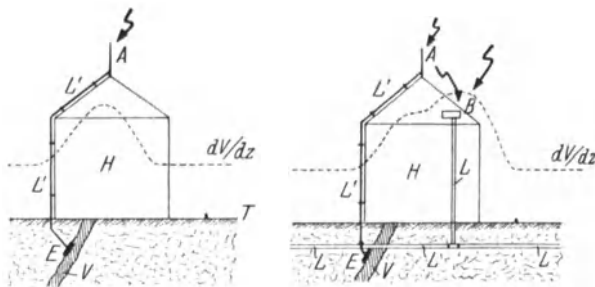


Fig. 3. Gebäudeblitzschutz über inhomogenem Untergrund.

früher mehr oder weniger nach rein schematischen Grundsätzen erfolgte, hat heute insbesondere die angewandte Geophysik dafür gesorgt, daß der Anlage von Erdern größte Aufmerksamkeit zugewendet wird. Wir wissen insbesondere, daß die obere Erdkruste keineswegs der zusammenhängende und homogene Leiter ist, als der er häufig angenommen wurde, und daß daher die Wahl des Erdungspunktes, besonders im schwierigen Gelände, nur nach vorausgegangener Vermessung möglich ist. Von wesentlicher Bedeutung ist selbstverständlich stets, daß alle Leiter im Inneren des Gebäudes an die Erde angeschlossen werden. Bei der Verteilung der Fangstangen und Ableitungen muß man immer auf die Verformung des normalen luftelektrischen Feldes Rücksicht nehmen. In Fig. 3 sehen wir ein Beispiel. Links ist ein Haus *H* zu sehen, das über einem Untergrund *T* steht, in dem die gutleitende Spalte *V* eingebettet ist. Wenn nun das *T* besonders schlecht leitet, so kann vor dem Blitzschlag eine Verformung der Äquipotentialflächen auftreten, wie sie in der Figur schematisch eingezeichnet ist. In diesem Fall ist die Anordnung richtig verlegt. Die Fangstange *A* liegt an jener Stelle, an der die Verformung ihr Maximum erreicht, und dadurch wird die Vorentladung, die im allgemeinen in der Richtung des steilsten Gradienten verläuft, zu ihr hingeleitet werden. Rechts sehen wir dagegen eine unrichtige Anordnung. Unter dem Dachboden ist ein Wasserbehälter *B* ein-

gebaut, der durch das Fallrohr *L* mit Leitungen im Untergrunde verbunden ist. In diesem Fall besteht zunächst einmal die Möglichkeit, daß die Vorentladung infolge der schon eingezeichneten Deformation des luftelektrischen Feldes, wenn sie von rechts schräg einfällt, nach *B* geleitet wird. Es besteht überdies natürlich die weitere Möglichkeit, daß ein in *A* einschlagender Blitz nach *B* abspringen wird, wenn nämlich die Impedanz der Leitung *L* kleiner ist als die der

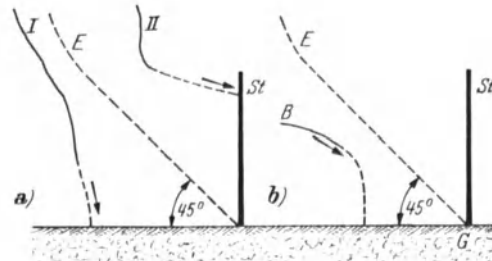


Fig. 4. Einzugsgebiet.

Blitzableitung *L'*. Es wäre aus diesem Grunde notwendig, die Fangstange mit dem Wasserbehälter durch eine Leitung zu verbinden.

3. Der Schutzraum des Ableiters.

Die Ermittlung des Ableiterschuttraumes ist über homogenem Grunde verhältnismäßig einfach, weil in diesem Fall ausschließlich geometrische Faktoren zu berücksichtigen sind¹⁾. Bei inhomogenem Untergrund treten Komplikationen hinzu. Wir werden daher den Einfluß der geometrischen und geophysikalischen Faktoren getrennt zu ermitteln haben. In Fig. 4 sehen wir bei *a* zunächst die Begrenzung des sog. Einzugsgebietes. Auf dem Untergrunde ist eine Metallstange *St* errichtet und es soll nun der Raum ermittelt werden, innerhalb dessen von oben her vordringende Entladungen zur Stange abgelenkt werden. Unter der Voraussetzung, daß die Entladung immer den kürzesten Weg wählen wird, erhalten wir die eingezeichnete Kurve *E*, deren erdnahe Teil in eine Gerade unter 45° Neigung übergeht. Die Entladung *II* wird dann, da sie innerhalb des so begrenzten Raumes vordringt, zur Stange abgelenkt werden, während die Entladung *I* außerhalb des Einzugsgebietes direkt zur Erde gehen wird. Wir können zeigen, daß auch schräg vordringende Entladungen den gleichen Weg nehmen werden. Bei *b* sehen wir z. B., daß die Entladung *B*, die von links her schräg einfällt, zur Erde geht. In Fig. 5

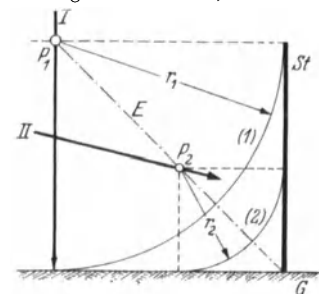


Fig. 5. Schutzraum.

ist die Konstruktion des zugehörigen Schutzraumes dargestellt. Unter diesem verstehen wir ein Gebiet, in dem wegen des Blitzableiters überhaupt keine Entladungen verlaufen werden. Wir nehmen zunächst wieder einmal an, daß die Entladung *I* von oben her, und zwar in der Höhe der Stange, an der Grenze des Einzugsgebietes vordringt. Wieder unter der Voraussetzung, daß die

¹⁾ Siehe A. SCHWEIGER, Schutzbereich von Blitzableitern (1938) bei Oldenbourg.

Entladungen den kürzesten Weg nehmen, können wir nun den Schutzraum durch den Kreisbogen (1) begrenzen. Der Mittelpunkt liegt in P_1 und der Radius ist gleich der Entfernung des Punktes P_1 von der Stangenspitze. Der Punkt P_1 liegt wieder am Schnitt des Einzugskegels mit einer Fläche, die parallel zur Erdoberfläche durch die Stangenspitze hindurchgeht. Wenn nun eine Entladung schräg einfällt, so sind die Voraussetzungen bereits andere. Für die Entladung II können wir z. B. den Schnittpunkt P_2 ermitteln, und wir erhalten dann den wesentlich kleineren Schutzbereich (2). Zu berücksichtigen ist allerdings, daß solche schräg einfallende Entladungen im allgemeinen nur in einer bestimmten Höhe möglich sind. Man wird annehmen dürfen, daß bis zu einer Höhe von ungefähr 10 m jedenfalls die zuerst angegebene Konstruktion angewendet werden darf, d. h. also, daß einem Ableiter ein Schutzkreis von bis zu 10 m Radius zugeteilt werden kann. Wird

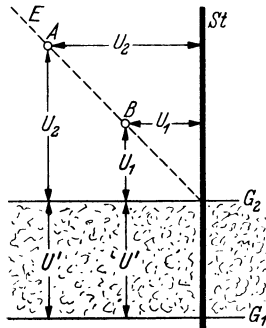


Fig. 6. Entladung über inhomogenem Grunde.

dann aber der Ableiter höher, so darf man keineswegs annehmen, daß der Schutzkreis in gleichem Maße mit der Höhe zunimmt. Es muß nämlich die Möglichkeit schräger Blitzschläge berücksichtigt werden. Daher sind die von verschiedener Seite vorgeschlagenen, sog. Fernblitzableiter unmöglich. Es ist

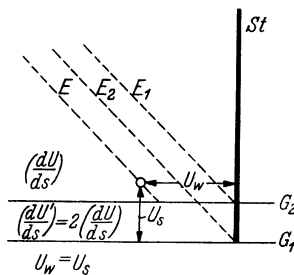


Fig. 7. Einzugsgebiet über inhomogenem Grunde.

auch durchaus nicht verwunderlich, wenn mitunter der Blitz in der Nähe hoher geschützter Objekte einschlägt. So sind z. B. Fälle bekannt, in denen das Kirchenschiff durch Einschlag zerstört wurde, während der Kirchturm mit einer durchaus brauchbaren Blitzableitung ausgerüstet war. Auch die Schutzwirkung von hohen Eisenmasten, Gittertürmen usw. darf nach diesen Gesichtspunkten keineswegs überschätzt werden. Wie schon erwähnt, komplizieren sich die Verhältnisse, wenn der Untergrund nicht mehr homogen ist, sondern aus elektrisch verschiedenen Schichten besteht. In Fig. 6 ist dieser Fall schematisch dargestellt. Es ist angenommen, daß der Untergrund aus einer gutleitenden Schichte besteht, über der, durch die Fläche G_1 von ihr getrennt, eine schlechtleitende liegt. G_2 ist die Erdoberfläche. Wir haben bisher bei den Konstruktionen immer ausschließlich die geometrischen Abstände berücksichtigt, weil wir ja voraussetzen durften, daß die zum Durchschlag der entsprechenden Abstände erforderlichen Spannungen immer durch den geometrischen Abstand bedingt seien. Diese Voraussetzung konnte deshalb gemacht werden, weil sich bisher alle Entladungen ausschließlich in der Luft abspielten. Gerade diese Voraussetzung kann aber jetzt nicht mehr gehalten werden. Wir haben es vielmehr einerseits mit Entladungen in der Luft, andererseits mit solchen in dem schlechten Leiter zwi-

schen G_1 und G_2 zu tun. Daher müssen wir jetzt an Stelle der geometrischen Entfernungen die Spannungen einsetzen, die zum Durchschlag nötig sind. In Fig. 6 sehen wir, zu welchem falschen Ergebnissen die rein geometrische Konstruktion führen würde. Wenn wir die Einzugskurve E wieder unter 45° zu G_2 zeichnen, so erhalten wir z. B. für den Punkt A eine horizontale Überschlagsspannung U_2 , eine vertikale dagegen von $U_2 + U'$. Da diese beiden nicht mehr einander gleich sind, so verliert die Konstruktion jeden Wert. Wenn die beiden Spannungen einander gleich sein sollen, so muß die Kurve E horizontal nach links verschoben werden und wir erhalten dann die in Fig. 7 angegebenen Konstruktionen. In diesem Fall wurde willkürlich angenommen, daß zum Durchschlag der oberen Schichte des Gebirges die doppelte Spannung nötig sei wie zum Durchschlag in Luft. Diese Voraussetzung wird natürlich nur in bestimmten Fällen gelten. Wir wollen weiter annehmen, daß bis G_1 das gutleitende Grundwasser reicht, also ein elektrisch homogener guter Leiter. Wir sehen dann, daß die Begrenzungskurve des Einzugsgebietes von E_1 nach E verschoben wird. Würden wir die ganze Kon-

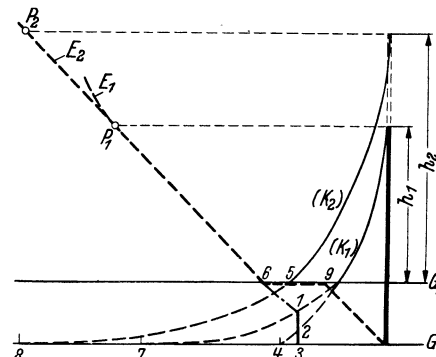


Fig. 8. Einzugsgebiet unter Tags.

struktion, wie dies fälschlicherweise mitunter empfohlen wird, nur auf den Grundwasserspiegel beziehen, so erhielten wir die Kurve E_2 . Die Durchschlagsfestigkeit des Gesteins ist sehr verschieden. AKOPIAN hat ermittelt, daß die Durchschlagsfestigkeit von trockenem Sand 3000 Volt pro Zentimeter, von feuchtem Lehmboden ungefähr 4000 Volt pro Zentimeter beträgt. Dieser Unterschied ist verständlich, wenn man berücksichtigt, daß Sand ein ziemlich lockeres Gebilde ist, in dem ziemlich viel Luft enthalten ist. Die Durchschlagswerte für festes Gestein, also z. B. für Granit, Schiefer usw., liegen weit höher. Bei Schiefer kommt überdies noch die Richtung der Schieferung in Betracht. Parallel zu den Schichten ist die Durchschlagsfestigkeit geringer als senkrecht zu ihnen.

Wenn wir die Existenz eines geschichteten Untergrundes annehmen, so können wir natürlich in den einzelnen Schichten auch die Grenze des Einzugsgebietes und des Schutzbereiches bestimmen. In Fig. 8 sehen wir ein entsprechendes Beispiel. Es ist wieder angenommen, daß die Stange von der Höhe h_1 mit dem unteren, guten Leiter G_1 verbunden ist. Wir erhalten dann zunächst einmal ober Tags die Einzugskurve E_1 und dazu den Schutzkreis (K_1). Dieser schneidet in Punkte 9 die Erdoberfläche und verläuft dann zum Punkte 7 auf der Fläche G_1 . Wird die Höhe der Stange mit h_2 angenommen, so erhalten wir die Einzugskurve E_2 und den Schutzkreis (K_2), der dann unter Tags in eine Kurve übergeht, die im Punkte 8 auf G_1

endet. Der Verlauf der Einzugslinie zwischen G_2 und G_1 ist in der Figur strichliert eingezeichnet. Ein Leiter 1, der mit dem Punkt 3 der Fläche G_1 verbunden ist, würde sich daher noch im Schutzbereich des niedrigen Ableiters befinden. Diese Voraussetzungen sind auch für den Bautechniker wichtig, wenn er unterirdische Baulichkeiten ausführt, die z. B. der Einlagerung von Sprengstoffen dienen. In solchen Fällen ist es unbedingt notwendig, darauf Bedacht zu nehmen, ob auch unter der Erdoberfläche für ausreichenden Schutz

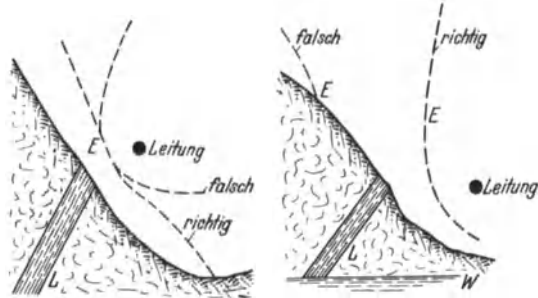


Fig. 9a.

Fig. 9b.

Fig. 9a. Einzugsgebiet über einer Spalte.

Fig. 9b. Grenze des Einzugsbereiches über Spalte und Grundwasser.

gesorgt ist. Tatsächlich ist aus der Praxis her eine größere Anzahl von Blitzschlägen im Untergrunde bekannt, durch die z. B. Kabelleitungen schwer beschädigt wurden. Schwieriger wird die Konstruktion, wenn an die Stelle des horizontal geschichteten Untergrundes jener tritt, mit dem wir es meist praktisch zu tun haben. Sehr oft finden ja die guten Leiter, die im Untergrunde eingebettet sind, also z. B. in vielen Fällen das Grundwasser, eine elektrische Fortsetzung in Spalten und Verwerfern, die bis knapp unter die Erdoberfläche reichen. In diesem Falle haben wir dann neben der Leitfähigkeit des Grundwassers und des Gesteins auch noch jene der erwähnten mehr oder weniger stark durchfeuchteten Spalten und Klüfte zu berücksichtigen. In Fig. 9a sehen wir den Schnitt durch ein solches Gelände. In das trockene Gebirge soll eine feuchte und

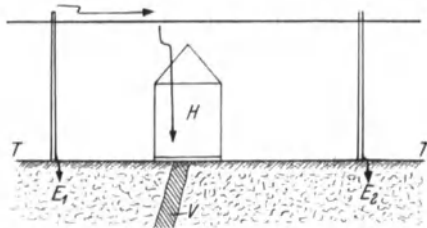


Fig. 10. Blitzgefährdung durch Freileitung.

daher gutleitende Spalte L eingebettet sein. Im Schnitt sehen wir außerdem noch eine geerdete Leitung. Wir sollen nun dieser Leitung, die also z. B. dem Schutze der festen Drähte dienen soll, einen Einzugsbereich zuordnen. Wenn wir die Konstruktion auf die Erdoberfläche beziehen, so erhalten wir in diesem Fall eine ganz falsche Kurve. In der Figur ist sowohl diese als auch die richtige Kurve eingezeichnet, die auf die geoelektrischen Verhältnisse Bedacht nimmt. In Fig. 9b sehen wir wieder den Schnitt durch ein Gebirge, das eine Spalte L enthält, die bis zum Grund-

wasser W reicht. Würden wir die Einzugskurve lediglich auf den Grundwasserspiegel beziehen, so erhielten wir wieder, wie die Figur deutlich zeigt, einen ganz falschen Verlauf. In der Praxis sind viele Fälle bekannt, in denen Einschläge innerhalb von Räumen erfolgten, die nach der bestehenden Theorie eigentlich als völlig geschützt anzusehen wären. Untersucht man dann die Verhältnisse vom geoelektrischen Standpunkt aus, so konstatiert man stets, daß der Einschlag auch theoretisch durchaus verständlich ist. Sehr oft wird angenommen, daß Freileitungen imstande wären, ein Objekt ausreichend zu schützen. Einesolche Schutzwirkung könnte vom rein geometrischen Standpunkt aus dann beurteilt werden, wenn der Untergrund völlig homogen wäre. Da diese Voraussetzung aber vielfach nicht zutrifft, so muß die Schutzwirkung von Leitungen sehr vorsichtig beurteilt werden. In der Praxis

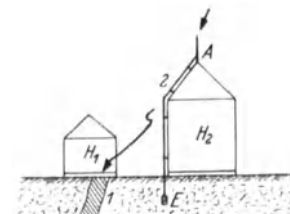


Fig. 11. Blitzschlag in ein Gebäude.

wird man am besten tun, sie überhaupt als nicht gegeben zu betrachten. Davon abgesehen, kann es aber sogar möglich sein, daß durch eine Leitung, deren Maste schlecht geerdet sind, ein Gebäude noch gefährdet wird. Ein Beispiel zeigt Fig. 10. Die Leitung L ist an den Punkten E_1 und E_2 im schlechtleitenden Erdreich geerdet. Sie führt über das Haus H hinweg, das wieder über dem Ausgehenden des gutleitenden Verwerfers V steht. In diesem Fall ist es durchaus möglich, daß der Blitz von der Leitung zum Verwerfer abspringt und dadurch das Haus beschädigt. Auch die oft verbreitete Annahme, daß niedrige Objekte, die in der Nachbarschaft eines höheren, mit Ableiter ausgerüsteten Hauses stehen, nicht besonders geschützt werden müssen ist vollkommen falsch. In Fig. 11 ist schematisch ein Fall eingezeichnet, den ich selbst einmal zu beurteilen hatte. Über dem Ausgehenden einer gutleitenden Spalte V stand das niedrige Gebäude H_1 . Nur durch die Straße getrennt stand das große Gebäude H_2 , das einen Ableiter A trug. Eine Überprüfung zeigte, daß der Erder E einen zu hohen Übergangswiderstand hatte. Die Erdung sprang daher vom Ableiter beim Punkte 2 ab und nahm den Weg zum Ausgehenden der Spalte, wodurch das Haus H_1 zerstört wurde. Dieses Beispiel zeigt auch, wie notwendig es ist, daß Erdungen genügend kleine Werte haben. Ein Gebäude mit schlechter Erdung ist nicht nur selbst gefährdet, sondern es kann unter Umständen auch noch den Nachbar arg bedrohen.

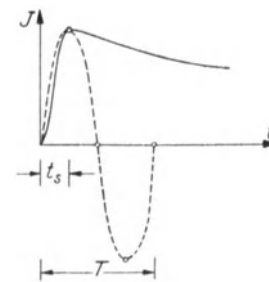


Fig. 12. Blitzstromkurve.

5. Funkgeologische Gesichtspunkte für die Überprüfung von Ableitern.

Der Blitz ist bekanntlich, wenn man die Hauptentladung betrachtet, ein Gleichstromstoß. Wie Fig. 12 zeigt, steigt die Stromstärke innerhalb eines ganz kurzen Zeitraumes von Null auf den Maximalwert. In diesem kurzen Zeitraum muß die Ableitung stattfinden, sonst springt die Entladung ab. Man

kann daher der Blitzstromkurve eine Sinuskurve einschreiben und dann annehmen, daß ein Leiter durch den Blitz ähnlich beansprucht wird, wie durch einen Wechselstrom der äquivalenten Frequenz. Die Schwingungsdauer T des äquivalenten Wechselstromes wird daher ungefähr gleich der vierfachen Stirnzeitdauer t_s sein. Günstiger wäre natürlich die Verwendung eines Stoßgenerators. Aber mit Rücksicht darauf, daß solche Generatoren ziemlich umfangreiche Einrichtungen darstellen, die im Gelände nur schwer eingesetzt werden können, erscheint deren Verwendung nur in seltenen Ausnahmefällen möglich. Aus diesem Grunde gewinnt die Messung mit hochfrequentem Wechselstrom an Bedeutung, weil die Apparate für diese Messungen ziemlich handlich sind und somit an jeder Stelle eingesetzt werden können. Für die Anwendung hochfrequenter Meßströme sind dann auch noch verschiedene andere Gesichtspunkte maßgebend, die ich hier nicht näher untersuchen kann. Es ist klar, daß zwischen Messungen, die mit hochfrequentem Wechselstrom durchgeführt wurden, und solchen mit niederfrequentem Wechselstrom oder Gleichstrom wesentliche Unterschiede zu erwarten sind. Diese sind besonders bemerkenswert, wenn es sich um lange Ableitungen handelt. Die Vermessung mit Hochfrequenz gestattet eine viel richtigere Beurteilung der Brauchbarkeit einer Blitzableitererdung als mit den heute üblichen Verfahren. Es wurden bereits eine größere Anzahl von Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse anschaulich zeigen, daß zwischen den Ergebnissen mit Niederfrequenz und Hochfrequenz sehr beträchtliche Unterschiede bestehen und daß mancher Blitzschlag in eine anscheinend richtige Anlage durchaus verständlich wird, wenn man mit Hochfrequenz überprüft.

Für die Bodenuntersuchungen sind aus dem gleichen Grunde die Verfahren der Funkgeologie heranzuziehen. Die Meßverfahren der Funkmutung wurden in letzter Zeit den besonderen Erfordernissen angepaßt, die auf dem Gebiete der Blitzschutztechnik zu berücksichtigen sind.

6. Geländeversuche.

Es wurde bereits eingangs darauf hingewiesen, daß zur Untersuchung der Blitzgefährdung in erster Linie Modellversuche herangezogen werden müssen. Nun sind in der Natur aber sehr oft Einflüsse wirksam, die das Ergebnis verändern können. Um diese kennenzulernen, muß man Geländemessungen durchführen. Im letzten Jahr wurde daher in Deutschland mit der Einrichtung eines Blitzversuchsfeldes begonnen, das nahe dem Kamm des Böhmisches-Sächsischen Erzgebirges, bei Eger, liegt. In diesem Gelände sollen die geophysikalischen Voraussetzungen der Blitzgefährdung genauer untersucht werden. Das Versuchsfeld Absroth bei Eger wurde deshalb gewählt, weil gerade in diesem Gebiet eine besonders hohe Blitzenanfälligkeit konstatiert werden konnte. In dem kleinen Orte gibt es, wie Fig. 1 zeigt, wenig Häuser, die nicht irgendeinmal während eines Gewitters zu Schaden gekommen wären, und auch in die Freileitungen schlug der Blitz unheimlich oft ein. In Fig. 13 ist das Gelände dargestellt, und die wichtigsten Einrichtungen sind in dieser Karte eingetragen. Unter Berücksichtigung der zahlreichen Blitzschläge ins freie Feld wurden drei Blitznester vorläufig eingegrenzt. Es soll nun untersucht werden, ob innerhalb der so eingegrenzten Streifen die Blitzgefährdung tatsächlich größer ist als in der Umgebung, und weiter soll dann an jeder nachgewiesenen Einschlagstelle der Untergrund nach geoelektrischen Gesichtspunkten untersucht werden. Um diese Aufgabe zu lösen, wurden in die Leitungen, die das Ge-

lande überziehen, Stahlstäbchen¹⁾ eingebaut, so daß jederzeit die Einschlagstelle selbst eingegrenzt werden kann. Weiter wurden auf mehreren Objekten Blitz-

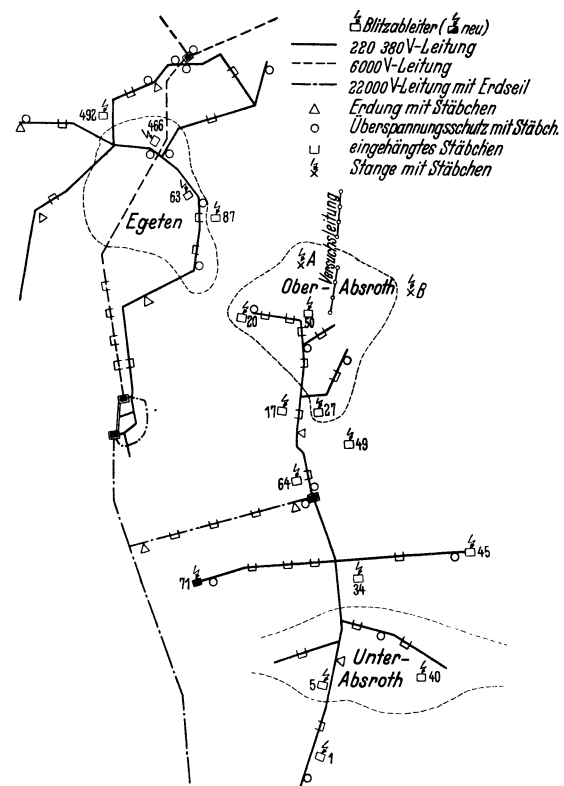


Fig. 13. Blitzversuchsfeld.

schutzanlagen teils neu errichtet, teils alte Anlagen instand gesetzt, und auch in diese wurden dann wieder Stäbchen eingebaut, aus deren Magnetisierung auf die Intensität des Blitzstromes geschlossen werden kann.

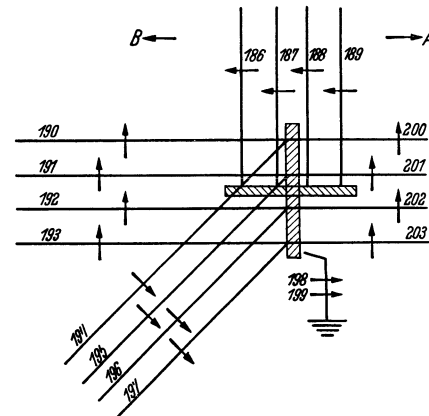


Fig. 14. Einbau der Stäbchen in eine Abzweigung.

In Fig. 14 ist ein Beispiel herausgegriffen. Wir sehen, wie da die Stäbchen, die durch Pfeile markiert sind, in eine Freileitung eingehängt werden. Nach vollem

¹⁾ Durch den Blitzstrom in der benachbarten Leitung wird das Stahlstäbchen magnetisiert. Diese Magnetisierung wird zur Ermittlung der Blitzstromstärke ausgenutzt.

Ausbau werden insgesamt 300 Stäbchen laufend kontrolliert werden. An 2 Stellen wurden eigene Versuchslösungen errichtet, die an den beiden Enden geerdet sind und wieder Stäbchen tragen. Es besteht da die Möglichkeit, Einschläge ziemlich genau einzugrenzen. Schließlich wurden noch an 2 Punkten, an denen eine Häufung von Einschlägen beobachtet werden konnte, eigene Blitzstangen errichtet, die wieder Stahlstäbchen tragen. Wichtig ist natürlich, daß die durch die Witterung bedingten geoelektrischen Veränderungen im Untergrunde bekannt sind. Es wurde daher ein registrierender Erdungsmesser errichtet, der ständig an drei geoelektrisch für das Gelände typischen Stellen die Erdungswiderstände bestimmt. Die Tätigkeit im Versuchsfeld Absroth wurde mit 1. April 1941 aufgenommen. Die Untersuchungen werden natürlich auf mehrere Jahre ausgedehnt werden müssen, um brauchbare Durchschnittswerte zu erhalten. Es wäre sehr zu begrüßen, wenn auch an anderen Stellen solche Versuchsfelder entstehen würden. Wenn es dann gelänge durch internationale Zusammenarbeit die Ergebnisse auszutauschen, so würde man sicher manche heute noch umstrittene Frage einwandfrei klären können.

Zusammenfassung.

1. Bei der Beurteilung der Blitzgefährdung muß der geoelektrischen Struktur des Untergrundes Beachtung geschenkt werden. Aus diesem Grunde bestehen Zusammenhänge mit der Funkgeologie.
2. Der Schutzraum eines Ableiters ist durch verschiedene Faktoren bestimmt, unter denen geometrische und geoelektrische die wichtigsten sind. Rein geometrische Konstruktionen können zu unrichtigen Ergebnissen führen.
3. Für die Überprüfung von Blitzschutzeinrichtungen und Erdern sollen Verfahren verwendet werden, die mit hochfrequenten Wechselströmen arbeiten. Gute Erdungsstellen sollen womöglich durch die Verfahren der Funkmutung nachgewiesen und in gleicher Weise überprüft werden.
4. Wenngleich zur Bestimmung der Blitzgefährdung der Modellversuch unentbehrlich ist, so ist es doch wünschenswert, ein möglichst reichhaltiges Beobachtungsmaterial zu erhalten. Aus diesem Grunde empfiehlt sich die Errichtung von Versuchsfeldern. Das Blitzforschungsgelände von Absroth wird kurz beschrieben.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Experimentelle Erfassung von Uran in lebenden Süßwasserorganen.

Bemerkungen zum Schrifttum. Es ist berichtet worden, daß mit 1,4 bis $4,2 \cdot 10^{-3}$ gU versetzte Nährsalzlösungen grüne Pflanzen günstig zu beeinflussen sind; nicht erwiesen war es, ob die in uranhaltigen Nährsalzlösungen gezogenen Pflanzen Uran in ihren Organismus aufnehmen¹). Durch unklare Stilisierung in J. STOKLASA und J. PENKAVA, Biologie des Radiums usw., fand in das Schrifttum der Irrtum Eingang, daß auf dem Krater des erloschenen Vulkanes Kammerbühl bei Eger wildwachsende Pflanzen uranhaltig sind²).

Das Probematerial. Für Flußwasseruntersuchung der March wurden am 9. V. 1941 im Flußbogen im Orte Angern an der deutsch-slowakischen Grenze Wasserproben zu einer Zeit entnommen, als die alljährliche Frühlingsüberschwemmung der nicht regulierten March wieder verebbt war. Die an Ort und Stelle geprüfte Wasserstoffionenkonzentration³) ergab stets $p_H = 7,5$. Die in Wien ermittelte Gesamthärte entsprach 12,5 deutschen Härtegraden. Es lag somit ein sehr hartes, schwach alkalisch reagierendes Flußwasser vor. Auffälligerweise war das Wasser völlig klar, setzte auch während des Transportes kein Sediment ab, enthielt aber stets zahlreiche Algenkolonien.

Die Untersuchung des Flußwassers einschließlich der Algenmenge pro Liter. Da ein Versuch, die allenfalls vorhandene Uranmenge mit chemischen Methoden zu ermitteln, aussichtslos erschien, wurde, wie in den früheren Fällen, ein kombiniertes chemisch-analytisch-optisches Verfahren verwendet, das gestattet, Uranspuren bis 10^{-10} gU sicher zu erfassen⁴). Bezüglich des Untersuchungsweges sei gesagt: Die im Liter Flußwasser miterfaßte Algenmenge wurde gesondert und nach dem Trocknen verascht, wobei 8,80 mg Algenasche hinterblieb. Da das Verbrennen der Algen nur bei nicht zu hohen Temperaturen geschah, wurde zur Beseitigung allfällig verbliebener organischer Spuren die salzsaure Lösung mit reiner Salpetersäure oxydiert, die Lösung verdampft und der Rückstand nochmals oxydiert. Der mit einer geringen Menge reinsten Kaliumnatriumkarbonats aufgeschlossene Aschenrückstand war analysiert worden. Die benutzten Platingefäße waren mit Säure gereinigt und anschließend mit Natriumfluoridlösungen verschiedener Konzentration absolut uranfrei gemacht. Auch die benutzten Schleich-Filter waren vor der Verwendung sicherheitshalber einer wiederholten Säurebehandlung unterworfen worden. Die für die Analyse der Algenasche benutzten Jenaer Gefäße wurden in fabrikanem Zustand einer wiederholten Säure-

behandlung mit anschließender Alkoholbehandlung unterzogen. Die letzte salzsaure, beim Auskochen der Gläser erhaltene Flüssigkeitsmenge ergab weder einen sichtbaren Abdampfückstand, noch waren durch Ablösung von den Platinwänden durch Natriumfluorid Uranspuren aufdeckbar. Zwecks Erfassung der bei der analytischen Fällung der Eisen-, Aluminium- und Uranmenge durchgegangenen Uranspuren wurde Ferrichlorid Merck, p. a., benutzt, das einer dreifachen Urantrennung unterworfen war. Die Urantrennung erfolgte in Form des Ammoniumuranylcarbonats, wobei Sorge getragen war, daß keine späterhin die optische Untersuchung störenden Kalziumkarbamatbildungen auftraten; aus dem gleichen Grund waren auch die während der einzelnen Operationen aus den benutzten Glasgefäßen möglicherweise in die Uranlösung gelangten Kieselsäurespuren unschädlich gemacht worden. Zur Ermittlung der Fluoreszenzstärke wurde eine große technische, lichtstarke Analysenlampe, Hanau, mit Woodschem Filter benutzt. Die mit der Uranmenge aktivierten Natriumfluoridgläser hatten einschließlich der verwendeten Vergleichsgläser durchschnittlich das gleiche Ausmaß und Gewicht von 0,025 g.

Zur analytischen Untersuchung des Algenfiltrates wurde ungefähr der gleiche Gang eingehalten, wie es bei den Mineralwasseranalysen üblich ist, nur wurden die gefällten Sesquioxhydrat wiederholt gefällt und umgefällt und den Filtraten das vorher erwähnte Mitreibmittel zugesetzt. Da das Filtrat der Marchlösung bei Benützung eines SCHLEICHschen Schwarzbandfilters eben noch merklich grünlich erschien, wurde sie hart nachgefiltert, analysiert.

Bestimmung der Uranmengen. Die Uranmenge der filtrierten Marchlösung entsprach der Größenordnung 10^{-6} gU/l.

Die Fluoreszenzstärke der Algenasche lag über $1 \cdot 10^{-9}$, doch näher diesem Wert als $5 \cdot 10^{-9}$, so daß $2 \cdot 10^{-9}$ gU/25 mg aktiviertes NaF zu schätzen war, woraus sich rechnerisch ergab:

$$40 \cdot 2 \cdot 10^{-9} \text{ gU}/0,0088 \text{ g} = 9,09 \cdot 10^{-6} \text{ gU/g Algenasche} \\ = 9,1 \cdot 10^{-4} \% \text{ U.}$$

Bemerkung zu den Ergebnissen. Es ist hiermit erwiesen, daß Süßwasserorganen aus der natürlichen Marchlösung mit einem Urangehalt der Größenordnung 10^{-6} gU/l Uran aufnehmen. Da sowohl der Algenbestand wie auch der Fischbestand ausgezeichnet gedeiht, ist zu schließen, daß Uran, das als eines der heftigsten Gifte an der obersten Spitze der Reichsgiftliste steht, bei der vorgefundenen Konzentration nicht mehr als Giftstoff anzusprechen ist. Bei einer Reihe

vorgenommener Süßwasseruntersuchungen war zu beobachten, daß eisen-, uran- und manganhaltige Flußsedimente stets organische Stoffe sowie erkennbare Pflanzenreste enthielten, daher, abgesehen von Ockerbildungen, Pflanzenresten eine bestimmte Rolle im Uranhaushalt der Natur zuzukommen scheint, und die Entstehung des uranhaltigen Kolm nur als besonderer Fall zu werten sein könnte. Über bereits erfaßte Uranmengen im lebenden und toten Organismus von verschiedenen auf dem Lande wachsenden Pflanzen, sowie das Uranvorkommen im tierischen und menschlichen Organismus wird an anderer Stelle berichtet werden.

Wien, Institut für Chemische Technologie anorganischer Stoffe, Technische Hochschule, den 22. Mai 1941.

JOSEF HOFFMANN.

1) J. STOKLASA u. J. PENKA, Biologie des Radiums usw. Berlin 1932, S. 284. Es fehlt hier jeglicher Hinweis, auf welche Weise der Uragehalt der Pflanzen ermittelt worden wäre.

2) GMELIN, Handbuch d. anorganischen Chemie 55, 12. Hier scheint es sich um Verwechslung mit Kolm zu handeln. Restlos unmöglich war eine Untersuchung von Pflanzen, die auf dem Krater des Vulkans Kammerbühl wuchsen, weil hier auf J. HOFFMANN, Akad. Ber. IIb, 149, 103, verwiesen werden kann, worin auf S. 105 die Bauskizze des Vulkans — in Übereinstimmung mit dem geologischen Führer des 9. Geologenkongresses — ersichtlich macht, daß der ehemalige Krater nicht zu Tag liegt. STOKLASA u. PENKA geben dagegen eine photographische Aufnahme innerhalb einer Schurfnarbe wieder, die nie existierende Krater wiedergeben sollte.

3) Etwa 0,5—1 km oberhalb der Stellen der Probeentnahmen befand sich eine derzeit außer Betrieb stehende Spiritus- und Pottaschefabrik. Die Lebensbedingungen für Fische, wie Hechte, Karpfen und besonders Welse, sind derart günstig, daß ein ergiebiger Fischfang betrieben wird.

4) JOSEF HOFFMANN, Das U-Ra-Gleichgewicht eines Eisenmeteoriten, Naturwiss. 28, H. 33, 533 (1940); U in Gesteinen usw. des Erzgebirgsbruches, Akad. Ber. IIa Wien 14, H. 3, 4 (1939); Ra-U-Gleichgewicht der Karlsbader Thermen, Akad. Anzeiger Wien, 14. Dez. 1939. Balneologie 7, H. 12, 24 (1940); U im nördl. Teil des Erzgebirgsbruches, Akad. Ber. IIb 17, 10 (1940); U im Quellengebiet von Franzensbad, Akad. Ber. IIb 149, H. 3 (1940); U im Tepler Hochland und der Wiener Thermalspalte, im Druck; Karlsbader Sprudelsalz, Arch. Pharmaz. Nr 924 (1941) 29; Nachweis geringer U-Mengen in Gläsern, Sprechsaal 73, Nr 18, 153 (1940).

Zerfallszeit der Mesonen.

Wir haben in Budapest mit einer 2fach-Koinzidenzapparat mit $10 \times 40^\circ$ Öffnungswinkel und 720 qcm Zählfläche zur Bestimmung der mittleren Weglänge bzw. der Zerfallszeit der Mesonen die Intensität der kosmischen Strahlung in vertikaler und in um 20° nach Süden und nach Norden geneigter Richtung gemessen. Zwischen den Zählrohren war zur Ausbeugung der weichen Komponente ein Bleiabsorber von 20 cm Dicke angebracht. Außerdem war bei der Messung in Vertikalrichtung eine Holzschicht von solcher Dicke zwischen den Röhren, daß die von den Mesonen durchsetzte Absorberschicht dieselbe war wie in der geneigten Richtung (1146 g/qcm). Für die Bestimmung der nötigen Dicke der Holzschicht wurde der Entstehungsort der Mesonen bei durchschnittlich 80 mm Hg Luftdruck angenommen und das zwischenliegende Material auf die Elektronendichte der Luft umgerechnet. Der mittlere Luftdruck am Beobachtungsort ist 750 mm Hg. Bezeichnet J_0 bzw. J_{20} die auf Temperatur und Barometer korrigierte Intensität in der Vertikal- bzw. in der 20° geneigten Richtung, so ist ihr Verhältnis nach den ausgeführten Messungen (aus insgesamt 2,3 Millionen Koinzidenzen)

$$J_0/J_{20} = 1,060 \pm 0,002.$$

Bezeichnet weiterhin l_0 bzw. $l_{20} = l_0/\cos 1,3^\circ$ die Weglänge der Mesonen von ihrem Entstehungsort bis zur Apparatur in der Vertikal- bzw. in der geneigten Richtung, so ist

$$J_0/J_{20} = e^{-\frac{l_{20}-l_0}{L}},$$

woraus sich die mittlere Weglänge der Mesonen bis zu ihrem Zerfall zu

$$L = 1,45 l_0$$

berechnet. Liegt der Entstehungsort der Mesonen in 16 km mittlerer Höhe, so ist $L = 23$ km.

Bei Berücksichtigung der Energieverteilung kann die Lebensdauer des ruhenden Mesons τ_0 mit Hilfe der Gleichung

$$\frac{J_0}{J_{20}} = \frac{\int_{E_1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{a l_0}{E}} dE}{E^{\gamma+1}}}{\int_{E_1}^{\infty} \frac{e^{-\frac{a l_{20}}{E}} dE}{E^{\gamma+1}}}; \quad a = \frac{E_0}{c \tau_0}$$

berechnet werden, wo E die Energie der Mesonen an ihrem Entstehungsort, E_1 ihren gesamten Energieverlust bis zur Apparatur und E_0 ihre Ruheenergie $= 7 \cdot 10^7$ eV bezeichnet. Bei einem Energieverlust von $2,4 \cdot 10^8$ eV/cm in Luft²⁾ ist $E_1 = 2,8 \cdot 10^9$ eV. Der Exponent $a l/E$ ist für den ganzen in Betracht kommenden Energiebereich ≤ 1 . Man erhält bei $\gamma = 1,7$ durch Reihenentwicklung $\tau_0 = 1,4 \cdot 10^{-6}$ sec. Doch ist hierbei noch nicht berücksichtigt worden, daß die Mesonen infolge ihres Energieverlustes von ungefähr $2,2 \cdot 10^9$ eV in der Luftschicht ihren Weg mit einer um ungefähr $1,1 \cdot 10^9$ eV kleineren Energie zurücklegen als ihre Anfangsenergie E . Für die mittlere Anfangsenergie

$$\bar{E} = \frac{\int_{E_1}^{\infty} E dN}{\int_{E_1}^{\infty} dN} = \frac{\int_{E_1}^{\infty} \frac{dE}{E^{\gamma}}}{\int_{E_1}^{\infty} \frac{dE}{E^{\gamma+1}}} = \frac{\gamma}{\gamma-1} E_1 = 6,8 \cdot 10^9 \text{ eV}$$

bedeutet dies eine Verminderung um ungefähr 16 %, mit dessen Berücksichtigung

$$\tau_0 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ sec}$$

wird. Wegen der ungenauen Kenntnis der mittleren Höhe des Entstehungsortes der Mesonen kann dieser Wert mit einem Fehler bis zu 50 % behaftet sein.

Zum Vergleich seien die mit ähnlicher Methode erhaltenen Ergebnisse anderer Autoren angeführt (die Werte wurden auf $E_0 = 7 \cdot 10^7$ eV umgerechnet):

ROSSI ³⁾	$= 1,5 \cdot 10^{-6}$ sec,
POMERANTZ ⁴⁾	$= 1,8 \cdot 10^{-6}$ sec,
BARNÓTHY u. FORRÓ	$= 1,6 \cdot 10^{-6}$ sec.

Budapest, Institut für Experimentalphysik der Universität, den 24. Mai 1941. J. BARNÓTHY. M. FORRÓ.

1) J. BARNÓTHY u. M. FORRÓ, Nature (Lond.) 144, 116 (1939).

2) H. J. BHABHA, Proc. roy. Soc. Lond. 164, 257 (1938).

3) B. ROSSI, Nature (Lond.) 142, 993 (1938).

4) M. A. POMERANTZ, Physic. Rev. 57, 3 (1940).

Über Transplantations- und Kreuzungsversuche zur Frage der natürlichen und erworbenen Infektreaktion bei virusinfizierten Tabakpflanzen.

Die seit 1937 bei der Biologischen Reichsanstalt von uns systematisch erfolgte Durchprüfung aller erreichbaren Nicotiana-Species aus Mittel- und Südosteuropa, Amerika, Rußland, Vorder- und Ostasien hat an etwa 80 Tabakspecies, d. h. „Sorten“, gezeigt, daß man vermutlich mit nur drei Reaktionstypen innerhalb des Genus Nicotiana auf einen Infekt mit Tabakmosaikvirus zu rechnen hat, nämlich 1. dem total anfälligen Typus, der z. B. am sinnfälligsten durch den Samsuntabak vertreten wird; 2. dem lokalanfälligen Typus, der, wie z. B. Nicotiana langsdorfii oder glutinosa, auf den Infekt nur mit Einzelherden reagiert, und 3. dem überhaupt nicht reagierenden Typus, wie Nicotiana glauca, der das Virusprotein zwar annimmt, aber nicht vermehrt.

Sehr frühzeitig haben sich die Amerikaner (HOLMES 1937, NOLLA 1938, MARTIN, BALLS und MCKINNEY 1939) mit Kreuzungsversuchen zwischen sog. „anfälligen“ und „resistenten“ Rassen beschäftigt und gefunden, daß z. B. die Resistenz bei Ambalema und Samsun oder White Virginia recessiv durch zwei unabhängig mendelevende Gene vererbt wird. MELCHERS und SCHRAMM haben diese Befunde (Naturwiss. 1940, H. 30, 476/478) global bestätigt.

Wir glaubten indessen, daß das Problem nicht darin liegt, nach welchem Mendel-Schema bei der Kreuzung sich „anfällig“ und „resistent“ vererben, sondern daß zu untersuchen sei, ob bei der vegetativen oder generativen Kombination von zwei differenten Reaktionstypen sich physiologisch-chemisch und biologisch der Weg verfolgen ließe, den die Reaktionskette nimmt. Diese Untersuchungen sind zum Teil abgeschlossen, so daß hier darüber berichtet werden kann.

Pfropft man *Nicotiana glutinosa* (Einzelherde produzierend!) auf *Nicotiana Samsun* (total reagierend!), dann reagiert *glutinosa* auf den TM-Infekt aus der *Samsun*-Unterlage mit Einzelherden und Totalerkrankung. *Samsun* produziert also eine Substanz, welche die Reaktionsnorm von *glutinosa* umstimmt, bzw. die Bildung eines TM-Typus zuläßt, der die Chloroplastensubstanz schädigt. Gewinnt man oberhalb der Pfropfstelle aber Achselsprosse und explantiert diese als selbständige Stecklinge, so reagieren diese wie normale *glutinosa* mit Einzelherden, wobei die Intercostalfelder virusfrei bleiben.

Pfropft man umgekehrt *Nicotiana Samsun* (total reagierend) auf *Nicotiana glutinosa* (Einzelherde produzierend), dann findet eine solche Beeinflussung erwartungsgemäß nicht statt. Das Virus der *Glutinosa*-Unterlage bleibt im Einzelherd, die Intercostalfelder sind virusfrei und infolgedessen bleibt auch der Pfropfpartner ohne Virus. Die angeleglichen Befunde von MARCKS-FRANKE (*Planta* 1938) konnten in immer wieder neu wiederholten Versuchen nicht bestätigt werden. Die von diesem Autor aus seinen Versuchen gezogenen Folgerungen treffen nicht zu.

Kombiniert man auf vegetativem Wege *Nicotiana glauca* (symptomlos) mit *Nicotiana Samsun* als Unterlage und reziprok, dann findet eine Umstimmung nur dann statt, wenn *Samsun* beimpft wird. Außerlich bleibt *Nicotiana glauca* symptomlos.

Bei Kreuzungsversuchen nach beiden Richtungen mit *Nicotiana Samsun* × *Nicotiana glutinosa* zeigte sich in der F_1 nahezu völlige Dominanz des *Samsun* im Habitus, wäh-

rend *Nicotiana glutinosa* physiologisch dominierte, m. a. W. bei Kreuzungen mit *Nicotiana glutinosa* ♂ × *Samsun* ♀ resultiert in F_1 ein *Samsun*-Typus, der auf den Virusinfekt mit Einzelherden reagiert. Reziprok mit *Samsun* ♂ × *Nicotiana glutinosa* ♀ entsteht ein *Samsun*-Typus, der auch als *Samsun* reagiert. Die F_2 sind noch nicht analysiert. Vorläufig folgern wir aus diesen Befunden:

Bei vegetativer Kombination zweier unterschiedlich reagierender Typen kann eine Beeinflussung der Pfropfpartner stattfinden. Die sinnfälligste Bestätigung wurde darin gefunden, daß die „Barriere“ der *glutinosa*-Einzelherde bei *Samsun* als Unterlage aufgehoben wird. Die Tatsache, daß die Beeinflussung nur stattfindet, solange die Pfropfkombination erhalten bleibt, deutet ebenfalls darauf hin, daß die Reaktionsform eines Typus substratgebunden ist. Diese wird genetisch gesteuert.

Bei generativer Kombination zweier differenter Reaktionstypen findet das statt, was MARCKS-FRANKE mit der vegetativen Kombination zu erreichen hoffte: es entsteht in bezug auf den Virusinfekt ein *Samsun*-Typus (F_1 !), der physiologisch *Nicotiana glutinosa* ist.

Abschließend sind wir damit beschäftigt, diese Vorgänge physiologisch zu verfolgen. Messungen mit der redoxpotentiometrischen Titrationsanalyse (KAUSCHE, 1937) werden durchgeführt. Wir haben neben der Reindarstellung des Substrates das Ziel, die Physiologie genetisch gesteuerter Entwicklungsprozesse zu beobachten, wobei wir die Vehikelfunktion des Tabakmosaikvirusproteins ausnutzen. Die von MELCHERS und SCHRAMM (*Naturwiss.* 1940, H. 30, 476/478) gemachten Angaben über die Zunahme virusaktivierender Substanzen nach dem Virusinfekt haben wir nicht bestätigen können. Wir fanden im Gegenteil aktivierende Substanzen. Es scheint also zur „Umstimmung“ der *Samsun* genetisch verankerter „Realisatoren“ zu bedürfen.

Berlin-Dahlem, Laboratorium für Virusforschung der Biologischen Reichsanstalt, den 16. Juni 1941.

G. A. KAUSCHE.

Besprechungen.

BAVINK, BERNHARD, **Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften.** 6., neubearb. u. erw. Aufl. Leipzig: S. Hirzel 1940. XII, 796 Seit., 92 Abbild. 1 Tafel u. 1 Bildnis. 15,5 cm × 23 cm. Preis brosch. 15.—, geb. RM. 17.—.

Wenn ein Buch seit seinem ersten Erscheinen im Jahre 1914 heute die 6. Auflage erlebt und wenn auch diese Auflage nach wenigen Monaten fast schon wieder vergriffen ist, dann läßt sich nicht leugnen, daß dieses Buch offenbar einem allgemeinen Bedürfnis entgegenkommt. Und wenn man sich vor Augen hält, daß keinerlei äußerer Zwang besteht, noch irgendwie besonders für das Buch geworben wird, dann darf man über den Nachweis der Existenzberechtigung hinaus auch auf einen wirklichen Gehalt schließen, der abseits von Tagesströmungen von suchenden Menschen immer wieder aufgespürt wird — in den Tagen des ausklingenden Kampfes zwischen Monistenbund und Kepler-Bund, dem das Buch seine Entstehung verdankt, durch die Jahre äußeren Elendes mit ihrer starken Verinnerlichung unseres Lebens hindurch bis in unsere Zeit herein, in der sich geistige Gegensätze zu gewalttätigen Auseinandersetzungen ausweiten.

Die Absicht des Buches wird in dem Vorwort klar in dem Satz ausgedrückt: „Es will eine Übersicht über das gesamte Gebiet der naturwissenschaftlichen Erkenntnis und die hinter dieser überall auftauchenden tieferen (philosophischen) Fragen geben“, besser vielleicht als in dem Untertitel: „Eine Einführung in die heutige Naturphilosophie“, der nicht vermuten läßt, daß als Unterbau für diese „Philosophie“ eine so vollständige und zuverlässige Übersicht über den Gesamt-tatsachenbestand der Chemie und Physik, der Astronomie und der Biologie einschließlich der Psychologie gegeben wird, wie sie uns seit HUMBOLDTS „Kosmos“ kaum mehr ein Einzelner gegeben hat. Mit der Wid-

mung an die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte wird die Beziehung betont, die das Buch nach Inhalt und Zielsetzung zu dieser ganz auf die Pflege des alle Naturwissenschaften verbindenden Allgemein-Geistigen gerichteten Vereinigung hat.

Mag sein, daß der naturwissenschaftliche Spezialist da und dort kleine Unvollkommenheiten findet oder der strenge Philosoph Unschärfen in Begriffsbestimmungen rügen zu müssen glaubt — niemand wird sich aber dem Eindruck verschließen können, daß hier mit einer selten umfassenden Sachkenntnis sich der Mut zu offener Stellungnahme vereinigt und so das Studium des Buches zu Gewinn und Genuß zugleich macht.

„Kraft und Stoff“, „Weltall und Erde“, „Materie und Leben“, „Natur und Mensch“, das sind die vier Kapitel, in denen auf über 700 Seiten diese umfassende Schau geboten wird. 40 Seiten Anmerkungen und 10 Seiten Literaturnachweise bilden als Anhang den „gelehrten Apparat“, den man zur Vertiefung da und dort zu Rate ziehen wird. Bei der Durchsicht gerade dieses Anhangs ist dem Ref. eines fast erschreckend klar geworden: Die Verantwortung, die wir Fachwissenschaftler tragen, wenn wir über unsere Arbeiten mehr oder weniger „allgemeinverständlich“ berichten. Denn es sind vor allem Quellen wie die Zeitschrift „Die Naturwissenschaften“ oder die für breitere Kreise bestimmten halbpopulären Buchdarstellungen, aus denen Menschen wie BAVINK den größten Teil ihres Wissens um die Dinge selbst und um die Gedankenwelt der Naturwissenschaftler schöpfen müssen. Wenn die Notwendigkeit von Büchern, wie das vorliegende, nicht abzutreten ist, weil der Mensch nach Zusammenschau verlangt und schließlich unsere Einzelarbeit erst sinnvoll wird, wenn sie im allgemeinen Rahmen steht — dann erwächst für den Fachwissenschaftler die Ver-

pflichtung, von Zeit zu Zeit selbst Rechenschaft abzugeben über das, was auf seinem Gebiet erarbeitet wurde. Sonst verwirkt er jedenfalls das Recht, sich zu beklagen, wenn falsche Vorstellungen von dem, was Wissenschaft wirklich ist, sich breitmachen und der Streit der Meinungen in der Tagespresse ausgetragen wird von Menschen, denen das Wesen wissenschaftlicher Arbeit nie aufgegangen ist.

H. KIENLE, Potsdam.

KOENIG, PAUL, Die Entdeckung des reinen Nikotins im Jahre 1828 an der Universität Heidelberg durch REIMANN und POSSELT mit einer Beschreibung ihrer Vorläufer und mit Abbildungen. Bremen: Arthur Geist Verlag 1940. 90 Seiten. 24 cm × 16,5 cm. Preis: kart. RM 5.—.

Der Verf. dieses Werkes, das als Festschrift des verschobenen Ersten Internationalen Tabakkongresses in Bremen (25. bis 30. IX. 1939) vorgesehen war, ist der durch seine erfolgreiche Züchtung nikotinfreier Tabake besonders bekannte Direktor der Reichsanstalt für Tabakforschung in Forchheim bei Karlsruhe. Die Entdeckung des reinen Nikotins im Jahre 1828 an der Universität Heidelberg durch REIMANN und POSSELT mit einer Beschreibung ihrer Vorläufer wird hier von einem Fachmann mit liebevoller Sorgfalt behandelt. KOENIG hat dabei viel eigenes Quellenstudium aufgewandt, und es gelang ihm, den auch in der wissenschaftlichen Literatur kaum bekannten Vorläufer GASPARE CERIOLE der Vergessenheit zu entreißen. Einen Auszug aus seiner Arbeit sowie denen von VAUQUELIN und HERBSTAEDT, Photokopien von Teilen der Originale, Bilder aller Autoren sowie der Preiscommission, welche die Entdeckung des Reinnikotins durch die Stellung der durch REIMANN und POSSELT gelösten Preisaufgabe so sehr förderte, sogar eine Photographie der goldenen Preismedaille, alles das findet man neben interessanten Einzelheiten über das Leben der ersten Entdecker und Bearbeiter des Nikotins in dem noch nicht 100 Seiten umfassenden Buche. Als besonderes Verdienst müssen wir es betrachten, daß Prof. KOENIG das Original beider Teile der Arbeit auftreiben konnte, eine beachtliche Leistung, wenn man hört, daß POSSELTs Manuskript auf einem Berliner Dachboden ruhte.

Durch dieses Buch wird der wichtigste Teil der älteren Literatur des Nikotins, die zerstreut in verschiedenen wissenschaftlichen Zeitschriften nur einem kleinen Kreise zugänglich war, in ausführlicher Weise allen Interessenten nahegebracht und insbesondere die Arbeit von REIMANN und POSSELT im vollen Wortlaut neu herausgegeben.

SPAETH, Wien.

LOUIS, HERBERT, Das natürliche Pflanzenkleid Anatoliens, geographisch gesehen. Geographische Abhandlungen, begr. v. ALBRECHT PENCK, herausgegeben v. NORBERT KREBS. 3. Reihe, Heft 12. Stuttgart: I. Engelhorn 1939. 132 S. 24 Abbild., 4 Karten und 1 Profiltafel. Preis brosch. RM 9.30.

Dieses Buch dient dem erfolgreichen Versuch, im Bereiche der heutigen Türkei die räumliche Gliederung der natürlichen Vegetation als Spiegel der gegebenen

orographischen und klimatischen Bedingungen herauszuarbeiten. Da in erster Linie Wälder und Steppen, in geringerem Umfange auch alpine Gesellschaften die natürliche Vegetation Anatoliens bilden, ist über die Hälfte des Buches der auf mehrjährigen Reisen gewonnenen, durch die weitgehende Zerstörung der Wälder in den altbesiedelten Gebieten sehr schwierigen Festlegung der Waldgrenzen, der Rest der Gliederung der Waldtypen gewidmet; letztere werden, dem Ziel der Arbeit entsprechend, unter Hintansetzung ihrer floristischen Eigenart ökologisch umrissen und nach dem Gegensatz von Feucht- und Trockenwäldern einerseits, der abgestuften Winterhärte bzw. Kälteempfindlichkeit andererseits 6 Waldtypen zugeordnet. 2 Karten über den Verlauf der Waldgrenzen, eine weitere über die Verteilung der Vegetationsgebiete und einige Vegetationsprofile fassen die Ergebnisse anschaulich zusammen.

Sehr eindrucksvoll ist vor allem das Bild der unteren Waldgrenze — der oberen Steppengrenze. Von 400 m in den der Küste genäherten Bergländern steigt sie gesetzmäßig gegen das Landesinnere und (als Folge der Westwinde) gegen Osten bis auf 2100 m an! Dadurch erhält Anatolien seine zentralen waldumsäumten Steppenräume, in Inneranatolien einerseits, den Ararat-hochländern andererseits. Auch die obere Waldgrenze steigt in gleicher Richtung an, aber langsamer: von unter 2000 m bis über 2700 m. Der Waldgürtel, der an den Küsten schon im Meeresspiegel beginnt, wird also gegen das Innere stark eingengt, und zwar schon hinter der ersten, die Regen abfangenden Gebirgskette. Für die Gliederung der Wälder sind dann vor allem zwei Umstände maßgebend: 1. wie überall, die Abnahme der Temperatur und (bis zu gewissem Grade) Zunahme der Feuchtigkeit mit der Höhe und 2. der Gegensatz zwischen dem mediterranen, sommertrockenen Klimatyp im Süden und Westen des Landes und jenem auch im Sommer regenreichen an der Küste des Schwarzen Meeres. So bilden in den nördlichen Randgebirgen winterharte Feuchtwälder mit Buchen (*Fagus orientalis*) und Tannen (*Abies bornmuelleriana* und *Nordmanniana*) den obersten Waldgürtel. Unter ihm folgen winterharte Trockenwälder mit Schwarzkiefern (*Pinus nigra*), Eichen u. a., die vor allem im kontinentalen Inneren reicher entwickelt sind und hier die Grenze gegen die Steppe bilden. Und schließlich gedeihen, wenigstens in den küstennahen Gebieten, noch unter ihnen immergrüne, mediterrane Trockenwälder bzw. Macchien im Süden und Westen, mäßig winterharte bis ebenfalls kälteempfindliche und von immergrünen Gehölzen durchsetzte Feuchtwälder im Norden.

So gliedert sich die natürliche Vegetation Anatoliens in Abhängigkeit von der Meereshöhe, dem Küstenabstand und der Richtung und Jahreszeit der regenbringenden Winde — heute durch den Menschen weitgehend zerstört oder umgestaltet, aber ursprünglich und zum Teil auch heute noch gerade in ihrer Gliederung für die Wahl seiner Siedlungsgebiete von größter Bedeutung. Der Verfolgung dieser Zusammenhänge darf man mit Spannung entgegensehen.

F. FIRBAS, Hohenheim.

Botanische Mitteilungen.

Die **Physiologie der Wasseraufnahme** bietet immer noch mehrere Probleme, die auch in neueren Veröffentlichungen zu Tage treten.

Die erste Voraussetzung für die Möglichkeit einer Wasseraufnahme aus dem Boden besteht darin, daß die Saugkraft der Wurzeln größer ist als die des Bodens. Beobachtungen an den verschiedensten Pflanzen-

standorten haben auch durchweg das Zutreffen dieser Voraussetzung ergeben. Bei solchen Untersuchungen pflegt man allerdings nicht eigentlich die Saugkraft der pflanzlichen Zellen, sondern nur ihre wichtigste Komponente, den osmotischen Druck des Zellsaftes, zu bestimmen. Die Vernachlässigung der dem osmotischen Druck entgegenwirkenden Zellwandspan-

nung scheint für solche Arbeiten auch unbedenklich zu sein. — Jetzt liegt noch eine entsprechende Untersuchung von BEHR-NEGENDANK [Biol. Zbl. 59, 1 (1939)] über Pflanzen auf einem Boden mit extrem hoher Saugkraft, nämlich über Halophyten der Nordseeküste vor. Die Bodensaugkräfte können am Strand etwa 100 Atm. erreichen. Die Pflanze, die am weitesten in die Zone höchster Saugkraft vordringt, ist *Salicornia*, sie kann sich noch bei etwa 70 Atm. Bodensaugkraft behaupten, entwickelt sich dann allerdings nur zu einem 1 cm hohen Kümmerpflänzchen. Eine krysoskopische Bestimmung des osmotischen Wertes von *Salicorniapreßsäften* ergab Beträge bis zu etwa 85 Atm. Also selbst an diesem Standort extrem hoher Saugkraft läßt sich die Wasseraufnahme aus dem Boden ohne besondere Schwierigkeit verständlich machen. Zeitweise allerdings kann die Wasserversorgung doch unmöglich werden; an einem *Salicornia*standort mit 10% Seesalz führendem Grundwasser wurde an heißen trockenen Tagen in 3—5 cm Tiefe eine Saugkraft von 125 Atm. gemessen.

Im allgemeinen scheint es für die Regelung des Wasserhaushalts zu genügen, wenn der osmotische Wert des pflanzlichen Zellsaftes etwa 5 Atm. über dem der Bodenlösung liegt. Dabei ist die Pflanze, wie neuerdings auch wieder KNODEL [Jb. Bot. 87, 557 (1939)] am Hafer nachwies, imstande, sich verschiedenen Bodenlösungen durch Änderung ihrer eigenen Saugkraft anzupassen. Betrug der osmotische Wert der der Pflanze gebotenen Nährlösung 2 Atm., so wurden für den des Pflanzenpreßsäftes 7 Atm. gefunden; dieser Wert stieg jedoch auf 10 Atm., wenn eine Düngerlösung von 4 Atm. geboten wurde. Diese Regulation kann teilweise durch das Vorhandensein von Kaliumionen in der Dünger- bzw. Bodenlösung erklärt werden. Die Kaliumionen steigern den osmotischen Druck einmal, weil sie selber leicht aufgenommen werden, ferner aber, weil sie durch ihre Permeabilitätserhöhende Wirkung die Aufnahme anderer Ionen erleichtern.

Daß innerhalb der Pflanze gelegentlich auch ein Wassertransport entgegen dem osmotischen Gefälle möglich ist, wurde wiederholt beobachtet. Auf einen solchen Fall hat WALTER und neuerdings KIPP-GOLLER [Z. Bot. 35, 1 (1940)] hingewiesen: Die bekanntlich schon auf der Mutterpflanze entstehenden und von dieser mit Wasser versorgten Keimlinge mancher Mangrovepflanzen haben Zellsäfte mit osmotischen Werten, die unter denen der Mutterpflanze liegen. Zur Erklärung wird ein Drüsengewebe mit Pumpfunktion angenommen; anatomisch konnte aber ein solches Gewebe bisher nicht nachgewiesen werden.

Für Vorgänge der Stoffaufnahme in pflanzliche Zellen, namentlich für die Aufnahme von Elektrolyten, ist die Notwendigkeit der Sauerstoffgegenwart mehrfach festgestellt worden. Der Sauerstoff ist dann anscheinend notwendig, weil die betreffenden Vorgänge nur unter Energieaufwand, also durch Vermittlung der Atmung, möglich werden. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung von REINDERS [Proc. Kon. Ak. Wet. Amsterdam 41, 820 (1938)] bemerkenswert, daß auch für die Aufnahme von Wasser Sauerstoffgegenwart erforderlich sein kann. Man kann also auch nach dieser Untersuchung nicht jede Wasseraufnahme oder Wasserverschiebung in der Pflanze als einfachen Ausgleich bestehender osmotischer Potentiale verstehen; die Annahme der Beteiligung vitaler Vorgänge wird unumgänglich. BRAUNER und HASMAN [Rec. Fac. Sc. Univ. Istanbul 5, 266 (1940)] haben, und zwar auch an dem Objekt REINDERS', nämlich an Scheiben aus Kartoffelknollen, diese Erscheinung näher untersucht.

Nach den Ergebnissen dieser Forscher scheint es, daß der Sauerstoff nicht etwa notwendig ist, um einen zusätzlichen, vom osmotischen Gefälle unabhängigen Wassertransport zu ermöglichen, daß der Sauerstoff vielmehr wenigstens zum Teil auf dem Wege der Beeinflussung der osmotischen Größen wirksam wird. Auf die *Geschwindigkeit* des Wassertransportes wirkt der Sauerstoff allerdings schon insofern, als er die Permeabilität der Plasmagrenzschicht beeinflusst, bei Sauerstoffmangel sinkt nämlich die Wasserdurchlässigkeit. Vor allem aber beeinflusst der Sauerstoff die Gesamtmenge aufgenommenen Wassers, und zwar, indem er die Zuckerbildung in der Zelle begünstigt, also zur Steigerung des osmotischen Wertes der Zellsäfte führt. Zur Erklärung dieser Erscheinung wird u. a. darauf hingewiesen, daß die Resynthese von Zucker aus C_3 -Verbindungen durch Sauerstoff beeinflusst werden kann, weil bei dessen Gegenwart ein Redoxsystem vom Glutathiontyp in den oxydierten Zustand übergeht, dieses Redoxsystem aber nur im reduzierten Zustand jene Resynthese hemmt.

Die *Beziehungen der Pflanze zum tagesperiodischen Licht-Dunkelwechsel* haben sich durch die umfangreichen Untersuchungen über die sog. photoperiodischen Reaktionen als recht verwickelt und zunächst rätselhaft erwiesen. Die Pflanzen, jedenfalls die meisten höheren Pflanzen, brauchen für ihre normale Entwicklung nicht eine bestimmte tägliche Lichtmenge, sondern, wie man es zunächst ausdrückte, während des Tages eine bestimmte *Dauer* Licht und eine bestimmte *Dauer* Dunkelheit. Ist die tägliche Beleuchtungsdauer zu kurz oder zu lang, so zeigen sich tiefgreifende Beeinflussungen des Entwicklungsganges, die man als photoperiodische Reaktionen bezeichnet. Auf die Lichtintensität kommt es dabei erst in zweiter Linie an. Das Augenmerk der Forscher richtete sich dabei vor allem auf die Blütenbildung, und man unterschied zwei Haupttypen von Pflanzen: die Kurztagpflanzen, deren Blütenbildung im kurzen Tag (also z. B. bei der Darbietung von 8 Stunden Licht innerhalb eines Tages) gefördert bzw. erst ermöglicht wird, und die Langtagpflanzen, deren Blütenbildung im langen Tag (also z. B. bei 16 Stunden täglicher Beleuchtung) gefördert wird. Hinzu kamen noch tagneutrale Pflanzen, sowie nach neuen Untersuchungen von HARDER und von WIRSCH [Gartenbauwiss. 15, 226 (1940)] solche, die ihre Reaktionsart mit zunehmendem Alter ändern.

Nun kommt es, wie sich immer deutlicher zeigt, gar nicht schlechthin auf die Dauer von Licht und Dunkelheit innerhalb eines Tages an. Beispielsweise teilt MOSHKOV [C. r. Acad. Sci. URSS N. S. 22, 184 (1939)] über *Perilla ocymoides*, eine Kurztagpflanze, mit, daß für die normale Entwicklung, d. h. für die Blütenbildung, 9 Stunden Dunkelheit und 4 Stunden Licht je Tag erforderlich sind. Es führen aber nicht einmal 18 Stunden Dunkelheit und 6 Stunden Licht, also extreme Kurztagbedingungen, zum Blühen, wenn diese Perioden nicht zusammenhängend, sondern aufgeteilt geboten werden, wenn nämlich je Tag 2 mal je 3 Stunden Licht und anschließend je 9 Stunden Dunkelheit einwirken. Solche Beobachtungen zeigen deutlich die Berechtigung der Anschauung, daß die photoperiodischen Reaktionen letzten Endes entstehen, wenn der äußere Rhythmus, also der Licht-Dunkelwechsel, nicht mit einer inneren Tagesrhythmik, also einem — tatsächlich aus anderen physiologischen Untersuchungen bekannten — endogenen tagesperiodischen Wechsel des physiologischen Zustandes harmonisiert. Licht und Dunkelheit wirken somit auf die Pflanze qualitativ verschieden, je nachdem, wäh-

rend welchen inneren Zustandes der Pflanze sie diese treffen. Das konnten BÜNNING [Forsch.dienst 10, 550 (1940)] und LINDENBEIN [Gartenbauwiss. 13, 587 (1939)] auch direkt nachweisen.

Die physiologischen Vorgänge, die durch das jeweilige Verhältnis von innerer und äußerer Rhythmik beeinflußt werden, sind recht mannigfaltig. Die meist untersuchte dieser photoperiodischen Reaktionen ist die schon genannte Beeinflussung der Blütenbildung; sie beruht auf einer Beeinflussung der Entstehung von Blühstoffen, um deren Isolierung sich schon mehrere Autoren vergeblich bemüht haben. Nach MELCHERS [Ber. dtsh. bot. Ges. 57, 29 (1939)] sind sogar zwei Stoffe notwendig: Vernalin und Florigen, jedoch wird nur die Bildung des Florigens durch die photoperiodischen Bedingungen gesteuert.

Noch ein anderer Wirkstoff wird, wie Versuche von HARDER und VON WITSCH [Jb. Bot. 89, 356 (1940)] lehren, je nach den photoperiodischen Bedingungen gebildet oder nicht gebildet, nämlich ein die Blattgestalt modifizierender Stoff. *Kalanchoe Blossfeldiana* bildet im Langtag große, dünne und langgestielte Blätter, im Kurztag aber kleine, sehr dicke und fast stiellose Blätter. Die Autoren konnten zeigen, daß hierfür ein (im Kurztag entstehender) Wirkstoff verantwortlich ist, und daß es sich nicht um denselben Wirkstoff handelt wie den die Blütenbildung bestimmenden, denn die Vorgänge der Beeinflussung von Blütenbildung und Blattgestalt können unabhängig voneinander ablaufen. Den neuen Stoff bezeichnen die Verfasser als Metaplasin. Durch Versuche, bei denen nur einzelne Blätter der Pflanze dem Kurztag ausgesetzt waren, also nur in diesen Blättern eine Bildung von Metaplasin erfolgen konnte, ließ sich zeigen, daß der Stoff im Gegensatz zu dem aus einem so behandelten Blatt nach allen Richtungen auswandernden Blühormon nur senkrecht im Stengel emporsteigt.

Plasmaveränderungen während des Alterns pflanzlicher Zellen untersucht PAECH [Planta 31, 295 (1940)]. Zur physiologischen Erklärung des Alterns hat man bisher vorwiegend auf Änderungen des Stoffwechsels und des chemischen Zustandes der Zellen geachtet und dabei tatsächlich Unterschiede an Pflanzen verschiedenen Alters feststellen können. Aber diese chemischen Veränderungen sind doch offenbar erst eine Folge von Änderungen des Plasmazustandes. Beim Studium der Plasmaeigenschaften verschieden alter Pflanzenzellen gelangt PAECH zur Ansicht, daß mit zunehmendem Alter die Fähigkeit zur Hydratisierung abnimmt und schließlich ganz verloren geht. Dieser Prozeß beginnt schon auf einer sehr frühen Stufe der Entwicklung. Zusammen mit der Quellfähigkeit geht anscheinend auch das Vermögen zur Adsorption von Fermenten verloren. Wenn Fermente aus ihrer adsorptiven Bindung befreit werden, scheint allgemein ihre abbauende Fähigkeit an Stelle der synthetisierenden wirksam zu werden, so daß die Umschaltung des Stoffwechsels alternder Zellen durch den geänderten Plasmazustand erklärbar wird. — Daß auch damit noch nicht das letzte Geheimnis des Alterns gelüftet ist, wird vom Verfasser selber betont. Aber in dieser Richtung wird man wohl mit guter Erfolgsaussicht weiter suchen dürfen. Durch solche Untersuchungen werden wir vielleicht auch einmal erfahren, warum sich die Leistungen der Zellen auf den verschiedenen Entwicklungsstadien sogar qualitativ so sehr voneinander unterscheiden können.

Über die pflanzengeographischen Verhältnisse im Amazonasgebiet berichtet VON LUETZELBURG [Ber. dtsh. bot. Ges. 57, 247 (1939)]. Die Angaben des Verfassers über die klimatischen Verhältnisse lassen keine auffälligen Besonderheiten gegenüber den anderen Tropengebieten erkennen, in denen während des ganzen Jahres genügend Niederschläge fallen, um eine Regenwaldbildung zu ermöglichen. Bemerkenswert ist jedoch die hohe Tages- (42°) und Nachttemperatur (38–39°) am Oyapock. Zu den klimatischen Faktoren, die im Amazonasgebiet den Pflanzenwuchs bestimmen, gehören neben der hohen Temperatur noch die große Luftfeuchtigkeit und die ansehnlichen Niederschlagsmengen.

Von den beiden pflanzengeographischen Hauptformationen des Gebietes muß die eine, der Urwald, infolge der Eingriffe des Menschen, namentlich wegen der Brände, immer mehr der anderen, den Savannen, weichen.

Die Regenwälder sind auf den älteren geologischen Schichten, d. h. hauptsächlich in den Höhenlagen, am mächtigsten, dort sind sie auch besonders reich an harten Hölzern, während die weichen Hölzer in den Wäldern der von Überschwemmungen erreichbaren jüngeren geologischen Stufen überwiegen. Palmwälder sind nicht besonders häufig. VON LUETZELBERG beschreibt mehrere Typen des Regenwaldes, von ihnen seien hier nur die gewaltigen Flußrandwälder erwähnt, die sich von den niedrigen Flußufern aus weit landeinwärts erstrecken und mehrere Monate im Jahr überschwemmt sind. — Die Regenwaldgrenze wird auffälligerweise schon zwischen 1000 und 2000 m Höhe erreicht. (In anderen Tropengebieten mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen liegt die Grenze bekanntlich wesentlich höher, Ref.) In der genannten Höhe schließt sich an den Regenwald ein Gürtel aus hartlaubigen und krummholzigen Niederbäumen und Sträuchern, die im Regenwald nicht vertreten sind. Auf diesen Gürtel folgt ein weiterer mit Pflanzen, die im Regenwald selber nur epiphytisch gedeihen, hier aber den Boden besiedeln, vor allem sind es Orchideen, Bromeliaceen und Araceen.

Bei den Waldbränden wird eine so große Hitze erzeugt, daß der Humus vollständig kalziniert und der Boden bis in große Tiefen verändert wird. Nach den Bränden siedelt sich zunächst der Adlerfarn an (ein Kosmopolit; er bildet z. B. auch in Nordsumatra unter ganz ähnlichen Bedingungen große Bestände, Ref.). Ihm folgen regenwaldfremde sträuchige Elemente mit xerophilen Eigenschaften; die ersten sich neu ansiedelnden Bäume sind Cecropien. Erst nach Jahrzehnten entwickelt sich hier wieder ein geschlossener Wald, der aber vom ursprünglichen Regenwald immer noch erheblich verschieden ist.

Die Savannen überziehen hauptsächlich alte geologische Schichten gneissicher und granitischer Zusammensetzung; auf ihnen wachsen zwischen Gräsern und Cyperaceen Halbsträucher und Einzelbäume. Die Savannenbäume sind hartlaubig und niedrigstämmig; sie stammen vom zentralbrasilianischen Hochland. Je nach der Bodenhöhe bilden sich Trocken- oder Überschwemmungssavannen. Die zweitgenannten, auf muldenartigen Bodensenkungen entstehenden liegen während der Regenzeit unter Wasser, so daß ein Baumwuchs auf ihnen nicht möglich ist; sie sind statt dessen reich an Cyperaceen und (während der Überschwemmungszeit) an tropischen Sumpf- und Wasserpflanzen.

E. BÜNNING, Königsberg i. Pr.

Max Bodenstein zum 70. Geburtstag am 15. Juli 1941.

Am 15. Juli feiert MAX BODENSTEIN seinen 70. Geburtstag. Seine Verdienste sind anlässlich des 60. Geburtstages von berufener Seite gewürdigt worden, so daß wir uns heute begnügen wollen, auf einzelne Beispiele hinzuweisen.

Mit seinem Namen verknüpft ist für die meisten von uns der Begriff „Kettenreaktion“. Ist auch die Reaktionskinetik und innerhalb dieser wieder das Gebiet der Kettenreaktionen keinesfalls das einzige Feld von BODENSTEIN'S wissenschaftlicher Arbeit gewesen, so haben doch seine Leistungen hier die nachhaltigsten Wirkungen ausgelöst. Seit vor nahezu einem Jahrhundert BUNSEN und ROSCOE die photochemische Chlorknallgasreaktion studierten, ist darüber eine kaum noch zu übersehende Zahl von Arbeiten erschienen, unter deren Autoren viele bekannte Namen zu finden sind. BODENSTEIN hat in fast 4 Jahrzehnten neben vielen anderen Arbeiten immer wieder diese Reaktion aufgegriffen, deren vollständige Aufklärung einen unverhältnismäßig großen Aufwand gekostet hat. Die verwandten Reaktionen der Brom- und Jodwasserstoffbildung gehorchen viel einfacheren Gesetzmäßigkeiten, und es war vielleicht ein glücklicher Zufall, daß BODENSTEIN seine wissenschaftliche Laufbahn mit der Untersuchung des Jodwasserstoffzerfalls in einer bei VICTOR MEYER in Heidelberg ausgeführten Doktorarbeit begann und diese Umsetzung und später auch ihre Rückreaktion, die Jodwasserstoffbildung, klären konnte; beide stellen auch heute noch fast die einzigen homogenen bimolekular und nach einem Zeitgesetz der zweiten

Ordnung verlaufenden Gasreaktionen dar. Die thermische Bromwasserstoffbildung gehorcht bereits einem komplizierteren Gesetz, aber die Resultate einer über ein Jahrzehnt nach BODENSTEIN'S Doktorarbeit gemeinsam mit LIND durchgeführten Untersuchung brauchten auch später nicht revidiert zu werden. Nochmals nahezu 10 Jahre

später, 1913, erschien BODENSTEIN'S erste photochemische Untersuchung über die Bildung des Chlorwasserstoffs, nachdem er bereits 1904 in Leipzig eine nichtveröffentlichte Untersuchung über das Chlorknallgas hatte ausführen lassen. Diese (zusammen mit DUX ausgeführte) Arbeit war der Anlaß für BODENSTEIN, nach der Ursache für die hier und in manchen anderen Fällen gefundene Ungültigkeit des EINSTEIN'Schen Äquivalenz-Gesetzes zu fahnden. Dieses sagt aus, daß bei photochemischen Reaktionen durch *ein* Lichtquant *eine* absorbierende Molekel zur Reaktion gebracht wird. Bei der Chlorknallgasreaktion können aber für ein Lichtquant bis zu 10^6 Molekeln umgesetzt werden. BODENSTEIN deutete dies durch die Annahme, daß sich an einen

photochemischen Primärschritt, welcher aktive Teilchen liefert, Folgereaktionen anschließen derart, daß immer wieder aktive Teilchen reproduziert werden, bis sie schließlich in einem davon unabhängigen Prozeß, beim Chlorknallgas z. B. durch Reaktion mit Verunreinigungen, verbraucht werden. So kann durch einen Primärakt eine beliebige Zahl von Folgereaktionen ausgelöst werden, eine Reaktionskette läuft ab, wie sie später von CHRISTIANSEN benannt wurde. Die



Photo: Binz, Berlin

Industrie

spezielle, seinerzeit von BODENSTEIN für das Chlorknallgas vorgeschlagene Kette mußte später durch eine andere, über Chlor- und Wasserstoffatome verlaufende, ersetzt werden. Aber der Begriff der Kettenreaktion hat sich seitdem als äußerst fruchtbar erwiesen, und mit den BODENSTEINschen Vorstellungen und seiner Rechenweise konnten seitdem zahlreiche Reaktionen geklärt werden; viele der daran beteiligten Forscher haben, soweit sie nicht unmittelbare Schüler BODENSTEINS sind, zumindest einmal zeitweise bei ihm gearbeitet, in Leipzig, wo er nach seiner Habilitation im OSTWALDSchen Institut wirkte, oder später in Hannover und Berlin.

Das Chlorknallgas war vielleicht ein recht ungeeignetes Beispiel gewesen zur völligen Klärung der Kinetik einer Reaktion — seit 1936 erscheinen „Abschlußarbeiten am Chlorknallgas“ von BODENSTEIN und seinen Schülern —, sie läßt aber erkennen, wie vielseitig und aktuell die Probleme sind, denen man bei einer anscheinend so einfachen und „lebensfernen“ Umsetzung begegnet. Die auftretenden Komplikationen rühren von verschiedenartigen katalytischen Effekten her — homogener und heterogener Art —, die man nie ganz ausschließen kann und deren Einfluß man nicht eher beherrscht, als der Mechanismus geklärt ist. Die Wirkung mancher Verunreinigungen, besonders des Sauerstoffs, war früh erkannt und quantitativ beschrieben worden; der Mechanismus der kettenabbrechenden Reaktionen des Sauerstoffs ist erst in den letzten Jahren von BODENSTEIN und seinen Schülern in allen Einzelheiten geklärt worden und stellt ein besonders schönes Beispiel *negativer Katalyse* dar. Von verschiedenen Seiten war beobachtet worden, daß zur Reaktion von Chlor mit Wasserstoff die Anwesenheit geringer Spuren von Wasserdampf notwendig ist. Nach vielen vergeblichen Deutungsvorschlägen für diese Wirkung war es BODENSTEIN, dem es gelang, durch sorgfältigste Versuche nachzuweisen, daß das Ausbleiben der Reaktion in trockenen Gasen von Verunreinigungen herrührt, deren Anwesenheit durch die Versuchsmethodik bedingt ist. Damit konnten hier und sicherlich auch für viele andere Fälle die etwas mystischen Eigenschaften, die man Spuren von Wasserdampf glaubte zuschreiben zu müssen, als nicht existierend nachgewiesen werden. Geht man zu sehr reinen Gasen über, so brechen nicht mehr Sauerstoff oder andere Verunreinigungen die Reaktionsketten ab, sondern die Wand; man hat eine heterogene negative Katalyse. In solchen Fällen pflegt die Geschwindigkeit, mit der die Kettenträger an die Wand diffundieren, bestimmend zu sein, und diese hängt wieder von der Anwesenheit von Fremdgasen ab. Eine derartige Wirkung zugesetzter Fremdgase blieb aber bei der Vereinigung von Chlor mit Wasserstoff aus. Es gelang nun BODENSTEIN zu zeigen, daß unter den gewählten Bedingungen nur etwa jeder 6000. Stoß eines Chloratoms auf die Wand zu dessen Vernichtung führt; infolge-

dessen wird auch in Wandnähe eine Konzentration von Chloratomen aufrecht erhalten, die nicht viel kleiner ist als im Gefäßinnern, und für die Geschwindigkeit der Vernichtung ist nicht die Diffusionsgeschwindigkeit, sondern die Zahl wirksamer Stöße auf die Wand maßgebend. So sind an dieser einzigen Reaktion eine große Zahl von Erkenntnissen gewonnen worden, die für die Kinetik von Gasreaktionen überhaupt von grundsätzlicher Wichtigkeit sind, mehr Erkenntnisse, als sie aus der weniger gründlichen Untersuchung einer Vielzahl von Reaktionen hätten gewonnen werden können.

Aufbauend auf BODENSTEINS Vorstellungen haben später CHRISTIANSEN, HINSELWOOD und besonders SEMENOFF die Theorie der Kettenreaktionen ausgedehnt auf den Fall sog. „Kettenverzweigung“, der für explosive Reaktionen eine große Rolle spielt¹⁾. Die Verbrennung im Motor, das Klopfen und dessen Unterdrückung durch Antiklopfmittel, eine negative Katalyse, seien hier nur genannt als einer der technisch bedeutsamen Vorgänge, für deren Verständnis die durch keinerlei praktische Ziele bestimmten Untersuchungen BODENSTEINS die Grundlage boten. Doch fanden auch technisch wichtige Umsetzungen das Interesse BODENSTEINS, wovon nur die katalytische Ammoniakverbrennung und die katalytische Bildung von Schwefeltrioxyd angeführt seien sowie die Reaktion der hüttenmännischen Zinkgewinnung.

BODENSTEINS Erfolge sind, außer seiner Fähigkeit, an die Natur sinnvolle Fragen zu stellen, zu einem guten Teil seiner großen Experimentierkunst zu verdanken. Die wichtigsten apparativen Hilfsmittel, die wir ihm verdanken und die meist nach ihm benannt wurden, haben das gemeinsam, daß sie das Arbeiten mit reinsten Gasen ermöglichen sollen: das Quarzspiralanometer, das Metallmembranventil und schließlich das Glasmembranventil: sie gestatten, Manometerflüssigkeiten, Dichtungs- und Schmiermittel von der Apparatur ganz auszuschließen und haben damit viele kinetische und Gleichgewichtsuntersuchungen überhaupt erst möglich gemacht.

Heute, als 70jähriger, steht BODENSTEIN, wir können sagen „wieder“ an der Spitze seines Instituts; denn unter den Kriegsverhältnissen hat er die Vertretung seines früheren Lehrstuhls übernommen. Eine Ironie des Schicksals hatte es gewollt, daß er nach seinem Ausscheiden aus dem Lehramt seine sämtlichen Vorlesungsmanuskripte wegwarf; so hat er mit 68 Jahren seinen Hörern nochmals eine völlig modernisierte Vorlesung geboten. Wer ihn heute sieht, wird kaum einen Unterschied gegenüber dem 60jährigen finden können, und so dürfen wir ihm wohl noch viele Jahre fruchtbarer Arbeit in körperlicher und geistiger Frische wünschen. W. JOST.

¹⁾ Die Diskussion eines Spezialfalles führte E. CREMER im BODENSTEINschen Institut bereits vor SEMENOFF durch.

Betrachtungen zur „Katalyse“*).

Von E. SCHRÖER und H. J. SCHUMACHER.

I.

Vor etwas mehr als 100 Jahren prägte BERZELIUS Wort und Begriff „Katalyse“. Unter katalysierten Reaktionen wollte er alle diejenigen zusammengefaßt wissen, deren Ablauf an die Anwesenheit eines Fremdstoffes, des sog. Katalysators, gebunden war. Das Katalysatormolekül, das nicht in der den Reaktionsablauf darstellenden Bruttogleichung auftrat, sollte die Reaktionen durch eine von ihm ausgehende geheimnisvolle „katalytische Kraft“ auslösen oder fördern¹⁾. Die Einführung dieses Begriffes stellte für die damalige Zeit, in der die klassische Molekulartheorie noch in den ersten Anfängen steckte und auch alle Voraussetzungen (wie die exakten Begriffe vom chemischen Gleichgewicht und der Reaktionsgeschwindigkeit), das Wesen einer chemischen Reaktion zu erforschen, fehlten, einen Fortschritt dar. Auch war es sinnvoll und zweckmäßig, die genannten Vorgänge unter einem Begriff zusammenzufassen. Sie besaßen, da sie nach damaliger Vorstellung durch die dem Katalysator innewohnende, wenn auch unbekannte Kraft bedingt waren, nicht nur *formal*, sondern auch *ihrem Wesen nach* gemeinsame Züge²⁾.

Die durch die Entwicklung der Thermodynamik und Reaktionskinetik aufkommenden Erkenntnisse mußten natürlich zu Konflikten mit dieser ersten Begriffsprägung und, da man einerseits meist die katalytische Kraft von BERZELIUS ablehnte, andererseits aber noch nicht sogleich das tiefere Wesen der Katalyse zu erfassen vermochte, zu einer Flucht in formale Definitionen führen.

Zunächst wurde klar, daß ein Katalysator nur wirksam werden könne, wenn sich das betreffende chemische System *außerhalb* seines Gleichgewichtszustandes befindet. Die formale Wirkung des Katalysators muß dann darin bestehen, daß durch seine Gegenwart die Geschwindigkeiten, mit denen irgendein Gleichgewichtszustand angenähert oder erreicht wird, geändert werden. So entstand (W. OSTWALD 1901) eine „kinetische“ Definition, meist in folgender Formulierung ausgesprochen: Katalyse ist die Ände-

*) Herrn Professor MAX BODENSTEIN zu seinem 70. Geburtstag gewidmet.

¹⁾ Eine Reaktion, wie der Bleikammerprozeß, bei dem damals schon die Rolle, die die Stickoxyde spielen, erkannt war, stellte für BERZELIUS keinen katalytischen Vorgang dar.

²⁾ E. MITSCHERLICH hatte 1833, zwei Jahre vor BERZELIUS, für katalysiert verlaufende Reaktionen die Bezeichnung „Kontaktreaktion“ vorgeschlagen. Vom formalen Standpunkt aus wäre dieser Begriff, besonders für die heterogenen katalytischen Reaktionen, vorzuziehen gewesen. Gegenüber der Bezeichnung *Katalyse* hat er sich jedoch nicht durchgesetzt.

rung der Geschwindigkeit einer Reaktion, hervorgerufen durch den Zusatz von Atom- oder Molekülarten, die nicht von der Art der Reaktionsteilnehmer¹⁾ sind und am Ende der Reaktion nach Art und Menge noch oder wieder unverändert vorliegen²⁾.

Bei den zahlreichen Abwandlungen dieser und anderer Definitionen wurde, besonders in neuerer Zeit, zusätzlich eine *reaktionslenkende* Fähigkeit des Katalysators gefordert³⁾. Dies ist an sich überflüssig; denn es ist bei allen chemischen Systemen zum mindesten im Prinzip möglich, den Endgleichgewichtszustand auf verschiedenen Wegen, sei es über bekannte oder unbekannte Zwischenzustände, zu erreichen. Die reaktionslenkende Fähigkeit des Katalysators bedeutet dann nur, daß er die Geschwindigkeit auf *einem* dieser Wege beschleunigt zuungunsten aller anderen. Dies wird besonders immer dann der Fall sein können, wenn mit dem Katalysator eine Zwischenstoffbildung eintritt. Diese Erkenntnis hat — in einer Abwendung vom Formalen — zu einer besonderen Vorstellung von der Wirkung des Katalysators, der sog. *Zwischenstofftheorie der Katalyse*, geführt.

Da die OSTWALDSche Fassung des Katalysiebegriffs über das Wesen der Katalyse keine Auskunft gibt, so stellt sie eine rein formale Definition dar. Es haften ihr alle Mängel an, die ein derartiges Vorgehen nach sich zieht und die schon BERZELIUS empfunden hatte und die ihn dazu veranlaßten, eine „Erklärung“ in seine Definition hineinzunehmen. Insofern stellte die neue Fassung, vom rein akademischen Standpunkt aus gesehen, einen Rückschritt gegenüber der älteren, wen auch nicht zutreffenden Definition dar. Je nachdem man die OSTWALDSche Definition mit größerer oder geringerer Strenge auf die Erfahrung anwandte, verengte oder weitete sich der Kreis der in die katalysierten Reaktionen ein-

¹⁾ Anderenfalls liegt einfach Massenwirkung vor. Im allgemeinen wirken „reaktionsfremde“ Atome oder Moleküle, d. h. solche, die weder zu den Ausgangsstoffen noch zu ihren Reaktions- bzw. Zwischenprodukten gehören. Gehören sie zu den Reaktions-(Zwischen-)Produkten, so liegt *Autokatalyse* vor. Massenwirkung mit Hilfe *fremder* Molekülarten liegt vor, wenn diese das chemische Potential eines Reaktionsteilnehmers ändern, z. B. Schwefelsäure, indem diese Wasser bindet; doch ist diese Wirkung deswegen nicht katalytisch, weil die katalysierende Substanz nicht nach ihrer Art erhalten bleibt.

²⁾ Sonst ist die Forderung beliebig großer Umsätze durch den Katalysator nicht erfüllt.

³⁾ Vgl. A. MITTASCH, Über Katalyse und Katalysatoren in Chemie und Biologie. Berlin 1936; ferner Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie. Berlin 1939. — G. M. SCHWAB, Katalyse vom Standpunkt der chemischen Kinetik. Berlin 1931.

zubeziehenden Vorgänge. Von der Zwischenstofftheorie erwies es sich bald, daß sie zur Erklärung aller katalytischen Phänomene keineswegs ausreichend war.

Der einzige Weg, das Wesen der Katalyse der Erkenntnis näherzubringen, liegt in der restlosen Aufklärung des Mechanismus der betr. Reaktionen. Da wir heute wenigstens von den Gasreaktionen eine ziemlich abgeschlossene Theorie ihrer Kinetik besitzen und eine ganze Reihe auch komplizierter Reaktionen völlig aufgeklärt wurden¹⁾, ist es nunmehr sinnvoll und zweckmäßig, eine Überprüfung des gesamten Komplexes „Katalyse“ von diesem Standpunkt aus vorzunehmen. Hierbei wird sich herausstellen, daß vieles, was früher unklar oder gar wunderbar erscheinen mußte, heute — zum mindesten im Prinzip — klar und verständlich geworden ist, ferner daß die formale Definition unbefriedigend ist und auch bleiben muß, weil nämlich die Reaktionen, die man als katalytische bezeichnen kann, vom Standpunkt der Kinetik aus betrachtet keine besonderen Merkmale aufweisen oder gemeinsam haben, durch die sie sich von den übrigen Reaktionen zu unterscheiden vermöchten.

II.

In der Definition des katalytischen Vorganges wird zunächst die Forderung der Erhaltung der Katalysatorsubstanz nach Art und Menge und damit unmittelbar verbunden die beliebige große Umsätze erhoben.

Hierzu ist zu sagen, daß sicherlich einige Fälle existieren, in denen diese Forderung exakt erfüllt ist. So kann man z. B. mit einer geringen Menge von Stickoxyden unbegrenzte Mengen von Ozon zersetzen, ohne daß jene am Ende der Reaktion nach Art und Menge geändert wären. Viele weitere Prozesse, zu denen auch eine große Zahl von in der Technik durchgeführten Reaktionen zählen, erfüllen diese Forderung zwar nicht ganz streng, aber doch mit hoher Annäherung. Schließlich gibt es aber auch zahlreiche Fälle, bei denen sie weniger gut erfüllt ist. Auf Grund dieser Tatsache ist es üblich geworden, einen gewissen Verbrauch bzw. eine gewisse Abnutzung des Katalysators für zulässig oder gar „natürlich“ zu halten, wie etwa im Bleikammerprozeß, bei dem einige Prozent NO als N₂O verlorengehen, oder bei festen Katalysatoren, wenn diese durch Rekristallisation oder ähnliche Vorgänge allmählich unwirksamer werden²⁾. Damit ist natürlich jedem einzelnen in der Verantwortung der Frage, bis zu welchem Umfange ein Verbrauch, eine Struktur- oder sonstige Änderung der Katalysatorsubstanz zulässig ist oder nicht, weitgehende Freiheit gelassen worden.

¹⁾ Vgl. H. J. SCHUMACHER, Chemische Gasreaktion, Dresden u. Leipzig 1938.

²⁾ Dann ist der Katalysator zwar der Menge nach noch, aber nicht mehr nach Art und Beschaffenheit erhalten.

Wenn der Katalysator nach Art und Menge am Ende der Reaktion tatsächlich noch erhalten sein soll, so darf er an das betreffende System auch keine Energie abgeben. In einer Anzahl von Fällen, die häufig ebenfalls zur Katalyse gezählt werden, wird diese Forderung nicht streng erfüllt, besonders nicht in den Vorgängen, die als „Photokatalyse“ bezeichnet werden. Läßt man z. B. in einem Chlorknallgasgemisch durch eingestrahlt Lichtquanten einige Chloratome entstehen, so wird hierdurch die „Reaktion“ für eine gewisse Zeit in Gang gebracht, und das chemische System der HCl-Bildung (Kette) rollt damit ab. Auf ein Lichtquant (2 Chloratome) werden hierbei bis zu 10⁶ HCl-Moleküle gebildet. Die Energie der eingestrahnten Quanten, die die Reaktion zur Auslösung brachte, ist zwar in der Gesamtbilanz gering, jedoch definitiv verloren¹⁾. Es wird weder das eingestrahlt Licht, noch werden die Chloratome zurückerhalten.

Durch die Ausdehnung des Begriffes Katalyse auf derartige Vorgänge kann der Kreis der katalytischen Reaktionen stark vergrößert werden.

Was die induzierten Reaktionen betrifft, so sind diese dadurch gekennzeichnet, daß die eine Reaktion die für den Ablauf der anderen notwendige Energie aufbringt, indem sich beide Vorgänge in ihrem chemischen Ablauf koppeln.

Der oft und energisch betonte Unterschied zwischen induzierten und katalysierten Reaktionen²⁾ besteht dann wohl nur darin, daß im allgemeinen bei einer katalysierten Reaktion die Abgabe potentieller Energie an das System zu vernachlässigen, bei induzierten Reaktionen aber von merklichem Betrage ist. Bei großen Induktionsfaktoren wird sich die Grenze zwischen beiden mehr und mehr verwischen.

Weiterhin kommen dann die Kettenreaktionen in Betracht. Die die Ketten fortführende Molekül- oder Atomart, der Kettenträger, ist keiner der Ausgangsstoffe, sondern im allgemeinen ein erst aus diesen gebildetes Zwischenprodukt, das häufig nur in geringer Konzentration auftritt. Dem System zugesetzt, z. B. indem man Atome oder Radikale „hineinschießt“ oder durch Licht oder einen Funken entstehen läßt, beschleunigen sie die Reaktion, rufen sie unter Umständen erst hervor. Der Empfindung, daß es sich hier um eine katalytische Erscheinung handle, hat man dadurch Ausdruck verliehen, daß man bei Vorgängen ähnlicher Art von „Zündungskatalyse“ sprach.

Es ist jedoch zu beachten, daß die Kettenträger weder der Menge noch der Art bzw. dem einzelnen Individuum nach erhalten bleiben, insofern nämlich, als es ja, um wieder ein spezielles Beispiel

¹⁾ Wirklich „bilanzfreie Impulse“ (WOLTERECK, s. a. A. MITTASCH, l. c.) gibt es nicht, sie wären eine Idealforderung, die noch weniger erfüllbar scheint als die Erhaltung der Katalysatorsubstanz, die ja immerhin in einigen Fällen gewahrt ist.

²⁾ G. M. SCHWAB, l. c., S. 11.

anzuführen, beim Chlorknallgas immer wieder andere Chloratome sind¹⁾, die die Kette fortsetzen.

Spricht man jedoch die Substanz, aus der der Kettenträger gebildet wird, als Katalysator an — in einer Reihe von Fällen steht diesem nichts entgegen —, so gibt es zweifellos eine Anzahl von Kettenreaktionen, die die Forderung sogar in aller Strenge erfüllen, so z. B. die in Gegenwart von Stickoxyden verlaufende thermische Ozonzersetzung.

Die Kettenreaktionen könnten hiernach zum Teil zu den katalytischen (wie z. B. die schon erwähnte Ozonzersetzung), zum Teil, wie die Chlorknallgasreaktion, nicht zu diesen Vorgängen gerechnet werden.

Eine derartige Trennung von Reaktionen, die, wie die angeführten Beispiele, in ihrem kettenmäßigen Ablauf ein gemeinsames kinetisches Merkmal besitzen, wird den Reaktionskinetiker jedoch nur wenig befriedigen.

Insgesamt müssen wir feststellen: Ist die Forderung nach Erhaltung des Katalysators nach Art und Menge wesentlich für die Definition, so kann nur ihre strenge Erfüllung dazu berechtigen, Reaktionen zu den katalysierten zu zählen. Der Erfahrung nach bliebe deren Zahl dann gering, und die weitaus größte Menge der bisher als katalysiert bezeichneten Vorgänge bliebe davon unerfaßt.

III.

Wenn Katalyse in einer Geschwindigkeitsänderung besteht, ist es für die weitere Diskussion von Wichtigkeit zu erfahren, durch welche Parameter die Geschwindigkeitskonstante einer Reaktion bestimmt wird. Nun, die Geschwindigkeitskonstante, k , einfacher Reaktionen läßt sich im allgemeinen in befriedigender Weise durch eine ARRHENIUSsche Gleichung darstellen. $k = A \cdot e^{-q/RT}$. Hierin bedeutet A die Aktionskonstante und q die Aktivierungswärme.

Wir können nun die beiden folgenden Fragen stellen: 1. Ist die Geschwindigkeitsänderung bei der katalytischen Reaktion durch die Änderung nur eines oder beider Parameter zugleich bedingt? 2. Welches ist die Ursache der Änderung?

Bevor wir hierauf näher eingehen, wollen wir uns kurz einige Tatsachen aus der Theorie chemischer Reaktionen ins Gedächtnis zurückrufen.

Verläuft ein chemischer Vorgang in einem Schritt, also in der Weise, wie man ihn gleichungsmäßig hinschreibt, so spricht man von einer einfachen Reaktion. Als solche Vorgänge kennt man nur uni-, bi- und trimolekulare Reaktionen. Sehr häufig wird das Reaktionsendprodukt jedoch erst in einer Reihe von aufeinanderfolgenden, aus einfachen Reaktionen bestehenden Reaktionsschritten

¹⁾ Der Einwand, daß der Kettenträger streng genommen immer nur einmal, und zwar in stöchiometrischer Weise zur Reaktion gelangt, gilt für jede Kettenreaktion. Man kann sich diesem Einwand entziehen, indem man sich damit begnügt, zu verlangen, daß die Zahl der Kettenträger erhalten bleibt.

ten gebildet. Wir sprechen in diesen Fällen von Folgereaktionen.

Die Geschwindigkeitskonstante einer einfachen Reaktion wird durch die beiden Größen A und q bestimmt. Die Aktivierungswärme q , die für die einzelnen Reaktionen sehr verschiedene Werte annehmen kann, ist, da sie als Exponent auftritt, im allgemeinen sehr viel stärker maßgebend als A . Bei einfachen homogenen Gasreaktionen ist q eine durch die Natur der reagierenden Moleküle gegebene, unveränderliche Größe¹⁾.

In der Aktionskonstante A ist bei unimolekularen Vorgängen die Übergangswahrscheinlichkeit des aktivierten Zustandes, gegeben durch die Zustandssummen, enthalten, bei bimolekularen Vorgängen stellt sie ein Produkt von Stoßzahl und „sterischem“ Faktor dar, in dem seinerseits wieder enthalten ist: thermodynamische Wahrscheinlichkeit, quantentheoretische Übergangsbeschränkungen und andere Größen.

Die Kinetik ist heute so weit, mindestens dem Prinzip nach, einer quantitativen Beschreibung einer Reaktionsgeschwindigkeit entsprechen zu können²⁾. Es sind zwar noch einige Fragen, besonders bezüglich der Aktivierungswärme, bei den verschiedenen Reaktionsarten offen, doch sind wir so weit, daß, wenn wir auch noch nicht immer eine quantitative Berechnung zustande bringen, wir doch in die Lage gesetzt wurden, die Vorgänge zu verstehen.

Wenn in einer Reaktion die Endprodukte in einem Schritt gebildet werden, so ist offenbar, wenn wir zunächst von energetischen Überlegungen absehen, der einfachste Weg hierzu beschritten worden. Es bleibt dann stets noch die Möglichkeit offen, das gleiche Ziel auf einem Umweg mit Hilfe von Folgereaktionen zu erreichen.

Für eine durch Katalyse bedingte Geschwindigkeitsänderung gibt es dann nur 2 Möglichkeiten:

1. Die Aktionskonstante wird durch die Wirkung des Katalysators verändert. 2. Die Reaktion verläuft über einen Umweg³⁾.

Die unter 1. aufzuzählenden Wirkungen sind mehr „physikalischer Art“, was verständlich wird, wenn man bedenkt, durch welche Größen A bestimmt wird. Hierzu einige Beispiele⁴⁾:

a) Die Reaktionsgeschwindigkeit einer unimolekularen Reaktion ist durch die im thermischen

¹⁾ Sie ist im Prinzip immer berechenbar. Vgl. H. J. SCHUMACHER, l. c., S. 87.

²⁾ Erforderlich hierzu ist eine genaue Kenntnis des Molekülaufbaues einschließlich der energetischen Beziehungen.

³⁾ Die Aktivierungsenergie q kann für eine Reaktion, solange ihr Mechanismus erhalten bleibt, nicht verändert werden. Findet man nach Zugabe eines Katalysators für die Bruttoreaktion ein kleineres q' , so bedeutet das, daß die Reaktion einen neuen Weg gegangen ist (Zwischenstoff bzw. Komplexbildung oder Kette).

⁴⁾ Eine ziemlich vollständige Behandlung, insbesondere auch der von HINSHELWOOD aufgefundenen Fälle findet sich bei H. J. SCHUMACHER, l. c., S. 384 ff).

Gleichgewicht vorhandene Anzahl „aktiver“ Moleküle gegeben. (Genauer durch sie und ihre Lebensdauer.) Wenn das thermische Gleichgewicht nicht eingestellt ist, wie es bei unimolekularen Reaktionen im Niederdruckgebiet der Fall ist, so kann durch Zusatz von inerten Gasen diese Einstellung bewirkt werden. In diesem Fall liegt, wenigstens formal, eine „katalytische Reaktionsbeschleunigung“ vor. Ob man sie jedoch tatsächlich zur Katalyse rechnen will, wird dadurch zweifelhaft, daß die für diesen Effekt Energie übertragenden Zusatzgase durch die Ausgangsstoffe ersetzt werden können, so daß nicht weiter von einer spezifischen, an den Zusatz gebundenen Wirkung gesprochen werden kann.

b) Ein Zustand besitze eine sehr geringe Übergangswahrscheinlichkeit, d. h. er habe eine große Lebensdauer. Wird nun durch Zugabe eines Stoffes das den Übergang verhindernde „Verbot“ aufgehoben, so liegt hier zweifellos ein selbst der strengsten Definition voll genügendes Beispiel von Katalyse vor; denn der zugesetzte Stoff wirkt durch seine „bloße Gegenwart“. Das klassische Beispiel hierzu ist die *o-p*-Wasserstoffumwandlung durch paramagnetische Gase (O_2 , NO , J) bzw. in Lösung durch paramagnetische Ionen.

Die Mehrzahl der als katalytisch bezeichneten Reaktionen gehört jedoch zum Fall 2, also zu den Reaktionen, die über einen Umweg verlaufen.

Dies kann einmal dadurch erreicht werden, daß durch chemische Reaktion zwischen Katalysator und Ausgangsstoff eine Kettenreaktion ausgelöst wird, deren Geschwindigkeit infolge der geringen Aktivierungswärmen der Teilreaktionen so groß ist, daß eine Beschleunigung des unkatalysierten Vorganges auftritt. Ferner besteht die Möglichkeit, daß der Katalysator intermediär mit einem der Ausgangsmoleküle einen Komplex bildet, der unter Bildung der Endprodukte irgendwie weiter reagiert¹⁾.

Für den einfachsten Fall einer wirksamen Katalyse, nämlich den, daß die Reaktion nur über eine Zwischenverbindung verläuft, ist erforderlich, daß die Aktivierungswärme für die Bildung und den Zerfall der aus Katalysator und Ausgangsstoff gebildeten Zwischenverbindung klein ist im Vergleich zur Aktivierungswärme der nicht-katalysierten Reaktion. Theoretisch und auch praktisch kann die Zwischenverbindung so instabil sein, daß sie unmittelbar nach ihrer Bildung, etwa beim ersten Stoß mit einem geeigneten Molekül, weiter umgesetzt wird.

Durch die Häufigkeit, mit der die über einen Umweg verlaufenden Reaktionen auftreten, erklärt es sich, daß die Zwischenstofftheorie die am

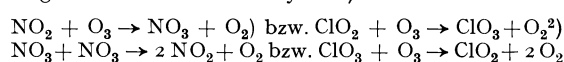
meisten bevorzugte Vorstellung über Katalyse gewesen ist. Das Wesen derartiger Reaktionen wird übrigens nicht dadurch betroffen, daß der „Katalysator“ nach Menge und Art nicht erhalten bleibt, es ist nur ein mehr oder minder großer Schönheitsfehler, wenn er in einer für das eigentliche Reaktionsgeschehen unwesentlichen Nebenreaktion verbraucht wird.

Die Vorstellung des Auftretens von Zwischenreaktionen umfaßt jedoch, wie schon bemerkt, nicht alle katalytischen Reaktionen, und zwar gerade eine Anzahl solcher Reaktionen nicht, die selbst einer strengen Definition der Katalyse Genüge leisten. Die Zwischenstofftheorie kann also nicht als eine universelle Theorie der katalytischen Erscheinungen angesehen werden.

IV.

Es ist nun noch zu prüfen, ob in den Fällen, in denen nach Zusatz des Katalysators „andere und neue“ Reaktionswege eingeschlagen werden, auch neue kinetische Merkmale auftauchen, auf Grund deren es berechtigt wäre, diese Reaktionen unter einem besonderen Begriff zusammenzufassen.

Betrachten wir hierzu einen eindeutigen Fall von Katalyse, wie etwa die Ozonzerersetzung in Gegenwart von Stickoxyden¹⁾ oder von Chlor.



Wir sehen, daß es sich hier um Kettenreaktionen handelt, die sich von denen, die die Katalysedefinition nicht erfüllen, durch wesentliche Merkmale nicht unterscheiden. Ihr Mechanismus wird dadurch, daß man sie als katalytische Vorgänge bezeichnet, in keiner Weise verdeutlicht. Aufklärung hierüber erbrachte lediglich die Kinetik. Ähnlich lagen die Verhältnisse in allen übrigen Fällen. Es sind immer wieder andere, aber kinetisch wohlherkannte Gründe, die die „Katalyse“ verursachen²⁾.

Es bleibt reiner Formalismus, wenn man aus gewissen äußeren, oft noch nicht einmal vollkommen erfüllten Merkmalen eine Abtrennung derartiger Reaktionen durchführt. Vom Standpunkt der Kinetik haben die katalysierten Reaktionen keinerlei besondere Merkmale.

Es ist noch zu überlegen, ob die voranstehenden Ausführungen über die Gasreaktionen hinaus auch für in Lösung verlaufende und heterogene Reaktionen ihre Gültigkeit behalten. Im Prinzip

¹⁾ H. J. SCHUMACHER, l. c., S. 419 ff.

²⁾ Es sind hier nur die die Kette fortführenden Vorgänge angegeben.

³⁾ Bei der Katalyse der *o-p*-Wasserstoffumwandlung durch paramagnetische Gase ist es die Wirkung des molekularen Magnetfeldes, das die Reaktion beschleunigt; bei der durch H-Atome ist es die Austauschreaktion zwischen H und H₂. Bei den Rekombinationsvorgängen von Atomen besteht die „Katalyse“ des Dreierstoßpartners in der Aufnahme von Energie usw.

¹⁾ Im allgemeinen wird die Temperaturabhängigkeit der die Endprodukte liefernden katalytischen Reaktion geringer sein als die der unkatalysierten. Indem man die verschiedenen Reaktionssysteme und ihre Mechanismen unberücksichtigt läßt, wird dies häufig als eine durch den Katalysator bedingte Erniedrigung der Aktivierungsenergie bezeichnet.

dürften keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Reaktionen der genannten Art bestehen. Dagegen muß festgestellt werden, und das ist für die praktische Beurteilung von ausschlaggebender Bedeutung, daß unsere Kenntnisse über den Verlauf der in Lösung verlaufenden und insbesondere der heterogenen Reaktionen sehr viel weniger weit fortgeschritten sind, als dies bei den Gasreaktionen der Fall ist. Generell wird es zwar stets möglich sein, durch eine Anzahl mit genügend großer Genauigkeit durchgeführter Messungen den Mechanismus der einzelnen Reaktionen aufzuklären. Aber in der Mehrzahl der Fälle sind diese Messungen nicht vorhanden. Da ferner die Natur und auch die Größe der Kräfte zwischen Lösungsmittel und gelöstem Stoff wie auch zwischen Adsorbens und Adsorbat sehr verschieden sein können und ferner die kinetische und statistische Behandlung der Vorgänge noch manche Mängel aufweist, ist die völlige Aufklärung der einzelnen Reaktionen mit großer Schwierigkeit verbunden. Aus den genannten Gründen ist es auch nicht immer möglich, die bei der Erforschung einer bestimmten Reaktion gewonnenen Kenntnisse ohne weiteres auf andere Reaktionen zu übertragen. Dementsprechend wird man schon aus praktischen Gesichtspunkten heraus jede Möglichkeit, Gruppen von Reaktionen zusammenzufassen, wahrnehmen, selbst wenn die Einordnung nur nach formalen Gesichtspunkten, wie es bei den katalytischen Reaktionen der Fall ist, erfolgen kann.

Man sollte jedoch auch hier bei der Anwendung des Wortes Katalyse nicht vergessen, daß die Einteilung formaler Natur ist und aus ihr über den Mechanismus der jeweiligen Reaktion keinerlei Schlüsse gezogen werden können.

V.

Formal schließt die auf einer Änderung der Geschwindigkeit basierende Definition der Katalyse auch Verlangsamungen der Reaktionsgeschwindigkeit ein. Solche Fälle werden in der Literatur häufig als „negative“ Katalyse bezeichnet.

Bei der Diskussion der hier auftretenden Fragen ist es zunächst von Interesse zu erfahren, bei welchen Reaktionstypen es überhaupt möglich ist, die Geschwindigkeit durch geeignete Zusätze herabzusetzen. Hier ist festzustellen, daß die Geschwindigkeit einfacher Reaktionen offenbar nicht vermindert werden kann; denn Aktivierungswärme und Stoßzahl können nicht beeinflußt werden. Wenn also bei einer ursprünglich einfachen Reaktion durch zugesetzte Stoffe eine Geschwindigkeitsänderung hervorgerufen wird, so kann sie nur dadurch bedingt sein, daß eine zusätzliche Bildung der Reaktionsprodukte durch eine über einen Umweg verlaufende Reaktion eintritt. Es kann also, wenn überhaupt, so doch nur eine Erhöhung der Geschwindigkeit auftreten.

Das Phänomen der negativen Katalyse ist hiernach, wie bereits CHRISTIANSEN und BÄCKSTRÖM klar erkannt haben, auf heterogene Reak-

tionen und bei homogenen Reaktionen auf solche, die über eine Kette verlaufen, beschränkt¹⁾.

Als nächste Frage taucht die nach der Existenz und der Wirkung eines negativen Katalysators auf. Um bei den heterogenen Reaktionen zu beginnen, so sehen wir, wenn wir das Beispiel einer am Kontakt verlaufenden Reaktion herausgreifen, daß eine Herabsetzung der Geschwindigkeit offenbar nur dadurch bedingt werden kann, daß der Katalysator entweder durch Adsorption eines Fremdstoffes vergiftet oder durch chemische Reaktionen mit Fremdstoffen vernichtet oder in irgendeine weniger aktive Form gebracht wird. Da der zugesetzte Stoff hierbei im allgemeinen verbraucht wird und seine Wirkung im wesentlichen darauf beruht, die Menge des vorhandenen positiven Katalysators zu verringern, dürfte es weder besonders zweckmäßig noch sinnvoll sein, ihn als negativen Katalysator zu bezeichnen.

Was nun die Kettenreaktionen anbelangt, so kann ihre Geschwindigkeit nur dadurch herabgesetzt werden, daß die stationäre Konzentration der Kettenträger herabgesetzt wird. Dies kann auf zweierlei Weise geschehen. a) Die Kettenträger bzw. ein Teil von ihnen, werden durch chemische Reaktionen mit dem Zusatzstoff verbraucht. b) Die Geschwindigkeit des Kettenabbruches wird erhöht, und zwar entweder durch Beschleunigung einer bereits stattfindenden Reaktion oder durch das Zustandekommen neuer, zum Kettenabbruch führender Reaktionen.

Zum Fall a ist zu bemerken, daß eine Molekülart, die in stöchiometrischer Weise mit dem Kettenträger eine chemische Reaktion eingeht und hierbei verbraucht wird, kaum als negativer Katalysator bezeichnet werden kann. Bei Fall b muß es sich entweder um eine positive Katalyse handeln (z. B. Erhöhung der Rekombinationsgeschwindigkeit von Atomen oder Entaktivierung angeregter Moleküle oder Atome durch Zusatzgase) oder um den bereits bei a behandelten Fall, daß eine chemische Reaktion eintritt, in der der zugesetzte Stoff ebenfalls verbraucht wird. Eine Substanz als negativen Katalysator zu bezeichnen, die bei einer Teilreaktion der gleichen Gesamtreaktion als positiver Katalysator wirkt, dürfte aber lediglich sinnverwirrend wirken.

Es ist also bei unserer heutigen Kenntnis vom Ablauf chemischer Reaktion nicht möglich, von negativer Katalyse oder einem negativen Katalysator zu sprechen, ohne in begriffliche Schwierigkeiten zu kommen oder sich in Widersprüche zu verwickeln. In jedem Fall dürfte durch Einführung des Begriffes negative Katalyse weder formal noch begrifflich ein Fortschritt erzielt sein. Es dürfte demnach zweckmäßig sein, das Wort negative Katalyse möglichst wenig anzuwenden und Vorgänge, bei denen eine Verringerung der Geschwindigkeit durch Zusätze erzielt werden kann, mit einem Ausdruck zu belegen, der dem

¹⁾ Näheres bei H. J. SCHUMACHER, l. c., S. 405 ff.

tatsächlichen Vorgang gerecht wird, nämlich als Hemmung der Bildungs- oder Zerfallsgeschwindigkeit der betreffenden Substanz durch die zugesetzte Molekülart. In Fällen, in denen der Mechanismus völlig aufgeklärt ist, kann man gegebenenfalls einen Ausdruck wählen, der dem jeweiligen Reaktionsmechanismus entspricht.

VI.

Der Sinn und Zweck der im vorstehenden gemachten Ausführungen, die im einzelnen durchaus nicht den Anspruch auf Neuheit¹⁾ oder Originalität machen, soll es keineswegs sein, gegen die Anwendung des Wortes Katalyse Sturm zu laufen oder es in Mißkredit zu bringen. Ihre Aufgabe soll vielmehr sein, zum Nachdenken anzuregen und zu zeigen, daß es beim Stande unserer heutigen doch schon bis ins einzelne gehenden Anschauungen vom Ablauf einer chemischen Reaktion nicht immer sinnvoll ist, mit dem Begriff „Katalyse“ zu operieren. Es zeigt sich nämlich erfahrungsgemäß immer wieder, daß noch vielfach etwa im Sinne von BERZELIUS an ein Wesen der Katalyse geglaubt wird.

Mit Sicherheit kann gesagt werden, daß es ein Wesen der Katalyse nicht gibt und daß ein Zusammenfassen von Erscheinungen unter diesem Begriff nur nach rein formalen, äußeren Gesichtspunkten geschehen kann. Aus diesem Grunde ist es auch nicht möglich, von einem übergeordneten Standpunkt heraus eine eindeutige Definition für die Katalyse anzugeben und zu verlangen, daß diese Definition allgemein anerkannt wird. Die Definition ist vielmehr rein konventionell,

¹⁾ Z. B. A. MITTASCH, Kurze Geschichte der Katalyse in Praxis und Theorie, S. 111. Berlin 1939. „Die Katalyse ist keineswegs durch eine besondere Art „Partialvalenz“ gekennzeichnet, die bei „gewöhnlichen“ chemischen Reaktionen nicht vorhanden wäre, sondern lediglich durch eine besondere Verknüpfungsart von Teilreaktionen, die gleichgeartet auch bei nichtkatalytischen Vorgängen, jedoch in anderer Verknüpfungsweise vorkommen“.

und die Abgrenzung dieses Begriffes gegenüber den sonstigen Reaktionen muß jedem einzelnen weitgehend überlassen werden. Wie man die Definition auch wählt, die hierunter zusammengefaßten Reaktionen haben weder gemeinsame kinetische Merkmale noch solche, durch die sie sich von den übrigen Reaktionen unterscheiden. Es kommen hierunter, was den eigentlichen Mechanismus anbelangt, Reaktionen aller Typen vor.

Generell kann gesagt werden, daß man immer dann, wenn der Reaktionsmechanismus im einzelnen aufgeklärt ist, ohne den Begriff Katalyse auskommen kann. Dies gilt vor allem für die homogenen Gasreaktionen. Es ist einleuchtend, daß ein Ausdruck, der einen Reaktionstyp bezeichnen soll, falls er dem Mechanismus der Reaktion Rechnung trägt — wie z. B. durch den Stoff A induzierte bzw. sensibilisierte Reaktion, durch Licht sensibilisierte Reaktion, Kettenreaktion usw. —, immer einem solchen vorzuziehen ist, der dies, wie das Wort Katalyse, nicht vermag. Dagegen dürfte die Anwendung des Begriffes Katalyse immer dann, wenn noch Zweifel über den Reaktionsmechanismus bestehen bzw. dieser nicht bekannt ist, von Vorteil sein. Das gilt vor allem für die Mehrzahl der heterogenen oder in flüssiger Phase verlaufenden Reaktionen. Obwohl natürlich im Prinzip zwischen dem Ablauf einer Gas- und einer heterogenen Reaktion, zum mindesten was die Natur der Kräfte anbelangt, kein tieferer Unterschied bestehen wird. In den genannten Fällen dürfte jedoch eine Zusammenfassung, auch wenn sie nur nach formalen Gesichtspunkten durchgeführt wird, zum mindesten mit erheblichen praktischen Vorteilen verbunden sein.

Gegen die Anwendung des Wortes „negative Katalyse“ lassen sich erhebliche prinzipielle Bedenken äußern, die es ratsam erscheinen lassen, diesen Begriff durch Reaktionshemmung oder einen solchen zu ersetzen, der dem jeweiligen Mechanismus entspricht.

Zur Feinstruktur der Erythrocytenmembran¹⁾.

Von C. WOLPERS.

Die Erythrocyten werden von Stoffwechsel- und Zellphysiologen häufig zum Studium von Permeabilitätsfragen benutzt. Die gröbere und auch die feinere Bauweise dieser zellartigen Gebilde ist noch nicht geklärt, so daß Schwierigkeiten bestehen, sich die vorwiegend im molekularen Größenbereich verlaufenden Permeabilitätsvorgänge morphologisch genauer vorzustellen. Grundsätzlich stehen sich zwei Auffassungen von der Erythrocytenstruktur gegenüber. Die einen halten den kernlosen menschlichen Erythrocyten — und nur

¹⁾ Mitteilung aus der I. Medizinischen Universitätsklinik der Charité, Berlin (Direktor: Prof. Dr. R. STRÖBECK) und dem Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens & Halske A.G., Berlin-Spandau.

von diesem soll hier die Rede sein — für einen mit Hämoglobin gefüllten Ballon, die anderen für einen mit Hämoglobin getränkten Schwamm. Die zwischen diesen beiden Auffassungen vermittelnden Kombinationstheorien nehmen meist eine feine Oberflächenschicht und ein netzförmiges Stroma im Inneren als die formerhaltenden Elemente an. Lichtoptisch konnte diese Meinungsverschiedenheit nicht allgemein überzeugend geklärt werden. Die gemeinsam mit H. RUSKA (19, 24), B. LINDEMANN (19) und K. ZWICKAU (25) durchgeführten, zum Teil noch nicht veröffentlichten elektronenoptischen Untersuchungen¹⁾ ergaben, daß der ausgereifte Erythrocyt vorwiegend wie ein *Ballon*

¹⁾ Zur Entwicklung der Methode vgl. (5).

gebaut ist. Er besitzt eine allseits bedeckende *Membran* im Sinne strenger cytologischer Definition [STUDNIČKA (22, 23)].

Ein im Querschnitt biskuitförmiger Erythrocyt ist elektronenoptisch zentral stets besser durchstrahlbar als am Rand (Fig. 1). Der von KRAUSE (13) festgestellte

Faltenbildung. Fig. 4 — ein Ausschnitt aus einem stechapfelförmigen Erythrocyten — zeigt, daß die Membran unter Umständen auch ohne Hämolyse abzubilden ist, daß sie also nicht durch die Hämolyse

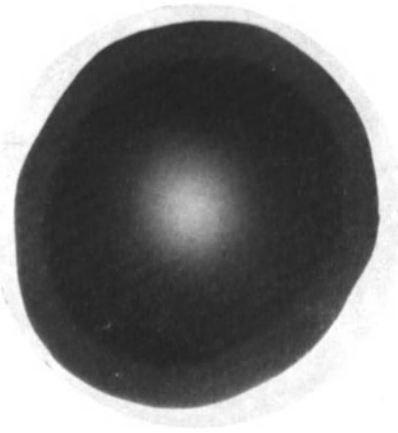


Fig. 1. 911/41. Bikonkaver Erythrocyt; Osmiumfixation. El.opt.: 7700:1.

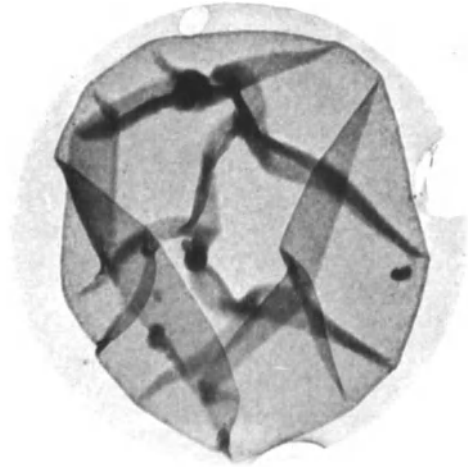


Fig. 2. 1883/41. Osmiumfixierte Erythrocytenmembran aus Citratblut. Osmotische Hämolyse. El.opt.: 9500:1.

helle Randbezirk gehört nicht zum Erythrocyten. Er ist ein Spalt zwischen Erythrocyt und Einbettungsmasse, entstanden durch die Austrocknung im Hochvakuum.

Nach osmotischer Hämolyse und Fixation läßt sich die Erythrocytenmembran ohne Reißbildung

lyse entsteht [sog. Niederschlagsmembran, LEPESCHKIN (14)]. Die Erythrocytenmembran ist scharf gegen den umschlossenen Inhalt abgegrenzt. Ein allmählicher Übergang in die Innensubstanz im

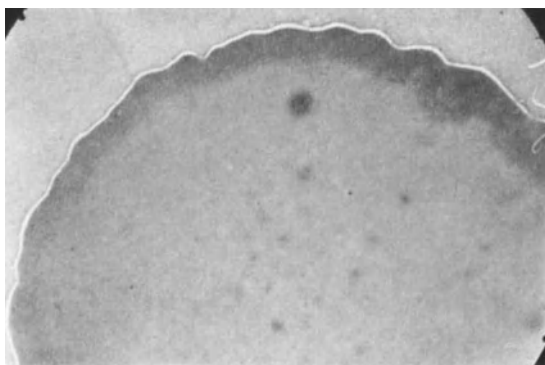


Fig. 3. 1342/41. Unfixierte Erythrocytenmembran. Osmotische Hämolyse. El.opt.: 8000:1.

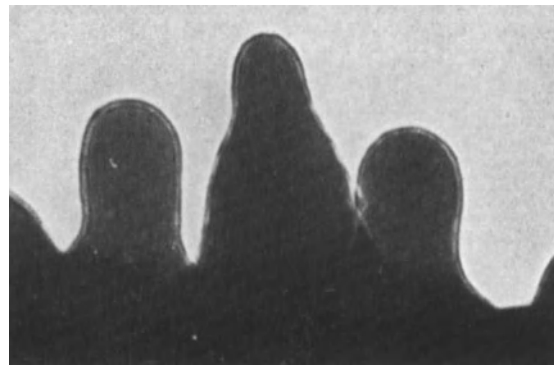


Fig. 4. 1786/41. Ausschnitt aus Stechapfelerythrocyt. Citrat-Ringerlösung. Osmiumfixation. Darstellung der Erythrocytenmembran ohne Hämolyse. El.opt.: 9200:1; Abbildung: 64000:1.

stets eindeutig darstellen (Fig. 2). Die sich überkreuzenden Falten dürften den Hüllencharakter beweisen.

Selbstverständlich ist zur überzeugenden, elektronenoptischen Darstellung der Erythrocytenmembran eine *vollständige* osmotische Hämolyse und eine Reinigung des Präparates von Plasma und Hämoglobinbestandteilen erforderlich. Bei dem Bild, das v. ARDENNE (1) nach einem Präparat von FREKSA veröffentlicht hat, war dies nach Angabe des Autors nicht der Fall.

Fig. 3 soll zeigen, daß die Membran auch ohne Fixation darstellbar ist. Mangels Strukturverfestigung durch das Fixationsmittel fehlt hier die

Sinne einer verdichteten Grenzschicht [Pellicula, LEPESCHKIN (14)] ist nicht festzustellen. Ob sich innerhalb der Membran ein feinfädiges Stromaerüst im Sinne der Kombinationstheorien nachweisen läßt, ob es also neben der Membran noch ein besonderes Erythrocytenstroma gibt, können wir zur Zeit noch nicht entscheiden. Sicher ist aber schon jetzt, daß ein hämolyse-resistentes gröberes Innenstroma von micellarem Größenbereich, wie es von BOEHM (4) angenommen wird, elektronenoptisch *nicht* aufzufinden ist.

Die Erythrocytenmembran hat nach Überstehen der osmotischen Hämolyse, der Osmiumfixation und der Austrocknung im Hochvakuum eine durchschnittliche Dicke von 25 $m\mu$. Nicht-hämolyse, osmiumfixierte Erythrocyten aus Salzlösungen zeigen eine Membrandicke von etwa 15 $m\mu$, während hämolyse, aber nicht fixierte Membranen dicker sind. Diese Werte stimmen ungefähr mit der Berechnung von BOEHM (4) überein (Membrandicke ohne Wasser 19 $m\mu$). Die Feststellung einer wesentlich dünneren oder wesentlich dickeren Erythrocytenmembran verträgt sich nicht mit unseren direkten Messungen. FRICKE (11), DANIELLI (8) und CURTIS (7) haben einen Wert von 3,3 $m\mu$ festgestellt. Zur Annahme einer bimolekularen Lipidmembran kommen GORTER und GREDEL (12). SEIFRIZ (20) dagegen schätzt eine Membrandicke von 700 $m\mu$.

Bevor wir nun den Feinbau der Erythrocytenmembran besprechen, müssen einige Vorstellungen von der allgemeinen Bauweise der Grenzschichten pflanzlicher oder tierischer Zellen und von der speziellen Bauweise der Erythrocytenmembran erwähnt werden. Betreffs des allgemeinen Bauprinzips der protoplasmatischen Grenzschicht kamen OVERTON (17), RUHLAND (18) und COLLANDER (6) auf Grund von Permeabilitätsstudien zu verschiedenen Vorstellungen. OVERTON (17) erkannte die große Bedeutung der Lipide für das Permeabilitätsgeschehen. Er vermutete, daß die Oberflächenschicht der Zellen mit Lipiden imprägniert sei, durch die dann der Stoffaustausch zwischen dem Zellinnern und der Milieuflüssigkeit erfolgt. Seine Vorstellungen versuchte NATANSON (16) zu ergänzen, indem er eine mosaikartige Anordnung der Lipid- und Eiweißteile in der Zelloberfläche annahm.

Der quantitative [BEUMER und BÜRGER (3)] sowie qualitative [ERICKSON und Mitarbeiter (9)] Bestand der Erythrocytenmembran (bzw. des Hämolyserestes) an Lipiden wurde chemisch festgestellt. Der Lipidanteil ist kleiner als der Eiweißanteil.

RUHLAND und HOFFMANN (18) wiesen auf die Bedeutung der Molekülgröße für den Permeiervorgang hin. Sie glaubten, daß die Grenzfläche wie ein Sieb oder Filter mit feinsten Poren versehen sei, durch welche kleine Moleküle leicht, größere nur teilweise oder gar nicht in das Zellinnere gelangen könnten. Das Unbefriedigende der Gegensätze zwischen der aktiven Grenzschicht OVERTONS und der passiven Grenzschicht RUHLANDS veranlaßte COLLANDER (6) eine Kombinationstheorie zu vertreten, nach welcher das Permeabilitätsgeschehen vorwiegend durch die Lipide, aber auch durch Poren der Grenzflächen reguliert wird.

Was nun den Feinbau der Erythrocytengrenzfläche betrifft, so kamen MOND und HOFFMANN (15) gleichfalls auf Grund von Permeabilitätsstudien unter Verwertung der Vorstellungen von NATANSON (16), RUHLAND (18) und COLLANDER (6) zu einer ähnlichen Kombinationstheorie. Die Lipid-

und Eiweißbausteine sollen *mosaikartig* gelagert sein.

Polarisationsoptische Untersuchungen des Hämolyserestes von SCHMITT, BEAR und PONDER (22), ausgehend von der jetzt elektronenoptisch bestätigten Annahme, daß dieser Hämolyserest fast ausschließlich die membranartige Oberflächenschicht des Erythrocyten darstellt, ergaben aber im Gegensatz zu dieser Mosaikbauvorstellung Unterlagen für einen *Schichtbau*. Die Eiweiß- und Lipidbestandteile sollen in wechselnder Schichtenfolge aufeinander gelagert sein, wobei die Eiweißmoleküle der Eiweißschicht tangential zur Zelloberfläche, die Lipidmoleküle der Lipidschicht radiär ausgerichtet sein sollen. Dieser Schichtbau wurde grundsätzlich von SCHMIDT (21) bestätigt, allerdings nicht für die Erythrocytenmembran, sondern für das Erythrocytenstroma.

Es ist das große Verdienst von FREY-WYSSLING (10), unter anderem auf die hervorragende Bedeutung der Eiweißstrukturen in biologischen Objekten überzeugend hingewiesen zu haben. Den Aufbau der Zelloberflächenschicht stellt sich FREY-WYSSLING nicht lamellar, sondern *netz-* bzw. *gerüstartig* vor. In ein Eiweißfadengerüst sind die Grenzflächenlipide eingelagert. Für die Erythrocytenhülle hatte BECHHOLD (2) auf Grund von lichtoptischen Dunkelfelduntersuchungen eine gleichartige Bauweise angenommen (Ballonnetz).

Welches Bauprinzip zeigt nun die Erythrocytenmembran? Liegen die Eiweiß- und Lipidteile mosaikartig, schichtenförmig oder gerüstartig zusammen?

Mittels der Messung von Viskosität und Strömungsdoppelbrechung hat BOEHM (4) den Nachweis erbracht, daß die Eiweißteile des Hämolyserestes, also die Eiweißstrukturelemente der Erythrocytenmembran, aus sehr langen *Fadenmicellen* mit einem Breiten-Längenverhältnis von 1 zu mehreren Tausend bestehen. Strukturelemente von solch extremer Längenausdehnung sind aber (bei Verzicht auf einen nicht bewiesenen Stromaanteil) nur schwierig mosaikartig in die Membran einzubauen, während sie als Anteile eines Schicht- oder Gerüstbaues gut vorzustellen sind. Man denke, wenn ein Vergleich aus der Technik gestattet ist, etwa an die Einlagerung der langen Eisenstäbe beim Eisenbetonbau.

Zur elektronenoptischen Analyse der Membranstruktur haben wir durch teilweise Entfernung des Lipidanteils versucht, die Feinbauprobleme zu entscheiden.

Läßt man auf die unfixierte Erythrocytenmembran kurze Zeit Lipidlösungsmittel wirken und betrachtet die noch gut erhaltene Membran elektronenoptisch, so zeigt die vorher glatte Membranfläche (Fig. 3) in recht gleichmäßigen Abständen viele, etwa gleich große, die ganze Membrandicke durchsetzende Substanzdefekte (Fig. 5). Während diese Tatsache mit der Vorstellung

eines Mosaik- und Gerüstbaues gut zu vereinen ist, wird hiermit der Schichtbau unwahrscheinlich. Es ist nicht anzunehmen, daß bei kurz dauernder Lipoidextraktion der gesamte, vielschichtige Aufbau so gleichmäßig zerstört wird, daß solche Substanzdefekte auftreten. Selbst bei der Annahme großporiger Eiweißfolien zwischen den

es wahrscheinlich, daß diese Strukturelemente nicht erst durch die präparativen Maßnahmen ihre Form erhalten haben, indem sie etwa durch Zusammenbacken aus einem Molekülgerüst entstanden sind. Wir glauben daher, auch in der normalen Erythrocytenmembran ein *micellares* Eiweißgerüst annehmen zu dürfen, — zumal auch die im

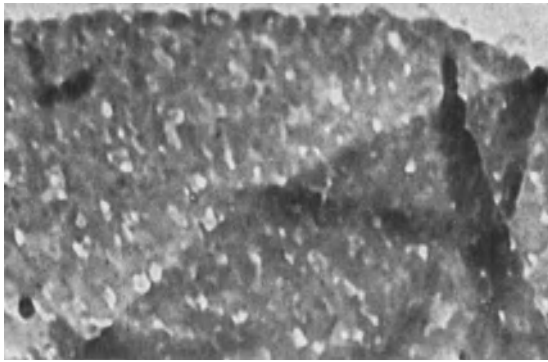


Fig. 5. 1348/41. Unfixierte Erythrocytenmembran. Osmotische Hämolyse, Lipoidextraktion. El.opt.: 12000:1; Abbildung: 18000:1.

Lipidschichten ist es unwahrscheinlich, daß die herausfließenden Lipide solche gleich großen, kreisrunden, zahlreichen, die gesamte Membrandicke durchsetzenden Defekte hinterlassen. Wir halten also den *Schichtbau* der Erythrocytenmembran für *unwahrscheinlich*.

Zur Entscheidung der Frage, ob nun ein Mosaik- oder Gerüstbau vorliegt, ist das Verhalten des Eiweißbestandteils auch elektronenoptisch zu prüfen. Läßt man auf eine unfixierte Erythrocytenmembran nach Lipoidextraktion Osmiumsäure einwirken, so kommen die Eiweißteile kontrastreicher zur Darstellung als ohne Fixierung (Fig. 6). Die Zusammensetzung aus fadenförmigen Elementen wird deutlich, wenn eine solche Membran während der Aufdrehung gezogen wird. Man erkennt langgestreckte, gerüstartig sich kreuzende, etwa gleich breite Fäden (Fig. 7). Damit ist grundsätzlich ein Gerüstbau elektronenoptisch nachgewiesen, während der *Mosaikbau* der Erythrocytenmembran unwahrscheinlich wird.

Wir kommen also zu der Auffassung, daß die Strukturvorstellungen von BECHOLD (2) und FREY-WYSSLING (10) für den Fall der Erythrocytenmembran zu Recht bestehen. *In ein Gerüstwerk aus langfädigen Eiweißteilen sind die Lipide als Zwischensubstanz eingelagert.*

Eine weitere Frage ist nun, ob die Eiweißbestandteile des Gerüstes im Normalzustande von molekularer oder micellarer Größenordnung sind. Die Ausmessung der Gerüstfäden der Erythrocytenmembran nach Überstehen der osmotischen Hämolyse, der Lipoidextraktion, der Osmiumfixation und der Vakuumtrocknung ergibt eine durchschnittliche Breite von etwa 15 $m\mu$. Die recht gleichmäßige Breite der Gerüstfäden macht

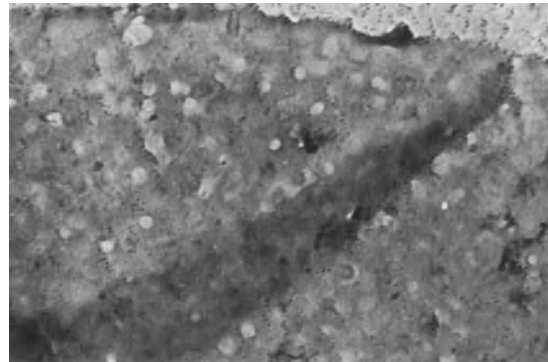


Fig. 6. 1737/41. Osmiumfixierte Erythrocytenmembran. Osmotische Hämolyse, Lipoidextraktion. El. opl. 17000:1; Abbildung: 34000:1.

Durchmesser etwa 50 $m\mu$ großen Lücken des unfixierten Gerüstwerkes (Abb. 5) übermolekulare Dimensionen aufweisen. Jedoch ist der Einfluß des Hämolysevorgangs auf die Membranstruktur elektronenoptisch noch nicht untersucht.

Die *funktionelle* Aufgabe eines micellaren Eiweißgerüstes wird vor allem mechanisch und

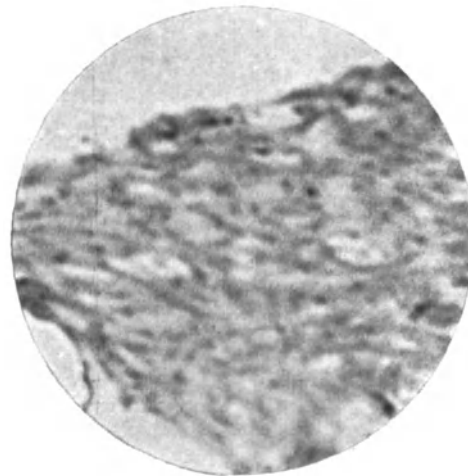


Fig. 7. 1736/41. Osmiumfixierte Erythrocytenmembran. Osmotische Hämolyse, Lipoidextraktion. Darstellung des micellaren Eiweißgerüstes. El.opt.: 17000:1; Abbildung: 51000:1.

dynamisch sein, während die Lipide der Erythrocytenmembran, unter Bestätigung der Auffassung von OVERTON (17) und COLLANDER (6), wohl vorwiegend die Permeabilitätsvorgänge regulieren werden.

Zusammenfassung. Die menschliche Erythrocytenmembran besteht aus Eiweiß und Lipoiden. Der strukturerhaltende und formbestimmende Bestandteil ist ein micellares Eiweißgerüst. Es ist ausgefüllt mit Lipoiden, welche vorwiegend die Permeabilitätsvorgänge regulieren.

Literatur.

(1) M. v. ARDENNE, Elektronen-Übermikroskopie. Berlin 1940, S. 384. — (2) H. BECHHOLD, Münch. med. Wschr. 1921, 127. — (3) H. BEUMER u. M. BÜRGER, Arch. f. exper. Path. 71, 311 (1913). — (4) G. BOEHM, Biochem. Z. 282, 32 (1935). — (5) B. v. BORRIES u. E. RUSKA, Verh. d. Ges. dtsh. Naturf. u. Ärzte 1938, 72. — Erg. exakt. Naturwiss. 19, 237 (1940). — (6) C. COLLANDER, Ber. physiol.-ökon. Ges. Königsberg 69, 251 (1937). — (7) H. J. CURTIS, J. of Physiol. 19, 929 (1936). — (8) F. J. DANIELLI, J. of Physiol. 19, 19 (1935). — (9) B. N. ERICKSON, H. H. WILLIAMS, S. S. BERNSTEIN, I. AVRINE, R. L. JONES u. J. G. MACY, J. of biol. Chem. 122, 515 (1938). — (10) A. FREY-

WYSSLING, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Berlin 1938. Umschau 1940, 500 u. 540. — (11) H. FRICKE, J. of Physiol. 9, 137 (1925). — (12) E. GORTER u. F. GRENDEL, J. of exper. Med. 41, 439 (1925). — (13) F. KRAUSE, Radiologica 3, 122 (1938). — (14) W. W. LEPESCHKIN, Kolloidchemie des Protoplasma, 2. Aufl. Dresden-Leipzig 1938. — (15) R. MOND, Pflügers Arch. 217, 618 (1927). — R. MOND u. F. HOFFMANN, Pflügers Arch. 219, 467 (1928). — (16) A. NATANSOHN, Jb. wiss. Bot. 39, 607 (1904). — (17) E. OVERTON, Vierteljahrhundert-Schr. d. naturforsch. Ges., Zürich Nr 40, 1 (1895); Nr 44, 88 (1899). — (18) W. RUHLAND, Jb. Bot. 51, 376 (1912). — W. RUHLAND u. C. HOFFMANN, Planta (Berl.) 1, 1 (1925). — (19) H. RUSKA, Dtsch. med. Wschr. 11, 281 (1941). — (20) W. SEIFRIZ, Protoplasma (Berl.) 1, 346 (1927). — (21) W. J. SCHMIDT, Sonderheft der Kolloid-Z. 85, H. 2/3, 137 (1938). — (22) F. O. SCHMITT, R. BEAR u. E. PONDER, J. cellul. a. comp. Physiol. 9, 89 (1936). — (23) F. K. STUDNICKA, Z. Zellforsch. 2, 408 (1925). — (24) C. WOLPERS u. H. RUSKA, Klin. Wschr. 1939, 1077/1081. — (25) K. ZWICKAU, Diss. Berlin 1941.

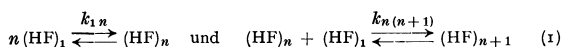
Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Kettenassoziation der Fluorwasserstoffsäure im Gaszustand.

Dichtemessungen an HF-Dämpfen bei verschiedenen Drucken und Temperaturen¹⁾ ergaben, daß weder eine überwiegende Assoziation zu (HF)₂-Komplexen noch Gleichgewichte ausschließlich zwischen Einfach- und (HF)₄- bzw. (HF)₆-Molekülen dem Verlauf der experimentellen *p*, *v*-Isothermen gerecht wird, sondern es müssen Gleichgewichte verschiedener Molekülaggregate angenommen werden. Diese von FREDENHAGEN¹⁾ ausgesprochene Vermutung läßt sich näher präzisieren. Es läßt sich nämlich zeigen, daß im Dampf der Fluorwasserstoffsäure überlagerte Gleichgewichte bestehen zwischen *Einer*- und *Mehrfach*molekülen aller höheren Zähligkeiten²⁾.

Der mittlere Zähligkeitsfaktor $f = p_0/p$ ergibt sich aus dem Druck p_0 , der sich einstellen würde, falls *nur* *Einer*-moleküle vorhanden wären und dem experimentellen *Gesamt*druck *p* in einem bestimmten Volumen. $p_1, p_2, p_3 \dots$ usw. seien die Gleichgewichtspartialdrucke der *Einer*-, *Zweier*- usw. Moleküle. Gemäß den Gleichgewichten:



mit den Gleichgewichtskonstanten:

$$k_{1n} = \frac{p_n}{p_1^n} \quad \text{und} \quad k_{n(n+1)} = \frac{k_{1(n+1)}}{k_{1n}} = \frac{p_{n+1}}{p_n \cdot p_1} \quad (2)$$

ist

$$f = \frac{p_1 + 2k_{12}p_1^2 + 3k_{13}p_1^3 + \dots}{p} = \frac{p_1 + \sum_n n k_{1n} p_1^n}{p} \quad (3)$$

und

$$p = p_1 + k_{12}p_1^2 + k_{13}p_1^3 + \dots = p_1 + \sum_n k_{1n} p_1^n. \quad (4)$$

Man bestimmt aus einer der experimentellen *f*-Werte mittlenden *f*, *p*-Kurve die *f*-Werte für möglichst kleine Werte *p*, berechnet daraus $k_{12} = \frac{(f-1)}{(2-f)^2 p}$ unter der Annahme, daß im Gebiete kleiner Drucke vorwiegend *Einer*-moleküle im Gleichgewicht mit *Zweier*molekülen stehen und extrapoliert k_{12} auf *p* = 0. Mit diesem k_{12} wird ebenfalls im Gebiete *kleiner* Drucke aus (3) und (4) zunächst unter Vernachlässigung höherer Glieder aus einer Gleichung dritten Grades k_{13} bestimmt, dann ebenfalls mit (3) und (4) bei wachsenden Drucken die weiteren Konstanten im Näherungsverfahren.

Tabelle 1.

<i>p</i> mmHg	301°K	100	200	300	400	500	600	700	750
<i>p</i> mmHg	301°K	100	200	300	400	500	600	700	750
<i>p</i> ₀ mmHg	301°K	101	212	346	528	797	1146	1952	1974
	311°K	100	203	310	428	565	736	959	1185
<i>p</i> ₁ mmHg	301°K	98,7	193,1	279	345,5	411	456	492,5	502
	311°K	99,7	198,7	295,5	390	480	562	624	660
<i>f</i> _{ber}	301°K	1,016	1,06	1,156	1,305	1,59	1,913	2,362	2,615
	311°K	1,003	1,014	1,03	1,064	1,12	1,220	1,365	1,580
<i>f</i> _{exp}	301°K	1,014	1,060	1,155	1,32	1,595	1,915	2,360	2,63
	311°K	1,004	1,013	1,032	1,07	1,13	1,220	1,37	1,58
α_{ass} in %	301°K	1,3	3,5	7,0	13,6	19,9	24,0	29,7	33,0
	311°K	0,3	0,7	1,5	2,5	4,0	6,3	10,9	12,0

1. Die Übereinstimmung der aus den Konstanten k_{1n} (Tabelle 2 und 3) nach (3) und (4) berechneten mit den aus der *experimentellen* Kurve entnommenen *f*-Werten ist zufriedenstellend (innerhalb von 1%). Danach ist erwiesen, daß die Assoziation der Fluorwasserstoffsäure im Gaszustand im gesamten gemessenen Druckbereich durch ein bimolekulares Anlagerungsschema $\text{HF} + (\text{HF})_n \rightleftharpoons (\text{HF})_{n+1}$ darstellbar ist.

Tabelle 2.

k_{1n}	<i>T</i>	
	311°K	301°K
k_{12}	2 · 10 ⁻⁵	9 · 10 ⁻⁵
k_{13}	5 · 10 ⁻⁸	3 · 10 ⁻⁷
k_{14}	8 · 10 ⁻¹¹	6,3 · 10 ⁻¹⁰
k_{15}	1,05 · 10 ⁻¹³	1,1 · 10 ⁻¹²
k_{16}	1,35 · 10 ⁻¹⁶	2,1 · 10 ⁻¹⁵
k_{17}	1,5 · 10 ⁻¹⁹	2,9 · 10 ⁻¹⁸
k_{18}	1,7 · 10 ⁻²²	3,8 · 10 ⁻²¹
k_{19}	1,8 · 10 ⁻²⁵	—
k_{110}	2,1 · 10 ⁻²⁸	—
k_{111}	2,3 · 10 ⁻³¹	—

$$T = 301: k_{1n} = k_{1(4+n)} = \beta^{n'} \cdot k_{14}; \beta = 1,16,$$

$$T = 311: k_{1n} = k_{1(8+n')} = \beta^{n'} \cdot k_{18}; \beta = 1,25.$$

Tabelle 3.

$k_{(n+1)n}$	$T = 301^\circ \text{ K}$	$T = 311^\circ \text{ K}$	$W_{n(n+1)} \text{ Kcal}$	
$k_{12} \cdot 10^{+3}$	0,09	0,02	28000	} $\pm 3-4$
$k_{23} \cdot 10^{+3}$	3,33	2,50	5160	
$k_{34} \cdot 10^{+3}$	2,10	1,60	5070	
$k_{45} \cdot 10^{+3}$	1,75	1,31	5520	
$k_{56} \cdot 10^{+3}$	1,91	1,29	7300	
$k_{67} \cdot 10^{+3}$	1,38	1,11	4200	
$k_{78} \cdot 10^{+3}$	1,31	1,13	2700	
$k_{n(n+1)}$	1,25	1,16	1400	

2. Die Gleichgewichtskonstanten $k_{n(n+1)}$ zeigen in den ersten Gliedern einen deutlichen Gang, ändern sich aber bei $t = 38^\circ$ vom vierten ab und bei $t = 28^\circ$ vom achten Glied ab nur so allmählich mit steigender Zähligkeit³⁾, daß man im Mittel

$$k_{1n} = k_{1(4+n)} = \beta^{n'} k_{14} \quad \text{und} \quad k_{1n} = k_{1(8+n)} = \beta^{n''} k_{18} \\ (t = 38^\circ) \qquad \qquad \qquad (t = 28^\circ)$$

setzen kann ($\beta_{38^\circ} = 1,16$ und $\beta_{28^\circ} = 1,25$). Dadurch ist es möglich, die Gl. (3) und (4) in geschlossener Form darzustellen. Z. B. für $t = 38^\circ$:

$$f_{38^\circ} = \frac{1}{p} \left\{ p_1 + 2k_{12} p_1^2 + 3k_{13} p_1^3 + k_{14} p_1^4 \left[\frac{4}{(1-\beta p_1)} + \frac{\beta p_1}{(1-\beta p_1)^2} \right] \right\} \quad (3')$$

und
$$p_{38^\circ} = p_1 + k_{12} p_1^2 + k_{13} p_1^3 + \frac{k_{14} p_1^4}{(1-\beta p_1)} \quad (4)$$

Mit (3') und (4') und einem entsprechenden Formelpaar für $t = 28^\circ$ wurden die Kurven Fig. 1 berechnet.

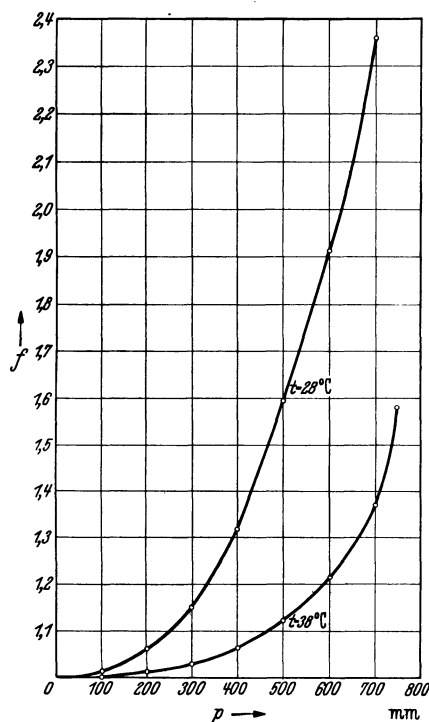


Fig. 1. Mittlere Zähligkeit (f^2) in Abhängigkeit vom Gesamtdruck p .

3. Die Werte der Tabelle 3 für die Wärmetönungen beim Übergang von n zu $n+1$ zeigen, daß dem Zweiermolekül (HF)₂ eine besondere Stabilität zukommt, während die weitere Kettenverlängerung durch Anlagerung von weiteren HF-Molekülen ziemlich unabhängig von der Kettenlänge als „wiederholbarer Schritt“ mit einer deutlich kleineren Wärmetönung erfolgt. Die Schwankungen in den W -Werten

sind innerhalb der Fehler. Das langsame Abklingen mit der Kettenlänge scheint reell.

4. Die Verteilungskurven Fig. 2 zeigen, daß von den Teilchen verschiedener Molekülgröße, die insgesamt den Druck p erzeugen, der Anteil an Mehrfachmolekülen (HF) _{n} nur relativ gering ist (bis zu max. 30%, vgl. α_{ass} ⁴⁾ in Tabelle I). Die Doppelmoleküle überwiegen nur bei kleinen Drucken.

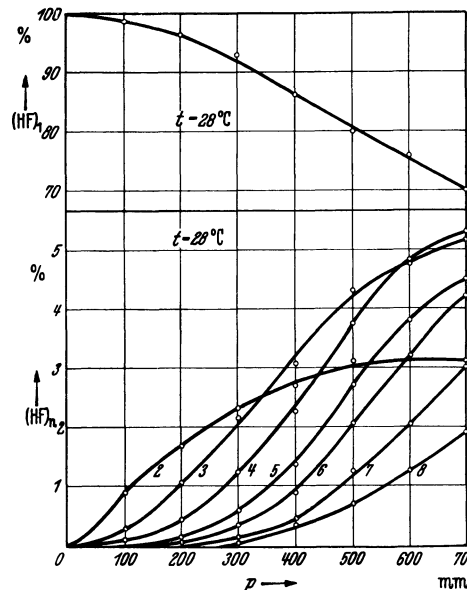


Fig. 2. Zahl der Moleküle (HF) _{n} , die von insgesamt 100 Molekülen verschiedenster Molekülgröße die Zähligkeit $n = 1, 2, 3, \dots$ usw. haben, in Abhängigkeit vom Gesamtdruck p .

Mit steigendem Druck nimmt die Konzentration an Mehrfachmolekülen höherer Zähligkeit mehr und mehr zu. Nach Ergebnissen von Elektronenbeugungsversuchen⁵⁾ müssen die (HF) _{n} -Komplexe Bruchstücke verschieden langer Zickzackketten sein. (Näheres an anderer Stelle.)

Die Fluorwasserstoffsäure ist demgemäß das erste bisher bekannte Beispiel einer Kettenassoziation im Gaszustand, bei der Molekülketten aller Zähligkeiten miteinander im Gleichgewicht stehen. Dieses Verhalten der Fluorwasserstoffsäure ist analog dem der Alkohole⁶⁾ und dem des Phenols⁷⁾ in Lösungen in indifferenten Lösungsmitteln. Man hat aber im Gaszustand theoretisch besonders saubere Verhältnisse und ist nicht durch den theoretisch schwer übersehbaren Einfluß der Lösungsmittelmoleküle gestört. Dies ist, insbesondere was die Wärmetönungen anbetrifft, wichtig im Hinblick auf Betrachtungen über die Art der Bindung zwischen den HF-Molekülen, auf die an anderer Stelle im Zusammenhang mit allgemeinen Überlegungen grundsätz-

¹⁾ K. FREDENHAGEN, Z. anorg. u. allg. Chem. **218**, 161 (1934).

²⁾ Unter mittlerer Zähligkeit verstehen wir nach K. L. WOLF [Z. physik. Chem. (B) **46**, 287 (1940)] den Quotienten aus dem mittleren Molekulargewicht und dem der einfachen Fluorwasserstoffsäure.

³⁾ Die Schwankungen sind innerhalb der durch die Unsicherheit des Nährungsverfahrens gegebenen Grenzen.

⁴⁾ α_{ass} gibt an, wieviel von 100 Teilchen Mehrfachmoleküle verschiedener Größe sind.

⁵⁾ S. H. BAUER, I. Y. BEACH u. I. H. SIMONS, J. Amer. chem. Soc. **61**, 19 (1939). Vgl. auch die Untersuchungen von P. GÜNTHER, K. HOLM u. H. STRUNZ, Z. physik. Chem. (B) **43** (1939) und **44**, 474 (1939), wonach auch im Gitter die HF-Moleküle zu parallel gerichteten Zickzack-(HF) _{∞} Ketten aneinandergereiht sind.

⁶⁾ K. L. WOLF, H. DUNKEN u. K. MERKEL, Z. physik. Chem. (B) **46**, 287 (1940).

⁷⁾ H. KEMPTER u. R. MECKE, Z. physik. Chem. (B) **46**, 229 (1940).

licher Art über die Natur der sog. Wasserstoffbindung eingegangen werden wird⁸⁾.

Würzburg, Physikalisch-Chemische Abteilung des Chemischen Instituts, den 30. Mai 1941.

GÜNTHER BRIEGLER.

⁸⁾ Es wäre sehr erwünscht, die Wärmetönungen durch andersartige Messungen noch genauer festzulegen; z. B. aus der Frequenzverschiebung der HF-Schwingungsfrequenz oder — laut freundlicher brieflicher Mitteilung von Herrn K. FREDENHAGEN — aus Messungen der Dielektrizitätskonstanten bei verschiedenen Temperaturen oder aus den unterschiedlichen Verdampfungswärmen, die man bekommt, wenn flüssiger Fluorwasserstoff, mit Hilfe eines Reduzierventils bei variablen Drucken in Dampf verwandelt wird.

Vitalitätssteigerung bei Mutanten in künstlichem Klima.

Für das Verständnis des Evolutionsvorganges ist es von ausschlaggebender Wichtigkeit, Mutanten zu finden, die in ihrer Vitalität der normalen Ausgangsform *überlegen* sind. Denn nur solche Mutanten haben Aussicht, im Selektionsprozeß des natürlichen Daseinskampfes erhalten zu bleiben, um schließlich als Ausgangsmaterial zur Bildung neuer Rassen und Arten zu dienen. Die normale Standardform einer Spezies hat ihren höchsten Erhaltungswert unter den natürlichen Umweltbedingungen, unter denen sie schon selektioniert worden ist. Künstlich erzeugte Mutanten sind in der Regel in ihrem Selektionswert der Standardform gegenüber *unterlegen*, solange sie sich unter deren Umweltbedingungen befinden. — Da die Phylogenese der Organismen mit starken Umweltschwankungen und klimatischen Veränderungen einherging, bestand die Möglichkeit, daß durch Umweltänderungen während der phylogenetischen Prozesse bestimmte Mutanten innerhalb einer Spezies bevorzugt selektioniert wurden. Hierdurch wurde die genetische Mannigfaltigkeit innerhalb der Spezies erhöht und die Artbildung ermöglicht. Da sich solche phylogenetischen Vorgänge nicht mehr rekapitulieren lassen, galt es, hierfür einen „Modellversuch“ zu schaffen und Mutanten in künstlich erzeugte Umwelten (Klimate) zu bringen. In einem solchen Klimakammerversuch bestand die Aussicht, bestimmte Mutanten mit einem von der Standardform verschiedenen klimatischen Optimum zu finden. Ich bediente mich hierfür verschiedener Klimaräume und der Klimakammer, wie sie bei FÜRSTAUER¹⁾ 1940 beschrieben ist. Ich prüfte dort zahlreiche *Gen-Mutanten* des von E. BAUR und seinen Mitarbeitern künstlich erzeugten Mutantensortimentes von *Antirrhinum majus*.

Eine eingehende Beschreibung der Klimakammern und der erhaltenen Resultate muß vorläufig (Verf. ist bei der Wehrmacht) zurückgestellt werden. Hier sei nur ein kleiner Ausschnitt eines Versuches mitgeteilt.

In dem betreffenden Klimaraum (R II) befanden sich unter anderem 22 Mutanten von *Antirrhinum* zusammen mit der normalen Ausgangsform, der „Sippe 50“, nachdem sie unter völlig gleichartigen Bedingungen herangezogen worden waren. In der Klimakammer herrschte eine konstante Dauertemperatur von 12°. Beleuchtet wurde im

Dauertag mit einer Pintsch-Glühbirne. (300 Watt). Der Abstand der Glühlampe von den Pflanzen betrug 60 cm. Die Bodenfeuchtigkeit war extrem hoch, die Luftfeuchtigkeit betrug 90—95%.

In dieser künstlichen Umwelt zeigten einige Mutanten ein bemerkenswertes Verhalten. Sie unterschieden sich nicht nur in ihren morphologischen Merkmalen und der Stoffwechselintensität von ihren Geschwistern gleicher genetischer Beschaffenheit, die unter den normalen Standardumweltbedingungen aufgezogen wurden, sondern auch von der zusammen mit ihnen kultivierten normalen Standardform „Sippe 50“. Wie aus Fig. 1 hervorgeht, eilten einzelne Mutanten in ihrer Entwicklungsgeschwindigkeit der Standardform *weit voraus*.

Die Mutanten „olivgrün“, „zierlich“, „humilis“, „alpina“ zeigten auffallend kräftigen Wuchs unter den künstlichen Umweltbedingungen und übertrafen die gleichzeitig und unter gleichartigen Bedingungen kultivierte Standardform „Sippe 50“ in ihrer Wuchshöhe z. B. fast um das Doppelte. Hinsichtlich der Blattgröße waren die Unterschiede zwischen der Normalform und den Mutanten ebenfalls beträchtlich. Die Blattlängen von „Sippe 50“ verhielten sich zu „humilis“ wie 1,8 : 3,8 (Vgl. Tabelle 1)

Tabelle 1. Vergleich der Blattlängen (in Zentimeter) der Standardform und der Mutanten.

Blattwirtel	Standard „Sippe 50“	Mutante „alpina“	Mutante „zierlich“	Mutante „olivgr.“	Mutante „humilis“
I.	2,0	1,8	1,8	2,2	2,4
II.	1,8	2,2	2,8	3,3	3,4
III.	1,8	1,6	3,4	3,2	3,8
IV.	1,5	1,2	2,4	2,3	2,9

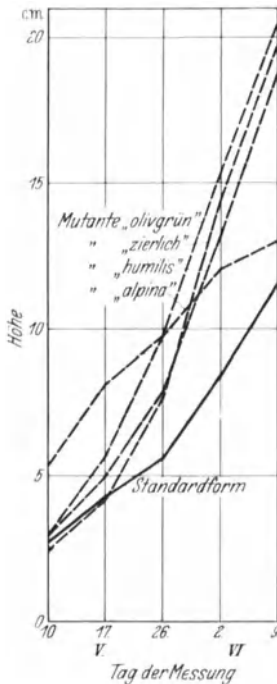


Fig. 1. Klimaversuch bei 12°, Dauerlicht, 90—95% Luftfeuchtigkeit. *Unterlegenheit* im Wachstum bei der normalen Standardform gegenüber bestimmten künstlich erzeugten Mutanten.



Fig. 2. Die Wuchshöhenunterschiede im künstlichen Klima. 1. Die Normalform „Sippe 50“. 2. Mutante „olivgrün“. 3. Mutante „zierlich“. 4. Heterozygote „fessa“.

Die normale Standardform war durch *blaßgrüne* Färbung, geringe Blattgröße und einen anfälligen Habitus gekennzeichnet (vgl. Fig. 2).

Bemerkenswert ist fernerhin, daß die heterozygote „fessa“-Mutante (sie ist homozygot nicht lebensfähig) unter vorliegenden Milieubedingungen ein auffallend gesteigertes Wachstum zeigte. Sie übertraf darin die übrigen Mutanten beträchtlich. Dies ist um so erstaunlicher, als ihre beiden genetischen Komponenten jeweils nur eine geringere Vitalität besitzen. Es eröffnen sich damit neue Gesichtspunkte für das Heterosisproblem bei Bastarden.

Der Selektionswert von Mutanten ist bisher nur wenig geprüft worden (vgl. KÜHN²⁾ 1932; HERIBERT NILSSON³⁾ 1931; TIMOFEEFF-RESSOVSKY⁴⁾ 1934).

Im vorliegenden Falle handelt es sich um mehrere Antirrhinum-Mutanten, deren klimatisches Optimum von dem der Standardform stark abweicht. Innerhalb dieses klimatischen optimalen Bereichs besitzen sie eine höhere Vitalität als die normale Ausgangsform. *Unter bestimmten Umweltbedingungen haben demnach bestimmte Mutanten einen*

höheren Selektionswert als die Normalform. Damit kann die für die Phylogenie bedeutsame Frage nach dem Erhaltungswert der Mutanten und der evolutionistischen Bedeutung der Mutationen *positiv* beantwortet werden.

Müncheberg (Mark), Kaiser-Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung, den 10. Juni 1941. HEINZ BRÜCHER.

- 1) FÜRSTAUER, Jb. Bot. 89 (1940).
- 2) KÜHN, Naturwiss. 20 (1932).
- 3) HERIBERT NILSSON, Hereditas (Lund) 15 (1931).
- 4) TIMOFEEFF-RESSOVSKY, Z. indukt. Abstammungslehre 66 (1934).

Untersuchungen zum Rechts-Links-Problem an *Hydroides norvegica*.

Die beiden Hauptfragen des R-L-Problems lauten: 1. Was entscheidet in der Ontogenie eines Individuums darüber, ob ein dort entstehendes, dem Tier normalerweise zukommendes asymmetrisches Merkmal („R-L-Merkmal“) in der R- oder L-Form gebildet wird?, und 2. wie vererbt sich die Asymmetrieform? Zur Lösung der ersten Frage sind Tiere mit dem Vermögen zu *kompensatorischer Regeneration* besonders geeignet, da bei ihnen die Neubildung des R-L-Merkmals in der einen oder anderen Form jederzeit ausgelöst werden kann. Wegen der Schnelligkeit der Regeneration (3—6 Tage bei 28°) verdienen die Röhrenwürmer der *Hydroides*-Gruppe den Vorzug. Untersuchungen in dieser Richtung wurden vom Verfasser im September und Oktober 1938 an der Zool. Station in Neapel ausgeführt. Ihre Fortsetzung zu der gleichen Zeit des folgenden Jahres wurde durch den Krieg vereitelt. Im April 1940 konnten die Studien kurz weitergeführt werden. Ein für den Herbst dieses Jahres vorgesehen und bereits sorgsam vorbereiteter Aufenthalt wurde dem Verf. aus zeitbedingten Gründen leider versagt*). Deshalb seien die *Hauptergebnisse* der bisherigen Untersuchungen hier kurz zusammengestellt. Sie sind in die Gruppen A, B, C gegliedert. A enthält Befunde, die grundsätzlich bereits bekannt sind (ZELENY), aber vielseitig erweitert werden konnten — die Anführung dieser zusätzlichen Befunde muß hier aus Raummangel unterbleiben —; B enthält neue und völlig gesicherte Befunde; C einen Bericht über Versuche, die infolge mangelnder Apparatur und Technik nur in einem Teil der Fälle glückten**, — aber, da sie derzeit nicht fortgesetzt werden können, einer *vorläufigen* Veröffentlichung wert erscheinen.

Hydroides besitzt (Fig. 1a) am Vorderende zwei zu einem Deckelapparat umgebildete Kiemenfäden: der Faden der einen Seite ist in einen gestielten Röhrendeckel (Operculum, *Op*) umgewandelt, der nach Rückzug des Tieres in seine Röhre diese gegen außen abschließt; der Faden der Gegenseite stellt einen kleinen „Stumpf“ dar, der die Fähigkeit besitzt, gegebenenfalls zu einem *Op* auszuwachsen.

Die Ergebnisse sind:

A 1) Nach Entfernung oder Zerstörung des *Op* wächst der Stumpf der Gegenseite zu einem *Op* aus, auf der Amputationsseite bildet sich (nach Abwurf eines etwaigen Stielrestes) ein normaler Stumpf.

A 2) Nach Entfernung oder Zerstörung des Stumpfes regeneriert an dessen Stelle ein neuer Stumpf.

A 3) Werden *Op* und Stumpf gleichzeitig entfernt oder der Stumpf wenige Stunden nach dem *Op*, so rivalisieren beide Körperseiten miteinander (siehe B 1 und B 2).

B 1) Bei *gleichzeitiger* vollständiger Entfernung vom Stumpf und *Op* entsteht in der Regel auf der *Op*-Seite wieder ein *Op*, auf der Stumpfseite ein Stumpf („direkte Regeneration“); die *Op*-Seite hat also die Oberhand. Wird *erst* das *Op* und 4—6 Stunden *später* der inzwischen schon auswachsende Stumpf entfernt, so sind in der Regel beide Körperhälften „gleichstark“, die Regenerationsgeschwindigkeit ist jetzt außerordentlich herabgesetzt, und meist ent-

steht im Laufe von einigen Wochen (an Stelle von 4 bis 7 Tagen bei Asymmetrieumkehr) auf *jeder* Seite ein *Op*, aber mit sehr kurzem Stiel (Fig. 1b). Asymmetrieumkehr hingegen tritt fast nur ein: a) wenn der Stumpf nicht vollständig entfernt oder nur schwach geschädigt (erhitzt usw.) war; die Stumpfseite ist dann „noch“ überlegen; b) wenn der auswachsende Stumpf später als 8 Stunden nach Wegnahme des *Op* entfernt wird; der Stumpf ist dann „schon“ überlegen. Ausnahmen, bedingt durch Schwankungen der „Stärken“ beider Körperseiten, können vorkommen; insbesondere kann nach ein- bis mehrtägigem Rivalisieren und dadurch bedingter Regenerationshemmung eine Seite plötzlich die Oberhand gewinnen. Der bereits etwas gewachsene und auch schwach kronenartig differenzierte Stumpf der Gegenseite bildet sich dann wieder zur normalen Gestalt zurück.

B 2) Unterbindet man den *Op*-Stiel *vorübergehend* oder quetscht ihn mittelstark oder erhitzt man gewisse Teile des *Op* (vor allem die obere Krone) wenige Sekunden lang, so beginnt der Stumpf der Gegenseite zu regenerieren. Alsbald aber „erholt sich“ das malträtierte *Op*, und der schon im Wachstum und in Differenzierung begriffene Stumpf nimmt wieder die ursprüngliche, indifferente Größe und Form an. (Zu starke Quetschung usw. bewirkt Abwurf des *Op*.)

B 3) Wird *nur* die obere Krone des *Op* entfernt, so wächst der Stumpf der Gegenseite zu einem *Op* aus. Sowie dieses Normalgröße erreicht hat, wird das frühere (jetzt einkronige) *Op* abgeworfen. Entfernt man das auswachsende *Op*, so beginnt die Regeneration immer von neuem, das alte (einkronige) *Op* kann auf diese Weise sehr alt werden.

B 4) Auch *normalerweise* tritt in Abständen von je einigen Wochen ein *Op*-Wechsel ein. Bei erhaltenem *Op* beginnt der Stumpf der Gegenseite *langsam* auszuwachsen, bis zwei gleich große *Op* vorhanden sind (die sich von den unter B 1 genannten durch normale Stiellänge unterscheiden), dann wird das alte abgeworfen. Entfernt man das neue auswachsende *Op*, während das neue auswachsende, so wird dessen Regenerationsgeschwindigkeit vielfach ruckartig beschleunigt. Entfernt man das neu entstehende *Op*, so wiederholt sich dessen Bildung, und das frühere *Op* kann auf diese Weise *sehr alt* werden. (Fig. 1a, punktierter Pfeil.)

B 5) Da nach ZELENY alle Jungindividuen von *Hydroides* das *Op links* besitzen, wird erklärlich, weshalb die (vermutlich gleich alten) Individuen von *H.*-Kleinkolonien entweder hauptsächlich Linkser oder hauptsächlich Rechtser sind oder in überdurchschnittlicher Häufigkeit je ein großes *und* ein kleines auswachsendes *Op* zeigen.

C 1) Wird ein amputiertes *Op* sofort nach seiner Entfernung in den Tierkörper rückimplantiert, so verzögert sich das Auswachsen des Stumpfes der Gegenseite erheblich, es kommt zu einem Rivalisieren beider Körperseiten. Gleiches ist der Fall, wenn nur die obere Krone rückimplantiert wird.

C 2) Die gleiche Verzögerung scheint einzutreten, wenn man ein rechts- bzw. linksamputiertes Tier in wenigen Kubikzentimetern Flüssigkeit hält, der entweder mehrere (verletzte oder unverletzte) R- bzw. L-Tiere oder ein Brei aus solchen zugesetzt wurde.

Hieraus ergeben sich folgende *Schlüsse* (sowie bezüglich der R-L-Agentia nachstehende hypothetische Folgerungen):

1. Die obere Krone hemmt normalerweise den stets zur *Op*-Bildung bereiten Stumpf der Gegenseite am Auswachsen, vermutlich infolge ständiger Produktion eines Stoffes (R- bzw. L-Agens). Vgl. Fig. 1a!

2. Wird die Produktion oder das Abfließen dieser Stoffe vorübergehend gehemmt, so beginnt der Stumpf der Gegenseite auszuwachsen (Versuche B 2).

3. Ist ein *Op* einige Wochen alt, so erlischt die hemmende Wirkung seiner oberen Krone (die ständige Agensproduktion läßt nach), der Stumpf der Gegenseite wächst aus.

4. Ein vollwertiges (normale Agensmengen produzierendes) *Op* bewirkt den Abwurf eines nicht vollwertigen *Op* der Gegenseite (Fig. 1a). Andererseits bleibt ein *Op* auch ohne obere Krone erhalten, so lange mindestens seine untere Krone noch ziemlich intakt und auf der Gegenseite kein vollwertiges *Op* vorhanden ist. Zwei vollwertige *Op* ver-

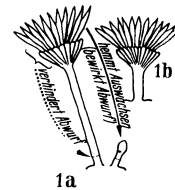


Fig. 1.

*) Auch ist zu befürchten, daß die ausführliche Veröffentlichung der bisherigen Befunde verschoben werden muß.

**) Vor allem fehlte geeignetes Mikroimplantationsgerät. Herrn TIMOFEEFF-RESSOVSKY (Berlin-Buch), in dessen Abteilung ich im Frühjahr 1941 die Anfertigung dieser Instrumente lernte, sowie Herrn LÜERS und Fräulein STUBBE bin ich zu großem Dank verpflichtet.

mögen sich gegenseitig nicht abzuwerfen; zwei gleichwertige Stümpfe hemmen sich wechselweise.

5. Über R und L entscheidet dasjenige der beiden Agentia, das an den Wirkstellen (Tentakelbasis) in größerer Konzentration vorhanden ist.

Versuche an Tieren, die während 4—8 Wochen nacheinander in verschiedenster Kombination verschiedenen Operationen unterzogen wurden, brachten niemals Widersprüche zu diesen Thesen. Einflüsse nervöser Art können ausgeschaltet werden. Die Deutung der Versuche ist im

vollen Einklang mit der vom Verf. 1932 und 1936 ausführlich dargelegten, aus vergleichenden R-L-Befunden erschlossenen Hypothese¹⁾.

Halle a. d. S., Zoologisches Institut (und Neapel, Zoologische Station), den 18. Juni 1941.

WILHELM LUDWIG.

¹⁾ Das Rechts-Links-Problem im Tierreich und beim Menschen. Berlin: Julius Springer 1932 — Verh. dtsch. zool. Ges. 1936, 21—73.

Besprechungen.

EITEL, WILHELM, **Physikalische Chemie der Silikate.** 2. völlig neu bearbeitete Auflage. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1941. VII, 826 S. und 653 Abbild. 17 cm × 24 cm. Preis kart. RM 54.—, geb. RM 56.70.

Nichts könnte deutlicher die gewaltige Entwicklung der Kenntnisse von den Silikaten in wenig mehr als 10 Jahren kennzeichnen als der Umstand, daß das Werk gegenüber der 1. Auflage (1929) vollständig umgearbeitet werden mußte und dabei eine Erweiterung um die Hälfte erfuhr, obwohl gewisse Abschnitte eingeeignet behandelt werden mußten und andere Abschnitte, vor allem jene, die über die als bekannt vorauszusetzenden mineralogischen und kristallographischen Arbeitsmethoden unterrichteten, gestrichen wurden. Die größten Fortschritte wurden seit dem Erscheinen der 1. Auflage hinsichtlich des Einblickes in den kristallinen Zustand der Silikate (und auch des Glaszustandes der Silikate) erzielt, ferner erfuhr weittragende Erweiterungen unsere Kenntnisse um die Schmelzgleichgewichte silikatischer Systeme und um die Silikatschmelzen, vor allem mit Wasser als flüchtiger Komponente. Diesen Bereichen und dem Gebiet der Thermochemie der Silikate sind die ersten 4 Hauptteile des Buches gewidmet, während sich der 5. Hauptteil, der die stärkste Erweiterung erfuhr (auf das 3fache), mit den technischen Silikatsystemen, vor allem den Gläsern, Schlacken, keramischen Massen und hydraulischen Bindemitteln befaßt. Die starke Erweiterung des Umfangs dieses Abschnittes entspricht durchaus den bedeutenden Fortschritten der Forschung, die auf diesen Gebieten mit praktischer Zielsetzung in der letzten Zeit erreicht worden sind und an denen das vom Verf. geleitete Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung maßgeblich beteiligt war. — Im übrigen ist die Hauptgliederung bei bedeutender Erweiterung der Hauptteile im wesentlichen gegenüber der ersten Auflage unverändert geblieben.

Der Umfang und überaus reiche Inhalt des Werkes verbietet es, Einzelheiten hervorzuheben. Es mag genügen, darauf hinzuweisen, daß das Werk bei der gründlichen Erfassung des einschlägigen Schrifttums ein Unterrichts- und Nachschlagewerk ersten Ranges darstellt, dessen Gebrauch durch sorgfältig bearbeitete umfangreiche Schlagwort-, Autoren- und Mineral- und Gesteinsverzeichnisse sehr erleichtert wird. In zahllosen Fußnoten wird immer wieder auf die Originalarbeiten verwiesen; die Wiedergabe oft nicht übereinstimmender Ansichten verschiedener Forscher ist sehr objektiv gehalten, so daß man da und dort den Wunsch hätte, der Verf. des Werkes würde aus seiner reichen Erfahrung heraus seine eigene Stellungnahme stärker hervortreten lassen. — Die sehr zahlreichen Abbildungen sind trefflich ausgewählt, im allgemeinen sehr klar gehalten und eingehend erläutert; durch die Unterstützung in dieser Richtung wie auch durch die allgemeine Ausstattung des Buches hat sich der Verlag bedeutende Verdienste erworben.

Niemand aus dem großen Kreise der Forscher und Praktiker, die sich mittelbar oder unmittelbar mit silikatischen Stoffen zu befassen haben, wird dieses Standardwerk entbehren können.

F. MACHATSCHKI, Tübingen.

Technologie der Wolle. Chemische Technologie und mechanische Hilfsmittel für die Veredlung der Wolle. Bearbeitet von H. GLAFEY, D. KRÜGER und G. ULRICH. (Technologie der Textilfasern. Herausg. v. K. O. HERZOG † und F. OBERLIES. VIII. Bd. 3, Teil, B.) Berlin: Julius Springer 1938. X, 433 S. und 317 Abbild. Preis geb. RM 48.—.

Der vorliegende Band ist in 2 Hauptgruppen aufgeteilt. Zunächst behandeln G. ULRICH und D. KRÜGER die chemische Technologie der Wolle. Hierbei werden alle bis zur Abfassungszeit des Buches bekannten Tatsachen, besonders die Forschungsergebnisse einschl. der Röntgenspektrographie, besprochen. Die einzelnen Hinweise sind oft kurz, aber die Zusammenstellung ist ziemlich vollständig. Die Chemie der Wolle ist äußerst kompliziert, und es wird daher eine umfangreiche Besprechung des vorhandenen Versuchsmaterials notwendig. Dieser Mannigfaltigkeit tragen die Verf. Rechnung und bringen in weitgehender Verarbeitung der umfangreichen in- und ausländischen Literatur das chemische Verhalten unter den verschiedensten Reaktionsbedingungen. Weiterhin wird noch die Mikrobiologie der Wolle behandelt. Ein weiterer Abschnitt befaßt sich mit den analytischen Untersuchungen und besonders mit der Erkennung und Bestimmung der Wolle, auch im Gemisch mit andern Textilfasern, sowie mit der chemischen Zusammensetzung und den Schädigungen. Im dritten Abschnitt wird dann die chemische Technologie der Wollverarbeitung behandelt und dabei die Wollwäsche mit allen den verschiedenen physikalisch-chemischen Einflüssen, die hier zu beachten sind, diskutiert. Im Rahmen dieses Abschnittes werden auch alle weiteren chemischen Behandlungen sowie Ausrüstungs- und Appreturmethode besprochen. Schließlich bildet ein Kapitel über Färben und Drucken den Abschluß dieses Teiles.

Die zweite Hauptgruppe umfaßt die mechanischen Hilfsmittel für die Veredlung der Wolltextilien und ist von H. GLAFEY verfaßt. Hier werden die Maschinen für sämtliche Wasch- und Ausrüstungsprozesse der Wolle an Hand zahlreicher Abbildungen besprochen. Die Vielseitigkeit der Behandlung, die in erster Linie so gelenkt werden muß, daß Schädigungen vermieden werden, kommt gut zum Ausdruck.

Das Buch zeichnet sich im ganzen dadurch aus, daß die häufig verbreitete Neigung zu übermäßiger Ausführlichkeit unterdrückt und dafür in gedrängter Form eine sehr vollständige und zuverlässige Übersicht über das gesamte Wollgebiet gegeben wird.

WELTZIEN, Krefeld.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

18. Juli 1941

Heft 29/30

Tätigkeitsbericht der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften für das Geschäftsjahr 1940/41.

Der Bericht über das 30. Arbeitsjahr der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft wird in einer Zeit vorgelegt, die wie nie zuvor die deutsche Forschung vor neue, große Aufgaben stellt. Gestützt auf ihren bewährten Mitarbeiterstab und die hervorragende technische Ausrüstung ihrer Institute, konnte die Gesellschaft sich neben ihren bisherigen auch diesen neuen Arbeitsgebieten in weitestem Umfang widmen. Die folgenden Ausschnitte beschränken sich auf die wichtigsten Untersuchungen und Ergebnisse. Eine zusammenfassende Darstellung ist einer späteren Zeit vorbehalten.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Physik* (zur Zeit Prof. v. LAUE) wurden in dem spektroskopischen Laboratorium die Versuche fortgesetzt, das Verhalten organischer Substanzen bei Anregung durch Elektronenstoß zu beobachten. Nach der Durchkonstruktion einer geeigneten Lichtquelle wurde als erstes das Studium des Benzols und seiner Derivate in Angriff genommen. Aus dem bis jetzt vorliegenden umfangreichen Material heben sich bereits allgemeine Gesichtspunkte ab.

Weiter sind die Untersuchungen der Stoßprozesse in der Glimmentladung, im Bogen und KINGSCHEN Ofen fortgesetzt worden. (Veröffentlichungen über diese Resultate erfolgen demnächst.)

Die laufenden Arbeiten im Hochspannungsturm wurden fortgeführt, desgleichen im Kältelaboratorium die im letzten Jahresbericht erwähnten Arbeiten. Hauptsächlich wurden jedoch Probleme technischer Art behandelt.

Die 10-Kilowatt-Röntgenröhre (s. Bericht 1938 und 1939) benutzte Dr. G. BORRMANN zu Versuchen über den dynamischen Interferenzeinfluß auf die Absorption von Röntgenstrahlen.

Die *Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre* (Prof. REGENER) bearbeitete Probleme der Schwankungen der kosmischen Ultrastrahlung und führte Untersuchungen über die harte Komponente der Ultrastrahlung, über Aufbau und Zusammensetzung der Stratosphäre sowie über Ozonschicht und atmosphärische Turbulenz usw. durch.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung* (Prof. PRANDTL) war im Berichtsjahr mit einer Reihe von Spezialaufgaben befaßt. Daneben liefen theoretische Arbeiten über den Einfluß der Bodenreibung auf die Strömung der Erdatmosphäre und auf Meeresströmungen bei unebenem Gelände (bzw. Meeresgrund), ferner über das Verhalten von Luftströmungen nahe der Schallgeschwindigkeit, über Wärmeübergang in strömenden Flüssigkeiten und über Lagerreibung, weiter experimentelle Untersuchungen über die Ausbreitung des Strömungsimpulses und der Wärme in Luftstrahlen. An neuen Versuchseinrichtungen ist ein größeres, in 3 Richtungen bewegliches Aufmeßgerät zu erwähnen, sowie eine neuartige Dreikomponentenwaage für den Windkanal mit 70×105 -cm-Düse.

Das *Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft e. V.* (Dipl.-Ing. ESTERER) konnte seine Versuchsanlagen in Oberrach wesentlich erweitern. Es entstanden neue Versuchskanäle von insgesamt 500 m Länge, mehrere Absturzbauwerke mit Regulier- und Meßschützen, eine Versuchsfläche für Großversuche von rd. 10000 qm und die Überdachung einer Versuchsrinne in Länge von 35 m und einer Breite von 18 m, die auf einer Strecke von 100 m verfahrbar ist.

Abgeschlossen wurden folgende Arbeiten:

Untersuchungen über die zweckmäßigste Ausbildung eines kontinuierlich arbeitenden Klärbeckens, das einem zur Füllung eines Speicherbeckens dienenden Pumpwerk vorgeschaltet ist.

Untersuchungen über die Steuerfähigkeit von Schleppzügen und Einzelfahrzeugen im Bereiche der Einmündung eines seitlichen Zuflusses.

Untersuchungen über die Wasserabführung eines Wehres hinter einer starken Krümmung eines Wasserlaufes, der Geschiebeabführung im Bereiche des Wehres und der zweckmäßigsten Ausbildung des Tosbeckens zur Kolkverhütung.

Untersuchungen über die günstigste Wehr- und Tosbeckenform für einen stark geschiefbeführenden Alpenfluß von beträchtlichem Sohlengefälle.

Fortgesetzt werden:

die vergleichenden Messungen über die Verdunstungshöhe freier Wasserspiegelflächen nach verschiedenen Meßverfahren (7. Beobachtungsjahr),

die laufende Messung von Niederschlag, Schneehöhe und Schneedichte, Erd- und Wassertemperaturen im Gebiete der Versuchsanstalt Oberrach bis zu Höhenlagen von 1700 m. ü. N.N. (7. Beobachtungsjahr),

die Messung des Wassergehaltes, der Ausschmelzung und der Verdunstung der Schneedecke im Winter 1940/41 mittels einer 3-t-Schneewaage (4. Beobachtungsjahr).

Für den Arbeitsbereich der *Observatorien des Sonnblick-Vereins* (Leiter: Prof. v. FICKER) ist von besonderer Bedeutung der Ausbau des Netzes von Registrierstationen in der Umgebung des Sonnblicks, mit dessen Hilfe Einzelfragen der alpinen Meteorologie untersucht werden. Durch das Entgegenkommen der Großglockner-Hochalpenstraße A.G. blieben die Wetterberichtsstellen längs der Glocknerstraße auch im Kriegswinter 1940 in Tätigkeit, und die regelmäßigen Ablesungen der Schneehöhen in Abständen von 200 m konnten wie früher durchgeführt werden.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie* (Prof. THIESSEN) wurde im Berichtsjahr fast völlig auf Sonderaufgaben umgestellt. Dabei bewährte sich die bisherige Arbeitsrichtung, die sich besonders auf Grundlagenforschung stützte, als tragfähige Basis zur schnellen Förderung und Lösung plötzlich auftretender Fragestellungen. So war das Institut in der Lage, den gestellten Anforderungen ohne Schwierigkeiten zu entsprechen und eine Reihe dringender Aufgaben einer schnellen Lösung entgegenzuführen. Die grundsätzliche Arbeitsrichtung des Institutes blieb dabei erhalten, doch wurden einzelne Gebiete zurückgestellt, um Kräfte und Arbeitsmittel für dringende Aufgaben anderer Bereiche frei zu machen.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie* (Prof. HAHN) wurden die Arbeiten über Atomchemie, Kernphysik und Massenspektroskopie fortgesetzt. Die im Jahre 1939 im Institut aufgefundene „Kernspaltung“ schwerer Elemente durch Neutronenbeschuß wurde nach verschiedenen Richtungen theoretisch und experimentell weiter verfolgt. Durch Anwendung neuer Trennungsmethoden wurden eine ganze Anzahl weiterer Spaltprodukte des Urans aufgefunden, so daß sich die Anzahl der bis heute festgestellten direkt und sekundär entstehenden Trümmer bereits auf über 60 beläuft. Die Energieverteilung und Anzahl der bei den Spaltprozessen frei werdenden Neutronen wurde genauer untersucht. Die Arbeiten mit natürlichen und künstlichen aktiven Atomarten für kernphysikalische, chemische und biologische Probleme werden weitergeführt. Es ist geplant, dem im Institut jetzt aufgestellten MATTAUCH-HERZOGSchen Massenspektrographen einen oder vielleicht zwei weitere anderer Konstruktion folgen zu lassen, weil sich das Anwendungsgebiet der Massenspektroskopie immer mehr erweitert.

Der Aufgabenkreis des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Metallforschung* und seiner Teilinstitute, des Instituts für angewandte Metallkunde (Prof. KÖSTER), des Instituts für Metallphysik (Prof. GLOCKER) und des Instituts für physikalische Chemie der Metalle (Prof. GRUBE) hat naturgemäß im Kriege bei der Bedeutung der Metalle als Werkstoff der technischen Waffen eine beträchtliche Erweiterung erfahren. Über die Forschungsergebnisse im einzelnen wurde anlässlich der 4. Arbeitstagung des Instituts berichtet, die am 25. und 26. März im Einvernehmen mit dem Leiter der Wirtschaftsgruppe Metallindustrie (Bergassessor a. D. FITZNER) abgehalten wurde. Der Tagungsplan umfaßte folgende Gebiete: Thermochemie der Metalle, Technologie der Zinklegierungen, plastische Verformung, Strukturforchung, magnetische Werkstoffe, Schmelzen und Gießen und zerstörungsfreie Werkstoffprüfung. Die außerordentlich gut besuchte Veranstaltung zeugte in eindrucksvoller Weise für die erfolgreiche Durchführung der doppelten Aufgabe: Lösung technischer Gegenwartsfragen bei Wahrung der Kontinuität wissenschaftlicher Erkenntnis.

Die Tätigkeit des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Eisenforschung* (Prof. KÖRBER) wurde weitgehend durch die Kriegsverhältnisse beeinflusst, da bei der Wahl der zu bearbeitenden Aufgaben ausschlaggebend die Notwendigkeit war, der Wehrmacht den besten Werkstoff für ihre Rüstung zu schaffen und mangelstoffsparende Materialien zu ebenbürtigen Erzeugnissen zu entwickeln. Darüber hinaus konnten auch auf dem Gebiet der Grundlagenforschung Fortschritte erzielt und eine Reihe von Arbeiten abgeschlossen werden, über die auch das Veröffentlichungsverzeichnis Auskunft gibt. Besonders seien genannt:

Dauerstandversuche bei Raumtemperatur. — Versuche über die Kriecherholung beim Dauerstandversuch. — Dauerstandversuche an Chrom-Kobalt-Stählen. — Anlaßversuche an Austauschstählen. — Zugdruck-Wechselfestigkeit von Stählen bei tiefen Temperaturen. — Einfluß von Überlastungen und einer Trainierbehandlung auf die Wechselfestigkeit und Werkstoffdämpfung von Stählen. — Einfluß der Querschnittsgröße und des Kraftangriffes auf die Zugschwellfestigkeit. — Dauerstandfestigkeitsschaubilder von unlegierten und legierten Stählen. — Wechselfestigkeit und metallurgische Bedingungen. Untersuchungen über die Werkstoffdämpfung von unlegierten und legierten Baustählen. — Ermittlung der Ver-

luste in Walzwerkslagern. — Untersuchungen über die Walzenabplattung beim Kaltwalzen. — Untersuchungen über die Pulvermetallurgie des Eisens. — Glühversuche im Durchziehofen. — Über die kritische Rekristallisation von Weicheisen und Armcoeisen. — Verschweißen aufeinandergepreßter Körper beim Erhitzen im Vakuum. — Das Verhalten im Gebiet von 100—700° gestauchter Metalle bei der Zugbeanspruchung. — Einfluß der Alterung auf die Hysteresis im Spannungs-Dehnungs-Verlauf. — Einfluß von ausscheidungsgehärtenden Elementen auf die technologischen Eigenschaften von kohlenstoffarmen Stählen. — Untersuchung von Anlaß- und Ausscheidungsvorgängen mit der magnetischen Waage. — Röntgenographische Spannungsmessungen. — Versuche zur Berechnung röntgenographischer und mechanischer Elastizitätskonstanten. — Untersuchung von Stoßvorgängen. — Gleichgewichtsuntersuchungen an Phosphatsystemen zur Aufklärung des Aufbaues der Phosphatschlacken. — Ermittlung der Einflüsse auf die Löslichkeit der technischen Thomasschlacke. — Entstaubung des Thomasphosphates und seine Vermischung mit anderen Düngesalzen. — Anwendung des polarographischen Untersuchungsverfahrens im Eisenhüttenlaboratorium. — Zur Anwendbarkeit der Spektralanalyse im Eisenhüttenlaboratorium: Untersuchung von kleinen Flächenelementen in Erzproben. Unmittelbare gleichzeitige Bestimmung von Kalzium, Kalium und Natrium in Erzen. Versuche zur unmittelbaren photoelektrischen Bestimmung von Elementen. — Bestimmung von Wasserstoff im Stahl. Untersuchungen über den Gasgehalt von flüssigem Stahl. Versuche zur Bestimmung der Gase in Ferrolegierungen. — Eigenschaften der Erdalkali- und Alkaliphosphatschlacken im Schmelzfluß. — Die Reaktionen zwischen Eisenschmelzen und Phosphatschlacken. — Zustandsdiagramme technisch wichtiger Schlackenmischungen. — Die Metallurgie des Vanadins, des Chroms, des Titans, des Bors, des Niobs und des Tantal. — Entwicklung einer betriebssicheren basischen Zustellung für den kernlosen Induktionsofen. — Untersuchung der Primärkristallisation des Stahles: Messung des Temperaturverlaufes im Stahlblock. — Wirkung von Gasen im Stahl und ihre Entfernung. — Einfluß der Erschmelzung auf die Dauerstandfestigkeit warmfester Cr-Mo-Stähle. — Untersuchungen über die Titanverschlackung im Hochfrequenzofen in verschiedenen Futterzustellungen und unter verschiedenen Schlacken. Einfluß geringer Titanzusätze auf das mechanische Verhalten unlegierter und legierter Baustähle. — Untersuchungen an Eisenerzdünnschliffen mittels Röntgendurchstrahlung. — Der Feinbau deutscher Eisenerze und sein Einfluß auf ihre Anreicherbarkeit. — Vanadingewinnung aus Thomaskonverterauswurf. — Herstellung von reinsten Eisenerzkonzentraten für die Herstellung von Sintermetall.

Im Berichtsjahr wurden am *Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung* (Prof. EITEL) gemeinsam mit dem Laboratorium für Elektronenoptik der Firma Siemens & Halske AG. zahlreiche Arbeiten über die Eignung der elektronenmikroskopischen Methode zur Untersuchung mineralogischer Stoffe durchgeführt; die Ergebnisse sind vor allem für den Fortschritt der Sedimentpetrographie von Bedeutung, ist es doch gelungen, die wichtigen Tonminerale sowohl in ihrer Formgestalt wie in ihrer kristallographischen Eigenart elektronenmikroskopisch zu charakterisieren. Für die künftige Forschung ist dabei eine unmittelbare Verbindung der elektronenmikroskopischen Methode mit der Untersuchung im Elektronenbeugungsbild wertvoll.

Weitere Arbeiten über die Konstitution der Gläser betrafen die Natur der Farbkörper in den sog. kohle- gelben Gläsern sowie das Wesen der Basizität von Glasschmelzen usw., welches durch eine zweckmäßige Anwendung galvanischer Ketten auf die Glasschmelzen erschlossen wurde. Für die Deutung der Konstitution der Gläser erwiesen sich auch die in der Kristallchemie geltenden Prinzipien der Ionenradienverhältnisse und der Polarisation als besonders wichtig zur Erkenntnis der Stabilität von Sulfid- oder Selenidgläsern usw.

Auf dem Gebiet der Zementforschung wurde eine Arbeit über die Stabilität des Tricalciumaluminats in fluoridhaltigen Schmelzen zum Abschluß gebracht sowie eine umfangreiche Untersuchung der thermochemischen Grundlagen der Klinkerbildung durchgeführt. Insbesondere wurde der exotherme Effekt bei der Klinkerbildung mit neuesten Präzisionsdaten berechnet. Bezüglich der Hydratation der Zement- mineralien erwies sich neuerdings die Anwendung elektronenmikroskopischer Methoden als ein erheblicher Fortschritt. Die Adsorption von Kalk an Kieselsäure- und Tonerdesolen konnte auf diesem Wege in neuartiger Weise erklärt werden; es ergaben sich schon in frühen Stadien der Adsorption kristalline Neubildungen, die durch Elektronenbeugung sicher erkannt wurden.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Kohlenforschung* (Prof. FRANZ FISCHER) wurden zahlreiche Arbeiten durchgeführt, die insbesondere für die Kraftstoff- und Schmierölerzeugung von Bedeutung sind. Sie betrafen u. a. die Herstellung von Synthesekatalysatoren auf der Basis Eisen, das Studium der Synthesevorgänge und des Einflusses verschiedener Reaktionsbedingungen sowie die katalytische Umwandlung der Syntheseprodukte, vor allem im Hinblick auf die Erzeugung hochklopffester Vergaserkraftstoffe.

Im Rahmen der vorgenannten Untersuchungen wurden wirksame Fraktioniereinrichtungen, die zur Trennung von unterhalb Raumtemperatur siedenden Stoffen geeignet sind, und Austauschsäulen zum Arbeiten unter Druck entwickelt. Verschiedene andere Probleme, die bei der analytischen Untersuchung von gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffgemischen auftreten, wurden eingehend behandelt, wie z. B. die Jodzählbestimmung bei verschiedenen Typen ungesättigter Kohlenwasserstoffe. Die Klopffestigkeit und Bleiempfindlichkeit einer großen Zahl von Kraftstoffproben wurde im Motorenprüfstand des Instituts ermittelt.

Untersuchungen über die destruktive Hochdruckhydrierung von Braunkohlenhalbkoks unter Bildung von aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden abgeschlossen. Angesichts der in Zukunft wahrscheinlich notwendigen zusätzlichen Erzeugung von Stadtgas wurde die Umwandlung von Kohlenoxyd-Wasserstoffgemischen in normgerechtes Stadtgas unter besonderer Berücksichtigung der Verwendung von Eisenkatalysatoren eingehend untersucht. Ferner wurde gezeigt, daß eine Verbindung der Kogasin-Synthese mit der Stadtgasherstellung wirtschaftlich sein dürfte.

Das *Schlesische Kohlenforschungsinstitut* (Dr.-Ing. MACURA) befaßte sich wie in den Vorjahren mit dem Studium des Koksbildungsvorganges von Kohlenmischungen. Mit bereits bewährten und neu entwickelten Methoden konnten die bisher gewonnenen Erkenntnisse wesentlich erweitert werden. U. a. ergab sich die Tatsache, daß bei bestimmten Mischungsverhältnissen zweier Kohlen Eigenschaften im Erweichungs- und Entgasungsverhalten auftreten, die nicht aus den Komponenten ableitbar sind, daß also

die Mischung sich wie eine neue Kohle verhält. Es wurden ferner Zusammenhänge zwischen dem Erweichungsverhalten, der Schüttdichte und der Koks- festigkeit gefunden. Zur weiteren Klärung der Verkokungsvorgänge wurde eine Apparatur gebaut, in der zum erstenmal der Koksbildungsvorgang nicht am Einzelkorn, sondern im Zusammenwirken der verschiedenen Anteile einer Kohlenmischung kinemato- graphisch aufgenommen werden kann. Ein entsprechender Forschungsfilm ist in Zusammenarbeit mit der Reichsanstalt für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht im Entstehen. — Die Versuche zur Schaffung einer neuen Methodik der Untersuchung von Kohlenwasserstoffen für Treibstoffzwecke wurden mit gutem Erfolg abgeschlossen. Die Spaltversuche an schweren Ölen bei hohen Temperaturen wurden unter Erweiterung auf die katalytische Spaltung fortgesetzt, des- gleichen die Arbeiten über die willkürliche Beeinfluss- barkeit von Menge und Qualität der Entgasungs- produkte von Kohle, die für die Frage der technischen Teergewinnung von Bedeutung sind.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung* (Prof. GRASSMANN) werden zur Zeit großzügige Erweiterungs- bauten durchgeführt, die insbesondere Laboratoriums- räume, eine Versuchserberei und andere Einrichtungen für Versuche in halbertechnischem Maßstab umfassen. Auch die Erneuerung der Räume des alten Instituts- gebäudes ist im Gange und dürfte in Kürze abgeschlos- sen sein. — Nachdem die von dem Institut in den letz- ten Jahren durchgeführten praktischen Großversuche zur Einführung der synthetischen Gerbstoffe mit Erf- olg abgeschlossen sind, hat es sich in verstärktem Maße der Bearbeitung einheimischer Pflanzengerb- stoffe aus Fichte, Eiche und Weide zugewandt. Die auf diesem Gebiete durchgeführten Arbeiten haben zu grundlegenden und neuartigen Ergebnissen über die Bildung der catechinartigen Gerbstoffe in der Pflanze und über den Mechanismus ihrer Kondensation zu hochmolekularen wasserlöslichen oder wasserunlös- lichen Produkten geführt. Im engen Zusammenhang damit sind Verfahren entwickelt und in Großversuchen erprobt worden, die Gerbstoffausbeute wesentlich zu steigern und die Qualität der Gerbstoffe zu verbessern. Anbauversuche haben zur Auffindung von Pflanzen (Sumacharten) geführt, deren Gerbstoffgehalt eine bis- her nur bei tropischen oder subtropischen Gerbstoff- pflanzen für möglich gehaltene Höhe erreicht. — Die konstitutionschemischen Untersuchungen auf dem Gerbstoffgebiet sind insbesondere in der Gruppe der Ellagsäuregerbstoffe auf breiter Basis fortgeführt und die nach Kriegsausbruch zeitweise unterbrochenen eiweiß- und enzymchemischen Arbeiten wieder auf- genommen worden. — Weitere Entwicklungs- und Untersuchungsarbeiten laufen auf dem Gebiete der Austauschwerkstoffe für Leder und der Fettaustausch- stoffe für die Lederindustrie.

Aus dem Arbeitsgebiet des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Bastfaserforschung* (Prof. SCHILLING) seien die folgenden Untersuchungen genannt: Die Züchtung des Leins. — Zur Formenkenntnis von *Linum usitatissimum* L. — Korrelationen zwischen Fasergüte und Blattzahl. — Die Verzweigung der Flachspflanze. — Betrachtungen aus der Kreuzungszüchtung des Leins. — Vergleichende Untersuchungen an einigen Hanf- herkünften über Reifezeit, Stroh- und Samenertrag, Fasermenge und -güte. — Der Entwicklungsgang des Sproß- und Wurzelwachstums von Faserlein, Öllein und Kreuzunglein in Abhängigkeit von Bodenprofil und Klima. — Die Bedeutung des Rezessivenausfalls für die Züchtung von Flachs. — Bestandsdichte und

Bestandszusammensetzung bei Flachs. — Prüfung des Fasergehaltes und der Spinnbarkeit der im Deutschen Reiche anerkannten Flachszuchtstämme (Ernte 1940). — Das 3-Zylinder-Streckwerk in der Flachs-Naßspinnerei. — Einfluß von Textilhilfsmitteln beim Naßspinnprozeß von gerösteten und ungerösteten Bastfasern. — Abbau der Bastfaserbegleitstoffe durch Chemikalien. — Übersicht über die Herstellung von Flockenbast- und Grünflachsgarnen. — Über die Möglichkeit, die Verschleißfestigkeit von Garnen aus Bastfasern sowie Mischgarnen zu erhöhen. — Aufstellung von Bestimmungsmethoden zur quantitativen Analyse von Fasergemischen, insbesondere aus Flachs bzw. Hanf, Baumwolle und Zellwolle. — Arbeiten über die Größe des Substanzabbaues bei natürlichen und künstlichen Faserstoffen durch Bakterien und Pilze. — Über den Verlauf der Substanzveränderung bei textilen Körpern aus nativer und regenerierter Zellulose unter Einwirkung der Witterungsfaktoren: Licht, Feuchtigkeit und Wärme. — Untersuchungen über einen optimalen Gebrauchswert von Geweben in Abhängigkeit vom Rohstoff und Gewebeaufbau. — Untersuchungen über Ursache, Art und Größe der Sprödigkeit bei Fasern aus nativer und regenerierter Zellulose unter Berücksichtigung von Einbettungsmedien und Füllkörpern. — Methoden zur Prüfung der Feuersicherheit und Feuerbeständigkeit von Textilien durch Ermittlung ihrer Entflammbarkeit und Verkohlungs-fähigkeit. — Die physikalischen Grundlagen der statischen und dynamischen Zugfestigkeitsprüfung von Gespinsten. — Zusammenhänge zwischen einseitiger und allseitiger Zugbeanspruchung bei spannungsausgeglichenen und -nichtausgeglichenen Geweben.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie* (Prof. v. WETTSTEIN, Prof. KÜHN und Prof. HARTMANN) setzte seine Arbeiten dank dem verständnisvollen Entgegenkommen aller Stellen auch unter den erschwerten Kriegsverhältnissen in vollem Umfange fort. Die Arbeiten der Abwesenden wurden von der übrigen Belegschaft mit übernommen und weitergeführt.

In der Abteilung v. WETTSTEIN wurden die Untersuchungen über Polyploidie mit besonderem Nachdruck vorwärtsgeführt. Insbesondere sind es die Fragen der Eignung Polyploider unter extremen Lebensbedingungen, ihre dadurch bedingte Selektionsfähigkeit in der Natur und ihr Wert für züchterische Verwendung, die derzeit mit experimentellen Methoden überprüft werden. Daneben gehen Untersuchungen über die Stoffwechselleistungen polyploider Pflanzen. Auch sonst sind Untersuchungen über Artbildungsfragen, vor allem an Hochgebirgspflanzen, im Gange. Die Untersuchungen werden ergänzt durch solche nach der zytogenetischen Seite. Eine andere Arbeitsgruppe führt die Arbeiten an Mutationen weiter, insbesondere über die Abhängigkeit der Mutabilität von Ernährungseinflüssen und anderen chemischen Einwirkungen. Auch hier sind die allgemeinen Fragen der Wirkung der Mutabilität im Artbildungsgeschehen mit verknüpft. Die Wirkstoffuntersuchungen über blütenbildende Stoffe, über das Blühen der Pflanzen unter photoperiodischen Bedingungen wurden mit guten Erfolgen weiter fortgesetzt und schließlich im Zusammenarbeiten mit dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie die Fragen der Reihendarstellung von Pflanzenviren, die Analyse der Abänderungsmöglichkeiten von Pflanzenviren und die Fragen der Immunität und Inaktivierung solcher Viren eingehend studiert.

In der Abteilung KÜHN wurde neben anderen genetisch-entwicklungsphysiologischen Forschungen in enger Zusammenarbeit mit dem Kaiser Wilhelm-

Institut für Biochemie die Genabhängigkeit der chemischen Vorgänge untersucht, welche bei Insekten ausgehend vom Tryptophan zu den Augen-, Körper- und Exkretpigmenten führen. Bisher konnte eine Genkette von 3 Gliedern analysiert werden. Ferner wurden die Untersuchungen über die Metamorphosenhormone fortgesetzt und die Organbildung in Transplantaten unter dem Einfluß erbverschiedener Wirte geprüft.

In der Abteilung HARTMANN sind in Zusammenarbeit mit dem Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung die Untersuchungen über die Befruchtungssubstanzen wesentlich weiter ausgebaut worden und haben zu vertiefter Erkenntnis, besonders über das Zusammenwirken antagonistischer männlicher und weiblicher Gamone geführt. Außerdem ist in der Abteilung neben vergleichend cytologischen Arbeiten die cytogenetische Analyse an *Drosophila* und *Phryne*, in erster Linie zur weiteren Klärung der Natur der Chromosomenmutationen, fortgesetzt worden.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie* (Prof. BUTENANDT) wurden im Gebiet der Krebsforschung die Arbeiten über die Wirkungsweise cancerogener Verbindungen, über natürlich vorkommende krebs erzeugende Stoffe und über die Bedeutung oestrogenen Hormone für die Entstehung von Geschwülsten fortgesetzt. Die gemeinsam mit dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiet der Virusarten führten zur Entdeckung und Reindarstellung eines neuen Tomatenmosaikvirus (Dahlem 1940), das durch biologische, chemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen gekennzeichnet wurde. Durch Darstellung von charakteristischen Derivaten des Tabakmosaikvirus und durch seine enzymatische Spaltung in Protein und Nucleinsäure wurden neue Einblicke in die Konstitution und Wirkungsweise der kristallisierten Virusarten gewonnen. Die ebenfalls gemeinsam mit dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie fortgesetzten Untersuchungen über genabhängige, pigmentbildende Wirkstoffe bei Insekten führten zur Auffindung einer Reaktionskette, die durch oxydativen Angriff des Tryptophans über Oxytryptophan und Kynurenin als Zwischenprodukte zur Pigmentbildung führt. Die Bearbeitung anderer Insektenwirkstoffe, wie Sexuallockstoffe von Schmetterlingen, wurde begonnen. Die von der Arbeitsgruppe „Lepra“ in Angriff genommenen Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen sapotoxinhaltigen Nahrungspflanzen und Lepra wurden fortgesetzt, ebenfalls die laufenden Arbeiten über die Wirkstoffe der Leber und der Hypophyse. Eine weitere Arbeitsgruppe befaßte sich mit Synthesen im Gebiet insekticider Pflanzenstoffe.

Infolge der Schwierigkeiten im Postverkehr mit Übersee ging der Jahresbericht der *Forschungsstelle für Mikrobiologie* (Prof. FICKER) in São Paulo, Brasilien, bisher nicht ein.

Über die Arbeiten des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Züchtungsforschung* (Prof. RUDORF) gibt das Veröffentlichungsverzeichnis eine ins einzelne gehende Übersicht. Sie sei dahin ergänzt, daß eine wertvolle Hanfzüchtung für den Anbau an eine Zuchtwirtschaft abgegeben werden konnte, daß die Koloradokäferstation auf der Zweigstelle Rosenhof ihre Tätigkeit aufgenommen hat, und daß im Institut eine Tagung des Arbeitskreises „Obstzüchtung“ des Forschungsdienstes abgehalten wurde.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für Tierzuchtforschung* wurde mitten im Aufbau und zu Beginn der Forschungsarbeiten im August 1940 durch den plötzlichen Tod seines Direktors, Prof. Dr. GUSTAV ADOLF FRÖLICH,

besonders hart betroffen. Die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft beauftragte darauf im Einvernehmen mit dem Herrn Reichsernährungsminister und dem Herrn Reichserziehungsminister Prof. Dr. JONAS SCHMIDT von der landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Berlin mit der kommissarischen Leitung des Instituts. — Neben organisatorischen und baulichen Arbeiten hat die wissenschaftliche Tätigkeit des Instituts bereits eingesetzt. An laufenden Untersuchungen seien genannt: Kombinationskreuzung zwischen Schleswiger und rheinisch-deutschem Kaltblutpferd. — Aufzucht von Kalt- und Warmblutfohlen auf wirtschaftseigener Futtergrundlage unter vorwiegender Verwendung von Hackfrüchten. — Zusammensetzung der Milch beim Jersey-Rind, schwarzbunten Tieflandrind und einfarbig roten Dänenvieh. — Kombinationskreuzung von Jersey-Rind und schwarzbuntem Tieflandrind zwecks Erhöhung des Milchfettgehaltes. — Anwendungsmöglichkeiten der künstlichen Besamung zur Erzielung eines beschleunigten tierzüchterischen Fortschrittes. — Wachstumsrhythmus und Futterverwertung beim Jersey-Rind, schwarzbunten Tieflandrind und einfarbig roten Dänenvieh.

Die Arbeit des *Deutschen Entomologischen Instituts* (Reg.-Rat Dr. SACHTLEBEN) ergab sich hauptsächlich aus seinem Charakter als Verbindungsstelle zwischen systematischer und angewandter Entomologie: Bestimmung von Schadinsekten an landwirtschaftlichen, gärtnerischen und forstlichen Kulturpflanzen, von Speicher-, Vorrats- und technischen Schädlingen, ferner von nützlichen, insbesondere parasitischen Insekten, die als natürliche Feinde von Schadinsekten von praktischer Bedeutung sind. In zahlreichen Fällen wurden eingehende Auskünfte über Verbreitung, Lebensweise und Schädlichkeit der festgestellten Schad- und Nutzinsekten mit Hinweisen auf vorhandene Literatur erteilt. Arbeiten über parasitische Hymenopteren wurden in einer Veröffentlichung zusammengefaßt, in der 70 Chalcididen-Arten und ihre Wirte behandelt werden. Mit einer Bibliographie der paläarktischen Ichneumoniden wurde begonnen. — Aus den Sammlungen des Instituts wurden zu wissenschaftlichen Untersuchungen 27207 Insekten ausgeliehen. In der bibliographischen Kartothek, die jetzt 257543 Titel enthält, wurde die Aufnahme der Einzelwerke abgeschlossen und die Auswertung der Sonderdrucke angefangen. — Die 3 gemeinsam mit der Biologischen Reichsanstalt herausgegebenen entomologischen Zeitschriften umfaßten im Berichtsjahr 8 Hefte mit 850 Seiten.

Die wissenschaftlichen Arbeiten der *Hydrobiologischen Anstalt zu Plön* (Prof. THIENEMANN) nahmen trotz des Krieges ihren planmäßigen Fortgang. Die teichwirtschaftlichen Untersuchungen wurden auf das klassische Teichgebiet von Wittingau (Südböhmen) ausgedehnt. Wesentlich gefördert wurde das Studium feuchter Böden und ihrer Besiedelung. Begonnen wurden Untersuchungen über Typhaverwertung und -kultur. Die Umgestaltung eines kleinen Waldsees durch Sprengversuche bot ein interessantes limnologisches Problem. — Mehrere Reisen des Institutsdirektors führten in das jetzt zu Ostpreußen geschlagene Suwalkigebiet, wo die früher polnische Hydrobiologische Station am Wigry-See jetzt von der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft übernommen worden ist.

Die *Anstalt zur Erforschung niederrheinischer Gewässer in Krefeld* wurde im November 1940 durch den plötzlichen Tod ihres langjährigen Leiters Dr. W. SCHNEIDER von einem schweren Verlust betroffen. Da auch der I. Assistent ausgeschieden ist, wird die

wissenschaftliche Arbeit in der Anstalt voraussichtlich erst nach Kriegsende wieder aufgenommen werden. Das Mitglied des Kuratoriums, Herr RICHARD LEENDERTZ, Krefeld, führt bis dahin dankenswerterweise die Verwaltungsgeschäfte.

Da die Gefolgschaft des *Instituts für Seenforschung und Seenbewirtschaftung* vollzählig bei der Wehrmacht steht, trat eine gewisse Unterbrechung in den laufenden Untersuchungen ein. Prof. Dr. LAUTERBORN, Freiburg i. Br., übernahm zeitweise die Vertretung des Institutsleiters Dr. ELSTER. Bis zum Herbst 1940 konnte die Materialsammlung für die eingeleiteten Blaufelchen-Arbeiten fortgesetzt werden. Dieses Material ist besonders interessant, da der seit langer Zeit beobachtete Vierjahresrhythmus in den Erträgen der Bodenseefischerei seit 1939 plötzlich durchbrochen ist. Die Auswertung des Materials und die Fortführung der Untersuchungen versprechen weitere Einblicke in die Ursachen der Ertragsschwankungen der Bodenseefischerei. Sehr erfolgreich verliefen Versuche, Felchen in einem vorher gedüngten flachen Waldsee ohne zusätzliche Fütterung zu Setzlingen heranzuziehen.

An der *Biologischen Station Lunz in Niederdonau* (Prof. RUTTNER) wurden die Bearbeitung des während der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition gesammelten Materials zur Biologie des tropischen Süßwasserplanktons dem Abschluß nahegebracht, sowie die Untersuchungen über die Sedimentation in den Alpenseen und den Ausbau der limnochemischen Methodik fortgeführt. Fragen des Eisenumsatzes im Süßwasser wurden auf Einladung der Reichsstelle für Bodenforschung in einem Vortrag in Berlin behandelt. Die gutachtliche Tätigkeit zur Hintanhaltung von Schäden, die durch die Einleitung industrieller Abwässer im Traunsee entstehen könnten, wurde fortgesetzt. 28 wissenschaftliche Gäste haben bei längerem Aufenthalt an der Anstalt Probleme auf den verschiedensten Gebieten der Biologie bearbeitet. Außerdem wurde, wie alljährlich, ein 3wöchiger hydrobiologischer Kurs für Studenten der Biologie mit 18 Teilnehmern abgehalten; ferner fanden ein Studienlager der biologischen Arbeitsgemeinschaft (Gau Wien) und ein Fischereikurs der Landesbauernschaft Alpenland statt.

Das *Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie* (Prof. SELLA und Dr. HÄMMERLING) blickt in diesem Jahre auf sein 10jähriges Bestehen als deutsch-italienisches Gemeinschaftsunternehmen und auf sein 50jähriges Bestehen seit den ersten Anfängen zurück. Besonders erfreulich im Sinne kulturellen Zusammenwirkens zwischen beiden Ländern ist die Tatsache, daß trotz des Krieges das Institut sein Arbeitsgebiet erweitern konnte. Neu geschaffen wurden u. a. die Einrichtungen für die Kultur von Algen und niederen Tieren, so daß das Institut für fortpflanzungsphysiologische, entwicklungsphysiologische und genetische Untersuchungen an diesen Organismen ausgestattet ist.

Die Arbeiten erstreckten sich auf verschiedenartige, teils theoretische, teils praktische Probleme. Mit gutem Erfolg in Angriff genommen wurden Untersuchungen über die Wirkungsweise des Zellkernes sowie andere entwicklungsphysiologische Probleme an Algen. An Forellen wurden Untersuchungen über Rassenbildung und Wanderung begonnen. Die Versuche, den Verlauf der unterirdischen Karstgewässer auf biologischem Wege durch Aalwanderungen zu ermitteln, werden neuerdings auf hydrochemischem Wege ergänzt. Die Arbeiten über die Biozöosen und die Verteilung der Algen in der Lagune von Venedig wurden abgeschlossen. Ferner wurden die tiergeo-

graphischen und ökologischen Arbeiten an Bohrmuscheln zum Abschluß gebracht, womit die biologische Grundlage zur Bekämpfung dieser Holzschädlinge geschaffen ist, ebenso diejenigen über die Verwendung von Seegurken der *Adria* (*Trepang*) zu Nahrungszwecken. Von praktischer Bedeutung ist auch die Einleitung von Versuchen über Bewuchsfragen in wärmeren Meeren. Schließlich ist zu erwähnen, daß eine Übersicht über die Landflora *Rovignos* (*Pteridophyten* und *Antophyten*) erschien.

Die Tätigkeit der *Vogelwarte Rossitten* (Dr. SCHÜZ) war im Berichtsjahr durch den Ausfall einer Reihe von örtlichen Beobachtern infolge Militärdienstes etwas behindert, doch konnten die wichtigsten Arbeiten, die Einzeldarstellungen des Vogelzuges und die Versuche über das Sichzurechtfinden der Zugvögel, weitergeführt werden.

Ökologische Untersuchungen galten Reiher- und Tafelente (auf dem Möwenbruch *Rossitten*) und dem Weißen Storch. Ebenfalls wichtig unter dem Gesichtspunkt der Bestandsbewegungen erschien die genauere Erfassung der Schäden des kalten Winters 1939/40 an der Vogelwelt, die in sehr verschiedenem Maße litt. Mit der Herausgabe des zweibändigen Werkes „Die Vögel Ostpreußens und seiner Nachbargebiete“ von Amtsgerichtsrat Dr. h. c. TISCHLER (Heilsberg) seitens des ostpreußischen Hochschulkreises (1941) ist das gesamte faunistische Material der *Vogelwarte* und ihrer Beobachtungsnetze für weitere Kreise erschlossen und auch ausgewertet worden. Neben der Hauptarbeit des vergangenen Jahrzehnts fielen im engeren Tätigkeitsgebiet der *Vogelwarte* immer wieder faunistische Neuigkeiten ab (Zunahme von 271 auf 304 Formen); der letzte Erfolg war der Erstnachweis der nordrussischen Heringsmöwe *Larus fuscus antelius* Iredale für Deutschland am 6. November 1940 auf der Kurischen Nehrung. Diesen und anderen Arbeiten soll auch die Feldstation Windenburger Ecke im früheren Memelgebiet dienen, deren Fanganlagen neu ausgebaut werden.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für Anthropologie, menschliche Erblehre und Eugenik* (Prof. EUGEN FISCHER) wurde in der Berichtszeit wie in früheren Jahren vielfach für Gutachten und Beratungen in Anspruch genommen. Darüber hinaus wurden u. a. Fragen der Rassenkreuzung (Vererbung der Rassen-Schädelform) und der Methodenlehre der Rassenforschung bearbeitet und Untersuchungen zur Bevölkerungspolitik des Bauerntums und der Umsiedlung der Grenzlanddeutschen durchgeführt. Der Bedeutung rassenkundlicher Forschungen wurde durch Errichtung einer eigenen Abteilung unter Leitung von Prof. WOLFGANG ABEL Rechnung getragen. Ferner besteht seit dem 1. Januar 1941 am Institut eine Abteilung für experimentelle Erbpathologie unter Leitung von Prof. HANS NACHTSHEIM. Ihre Aufgabe ist die Erforschung der einzelnen Erbverhältnisse und umweltlichen Beeinflussungen krankhafter Erbanlagen des Menschen durch Modellversuche am Tier, besonders an Kaninchen. Zahlreiche Kaninchenstämme mit Erbkrankheiten oder deren Anlagen stehen hierfür zur Verfügung. — In der Außenstelle für Tuberkulose-Erbforschung wird an der zusammenfassenden Darstellung der Experimente über die Vererbung der Kaninchen-tuberkulose gearbeitet, deren weittragende Ergebnisse darin bestehen, daß es gelungen ist, Kaninchenstämme zu züchten, in denen eine organspezifische Reaktion auf tuberkulöse Infektion erblich ist.

Am *Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung* gelang es im *Institut für Chemie* (Prof. KUHN),

das Vitamin Pantothensäure in Form des kristallisierten Chininsalzes zu gewinnen und eine Synthese sowie die Spaltung der racemischen Pantothensäure in die Antipoden durchzuführen. Das Ferritin, eine schön kristallisierende, sehr eisenreiche Eiweißverbindung aus der Milz, konnte in seiner chemischen Konstitution weitgehend aufgeklärt werden. Für die Synthese des Lactoflavins wurde durch Übertragung der Amadori-Umlagerung auf Pentosen ein wesentlich verkürzter Weg ausgearbeitet. Bei der enzymatischen Spaltung des Pikrocrocins wurde ein optisch aktiver Oxaldehyd entdeckt, der mit rund 1 Molekel je Zelle zwitterige Kulturen einer Grünalge in männliche Gameten umzuwandeln vermag. Verbindungen, deren seifenähnliche Eigenschaften durch die Kapillaraktivität der Kationen und nicht der Anionen bestimmt werden (Invertseifen), wurden dargestellt und gemeinsam mit dem Hygienischen Institut der Universität Heidelberg das Desinfektionsvermögen in Abhängigkeit von der chemischen Konstitution an zahlreichen pathogenen Bakterien geprüft.

Die *Abteilung für Biologie* (Prof. KUHN) hat ihre Arbeiten über die stofflichen Vorgänge bei der Befruchtung und Geschlechtsbestimmung an pflanzlichen und tierischen Objekten fortgeführt und in genetischer Richtung erweitert. Daneben wurde im Hinblick auf praktische Probleme der Silierung den Nährstoffen und Wuchsstoffen der Milchsäurebakterien besondere Aufmerksamkeit zugewandt. Diese Untersuchungen werden teilweise in Gemeinschaft mit der Süddeutschen Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Weihenstephan, durchgeführt.

Im *Institut für Physik* (Prof. BOTHE) wurden die kernphysikalischen Untersuchungen mit besonderer Rücksicht auf die Forderungen der Zeit weitergeführt. Das Institut übernahm u. a. auch den Umbau und die Inangasetzung des Zyklotrons im Pariser Institut de Chimie Nucléaire. Hierbei konnten wertvolle Erfahrungen gesammelt werden für den Bau des Heidelberger Zyklotrons, der nunmehr unmittelbar bevorsteht.

In der Abteilung HAUSSER wurden in Fortsetzung der Arbeiten über die biologischen Wirkungen des Lichtes die Untersuchungen über die Bildung und Zerstörung lichtempfindlicher Befruchtungssubstanzen, die durch Arbeiten der Institute für Chemie und Biologie gefunden wurden, weiter fortgeführt. Ferner ermöglichten dielektrische Untersuchungen an organischen Molekülen in Lösung Entscheidungen in Konstitutionsfragen, die physiologisch und chemisch von Bedeutung sind. Vom rein physikalischen Standpunkt lieferten Untersuchungen an Zwitterionenlösungen einen Beitrag zur Aufklärung der Eigenschaften polarer Flüssigkeiten. Messungen der spezifischen Viskosität, ferner der Zunahme der Verluste und der Abnahme der Dielektrizitätskonstanten als Funktion der Viskosität ergeben einfache, für Zwitterionenlösungen charakteristische Gesetzmäßigkeiten. Sowohl aus den Relaxationszeiten wie aus den dielektrischen Verlusten errechnen sich unter Zugrundelegung der Ellipsoidform für langgestreckte Moleküle Werte für die Moleküllängen, die in guter Übereinstimmung mit der Stereoformel sind. In Zusammenhang mit diesen Untersuchungen wurde die Entwicklung von Hochvakuum-Glühkathoden-Röhren zur Erzeugung ultrakurzer Wellen gefördert.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Biophysik* (Prof. RAJEWSKY) wurde im Auftrage des Reichsforschungsrates mit der Errichtung einer Hochvoltanlage zur biophysikalischen Erforschung der Kernstrahlungen

und künstlichen Radioaktivität begonnen. Hierfür stellte auch die Stadt Frankfurt einen beträchtlichen Zuschuß zur Verfügung. — Die im Institut eingerichtete — erste europäische — Station zur physikalischen Diagnostik der Radiumvergiftung hat unter Anwendung der hierfür entwickelten speziellen Meßgeräte ihre Überwachungsuntersuchungen bei den Belegschaften verschiedener Radiumbetriebe aufgenommen. — Die Laboratorien in der Außenstelle im Radiumbad Oberschlema wurden fertiggestellt, so daß mit der wissenschaftlichen Arbeit dort begonnen werden konnte.

Im *Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie* (Prof. LEHMANN) erstreckten sich die Arbeiten über Atmung, Kreislauf und Stoffwechsel, die der Aufstellung grundsätzlicher Richtlinien für die Rationalisierung von Werkzeugen und der Bestgestaltung der Arbeit dienen, im Berichtsjahr hauptsächlich auf die Arbeit bei hohen Temperaturen. Die Untersuchungen über die Leistungsfähigkeit kamen zu einem gewissen Abschluß und führten zum Einsatz der erarbeiteten Methode in Versuchsreihen über die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von der Ernährung. Die statistischen und experimentellen Untersuchungen auf dem Gebiete der Arbeiterernährung wurden im erweiterten Umfange fortgesetzt. Die Versuche über den Arbeitsablauf und über leistungshemmende und leistungssteigernde Faktoren bei automatisierter Arbeit führten zu praktisch wichtigen Ergebnissen.

Um eine engere Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Abteilungen herbeizuführen, wurde die bisher in dem Zweiginstitut in Münster untergebrachte Abteilung als zweite physiologische Abteilung in das Dortmunder Institut verlegt.

Die besondere Ausbildung der wissenschaftlichen Mitarbeiter des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Hirnforschung* (Prof. SPATZ) konnte seit Kriegsausbruch weitgehend für den Wehrmachtssanitätsdienst nutzbar gemacht werden. Trotz dieses Einsatzes in der Praxis wurden die wissenschaftlichen Untersuchungen fortgeführt. Aus der großen Zahl der Arbeiten seien hervorgehoben Forschungen in der Anatomischen Abteilung (SPATZ) durch den spanischen Mitarbeiter Dr. BUSTAMANTE über den Sitz eines Sexualzentrums im Zwischenhirn. Die Fragestellung wurde angeregt durch den Befund einer lokalen Vergrößerung des Tubercinereum des Zwischenhirns mit Vermehrung der Nervenzellen bei einem $3\frac{1}{2}$ jähr. Knaben mit verfrühter Geschlechtsreife höchsten Grades (DRIGGS und SPATZ). Es wurde bei noch nicht geschlechtsreifen jungen Kaninchen mittels der HESSschen Methode das Tubercinereum bei Schonung der Hypophyse ausgeschaltet, und es gelang dadurch nach den bisherigen Versuchen die Geschlechtsreife zu verhindern. Die Versuche werden fortgesetzt. Ferner wurden in der Anatomischen Abteilung weitere Beobachtungen über die cerebrale Form der Thromboendarteriitis obliterans (LINDENBERG und SPATZ) gesammelt. Dr. DEI POLI (Italien) und Dr. ZUCHA (Slowakei) legten die Beziehungen dieser bisher kaum berücksichtigten Erkrankung der Gehirngefäße zur praktisch wichtigen Thrombosierung der Carotis interna dar.

In der Histopathologischen Abteilung (HALLER VORDEN) wurden die Untersuchungen über Oedem und seröse Entzündung im Gehirn, die Studien über die Gehirnveränderungen bei dem angeborenen Schwachsinn sowie über die Erkrankungen der peripheren Nerven (KRÜCKE) fortgesetzt.

In der Physiologischen Abteilung (KORNMÜLLER) hat sich weiterhin die Brauchbarkeit der hirn-bioelektrischen Untersuchungsmethoden für die neuro-

logische Klinik (Epilepsie, Herderkrankungen u. a.) bewährt. Außerdem wurden die Untersuchungen über die optokinetischen und vestibulären Nystagmus (GRÜTTNER) fortgesetzt.

In der Abteilung für Tumorforschung und experimentelle Pathologie (TÖNNIS) wurden die hier früher gewonnenen tierexperimentellen Erfahrungen über Hirnoedem, Hirnschwellung und Zisternenverquellung auf das Gebiet experimentell gesetzter Hirnverletzungen ausgedehnt; andere Tierversuche galten der Klärung der Frage des Infektionsweges bei offenen Gehirnverletzungen.

In der Chemischen Abteilung (SELBACH) wurden die physikalisch-chemischen Untersuchungen zur Frage der Zustandsänderungen der Hirnsubstanz (Hirnoedem, Hirnschwellung) wieder aufgenommen. Es wurden die Veränderungen der Hirngewebsreaktion und die Neutralisationsfähigkeit des Gehirns unter verschiedenen Bedingungen (Narkose, Insulinkoma, Cardiazolschock) studiert und gemeinsam mit der Abteilung für experimentelle Pathologie versucht, die quantitativen Veränderungen im Wasser- und Stickstoffgehalt des Hirngewebes nach örtlichen Schädigungen (Paraffinplomben, Exstirpationen u. a.) zur Klärung der Frage der Volumvermehrung des Gehirns heranzuziehen. In gleicher Richtung bewegen sich Versuche, über die örtlichen Stoffwechselstörungen nach experimenteller Commotio (PETERS). Die Abteilung arbeitet in Gemeinschaft mit der Psychiatrischen und Nervenambulanz der Universität (Prof. DE CRINIS).

In der *Genetischen Abteilung* (N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY) wurden die Arbeiten auf den Gebieten der experimentellen Mutationsforschung, der biophysikalischen Analyse des Genproblems und der Populationsgenetik weitergeführt und eine Reihe von Versuchen über Anwendungen der Indikatorermethode mit künstlich radioaktiven Isotopen aufgenommen. Auf dem Gebiete der Mutationsforschung wurden besonders Versuche über Auslösung von Mutationen durch ultraviolettes Licht und durch kombinierte Wirkungen von Röntgenstrahlen mit anderen Faktoren gefördert. Auf dem Gebiete der Populationsgenetik werden besonders die Biometrie, Populationsdynamik und Fragen der genetischen Zusammensetzung freilebender *Drosophila*-Populationen bearbeitet. Außerdem werden vergleichende, genetisch-entwicklungsphysiologische Versuche an verschiedenen *Drosophila*-Arten durchgeführt. Mit durch Neutronenbeschuß gewonnenen künstlich radioaktiven Isotopen wurden Versuche über die Verteilung verschiedener chemischer Elemente im tierischen Körper, Filterversuche und, in Zusammenarbeit mit den Kaiser Wilhelm-Instituten für Biologie und für Biochemie, Versuche mit radioaktiv „markierten“ Viren durchgeführt.

Im *Institut für Genealogie und Demographie der deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie* (Prof. RÜDIN) sind folgende Untersuchungen im Gange bzw. abgeschlossen: über die erbbiologischen Wurzeln der Wanderer (Bettler, Landstreicher usw.), über die symptomatischen Psychosen, zur Frühdiagnose auffälliger Persönlichkeiten und über Untersuchungsergebnisse bei thyreotoxischen Zwillingspaaren. Die klinisch-vergleichende Bearbeitung der konkordanten Schizophreniezwillinge wurde fortgesetzt, mit einer Materialsammlung zur Beurteilung der erbbiologischen Wertigkeit der unehelichen Mütter und Kinder begonnen. Familienuntersuchungen über die Bedeutung der pathologischen Blutzuckerbelastungskurve wurden

weitergeführt, ebenso Blutzuckerbelastungsversuche an Vergleichsmaterial.

Im *Hirnpathologischen Institut* (Prof. SCHOLZ) wurden die Untersuchungen über Krampfschädigungen des Gehirns und ihre Bedeutung für die Entstehung körperlicher und geistiger Defektzustände fortgesetzt. Im Zusammenhang damit wurden die Bedingungen für das Zustandekommen kreislaufmäßig unvollständiger Gewebnekrosen und für ihre vorzugsweise Lokalisation in bestimmte Gebiete und topistische Einheiten des menschlichen Gehirns untersucht. Nebenher gingen Arbeiten über die Hirnschädigungen bei der Insulinschock- und Krampfbehandlung schizophrener Kranker und deren Entstehungsbedingungen, über die Frage gewebemechanischer Faktoren in der Morphogenese normaler und pathologischer Gliafaserstrukturen, über die Beteiligung der Großhirnganglien bei der vornehmlich im Hirnmantel sich abspielenden Pickischen Atrophie und über Dauerschäden des Gehirns nach Kohlenoxydvergiftung und deren eigenartigen klinischen Ausdruck.

In den *Instituten für Serologie, experimentelle Therapie und Spirochätenforschung* (Prof. JAHNEL) liefen Arbeiten über die Wirksamkeit der Gifte verschiedener Schlangen und des Skorpions auf experimentelle Syphilis, ohne daß ein Heileffekt festgestellt werden konnte. Ferner wurden Untersuchungen über das Vorkommen unspezifischer Luesreaktionen in Blut und Liquor nach Einspritzung artfremder Sera angestellt, außerdem über die Zellformen im Liquor.

Im *Klinischen Institut* (Prof. SCHNEIDER) wurde u. a. über die Provokation von Anfallskranken mit der Wasserstoß-Tonephin-Methode und die Schizophrenie im Kindesalter gearbeitet.

Die einzelnen Forschungsaufgaben des *Kaiser Wilhelm-Instituts für Deutsche Geschichte* (Geheimrat KEHR) erstrecken sich, ihrer Eigenart entsprechend, meist über eine längere Zeit. So dürfte der Beitrag zur *Germania Sacra* von Dr. SCHÖFFEL, Würzburg, über das Bistum Würzburg in etwa 2 Jahren abgeschlossen sein. Dr. CLASSEN, Düsseldorf, setzte die Bearbeitung des Weseler Dominikanerkonventes fort und begann die der Weseler Fraterherrenniederlassung. Dr. DEVRIENT, Weimar, bearbeitet größere Archivbestände der Domkapitel Zeitz und Naumburg, des Hochstiftes Merseburg und der Klöster der Diözese.

Die Arbeiten des *Kaiser Wilhelm-Instituts für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht* (Prof. BRUNS) haben durch ihre engen Beziehungen zu den verschiedensten Gebieten der Außenpolitik stets eine besonders aktuelle Bedeutung. Neben der Entwicklung einer deutschen völkerrechtlichen Theorie gehört die Sammlung und Aufarbeitung des einschlägigen in- und ausländischen Materials zu seinen Aufgaben. Je intensiver dann die politische Betätigung mit friedlichen und schließlich auch mit kriegerischen Mitteln in den letzten Jahren wurde, um so mehr griff die Tätigkeit des Instituts über den Bereich der Vorgänge hinaus, an denen Deutschland direkt beteiligt war: Ereignisse wie etwa das japanische Abkommen mit WANG TSCHING WEI oder die Eingliederung der baltischen Staaten in die Sowjet-Union waren nach ihrer rechtlichen Tragweite ebenso wahrzunehmen wie Fragen des See-, Luft- und Landkriegsrechtes, des Rechts der Kriegsgefangenen usw. Neben diesen praktischen Aufgaben werden die grundsätzlichen Forschungsarbeiten weitergeführt.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für ausländisches und internationales Privatrecht* (Prof. HEYMANN) war in der Berichtszeit vielfach mit Aufgaben beschäftigt,

deren Durchführung im Interesse des Reiches und der Wirtschaft erfolgte. Sie bezogen sich auf das gesamte ausländische Privat- und Prozeßrecht, vor allem auf das internationale Handels- und Wirtschaftsrecht, sowie auf das deutsche und ausländische internationale Privatrecht. Das deutsche Handels- und Wirtschaftsleben war bisher erfahrungsgemäß an folgenden Gebieten besonders lebhaft interessiert: Internationales Handels- und Handelsgesellschaftsrecht (einschl. Wechsel- und Scheckrecht, Versicherungsrecht, Verkehrs- und Transportrecht, See- und Binnenschiffahrtsrecht); internationales Kartell- und Arbeitsrecht; Recht des geistigen und gewerblichen Eigentums (Patent- und Urheberrecht, Warenzeichenrecht, Unlauterer Wettbewerb); ausländisches und internationales Währungsrecht; Rechtsstellung von Ausländern vor deutschen Gerichten; Zuständigkeit deutscher und ausländischer Gerichte (insbesondere Arrest- und Beschlagnahmefragen), Anerkennung und Vollstreckung ausländischer Urteile und Schiedssprüche; Rechtshilfefragen; internationales Konkurs- und Vergleichsrecht. Diese zivil- und handelsrechtlichen Disziplinen stehen in ihrer kriegsmäßigen Umbildung und Anwendung in der ständigen Beobachtung des Instituts.

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für Kunst- und Kulturwissenschaft im Palazzo Zuccari in Rom* konnte trotz des Krieges seine praktischen und Forschungsarbeiten ungestört fortsetzen. Eine besondere Anerkennung seiner Stellung im deutsch-italienischen Geistesleben erfuhr es durch die Besuche des Reichsministers für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung RUST und des italienischen Unterrichtsministers Exz. BOTTAI. Hierbei wurden wichtige, Deutschland und Italien gemeinsam interessierende Kulturfragen erörtert. — Das Institut für Kunstwissenschaft (Prof. BRUHNS) bereitet den 5. Band des Römischen Jahrbuches für Kunstwissenschaft vor, der Beiträge über die Langobardische Schmuckkunst in Ober-Italien, Normannkirchen in Sizilien und Calabrien und die Villa d'Este in Tivoli bringen wird. Größere Arbeiten über das Stauferkastell Lagopesole in Lukanien, Pietro Cavallini, Michelangelo da Caravaggio und ein Corpus der frühen italienischen Handzeichnungen stehen vor dem Abschluß. — Das Institut für Kulturwissenschaft (Prof. HOPPENSTEDT) beteiligte sich mit einer eigenen größeren Veranstaltung an den Verdi-Feiern der Stadt Rom und veranstaltete wie in früheren Jahren eine Reihe von Vorträgen in deutscher und italienischer Sprache, in denen von namhaften wissenschaftlichen Gästen eine Reihe allgemein interessierender Fragen behandelt wurden.

Wissenschaftliche Ehrungen.

Der Führer und Reichskanzler verlieh den Adlerschild des Deutschen Reiches dem Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Deutsche Geschichte, Geheimrat Prof. Dr. PAUL KEHR, aus Anlaß seines 80. Geburtstags,

die Goethe-Medaille für Kunst und Wissenschaft dem Auswärtigen Wissenschaftlichen Mitglied der Vogelwarte Rossitten, Dr. OSKAR HEINROTH, aus Anlaß seines 70. Geburtstags,

das Verdienstkreuz des Deutschen Adlers, I. Stufe, dem italienischen Direktor des Deutsch-Italienischen Instituts für Meeresbiologie in Rovigno d'Istria, Prof. MASSIMO SELLA.

An Preisen und Auszeichnungen wurden verliehen: dem Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biochemie, Prof. Dr. ADOLF BUTENANDT, die große goldene Medaille seiner Vaterstadt Wesermünde,

dem Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Chemie, Prof. Dr. OTTO HAHN, der von Reichsmarschall GÖRNING gestiftete Copernicus-Preis der Universität Königsberg Pr.,

dem Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Eisenforschung, Prof. Dr. FRIEDRICH KÖRBER, die goldene Honda-Medaille des Nippon Kinzoku Gakkai (Japanisches Metall-Institut),

dem Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie, Prof. Dr. PETER ADOLF THIESSEN, die St. Kliment-Medaille der Universität Sofia,

dem Senator der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Dr.-Ing. e. h., Dr. phil. h. c., Dr. mont. e. h. ALBERT VÖGLER, die goldene Leibniz-Medaille der Preußischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin.

Es wurden ernannt oder gewählt:

der Senator der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Prof. Dr. WALTHER GERLACH, zum Mitglied der Kaiserl. Leopold.-Carolin. Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle,

das Auswärtige Wissenschaftliche Mitglied des Deutsch-Italienischen Instituts für Meeresbiologie, Prof. Dr. THILO KRUMBACH, zum Mitglied der Kaiserl. Leopold.-Carolin. Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle,

der Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für medizinische Forschung, Prof. Dr. RICHARD KUHN, zum korrespondierenden Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse der Akademie der Wissenschaften in Wien,

der stellvertretende Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Physik, Prof. Dr. MAX V. LAUE, zum Auswärtigen Mitglied der Societa Italiana delle Scienze in Rom,

der Ehrensenator der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Geheimrat Prof. Dr. MAX PLANCK, zum Auswärtigen Mitglied der Kgl. Ungarischen Akademie der Wissen-

schaften zu Budapest und zum Ehrenmitglied der Kaiserl. Leopold.-Carolin. Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle,

der Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für Hirnforschung, Prof. Dr. HUGO SPATZ, zum Ehrenmitglied der Kgl. Akademie der Wissenschaften in Ferrara,

der Leiter der Genetischen Abteilung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Hirnforschung, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, zum Mitglied der Kaiserl. Leopold. Carolin. Deutschen Akademie der Naturforscher in Halle,

der Senator der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Dr.-Ing. e. h., Dr. phil. h. c., Dr. mont. e. h. ALBERT VÖGLER, zum Ehrensenator der Wilhelms-Universität Münster i. W.

Aus dem Kreis der jüngeren wissenschaftlichen Mitarbeiter an Kaiser Wilhelm-Instituten wurden berufen:

Dozent Dr.-Ing. habil. BEISCHER als a.pl. Professor für physikalische Chemie an die Universität Straßburg,

Prof. Dr. JENCKEL auf den Lehrstuhl für theoretische Hüttenkunde und physikalische Chemie an der Technischen Hochschule Aachen,

Dr. LÜTTRINGHAUS auf den Lehrstuhl für organische Chemie an der Universität Greifswald,

Dr. G. MENZER als a.pl. Professor an die Universität Berlin,

Dr. F. SCHULTZ-GRUNOW als o. Professor für Mechanik an die Technische Hochschule Aachen,

Dr. K. WIRTZ als Dozent für theoretische Physik an die Universität Berlin.

Dr. ERNST TELSCHOW

Geschäftsführender Vorstand der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

Veröffentlichungen aus den Kaiser Wilhelm-Instituten April 1940 bis März 1941.

Das diesjährige Verzeichnis der Veröffentlichungen vermittelt nur ein unvollständiges Bild von den tatsächlichen Forschungsergebnissen der Kaiser Wilhelm-Institute, da über viele Arbeiten erst später in einem größeren Zusammenhang berichtet werden wird.

Kaiser Wilhelm-Institut für Physik, Max Planck-Institut, Berlin-Dahlem.

Direktor: PETER DEBYE (zur Zeit beurlaubt).

Stellvertretender Direktor: MAX V. LAUE.

Veröffentlichungen: M. v. LAUE, Interferenz-Doppelbrechung von Röntgenstrahlen in Kristallprismen. Naturwiss. 28, 645 (1940) — Zur Elektrostatik der Raumgitter. Z. Kristallogr. 103, 54 (1940) — Das elektrostatische mittlere Potential in Kristallen. Naturwiss. 28, 515 (1940) — Aus der Geschichte des Elektrons. Aus der Arbeit des Stifterverbandes der Deutschen Forschungsgemeinschaft S. 38, 1940; Zum 40jährigen Jubiläum des Wärmestrahlungsgesetzes. Naturwiss. 29, 137 (1941). — L. BEWILGUA, Interferometrische Vermessung von freien Molekülen. Z. Elektrochem. 46, 415 (1940). — A. DEUBNER, Zum Wien-Effekt der inneren Reibung von Elektrolyten. Physik. Z. 41, 110 (1940) — Thermodynamik und Elektrophysik flüssiger Elektrolytlösungen. Physik i. regelm. Ber. 8, 97 (1940). — E. FISCHER, Aufbau der Flüssigkeiten. Physik i. regelm. Ber. 8, 1 (1940). — G. MENZER, Symbole von Flächen, Kanten und Punkten im hexagonalen System. Z. Kristallogr. 102, 391 (1940). — F. ROGOWSKI, Elektroneninterferometrische Vermessung freier Moleküle. Isomerie am Stickstoff-

atom. Z. Elektrochem. 47, 152 (1941). — H. SCHÜLER, H. GOLLNOW, A. WOELDIKE, Über die Erzeugung von Emissionsspektren organischer Moleküle durch Elektronenstoß in der Glimmentladung. Physik. Z. 41, 381 (1940). — C. F. v. WEIZSÄCKER, Die theoretische Bedeutung der Spaltung von Atomkernen. Forsch. u. Fortschr. 17, Nr 1/2 (1941) — Die Physik der Gegenwart und das physikalische Weltbild. Naturwiss. 29, 185 (1941). —

Im Druck oder in Vorbereitung: M. v. LAUE, Röntgenstrahlinterferenzen. 360 S. Akad. Verlagsges. — G. BORRMANN, Über Extinktion und Absorption im vollkommenen Gitter. — G. MENZER, Zur Indizierung von Röntgengoniometeraufnahmen. Z. Kristallogr. — H. KORSCHING, Neuere Ionenquellen (Bericht). Physik. Z. — H. SPENGLER, Messung der dielektrischen Relaxationszeit an Gemischen von polaren und unpolaren Flüssigkeiten. Physik. Z. — W. WEFELMEIER, Das Alter der Elementverteilung.

Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre in der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Friedrichshafen a. B.

Leiter: ERICH REGENER.

Veröffentlichungen: W. RAU, Die solare Halbtagsperiode der kosmischen Ultrastrahlung am Äquator

Z. Physik **116**, 105 (1940). — E. REGENER, Über halbtägige Schwankungen der kosmischen Strahlung und ihre Beziehung zu der Zwölfstundenschwingung der Erdatmosphäre. Denkschr. d. Stifterverbandes d. Dtsch. Forschungsgemeinschaft **1940**, 111 — Zur Erklärung der physiologischen Wirkungen des Föhns. Naturwiss. **29**, 30 (1941).

Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, Göttingen.

Direktor: LUDWIG PRANDTL.

Wissenschaftliches Mitglied: ALBERT BETZ.

Veröffentlichungen: J. G. EDLER v. BOHL, Das Verhalten paralleler Luftstrahlen. Ing.-Arch. **11**, 295 (1940). — H. GÖRTLER, Über den Einfluß der Wandkrümmung auf die Entstehung der Turbulenz. Z. angew. Math. Mech. **20**, 138 (1940) — Gasströmungen mit Übergang von Unterschall- zu Überschallgeschwindigkeiten. Z. angew. Math. Mech. **20**, 254 (1940) — Über eine dreidimensionale Instabilität laminarer Grenzschichten an konkaven Wänden. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., N. F., Fachgr. I, **2**, 1 (1940). — KL. KRIENES, Die elliptische Tragfläche auf potentialtheoretischer Grundlage. Z. angew. Math. Mech. **20**, 65 (1940). — G. LYRA, Über den Einfluß von Bodenerhebungen auf die Strömung einer stabil geschichteten Atmosphäre, mit einem Zusatz von H. STÜMKE, Bemerkungen über die horizontalen Störungsgeschwindigkeiten der in vorstehender Arbeit behandelten Strömung. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. **26**, 197 u. 207 (1940). — R. NAHME, Beiträge zur hydrodynamischen Theorie der Lagerreibung. Ing.-Arch. **11**, 191 (1940). — H. REICHARDT, Die Wärmeübertragung in turbulenten Reibungsschichten. Z. angew. Math. Mech. **20**, 297 (1940). — TH. SCHADE, Theorie der schwingenden kreisförmigen Tragfläche auf potentialtheoretischer Grundlage. Luftf.-Forsch. **17**, 387 (1940). — F. SCHULTZ-GRUNOW, Neues Reibungswiderstandsgesetz für glatte Platten. Luftf.-Forsch. **17**, 239 (1940) — Pulsierender Durchfluß durch Rohre. Forsch. Ing.-Wes. **11**, 170 (1940) = Deutsche Kraftfahrtforschung i. Auftr. d. RVM. H. 48 (1941). — H. STÜMKE, Rotationssymmetrische Gleichgewichtsstörungen in einer isothermen Atmosphäre neben einem Modellversuch mit rotierender Flüssigkeit. Z. Geophys. **16**, 127 (1940). — K. WIEGHARDT, Zusammenfassender Bericht über Arbeiten zur statistischen Turbulenztheorie. Luftf.-Forsch. **18**, 1 (1941).

Druckfertige, sowie bereits im Druck befindliche Arbeiten: W. FRÖSSEL, Berechnung der Reibung und Tragkraft eines endlich breiten Gleitschuhes auf ebener Gleitbahn. — H. GÖRTLER, Instabilität laminarer Grenzschichten an konkaven Wänden gegenüber gewissen dreidimensionalen Störungen. Z. angew. Math. Mech. — Einfluß der Bodentopographie auf Strömungen über der rotierenden Erde. — H. REICHARDT, Ein neuer Ansatz zur Berechnung turbulenter Ausbreitungsvorgänge. Forsch. Ing.-Wes. — W. SCHMIDT, Turbulente Ausbreitung eines Stromes erhitzter Luft. Z. angew. Math. Mech. — F. SCHULTZ-GRUNOW, Eine neue Auffassung der Expansions- und Kompressionsströmung in Zylindern. — K. WIEGHARDT, Über die zweidimensionale Expansionsströmung in einem rechteckigen Hohlraum. Dtsch. Kraftfahrtforsch. i. Auftr. d. RVM. H. 61. — K.-H. THIRIOT, Untersuchung über die Grenzschicht einer Flüssigkeit über einer rotierenden Scheibe bei kleiner Winkelgeschwindigkeitsänderung. Z. angew. Math. Mech.

In Bearbeitung befindliche Forschungsgegenstände: Wärmeausbreitung in freier Turbulenz. — Dispersion des Schalles in Wolken durch Kondensation. — Ent-

wicklung eines Psychrometers. — Strömungsuntersuchungen an Kühlern. — Untersuchung über gekrümmte Strömungen, besonders in Axialturbinen. — Topographische und planetarische Einflüsse bei Strömungen im Meer und in der Atmosphäre. — Umformung von Trennungsf lächen. — Strömungen mit freien Grenzen unter dem Einfluß der Schwere. — Entstehung der Wasserwellen durch Wind.

Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft e. V. der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, München.

Vorstand: BERNHARD ESTERER.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: OTTO KIRSCHMER, Dresden.

Auch in diesem Berichtsjahr war das Institut überwiegend mit Aufträgen staatlicher Stellen beschäftigt, über die Veröffentlichungen bisher nicht erfolgt sind.

Höhenobservatorien des Sonnenblick-Vereins, Wien.

Leiter: HEINRICH v. FICKER.

Die Bearbeitung des II. Teiles der Meteorologie des Sonnenblicks hat durch den Krieg eine Unterbrechung erfahren. Mit Rücksicht auf vordringliche Aufgaben mußte auch von der Herausgabe eines Jahresberichtes für die Zeit seit 1939 abgesehen werden.

Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem.

Direktor: PETER A. THIESSEN.

Veröffentlichungen: M. v. ARDENNE u. D. BEISCHER, Untersuchung des Feinbaues hochmolekularer Stoffe mit dem Universal-Elektronenmikroskop. 2. Mitt.: Zur Morphologie von Kautschuk und Buna. Kautschuk **1940**, H. 5. — G. GRAUE u. H.-W. KOCH, Die Diffusion von Gasen in festen Körpern, untersucht am Eisenoxyd und Eisen-Aluminiumoxyd. Ber. dtsch. chem. Ges. **73**, 984 (1940). — W. HOLZMÜLLER, Verlustwinkel-messungen bei Hochfrequenz. Physik. Z. **41**, 456 (1940) — Beitrag zur Theorie der anomalen Dispersion und der dielektrischen Verluste in Festkörpern. Physik. Z. **41**, 499 (1940). — W. HOLZMÜLLER u. E. JENCKEL, Elastisch-plastische Verformung bei der mechanischen Beanspruchung von Festkörpern. Z. physik. Chem. (A) **186**, 359 (1940). — E. JENCKEL u. J. KOMOR, Flüchtigkeit, Dampfdrucke und Diffusionskoeffizienten im System Novolak-Acetophenon. Z. physik. Chem. (A) **187**, 335 (1941). — R. KOHLHAAS, Röntgenerkennung von Gittern mit Kettenmolekülen. Z. Elektrochem. **46**, 501 (1940). — K. MOLIÈRE, Die Erkennung der submikroskopischen Gestalt von Oberflächen im Elektronenbeugungsbild. Z. Elektrochem. **46**, 514 (1940). — A. PONGRATZ, F. BASSI, E. FUCHS, S. SÜSS, H. WÜSTNER, K. SCHOBER, Zur Kenntnis der katalytischen Oxydation des Naphthalins und von Derivaten in der Gasphase. Angew. Chem. **54**, 22 (1941). — TH. SCHOON u. H.-W. KOCH, Untersuchungen über Kautschukfüllstoffe I. Teilchengröße und Trachtausbildung von Rußen und deren Einfluß auf die Eigenschaften der Kautschukmischung nach Aufnahmen mit dem Übermikroskop. Kautschuk **17**, 1 (1941). — H. SCHÜTZA u. I. SCHÜTZA, Über die Einwirkung von Ozon auf zerstäubte Metalle. Z. anorg. Chem. **245**, 59 (1940). — GG. R. SCHULTZE, Ein neues Metallschlauchventil. Chem. Fabrik **13**, 417 (1940). — R. SKRABAL, Zur Bestimmung von Alkoholen in verdünnten wäßrigen Lösungen. Z. anal. Chem. **119**, 222 (1940). — J. STAUFF, Keimbildungsgeschwindigkeit von übersättigten Lösungen als Mittel zur Bestimmung von Lösungszuständen. 1. Teil: Lösungen von KClO_3 . Z. physik. Chem. (A) **187**, 107 (1940) — Keimbildungsgeschwindigkeit von übersättigten Lösungen als Mittel zur Bestimmung von Lösungszuständen. 2. Teil:

Lösungen von Paraffinkettensalzen. Z. physik. Chem. (A) **187**, 119 (1940). — C. STÜBER, Farbige Mikrophotographie im polarisierten Licht unter Verwendung der Kleinbildkamera. Zeiss-Nachr. **3**, 326 (1940). — P. A. THIESSEN, Wehrchemie in Deutschland, Karl Becker zum Gedächtnis. Angew. Chem. **53**, 377 (1940). — P. A. THIESSEN, J. STAUFF u. H. FRHR. v. GILLHAUSSEN, Molekulare Schichten als Dielektrika hoher Durchschlagsfestigkeit. Elektrischer Widerstand von Einkristallen langkettiger Fettsäuren. Naturwiss. **28**, 265 (1940). — K. UEBERREITER, Kautschuk und Kunstharze als „Flüssigkeiten mit fixierter Struktur“. Kunststoffe **30**, 170 (1940) — Über Cellulose und ihre Derivate als Flüssigkeiten mit fixierter Struktur. Z. physik. Chem. (B) **48**, 197 (1941). — W. ULFERT, Ein Präzisions-Schlagzahn. Feinmech. u. Präz. **48**, H. 24 (1940). — W. WITTSTADT, Röntgenaufnahmen unter extremen Bedingungen. Z. Elektrochem. **46**, 521 (1940). — H. WITZMANN, Elementarvorgänge bei der Staub- und Nebelfiltration. Z. Elektrochem. **46**, 313 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: B. BAULE, Über die Ausbreitung einer thermischen Störung. Z. physik. Chem. — F. FREY, Über die Kondensation von Dämpfen in einem Traggas. Z. physik. Chem. — P. A. THIESSEN, Stoffe, Kräfte und Gedanken als Träger chemischer Gestaltung. Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik-math. Kl. — A. WINKEL u. H. SIEBERT, Die polarographische Untersuchung der cis-trans-Isomerie von Azoverbindungen. Ber. dtsh. chem. Ges. — H. WITZMANN, Theoretische Grundlagen der Filtration unter besonderer Berücksichtigung der Aerosolfiltration. Kolloid-Z.

Vor dem Abschluß stehende Arbeiten: H. BARTEL u. H. KLETTE, Untersuchungen über den Einfluß des Begrenzungsisolators und seiner Oberfläche auf die Entladung im Siemens Ozonisator. — W. HOLZMÜLLER, Temperaturabhängigkeit von Viskosität, dielektrischer Relaxation und Platzwechselvorgänge in amorphen Festkörpern und Flüssigkeiten — Dielektrische Verluste hochpolymerer Festkörper. — H.-W. KOCH, Teilchengröße und Teilchenformen der Au-Partikel in Goldsoln nach Zsigmondy. — O. KRATKY, B. BAULE u. R. TREER, Untersuchung der übermolekularen Struktur der Faserstoffe. — O. KRATKY u. A. SEKORA, Röntgenographische Verfolgung der Bildung und Lösung von Zellulosexanthogenat. — O. KRATKY u. R. TREER, Bestimmung der Teilchengröße kolloider Systeme aus der kleinen Winkelstreuung. — A. PONGRATZ u. O. v. DINKLER, Zur Kenntnis der Benzidinumlagerung. — Th. SCHOON u. E. BEGER, Einfluß von Trägerstrukturen und Herstellung auf Platinkatalysatoren. — Th. SCHOON u. W. GRALLERT, Röntgenographische Teilchengrößenbestimmung von Rußen. — Th. SCHOON u. H. KLETTE, Untersuchung über Adsorptionsisothermen an Trägersubstanzen — Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Aktivkohle. — Th. SCHOON u. H.-W. KOCH, Elektronenmikroskopische und katalytische Untersuchungen an Mischkatalysatoren. — Untersuchungen über Kautschukfüllstoffe. II. — F. SEELICH, Physiko-chemische Grundlagen der Narkotikawirkung. — P. A. THIESSEN u. A. BARTEL, Über statische Reibung. — P. A. THIESSEN u. E. BEGER, Teilchengrößen in rhythmischen Fällungen. — K. UEBERREITER, Über Ordnung und Unordnung in makromolekularen Stoffen. — Über die innere Weichmachung makromolekularer Stoffe. — K. UEBERREITER u. G. BENKENDORFF, Über aktive und inaktive Füllmittel in makromolekularen Stoffen. — A. WINKEL, Die polarographische Analyse organischer Verbindungen, ihre Anwendung und ihre Voraussetzungen. —

H. WITZMANN, Grundlagen der Staubfiltration an Trockenfiltern.

Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem.

Direktor: OTTO HAHN.

Auswärtige Wissenschaftliche Mitglieder: ALFRED STOCK, KURT HESS.

Veröffentlichungen: H. REDDEMANN, Zur Kernisomerie von Strontium 87. Z. Physik **116**, 137 (1940). — K. E. ZIMENS, Eine vollautomatische Emanierapparat. Z. physik. Chem. (A) **116**, 94 (1940). — H. GÖTTE, Eine bei der Uranspaltung auftretende Kernisomerie bei Xenon. Naturwiss. **28**, 449 (1940). — W. SEELMANN-EGGEBERT, Direkte Messung der bei der Uranspaltung auftretenden Edelgase. Ein weiteres Krypton-Isotop. Naturwiss. **28**, 451 (1940). — O. HAHN u. F. STRASSMANN, Getrennte Abscheidung der bei der Uranspaltung entstehenden Krypton- und Xenon-Isotope. Naturwiss. **28**, 455 (1940). — O. HAHN, Atomkernprozesse und die Zerspaltung des Urans. Umschau **1940**, H. 28. — O. HAHN u. F. STRASSMANN, Über einige weitere Produkte der Uranspaltung. Naturwiss. **28**, 543 (1940). — F. STRASSMANN u. M. STRASSMANN-HECKTER, Barium. Handbuch der analytischen Chemie, 3. Tl. **2a** (1940). — O. ERBACHER, Radium und Isotope. Handbuch der analytischen Chemie, 3. Tl. **2a** (1940). — S. FLÜGGE, Über den Begriff „Austauschenergie“ in der Quantenmechanik. Naturwiss. **28**, 673 (1940). — K. STARKE, Anreicherung des künstlich radioaktiven Arsenisotops $^{76}_{33}\text{As}$. Naturwiss. **28**, 631 (1940). — O. ERBACHER, Über verschiedene Arten von Löslichkeits-Lokalelementen. Korrosion u. Metallsch. **17**, 5 (1940). — O. HAHN u. F. STRASSMANN, Kurzlebige Brom- und Jod-Isotope bei der Uranspaltung. Naturwiss. **28**, 817 (1940). — S. FLÜGGE u. J. MATTAUCH, Isotopenbericht 1940. Physik. Z. **42**, 1 (1941). — J. MATTAUCH, A correction to measurements with the electrostatic analyzer. Physic. Rev. **57**, 549 bis 556 (1940) — Discussion on the isotopic Weight of C^{12} . Physic. Rev. **57**, 1155—1159 (1940) — Massenspektrographie und ihre Anwendung auf Probleme der Atom- und Kernchemie. Erg. exakt. Naturwiss. **19** (1940) — Über das Auftreten von isomeren Atomkernen. Z. Physik **117**, 246 (1941).

Abgeschlossene oder im Druck befindliche Arbeiten: H. LICHTBLAU u. J. MATTAUCH, Die Isotopenverteilung von Molybdän und die Gültigkeit des Reziprozitätsgesetzes. Z. Physik **117**. — F. STRASSMANN, Die lückenlose Auffüllung und die Erweiterung des Periodischen Systems. Naturwiss. — Über die Spaltung schwerer Kerne. Z. angew. Chem. — J. MATTAUCH, Kernphysikalische Tabellen. Mit einer Einführung in die Kernphysik von S. Flügge. Berlin: Julius Springer 1941. — K. STARKE, Trennung radioaktiver Isotope und Isomere. Physik. Z. — S. FLÜGGE, Bericht über Kernisomerie. Physik. Z. — K. STARKE, Anreicherung des künstlich radioaktiven Uran-Isotops $^{233}_{92}\text{U}$ und des Elements 93. — O. ERBACHER, Actinium und Mesothor 2. Handbuch der analytischen Chemie, Tl. 3. **3a**. — O. HAHN u. F. STRASSMANN, Über die Bildung von Zirkon und Protactinium bei der Bestrahlung des Thorium mit Neutronen. Naturwiss. — S. FLÜGGE, Die Eigenschwingungen eines Flüssigkeitstropfens und ihre Anwendung auf die Kernphysik. Ann. Physik. — H. GÖTTE, Neue Strontium- und Yttrium-Isotope bei der Uranspaltung. Naturwiss.

Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung, Stuttgart.

Institut für Angewandte Metallkunde.

Direktor: WERNER KÖSTER.

Wissenschaftliches Mitglied: ERICH SCHEIL.

Auswärtige Wissenschaftliche Mitglieder: ERNST SCHIEBOLD, ERICH SCHMID.

Veröffentlichungen: W. KÖSTER u. W. MULFINGER, Die Systeme Kupfer-Nickel-Schwefel und Kupfer-Nickel-Arsen. *Z. Elektrochem.* **46**, 135 (1940). — E. GEBHARDT, Die Zinkecke des Dreistoffsystems Zink-Aluminium-Kupfer. *Z. Metallkde* **32**, 78 (1940). — W. KÖSTER, Elastizitätsmodul und Dämpfung der geordneten Phasen CuZn, AuCu₃, AuCu, PdCu₃ und PtCu₃. *Z. Metallkde* **32**, 145 (1940). — Elastizitätsmodul und Dämpfung der intermediären Phasen in den Systemen Kupfer-, Silber-, Gold-Zink und Silber-Kadmium. *Z. Metallkde* **32**, 151 (1940). — W. KÖSTER u. A. SCHNEIDER, Elastizitätsmodul und Dämpfung der intermediären Phasen im System Gold-Kadmium. *Z. Metallkde* **32**, 156 (1940). — W. KÖSTER, Über die Konzentrations- und Temperaturabhängigkeit des Elastizitätsmoduls der Legierungen des Kupfers, Silbers und Goldes mit Zink und Kadmium sowie des Kupfers mit Gold, Palladium und Platin. *Z. Metallkde* **32**, 160 (1940). — W. KÖSTER u. K. ROSENTHAL, Der Verlauf des Elastizitätsmoduls in den Systemen des Magnesiums mit Zink, Aluminium, Zinn, Blei, Antimon und Wismut. *Z. Metallkde* **32**, 163 (1940). — F. FÖRSTER u. E. SCHEIL, Untersuchung des zeitlichen Ablaufes von Umklappvorgängen in Metallen. *Z. Metallkde* **32**, 165 (1940). — A. SCHNEIDER u. U. ESCH, Über die Reaktionen zwischen Magnesium und Schwefeldioxyd. *Z. Metallkde* **32**, 173 (1940). — Über die Löslichkeit von Schwefeldioxyd in flüssigem Magnesium. *Z. Metallkde* **32**, 177 (1940). — F. FÖRSTER, Ein Meßgerät zur schnellen Bestimmung magnetischer Größen. *Z. Metallkde* **32**, 184 (1940). — F. FÖRSTER u. G. TSCHENTKE, Ein Verfahren zur Messung der Temperaturabhängigkeit von elektrischem Widerstand und spezifischer Wärme fester und flüssiger Metalle. *Z. Metallkde* **32**, 191 (1940). — E. GEBHARDT u. W. KÖSTER, Das System Platin-Kobalt mit besonderer Berücksichtigung der Phase CoPt. *Z. Metallkde* **32**, 253 (1940). — Beitrag über den Aufbau des Systems Platin-Chrom. *Z. Metallkde* **32**, 262 (1940). — E. SCHEIL, Mathematische Behandlung des Lunckerproblems. *Z. Metallkde* **32**, 265 (1940). — Über die Kristallkeimbildung im flüssigen Zinn. *Z. Metallkde* **32**, 271 (1940). — W. KÖSTER, Bericht über den Einfluß der Ordnung auf die mechanischen Eigenschaften von Legierungen. *Z. Metallkde* **32**, 277 (1940). — A. DURER, die Bestimmung von Löslichkeitslinien durch thermoelektrische Messungen. *Z. Metallkde* **32**, 280 (1940). — W. KÖSTER, Elastizitätsmodul und Dämpfung von Aluminium und Aluminiumlegierungen. *Z. Metallkde* **32**, 282 (1940). — E. SCHEIL u. W. SIBERT, Statistische Gefügeuntersuchungen. IV. Die Formänderung der in Aluminium eingelagerten Eisenaluminid- und Siliziumkristalle beim Walzen. *Z. Metallkde* **32**, 288 (1940). — W. MULFINGER, Über den Einfluß geringer Zusätze metallischer Elemente auf die interkristalline Korrosion von Aluminium-Magnesium-Legierungen. *Z. Metallkde* **32**, 311 (1940). — J. SCHRAMM, Das System Mangan-Zink von 0 bis 50% Mn. *Z. Metallkde* **32**, 399 (1940). — E. GEBHARDT, Das System Zink-Aluminium-Silber. *Z. Metallkde* **32**, 407 (1940). — W. KÖSTER, Elastizitätsmodul und Dämpfung von Eisen und Eisenlegierungen. *Arch. Eisenhüttenwes.* **14**, 271 (1940/41).

Institut für Metallphysik.

Direktor: RICHARD GLOCKER.

Veröffentlichungen: L. GRAF, Zum Problem der Spannungskorrosion. *Jb. dtsh. Luftforsch.* **16**, 1613 (1939). — O. SCHAABER, Bestimmung der elastischen Spannungen bei der Schlaufenprobe. *Z. Metallkde* **32**,

210 (1940). — R. GLOCKER u. H. HASENMAIER, Röntgen-Spannungsmessungen über den Beginn des Fließvorganges bei Kohlenstoffstahl. *Z. VDI* **84**, 825 (1940).

Abteilung Dehlinger.

Abteilungsleiter: ULRICH DEHLINGER.

Veröffentlichungen: U. DEHLINGER, Die metallische Bindung als Nebenvalenzbindung. *Z. Elektrochem.* **46**, 402 (1940). — U. DEHLINGER u. G. E. R. SCHULZE, Kristallchemie der Verbindungen vom Typ MgCu₂ und MgZn₂. *Z. Kristallogr. (A)* **102**, 377 (1940). — U. DEHLINGER, Zur Theorie der Wechselfestigkeit. *Z. Physik* **115**, 625 (1940). — Zur Entstehung des Widmannstättenschen Gefüges in Eisen-Nickel-Meteoriten. *Z. Metallkde* **32**, 196 (1940). — Dauerstandfestigkeit, Wechselfestigkeit und ihr Zusammenhang mit der wahren Kriechgrenze. *Z. Metallkde* **32**, 201 (1940). — G. E. R. SCHULZE, Bemerkung zum Zustandsbild Magnesium-Kadmium. *Z. Metallkde* **32**, 252 (1940). — H. HENDUS u. E. SCHEUFLE, Die Geschwindigkeit des Überganges von teilweise regelloser zu regelmäßiger Atomverteilung bei Fe₂NiAl. *Z. Metallkde* **32**, 275 (1940). — U. DEHLINGER, Intermetallische Phasen mit teilweise heteropolarer Bindung. *Z. Elektrochem.* **46**, 627 (1940). — U. DEHLINGER u. A. KOCHENDÖRFER, Eigenbewegungen in Kristallgittern. *Z. Physik* **116**, 576 (1940).

Institut für physikalische Chemie der Metalle.

Direktor: GEORG GRUBE.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: WOLFGANG SEITH.

Veröffentlichungen: A. SCHNEIDER u. E. HESSE, Gleichgewichtsmessungen zur thermischen Reduktion von Magnesiumoxyd mit Silicium. *Z. Elektrochem.* **46**, 284 (1940). — O. KUBASCHEWSKI, Über die Reduktion des 2-Niob-5-Oxydes bis zum 2-Niob-1-Oxyd mit Wasserstoff. *Z. Elektrochem.* **46**, 284 (1940). — FR. WEIBKE, Notiz über die Aushärtung im System Gold-Indium. *Z. Elektrochem.* **46**, 346 (1940). — FR. WEIBKE u. W. SCHMIDT, Über die Löslichkeit von Lanthan in Aluminium, Magnesium und den homogenen Legierungen des Magnesiums und Aluminiums. *Z. Elektrochem.* **46**, 357 (1940). — FR. WEIBKE, Der Einfluß des Reinheitsgrades auf die Eigenschaften der Metalle. *Z. angew. Chem.* **53**, 313 (1940). — FR. WEIBKE u. U. FRHR. QUADT, Über die aluminothermische Gewinnung von Chrom-Wolfram-Legierungen. *Z. Elektrochem.* **46**, 635 (1940). — G. SCHMID u. A. ROLL, Die Wirkung intensiven Schalls auf die Metallschmelzen. III. Auflösung von Eisen in geschmolzenem Zink. *Z. Elektrochem.* **46**, 653 (1940). — FR. WEIBKE u. G. SCHRAG, Elektrochemische Untersuchungen am System Gold-Antimon. *Z. Elektrochem.* **46**, 658 (1940). — O. KUBASCHEWSKI u. G. SCHRAG, Mitteilung über die spezifischen Wärmen von Nickel, Wismut und Phosphor. *Z. Elektrochem.* **46**, 675 (1940). — FR. WEIBKE, Über die spektralanalytische Kennzeichnung von Chrom-Molybdän-legierten Stählen. *Mitt. Ver. Großkesselbes.* **79/80**, 118 (1940).

Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf.

Direktor: FRIEDRICH KÖRBER.

Wissenschaftliche Mitglieder: PETER BARDENHEUER, WALTER LUYKEN, ANTON POMP, FRANZ WEVER. Auswärtige Wissenschaftliche Mitglieder: HANS SCHNEIDERHÖHN, Freiburg i. Br.; ERICH SIEBEL, Potsdam.

Veröffentlichungen: Im 22. Band der „Mitteilungen“ des Instituts sind erschienen: Abh. 391: ANTON POMP u. FERDINAND SPIES, Untersuchung einer schmiede-

eisernen Steinbüchse aus dem 15. Jahrhundert. — Abh. 392: FRANZ WEVER u. KARL MATHIEU, Über die Umwandlungen der Manganstähle. — Abh. 393: ANTON POMP u. ALFRED KRISCH, Tiefziehversuche an Blechen und Bändern aus legierten Stählen. — Abh. 394: ANTON POMP u. MAX HEMPEL, Über die Dauerhaltbarkeit von Schraubenfedern mit und ohne Oberflächenverletzungen. — Abh. 395: FRIEDRICH KÖRBER u. ANTON EICHINGER, Die Grundlagen der bildsamen Verformung. — Abh. 396: WALTER LUYKEN u. HELMUT KIRCHBERG, Ergebnisse bei der magnetisierenden Röstung karbonatischer Eisenerze. — Abh. 397: WERNER LUEG u. FRITZ SCHULTZE, Einfluß des Haspel- und Bremszuges beim Kaltwalzen von Bandstahl auf einem Zwölfwalzen-Kaltwalzgerüst. — Abh. 398: ANTON POMP u. GEORG NIEBCH, Über den zeitlichen Verlauf der Entfestigung beim Glühen von kaltgewalztem Tiefziehbandstahl — Abh. 399: Das Blankglühen von kaltgewalztem Tiefziehbandstahl im Durchziehofen. — Abh. 400: ANTON POMP u. ALFRED KRISCH, Zur Frage der Dauerstandfestigkeit warmfester Stähle bei 600, 700 und 800°. — Abh. 401: ANTON POMP u. MAX HEMPEL, Biegeversuche an Chrom-Molybdän-Vergütungs- und Einsatzstählen im Vergleich zu nickelhaltigen Stählen — Abh. 402: Über das Verhalten von Gußeisen und Temperguß unter wechselnder Beanspruchung. — Abh. 403: GEORG HAUPT, Bestimmung des Elastizitätsmoduls durch schwingende Beanspruchung des Probekörpers. — Abh. 404: HELMUT NEEFELD, Zur Auswertung von Röntgenrückstrahlungsaufnahmen. — Abh. 405: GUSTAV THANHEISER u. RICHARD PAULUS, Untersuchungen über den Einfluß der Eisenverdampfung auf die Sauerstoffbestimmung in Ferrowolfram nach dem Heißextraktionsverfahren. — Abh. 406: HEINRICH LANGE, Über den Austenitfall der Kohlenstoffstähle. — Abh. 407: ANTON POMP u. WERNER LUEG, Entstehung von Druckfaltungsrissen beim freibreitenden Walzen von Stahl. Mit einem Anhang: Erscheinungen an der Oberfläche eines rostfreien Messerstahles mit hohem Chromgehalt. — Abh. 408: GUSTAV THANHEISER, Verfahren zur photometrischen Bestimmung von Niob und Tantal in Stahl, Ferrolegerungen und Schlacken.

An anderer Stelle sind erschienen: ANTON EICHINGER, Mathematische Behandlung der Dauerstandkurven. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 397—402 (1939/40) — Sondereinrichtungen. Handbuch der Werkstoffprüfung. Bd. 1: Hrsg. von E. SIEBEL, S. 370—462. Berlin: Julius Springer 1940. — ANTON EICHINGER u. WERNER LUEG, Einige Fälle der spanlosen Formgebung. Arch. Eisenhüttenwes. 14, 47—52 (1940/41). — ANTON EICHINGER u. ANTON POMP, Kraftbedarf beim Warmpressen. Arch. Eisenhüttenwes. 14, 1—6 (1940/41). — GEORG HAUPT, Das Thyssen-Elastometer. Stahl u. Eisen 60, 434—435 (1940). — MAX HEMPEL, Magnetpulverbild und Dauerhaltbarkeit von Schraubenfedern. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 479—487 (1939/40). — HELMUT KIRCHBERG, Die Bestimmung des Ankerites in Spateisenerzen. Berg- u. hüttenm. Mh. 88, 73—77 (1940). — FRIEDRICH KÖRBER, Über den Dauerbruch metallischer Werkstoffe. Schr. Dtsch. Akad. Lfth.forsch. 1940, H. 15. — FRIEDRICH KÖRBER u. ANTON EICHINGER, Die Grundlagen der bildsamen Verformung. Stahl u. Eisen 60, 829—832, 854—862 u. 882—887 (1940). — FRIEDRICH KÖRBER u. WILLY OELSEN, Die Reduktionsgleichgewichte von Oxyden und Oxydgemengen als Grundlage wichtiger Probleme der Eisenerzeugung. Z. Elektrochem. 46, 188—194 (1940) — Die Schlackenkunde als Grundlage der Metallurgie der Eisenerzeugung. Stahl u. Eisen 60,

921—929 u. 948—955 (1940). — ALFRED KRISCH u. GEORG HAUPT, Das Verhalten legierter Stähle bei tiefen Temperaturen. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 299—308 (1939/40). — WERNER LUEG u. FRITZ SCHULTZE, Einfluß des Haspel- und des Bremszuges bei dem Kaltwalzvorgang. Stahl u. Eisen 60, 1173—1180 (1940). — WALTER LUYKEN u. ERNST ELLERICH, Zur Verwertung der Siegerländer Spateisensteinschlämme. Stahl u. Eisen 60, 109—116 (1940). — WALTER LUYKEN u. LIA HELLER, Über einen neuen Weg zur Aufbereitung der steirischen Spateisenerze. Metall u. Erz 37, 81—88 (1940). — HEINRICH MÖLLER, Röntgenographische Spannungsmessung ohne Eichstoff. Arch. Eisenhüttenwes. 14, 67—70 (1940/41). — WILLY OELSEN u. HELMUT MAETZ, Beiträge zur Kenntnis der Reaktionen der Entschwefelung im Hochofen. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 465—475 (1939/40). — ANTON POMP u. ALFRED KRISCH, Vergleichende Tiefziehversuche nach verschiedenen Verfahren an legierten Stahlblechen und Bandstählen. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 503—512 (1939/40). — ANTON POMP u. GEORG NIEBCH, Untersuchungen über die Eignung des Durchziehofens zum Glühen von kaltgewalztem Tiefziehbandstahl. Arch. Eisenhüttenwes. 14, 179—186 (1940/41). — ANTON POMP u. FERDINAND SPIES, Untersuchung einer mittelalterlichen Steinbüchse aus Schmiedeeisen. Stahl u. Eisen 60, 207—209 (1940). — ADOLF ROSE, Das Abkühlungsvermögen von Stahlabschreckmitteln. Arch. Eisenhüttenwes. 13, 345—354 (1939/40). — GUSTAV THANHEISER, Das Beizen von Stahl. Korrosion metallischer Werkstoffe. Bd. 3: Hrsg. von O. BAUER, O. KRÖHNKE u. E. MASING, S. 27—60. Leipzig: S. Hirzel 1940.

**Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung,
Berlin-Dahlem.**

Direktor: WILHELM EITEL.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: FRANZ WEIDERT.

Veröffentlichungen: W. EITEL, C. SCHUSTERIUS, Die Auswertung übermikroskopischer Bilder zur Bestimmung der Kornverteilung von Tonen. Naturwiss. 28, 300—303 (1940). — W. EITEL, E. GOTTHARDT, Über die stereophotogrammetrische Dickenmessung kleinster Kristalle nach übermikroskopischen Aufnahmen. Naturwiss. 28, 367 (1940). — W. EITEL, O. E. RADZIEWSKI, Zur Kennzeichnung des Tonminerals Montmorillonit im übermikroskopischen Bilde. Naturwiss. 28, 397/399 (1940). — W. EITEL, C. SCHUSTERIUS, Die Bestimmung wirksamer Oberflächen von Tonteilchen mit dem Übermikroskop. Chem. Erde 13, 322—335 (1940). — O'DANIEL, O. E. RADZIEWSKI, Elektronenmikroskopie und Beugung hochdisperser Mineralien an demselben Präparat. Naturwiss. 28, 628—630 (1940). — A. DIETZEL, C. NEUMANN, Farbkörper in den sogenannten kohle gelben Gläsern. Teil III. Färbungen durch Eisen-Schwefelverbindungen. Glastechn. Ber. 18, 267—273 (1940). — W. STEGMAIER, A. DIETZEL, Die Bedeutung der Basizität von Glasschmelzen und Versuche zu deren Messung. Teil I. Glastechn. Ber. 18, 297—308 (1940) — Die Bedeutung der Basizität von Glasschmelzen und Versuche zu deren Messung, Teil II. Glastechn. Ber. 18, 353—362 (1940). — A. DIETZEL, Kapitel: Glas-, Keramik-, Email-, Tonerdepräparate im Ergänzungsband zu BERLUNGE: Chemisch-technische Untersuchungsmethoden 1940 — Prüfung von Baugläsern im Band III Werkstoffprüfung von O. GRAF 1940. — W. EITEL, Die hydrothermale Aufnahme des Wassers in den Silikaten, besonders in Gläsern. Glastechn. Ber. 18,

182—184 (1940) — Löslichkeit der kristallinen Silikate. *Glastechn. Ber.* **18**, 119—124 (1940). — W. STRÄTLING, H. ZUR STRASSEN, Die Reaktion zwischen gebranntem Kaolin und Kalk in wäßriger Lösung, Teil I und II. *Z. anorg. u. allg. Chem.* **245**, 257—278 (1940). — W. EITEL, *Physikalische Chemie der Silikate*, 2. Aufl. Leipzig: Ambrosius Barth 1941, 826 S. — J. LEWERTH, A. DIETZEL, Der Einfluß der Mahlfeinheit eines Grundemails auf seine Eigenschaften. *Sprechsaal* **74**, Nr 1—3 (1941). — W. EITEL, Untersuchungen über das System $\text{CaO} \cdot 5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaF}_2$ und über die Stabilität des Tricalciumaluminats. *Zement* **30**, 17—21 u. 29—32 (1941). — H. O'DANIEL, L. TSCHESCHWILI, Zur Struktur von Na_2BeF_4 . *Z. Kristallogr.* **103**, 178 bis 185 (1941). — A. DIETZEL, Die Rolle des Zinkoxyds in Sulfid- oder Selenidgläsern. Vorgänge beim Anlaufen des Selenrubins. *Glastechn. Ber.* **19**, 1—4 (1941) — Der Einfluß der Magnesia auf die Entglasungskonstanten von Natron-Kalkgläsern. *Glastechn. Ber.* **19**, 43—46 (1941) — Kristallchemische Gesichtspunkte bei der Deutung der Konstitution von Gläsern. *Naturwiss.* **29**, 81—82 (1941).

Im Druck befindlich: W. EITEL, Neuere Ergebnisse der Erforschung der Zemente. *Angew. Chem.* — L. HOLZAPFEL, Reaktionen von organischen Kieselsäureverbindungen. I. Mitteilung. *Z. Elektrochem.* — W. EITEL, Die Bedeutung der Silikatforschung für das Bauwesen. *Chemie in Deutschland*.

In Vorbereitung zur Drucklegung: H. RICHTER, Physikalisch-chemische Untersuchungen über den Portlandzementklinker und seine Hydratation. — O. E. RADZEWski, H. RICHTER, Elektronenmikroskopische Untersuchung von Kieselsäure und Tonerde. *Kolloid-Z.* — H. RICHTER, O. E. RADZEWski, Über die Reaktion von Kalk, Kieselsäure und Tonerde in wäßriger Lösung. *Zement*. — O. E. RADZEWski, Sedimentpetrographische Untersuchung des Großalmeroder Tons. — R. BONCKE, A. DIETZEL, W. PRAWLOW, Über Titandioxyd und seine Wirkung in Emails, Gläsern und Glasuren. *Sprechsaal*.

Kaiser Wilhelm-Institut für Kohlenforschung, Mülheim-Ruhr.

Direktor: FRANZ FISCHER.

Abteilungsleiter: HERBERT KOCH, HELMUT PICHLER.

Veröffentlichungen: FRANZ FISCHER, Gegenwärtige und zukünftige Möglichkeiten der Gewinnung flüssiger Treibstoffe (Vortrag, gehalten im Harnack-Haus, Berlin-Dahlem, 5. November 1940). *Brennstoff-Chem.* **22**, 2/7 (1941). — FRANZ FISCHER u. FERDINAND WEINROTTER, Thermische Spaltung von Kogasin zu gasförmigen Olefinkohlenwasserstoffen. *Brennstoff-Chem.* **21**, 209/217 (1940). — HERBERT KOCH u. REINHOLD BILLIG, Untersuchungen über die bei der Benzinsynthese nach FRANZ FISCHER und TROPSCH (Normaldrucksynthese) entstehenden festen Paraffinkohlenwasserstoffe. *Brennstoff-Chem.* **21**, 157/167 (1940) — Über die Herstellung von Schmierölen aus den festen Paraffinkohlenwasserstoffen der Fischer-Tropsch-Synthese (Normaldrucksynthese) auf dem Weg über ihre olefinreichen Spaltdestillate. *Brennstoff-Chem.* **21**, 169/177 (1940). — HERBERT KOCH u. FRIEDRICH HILBERATH, Schriftumsübersicht und vergleichende Untersuchungen über die Methoden zur Jodzählbestimmung von Kohlenwasserstoffen. *Brennstoff-Chem.* **21**, 185/194 (1940) — Über eine zweckmäßige Vorrichtung zur fraktionierten Destillation bei tiefer Temperatur. *Brennstoff-Chem.* **21**, 197/203 (1940) — 3,4-Diäthyl-hexan-(3) und 3,4-Diäthyl-hexan. Eine kurze Mitteilung über Darstellung und Eigenschaften.

Ber. dtsch. chem. Ges. **73**, 1171/1173 (1940). — HELMUT PICHLER u. HERBERT BUFFLEB, Die Synthese von Paraffin an Rutheniumkatalysatoren bei Drucken bis zu 1000 Atm. *Brennstoff-Chem.* **21**, 257/264 (1940) — Über das besondere Verhalten von Rutheniumkatalysatoren bei der Synthese hochmolekularer Paraffinwasserstoffe. *Brennstoff-Chem.* **21**, 273/280 (1940) — Einige Eigenschaften der an Rutheniumkatalysatoren aus Kohlenoxyd und Wasserstoff bei hohen Drucken entstehenden festen Paraffine unter besonderer Berücksichtigung der bisher unbekanntesten höchstschmelzenden Anteile. *Brennstoff-Chem.* **21**, 285/288 (1940). — HELMUT PICHLER u. HANS WALENDA, Über die Bildung von Eisencarbonyl bei der Einwirkung von Kohlenoxyd auf Stahl. *Brennstoff-Chem.* **21**, 133/141 (1940). — HEINZ SUSTMANN, Versuche, die Eigenschaften von Kogasin durch Pressen bis zu Drucken von 12000 Atmosphären zu ändern. *Brennstoff-Chem.* **21**, 246/250 (1940). — HEINZ SUSTMANN u. FERDINAND WEINROTTER, Über die Bildung von Mellitsäure bei der Oxydation von Braunkohle, Braunkohlenhalbkoks und Kohlenoxyd-Kohlenstoff mit rauchender Salpetersäure. *Brennstoff-Chem.* **21**, 245/246 (1940). — HELMUT PICHLER, Über die Herstellung von Stadtgas aus Wassergas (Vortrag, gehalten im Rahmen des Vereins für die bergbaulichen Interessen, am 12. III. 1941, wird demnächst veröffentlicht).

Schlesisches Kohlenforschungsinstitut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Breslau.

Direktor: HEINRICH MACURA.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: FRITZ HOFMANN.

Veröffentlichungen (im Druck befindlich). H. MACURA, Neue Erkenntnisse über das Verhalten von Steinkohlen bei der Erhitzung. IV. Teil. — Zur Methodik der Untersuchung leichter Treibstoffe.

Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung, Dresden.

Direktor: WOLFGANG GRASSMANN.

Veröffentlichungen: W. GRASSMANN u. P. STADLER, Bestimmung der Carboxyl- und Aminogruppen der Aminosäuren und Peptide durch Titration. Die Methoden der Fermentforschung, S. 1096. Leipzig: Georg Thieme 1940 — Gasometrische Bestimmung der Aminosäuren. Die Methoden der Fermentforschung, S. 1107. Leipzig: Georg Thieme 1940. — F. SCHNEIDER, Über die chemische Zusammensetzung des Kollagens. *Coll.* **839**, 97 (1940). — W. HAUSAM, Zur Frage der Rotbraunverfärbung von Schafwollen. I. Mitt. *Coll.* **840**, 145 (1940). — W. HAUSAM, T. SCHINDLER u. E. LIEBSCHER, Zur Frage der Rotbraunverfärbung von Schafwollen. II. Mitt. *Coll.* **841**, 185 (1940). — W. HAUSAM u. G. KROKER, Das Verhalten der Schweinhaut bei der Salzung: Salzaufnahme, Wasserabgabe und Hautsubstanzverlust. *Coll.* **842**, 225 (1940). — A. MIEKELEY, Bestimmung der Durchlässigkeit von Leder für Wasser und Gase. *Arch. f. Techn. Messen. München-Berlin.* Lfg. 113, V 8262-2 (1940). — L. REICHEL, Zur Kenntnis der Ellagengerbstoffe. *Naturwiss.* **29**, 16 (1941) — Biologische Fettsynthese. *Angew. Chem.* **53**, 577 (1940). — W. GRASSMANN u. W. HAUSAM, Bericht über praktische Salzungsversuche im Jahre 1939. *Ledertechn. Rdsch.* **12**, 83 (1940). — W. HAUSAM u. E. LIEBSCHER, Über Fleckenbildungen auf loharen Schafledern durch Mikroorganismen. *Coll.* **848**, 506 (1940). — A. MIEKELEY, Bestimmung der Wasseraufnahme von Leder. *Arch. f. Techn. Messen. München-Berlin.* Lfg. 112, V 8262-1 (1940). — F. SCHNEIDER u. E. GRAEF, Zur Kenntnis der Peptidasen. I. Mitt. Dipeptidase aus Aminopolypeptidase. *Biochem. Z.* **307**, 249 (1941) — F. SCHNEIDER,

Zur Kenntnis der Peptidasen. II. Mitt. Aktivierungserscheinungen der Aminopolypeptidase. *Biochem. Z.* **307**, 414 (1941) — Zur Kenntnis der Peptidasen. III. Mitt. Einfache Methode zur Darstellung von Hefedi-peptidase. *Biochem. Z.* **307**, 427 (1941). — W. GRASSMANN u. P. STADLER, Glutaminase und Asparaginase. Die Methoden der Fermentforschung, S. 1949. Leipzig: Georg Thieme. — W. GRASSMANN u. H. MÜLLER, Papain und ähnliche pflanzliche Proteinase. Die Methoden der Fermentforschung, S. 2058. Leipzig: Georg Thieme. — J. TRUPKE, Bestimmung der Dichte von Leder. I. Mitt. Allgemeine Daten. *Arch. f. Techn. Messen.* München-Berlin. Lfg. 118, V 8262-3 (1941). — L. REICHEL, Biologische Fettsynthese. *Forsch. u. Fortschr.* **17**, 118 (1941). — W. GRASSMANN u. W. KUNTARA, Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pflanzengerbstoffe. I. Mitt. Die Extraktion von Gerbrinden mittels organischer Lösungsmittel, *Coll.* **852**, 98 (1941).

Im Druck: F. SCHNEIDER, Zur Kenntnis der Peptidasen. IV. Mitt. Aminopolypeptidase und Apodipeptidase. *Biochem. Z.* — Zur Kenntnis der Peptidasen, V. Mitt. Versuche zur Abtrennung eines coenzymartigen Faktors der Hefedi-peptidase. *Biochem. Z.* — W. GRASSMANN, Biochemie der Enzyme. Allg. Teil. In *FLASCHENTRÄGER-HAMMARSTEN*, Lehrbuch der Physiologischen Chemie. — W. GRASSMANN u. F. SCHNEIDER, Aminosäuren und Peptide. In *FLASCHENTRÄGER-HAMMARSTEN*, Lehrbuch der Physiologischen Chemie. — F. MECKE, Die Flächenmessung von Leder. *Arch. f. Techn. Messen.* München-Berlin — Bestimmung des Abnutzungswiderstandes von Leder. *Arch. f. Techn. Messen.* München-Berlin. — J. TRUPKE, Bestimmung der Dichte von Leder. II. Mitt. Bestimmung der wahren Dichte. *Arch. f. Techn. Messen.* München-Berlin — Bestimmung der Dichte von Leder. III. Mitt. Bestimmung der scheinbaren Dichte. *Arch. f. Techn. Messen.* München-Berlin. — W. HAUSAM, Bakteriologie der Haut und des Leders. In W. GRASSMANN, *Handbuch der Gerbereichemie und Lederfabrikation*. Bd. I/1. — Konservierung und Desinfektion der Haut. In W. GRASSMANN, *Handbuch der Gerbereichemie u. Lederfabrikation*. Bd. I/1. — W. GRASSMANN u. W. KUNTARA, Beiträge zur Kenntnis einheimischer Pflanzengerbstoffe. II. Mitt. Die Extraktion von Gerbrinden mittels organischer Lösungsmittel, *Coll.*

Kaiser Wilhelm-Institut für Bastfaserforschung, Sorau.

Direktor: ERNST SCHILLING.

Veröffentlichungen: FR. WALCZYK, Zur Frage der Fasergehaltsuntersuchung bei der Flachs-Züchtung. *Bastfaser* **1**, 41 (1941). — M. LÜDTKE, Über die Rohstoffe der Flockenbastindustrie und ihre Gewinnung. *Melliand Textilber.* **21**, 149 (1940) — Neuzeitliche Aufbereitung von Flachs und Hanf. *Dtsch. Textilwirtsch.* **7**, H. 12 (1940) — Die Stufenröste der Bastfaserpflanzen. *Bastfaser* **1**, 3 (1941). — W. ROHS, Zur Frage des Spinnens von Flachsgarnen auf Ring-spinnmaschinen. *Melliand Textilber.* **21**, 155 (1940) — Über die zweckmäßige Drehung naßgesponnener Leinengarne. *Melliand Textilber.* **21**, 446 (1940) — Über die Gesichtspunkte für die Weiterentwicklung des Maschinenparkes in der deutschen Flachsspinnerei und ihren Stand in bezug auf die Feinspinnmaschinen. *Bastfaser* **1**, 33 (1941) — Zur Frage der Verwendungsmöglichkeit eines Hochverzugs- bzw. Mehrfachstreckwerkes in der Flachs-Naßspinnerei (int. Veröffentlichung) — Prüfung des Fasergehaltes und der Spinnbarkeit der im Deutschen Reiche anerkannten Flachszuchtstämme (Ernte 1939) (int. Veröffentlichung). — H. BICZYNSKO, Über den Zusatz von Weichmachungsmitteln zum Spinnbad beim Flachs-Naßspinnen.

Melliand Textilber. **21**, 508 (1940) — Zur Ermittlung der 10-Bruch-Belastung von Leinengarnen. *Melliand Textilber.* **22**, 7 (1940). — R. KLING, Über den Einfluß von Avivagemitteln auf die Qualität des Flockenbastes. *Melliand Textilber.* **21**, 209 (1940). — W. KIND, Der Aschengehalt der Wäsche. *Wäscherei- u. Plätterei-Ztg* **43**, 193 (1940) — Seifenknappheit und Wäscheschonung. *Wäscherei- u. Plätterei-Ztg* **43**, 540 (1940) — Seifenverluste durch hartes Wasser vermeiden! *Wäscherei- u. Plätterei-Ztg* **44**, 18 (1941) — Zur Beurteilung des Wäscheverschleißes, Wäschereikalender 1941 — Über Arbeitsbedingungen in der Wäscherei und die Durchführung von Waschversuchen. *Melliand Textilber.* **21**, 348 (1940) — Die heutigen Waschkvorschriften. *Bastfaser* **1**, 16 (1941). — W. KIND u. O. OLDENROTH, Das Auftreten von Kalkseife. *Melliand Textilber.* **21**, 585 (1940). — G. SCHEITHAUER, Änderung des Gebrauchswertes von Zellwoll-Wäschegebeben durch Hochveredelung. *Melliand Textilber.* **21**, 169 (1940). — W. WERZMIRZOWSKY, Trocken- oder Naßgespinst bei Leinenwerggarn? *Spinner u. Weber* **58**, H. 51, 5 (1940) — Über eine Steigerung der Witterungsbeständigkeit von Erzeugnissen aus Jute durch Mischung von Grünflachs. *Bastfaser* **1**, 13 (1941). — K. SCHÖNLEBER, Zur Kenntnis der Faserschädigung durch mechanische Einflüsse beim Waschen. *Melliand Textilber.* **21**, 228 (1940).

Im Druck befindliche oder abgeschlossene Arbeiten: E. SCHILLING, Faserpflanzen und Ölerzeugung — Weißblühender Flachs in den Niederlanden. — M. LÜDTKE, Zur Kenntnis der Doppelröste des Flachs: Röstvorgang und Aufarbeitung, Wasser und Stroh — Rösten von Flachs in regeneriertem Röstwasser — Ölpflanzen und Fasergewinnung. — W. ROHS, Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Röstweise und Spinnbarkeit des Flachs. — R. KLING, Pflanzliche Öle und Fette in der Textilindustrie. — W. KIND, Der waschtechnische Wert von Schaum. — W. KIND u. O. OLDENROTH, Das Verhalten von Zellwolle in alkalischen Lösungen. — O. OLDENROTH, Bewertung des Waschvermögens. — FR. DITTMAR, Versuche zur Verbesserung der Waschbeständigkeit von Leinengeweben. — C. SCHEITHAUER, Über die Feuchtigkeitsaufnahme und -abgabe der Leinengarne — Flockenbasthaltige Gewebe, ihre Brauchbarkeit und Verwendungsmöglichkeit — Über die Messung des Weißgehaltes an Geweben. — W. WERZMIRZOWSKY, Über die Schädigung von Geweben durch Lack- und Terpentin-dämpfe. — K. SCHÖNLEBER, Untersuchungen über den zerstörenden Einfluß von Mikroorganismen auf verschiedenartig gelagerte künstliche Fasern — Zerstörungen an Flockenbastfasern durch Bakterien und Pilze. — H. HANDRICK, Über den Gebrauchswert von Seilen aus Grünhanf im Vergleich zu solchen aus Rösthanf. — R. HOFRICHTER, Über die Änderung des Gebrauchswertes von Ski-Tuch durch Mischung von Flockenbast an Stelle von Zellwolle.

Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, Berlin-Dahlem.

Direktoren: FRITZ V. WETTSTEIN, ALFRED KÜHN, MAX HARTMANN.

Auswärtige wissenschaftliche Mitglieder: CURT HERBST, HANS SPEMANN, OTTO MANGOLD.

Wissenschaftliche Gäste: Dr. AGNES BLUHM, Berlin; Dr. T. CASPERSSON, Stockholm; Dr. R. DANNEEL, Königsberg; Dr. L. FÜRST, Berlin; Dr. B. GYÖRFFY, Tihany (Ungarn); K. HAARDT, Berlin; H. HASSINGER, Berlin; Dr. E. LUBNOW, Königsberg; Dr. F. RESENDE, Coimbra (Portugal); Prof. Dr. F. SÜFFERT, Berlin; Dr. R. YOSII, Japan.

Abteilung v. WETTSTEIN.

Veröffentlichungen: A. LANG u. G. MELCHERS, Über den hemmenden Einfluß der Blätter in der photo-periodischen Reaktion der Pflanzen. *Naturwiss.* 29 (1941). — G. MELCHERS u. G. SCHRAMM, Über den Verlauf der Viruskrankheit in anfälligen und resistenten Rassen von *Nicotiana tabacum*. *Naturwiss.* 28 (1940). — G. MELCHERS, G. SCHRAMM, H. TRURNIT u. H. FRIEDRICH-FREKSA, Die biologische, chemische und elektronenmikroskopische Untersuchung eines Mosaikvirus aus Tomaten. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — G. MELCHERS u. A. LANG, Weitere Untersuchungen zur Frage der Blühormone. *Biol. Zbl.* 61 (1941). — K. PIRSCHLE, Über den Mineralstoffwechsel von homo- und heteroplastischen Pfropfungen mit *Petunia D u. d.* *Biol. Zbl.* 59 (1939). — Ist der „d-Stoff“ von *Petunia* artspezifisch. *Biol. Zbl.* 60 (1940) — Mineralstoffwechsel. *Fortschr. Bot.* 9 (1940) — Stoffwechselfysiologische Untersuchungen besonders hinsichtlich des Mineralhaushaltes an *Petunia DD, dd, Dd* und *DDDD*. *Planta (Berl.)* 31 (1940) — Über den Chlorophyllgehalt autopolyploider Pflanzen. *Naturwiss.* 29 (1941). — K. PIRSCHLE u. FR. v. WETTSTEIN, Einige vorläufige Beobachtungen über die Wirkung verschiedener Lichtintensitäten und -qualitäten auf höhere Pflanzen unter konstanten Bedingungen. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — F. RESENDE, Über die Chromosomenstruktur in der Mitose der Wurzelspitzen. II. Sat-Differenzierungen, Spiralbau und Chromonemata. *Chromosoma* 1 (1940) — Über zwei neue *Haworthia*. *Fedde Repert.* 48 (1940) — Kariologische Studien bei den *Aloinae*. III. Die Polyploidie bei der Section *Tessellatae* der Gattung *Haworthia* und die vorhandenen Prioritätsgesetze in der Systematik (Portugiesisch mit deutscher Zusammenfassung). *Bot. soc. Brotreana* 14 Coimbra (1940). — Die Nucleolen bei *Antirrhinum majus* L. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 58 (1940). — J. STRAUB, Die Auslösung von polyploidem *Pisum sativum*. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 58 (1940) — Quantitative und qualitative Verschiedenheiten innerhalb von polyploiden Pflanzenreihen. *Biol. Zbl.* 60 (1940) — Chromosomenmutationen nach UV-Bestrahlung. *Naturwiss.* 29 (1941) — „Zytopogenetik“. *Fortschr. Bot.* 9 (1940). — H. STUBBE, Kritische Bemerkungen zu *Antirrhinum rhinantoides* Lotsy. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — H. STUBBE u. K. PIRSCHLE, Über einen monogen bedingten Fall von Heterosis bei *Antirrhinum majus*. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 58 (1940). — H. STUBBE, gemeinsam mit G. A. KAUSCHE, Zur Frage der Entstehung röntgenstrahleninduzierter Mutationen beim Tabakmosaikvirusprotein. *Naturwiss.* 28 (1940). — FR. v. WETTSTEIN, Entwicklungsphysiologie. *Fortschr. Bot.* 9 (1940) — Experimentelle Untersuchungen zum Artbildungsproblem. II. Zur Frage der Polyploidie als Artbildungsfaktor. *Ber. dtsh. bot. Ges.* 58 (1940). — FR. v. WETTSTEIN u. K. PIRSCHLE, Klimakammern mit konstanten Bedingungen für die Kultur höherer Pflanzen. *Naturwiss.* 28 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: H. J. BORN, A. LANG, G. MELCHERS, G. SCHRAMM, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Versuche zur Markierung von Tabakmosaikvirus mit Radiophosphor. *Naturwiss.* — B. GYÖRFFY, Untersuchungen über den osmotischen Wert polyploider Pflanzen. *Planta (Berl.)* — Chlorophyllanalysen an autopolyploiden Pflanzen. *Biol. Zbl.* — A. BLUHM, Übt die Jahreszeit einen Einfluß auf die Fruchtbarkeit und das Geschlechtsverhältnis der weißen Hausmaus aus? *Roux' Arch.* 1941. — K. PIRSCHLE, Mittelwellige UV-Strahlen als Klimafaktor für Hochgebirgspflanzen. *Naturwiss.* — J. STRAUB, Ergebnisse und Probleme der Polyploidieforschung.

Forsch.dienst — Die Nachkommenschaft des tetraploiden *Antirrhinum majus*, Sippe 50. *Ber. dtsh. bot. Ges.* — H. STUBBE, Die Gene von *Antirrhinum majus*. (Zur Angleichung der *Antirrhinum* Nomenklatur an die Vorschläge der Nomenklaturkommission des VII. Internationalen Genetiker-Kongresses, Edinburgh 1939.) *Z. indukt. Abstammungslehre* 1941 — Pflanzenzüchtung und Mutationsforschung. *Forsch.dienst.* — H. STUBBE u. FR. v. WETTSTEIN, Über die Bearbeitung von Klein- und Großmutationen in der Evolution. *Biol. Zbl.* 61 (1941). — FR. v. WETTSTEIN, Was ist aus der neueren Vererbungsforschung für die Pflanzenzüchtung zu verwerten? *Forsch.dienst* 1941, Sonderh. 14.

Abteilung KÜHN.

Veröffentlichungen: A. BUTENANDT, W. WEIDEL u. E. BECKER, Kynurenin als Augenpigmentbildung auslösendes Agens bei Insekten. *Naturwiss.* 28 (1940) — Oxytryptophan als „Prokynurenin“ in der zur Augenpigmentbildung führenden Reaktionskette bei Insekten. *Naturwiss.* 28 (1940). — G. GOTTSCHESKI, Eine Analyse bestimmter *Drosophila pseudoobscura*-Rassen- und Artkreuzungen. *Z. indukt. Abstammungslehre* 78 (1940). — A. KÜHN, Eine Mutation der Augen- und Körperpigmentierung (dec) bei *Ptychopoda seriata* Schrk. *Z. indukt. Abstammungslehre* 78 (1940) — Zur Entwicklungsphysiologie der Schmetterlings-schuppen. *Biol. Zbl.* 61 (1941). — A. KÜHN u. M. v. ENGELHARDT, Ein das Flügelmuster beeinflussender Letalfaktor bei *Ptychopoda seriata*. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — A. KÜHN u. H. PREPHO, Über die Ausbildung der Schuppen in Hauttransplantaten von Schmetterlingen. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — A. OEHMIG, Zur Frage des Orientierungsmechanismus bei der positiven Phototaxis von Schmetterlingsraupen. *Z. vergl. Physiol.* 27 (1939). — A. SENGÜN, Eine neue Mutation „kurzflügelig“ (kfl.) bei der Mehlmotte *Ephestia kühniella* Zeller. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — V. SCHWARTZ, Prüfung der Wirkung der Mutation dec bei *Ptychopoda* durch Augen-transplantationen. *Naturwiss.* 28 (1940). — E. WAGNER, Über eine die Gonaden beeinflussende Mutation (Or) von *Ptychopoda seriata* Schrk. *Biol. Zbl.* 60 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: G. BERGOLD, Eine Mikroinjektionsspritze und Mikrobürette bis zu 0,1 cmm. *Biol. Zbl.* 61 (1941). — A. KÜHN, Zwei neue Pigmentierungsmutationen (schwarze Raupe und schwarze Inter-costalfelder der Puppe) bei *Ptychopoda seriata* Schrk. *Biol. Zbl.* 61 (1941). — V. SCHWARTZ, Die Wirkung der Mutation dec auf die Abgabe von a⁺-Stoff durch Augengewebe von *Ptychopoda*. *Biol. Zbl.* 61 (1941).

Abteilung HARTMANN.

Veröffentlichungen: M. HARTMANN, Das Wesen und die stofflichen Grundlagen der Sexualität. *Bremer Beitr. z. Naturwiss.* 6 (1940) — Die stofflichen Grundlagen der Befruchtung und Sexualität im Pflanzen- und Tierreich. I. Die Befruchtungsstoffe (Gamone) der Seeigel. *Naturwiss.* 28 (1940). — M. HARTMANN u. G. v. LEWINSKI, Untersuchungen über die Geschlechtsbestimmung und Geschlechtsumwandlung von *Ophryotrocha puerilis*. III. Die stoffliche Natur der vermännlichenden Wirkung „starker“ Weibchen („Eisstoffe“). *Zool. Jb., Abt. allg. Zool. u. Physiol.* 60 (1940). — M. HARTMANN, R. KUHN, O. SCHARTAU u. K. WALLENFELS, Über die Wechselwirkung von Gyno- und Androgamonen bei der Befruchtung der Eier des Seeigels. *Naturwiss.* 28 (1940). — M. HARTMANN, O. SCHARTAU u. K. WALLENFELS, Untersuchungen über die Befruchtungsstoffe der Seeigel. II. *Biol. Zbl.* 60 (1940). — H. BAUER, Über die Chromosomen der bisexualen und der parthenogenetischen

Rasse des Ostracoden. *Heterocypris incongruens* Ramd. Chromosoma 1 (1940) — Chromosomenforschung (Karyologie und Cytogenetik). Fortschr. Zool. N. F. 5 (1941).

Im Druck befindliche Arbeiten: H. BAUER, Röntgenauslösung bei Chromosomenmutationen. II. Chromosoma. — K. PÄTAU, Cytologischer Nachweis einer positiven Interferenz über das Centromer. (Der Paarungskoeffizient I.) Chromosoma.

Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie, Berlin-Dahlem.

Direktor: ADOLF BUTENANDT.

Wissenschaftlicher Gast: Dr. M. OBERDÖRFFER.

Veröffentlichungen: H. FRIEDRICH-FREKSA, Bei der Chromosomenkonjugation wirksame Kräfte und ihre Bedeutung für die identische Verdopplung von Nucleoproteinen. Naturwiss. 28, 376 (1940). — M. OBERDÖRFFER, Über eine Cholesterin-Eiweißverbindung aus Nebenniere; ein Beitrag zur Frage der Saponinvergiftung im Tierkörper. Naturwiss. 28, 379 (1940). — A. BUTENANDT, W. WEIDEL u. E. BECKER, α -Oxytryptophan als „Prokynurenin“ in der zur Augenpigmentbildung führenden Reaktionskette bei Insekten. Naturwiss. 28, 447 (1940). — A. BUTENANDT, Neuere Beiträge der biologischen Chemie zum Krebsproblem. Angew. Chem. 53, 345 (1940). — A. BUTENANDT, H. DANNENBERG u. L. SURANYI, Über das Verhalten von Δ^1 -ungesättigten Steroidketonen bei der Reduktion mit gärender Hefe. Ber. dtsch. chem. Ges. 73, 818 (1940). — U. WESTPHAL, Über das Schicksal des Gelbkörperhormons Progesteron im Organismus. Naturwiss. 28, 465 (1940). — G. MELCHERS u. G. SCHRAMM, Über den Verlauf der Viruskrankheit in anfälligen und resistenten Rassen von *Nicotiana tabacum*. Naturwiss. 28, 476 (1940). — A. BUTENANDT u. L. POSCHMANN, Über die photochemische Umwandlung α , β -ungesättigter Steroidketone unter der Wirkung ultraviolett Lichtes. Ber. dtsch. chem. Ges. 73, 893 (1940). — M. OBERDÖRFFER, Neue Gesichtspunkte zur Bekämpfung der Lepra. Forsch. u. Fortschr. 16, 273 (1940). — A. BUTENANDT, Zur Charakterisierung des oestrogen wirksamen Tokokinins aus *Butea superba*. Naturwiss. 28, 533 (1940). — H. FRIEDRICH-FREKSA, Grenzdosierung, Kombinations- und Spätwirkungen von Methylcholanthren und Benzpyren an der Haut von Mäusen, ein Beitrag zum Wirkungsmechanismus von kanzerogenen Kohlenwasserstoffen. Biol. Zbl. 60, 498 (1940). — G. MELCHERS, G. SCHRAMM, H.-J. TRURNIT u. H. FRIEDRICH-FREKSA, Die biologische, chemische und elektronenmikroskopische Untersuchung eines Mosaikvirus aus Tomaten. Biol. Zbl. 60, 524 (1940). — U. WESTPHAL, Über die gonadotropen Hormone. Erg. Physiol. 43, 421 (1940). — G. SCHRAMM u. H. MÜLLER, Zur Chemie des Tabakmosaikvirus. Über die Einwirkung von Keten und Phenylisocyanat auf das Virusprotein. Z. physiol. Chem. 266, 43 (1940). — A. BUTENANDT, Neuere Beiträge zur Frage nach der Natur der Virusarten. Jb. preuß. Akad. Wiss. 1940, 92. — A. BUTENANDT, Elektronenmikroskopische Untersuchung der Präzipitinreaktion von Tabakmosaikvirus mit Kaninchen-Antiserum. Jb. preuß. Akad. Wiss. 1940, 97. — G. SCHRAMM, Neuere Methoden der präparativen organischen Chemie. 8. Neuere Verfahren zur Reindarstellung von Proteinen. Angew. Chem. 54, 7 (1941). — A. BUTENANDT, Aufgaben und Ziele der Hormonforschung. Pharmaz. Ind. 1941, H. 3. — Untersuchungen über Wirkstoffe aus dem Insektenreich. Angew. Chem. 54, 89 (1941). — M. VON ARDENNE, H. FRIEDRICH-FREKSA u. G. SCHRAMM, Elektronenmikroskopische Untersuchung der Präzipitinreaktion von Tabakmosaikvirus mit Kaninchenantiserum. Arch. ges. Virusforsch. 2, 80 (1941). — G. SCHRAMM, Über

die enzymatische Abspaltung der Nucleinsäure aus dem Tabakmosaikvirus. Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 532 (1941).

**Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung,
Erwin Baur-Institut, Müncheberg (Mark).**

Direktor: WILHELM RUDORF.

Stellvertretender Direktor: BERNHARD HUSFELD.

Ausländische wissenschaftliche Gäste: Dipl.-Landwirt WLADIMIR SPASOJEWIC, Zemun (Jugoslawien); Dipl.-Landwirt Ass. ILIEFF, Landwirtschaftliche Versuchsstation Phylipopolie (Bulgarien); Dipl.-Landwirt ILER WASWASOFF, Sofia (Bulgarien).

Veröffentlichungen: H. BREIDER, Über Pollenfertilität der Rebenarten und ihrer F_1 -Bastarde. (Vorläufige Mitteilung.) Züchter 12, H. 9, 209—212 (1940). — R. FÜRSTAUER, Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Photoperiode, Lichtintensität sowie Temperatur und der Plasmavererbung bei *Epilobium*. Jb. wiss. Bot. 89, H. 3 (1940). — J. HACKBARTH, Dreijährige Ertragsprüfungen mit Tomatenzuchtstämmen aus Kreuzungen mit *Sol. racemigerum*. Gartenbauwiss. 15, 36—47 (1940) — Die Lupinenarten als Ölpflanzen. In ROEMER-RUDORF: Handbuch der Pflanzenzüchtung Bd. 4. Berlin: Paul Parey 1940. (In Zusammenarbeit mit H. J. TROLL.) — W. HERTSCH, Aussichten bei der Züchtung auf Winterfestigkeit. Mitt. Landw. 55, 766—767 (1940). — B. HUSFELD, Zielsetzung und künftige Gestaltung der Forschung im Weinbau und der Weinkellerwirtschaft. Forsch.-dienst 11, H. 2 (1941). Vortrag, gehalten auf der 1. Arbeitstagung der RAG. „Weinbau und Weinkellerwirtschaft“ d. Forschungsdienstes in Freiburg i. Br. vom 15. bis 17. X. 1940 — Genetik und Rebenzüchtung. Agronoma Lusitana 1, II (1939). — R. KAPLAN, Experimentelle und theoretische Untersuchungen über den Mechanismus der Keimungsschädigung durch Röntgenstrahlen beim Pollen von *Antirrhinum majus* L. Biol. Zbl. 60, 298—318. — G. DE LATIN, Neue Acronicta-Formen. Z. Wien. Entomol. 25, 17/18 (1940) — Spontane und induzierte Polyloidie bei Reben. Züchter 12, 225—231 (1940). — H. LEHMANN, Untersuchungen über die Genetik und Physiologie der Resistenz der Kartoffel gegen *Phytophthora infestans* de Bary. I. Die genetische Analyse der Resistenz von *Solanum demissum* sp. (vorl. Mitteilung). Züchter 13, H. 2 (1941). — A. MÄDE, Über den Temperaturgang in Gewächshäusern, Dunkelkästen und Mistbeetanlagen. Ein Beitrag zum Mikroklima gärtnerischer Zuchtanlagen. Gartenbauwiss. 14, 626—641 (1940) — Über den Temperaturverlauf in Beständen. Gartenbauwiss. 15, 312—333 (1940) — Studien über die Ursachen der Frostresistenz. II. Untersuchungen über den Temperaturverlauf beim Gefrieren von Blättern und Vergleichsobjekten. Planta (Berl.) 31, 251—262 (1940). (In Zusammenarbeit mit H. ULLRICH) — Temperaturuntersuchungen an erfrierenden Blättern. Ein Beitrag zur Frage der Frostresistenzforschung in der Pflanzenzüchtung. Umschau 45, H. 3 (1941). (In Zusammenarbeit mit H. ULLRICH.) — P. MICHAELIS, Über reziprok verschiedene Sippen-Bastarde bei *Epilobium hirsutum*. I. Die reziprok verschiedenen Bastarde der *Epilobium hirsutum*-Sippe Jena. II. Über die Konstanz des Plasmons der Sippe Jena. Z. Abstammungslehre 78, 187—237 (1940). III. Über die genischen Grundlagen der im Jena-Plasma auftretenden Hemmungsreihe. Z. Abstammungslehre 1940, H. 3/4, 295—337. — H. PROPACH, Die Centromeren in der Pollenkornmitose von *Tradescantia gig.* Chromosoma (Berl.) 1, 4 (1940). — W. RUDORF, Die Züchtung von Ölpflanzen im In- und Auslande. Fette u. Seifen 47, 289—293 (1940) — Über das Auftreten stark ab-

- geänderter Formen bei Steinklee. Züchter 13, H. 1 (1941). (In Zusammenarbeit mit O. SCHRÖCK.) — H. SCHANDER, Untersuchungen über die Verlagerung des Reaktionsoptimums während der Entwicklung bei *Lupinus luteus*. Ein Beitrag zur Frage nach den optimalen Wachstumsbedingungen für *Lupinus luteus*. Z. Bodenkd u. Pflanzenernährg 20 (65.), H. 3/4 (1941). — P. SCHAPER, Arbeiten und Probleme zur züchterischen Bekämpfung des Kartoffelkäfers. IV. Untersuchungen über das Verhalten von Tomaten gegen den Befall und Fraß des Kartoffelkäfers. Z. Pflanzenzüchtung 23, 454—475 (1940). — W. SCHERZ, Die Mutationen der Rebe, ihre Bedeutung und Auswertung für die Züchtung. Wein u. Rebe 22, H. 4 (1940) — Über somatische Genommutanten der *Vitis vinifera*-Varietät „Moselriesling“. Züchter 12, H. 9, 212—225 (1940) — Zur Züchtung frostresistenter Reben. Dtsch. Weinbau 20, H. 1 (1941) — Über einige Methoden der Pflanzenzüchtung, demonstriert an rebenzüchterischen Beispielen. Zucht u. Sitte 1, H. 1 (1941). — M. SCHMIDT, *Venturia inaequalis* (Cooke) Aderhold. X. Zur Vererbung der morphologischen Merkmale auf künstlichem Substrat und der Aggressivität gegenüber bestimmten Wirten bei Einsporenherkünften des Apfelschorfpilzes. Gartenbauwiss. 15, 118—149 (1940) — Die Züchtung frostwiderstandsfähiger Obstsorten. Dtsch. Landw. Presse 67, 379—381 (1940) — Untersuchungen über den züchterischen Wert von Sämlingen der Kirschkirsche, *Prunus cerasifera* Ehrh. Gartenbauwiss. 15, 247—311 (1940) — Später Laubaustrieb und späte Blüte, ein Zuchtziel beim Apfel. Züchter 12, 281—289 (1940). — O. SCHRÖCK, Über das Auftreten stark abgeänderter Formen bei Steinklee. Züchter 13, H. 1 (1941). (In Zusammenarbeit mit W. RUDORF.) — F. SCHWANITZ, Beiträge zur Züchtung und Genetik selbstfertiler Rüben. I. Erste Ergebnisse von Kreuzungen zwischen selbststeriler *Beta vulgaris* L. und selbstfertiler *Beta maritima* L. Züchter 12, H. 7, 167—178 (1940). — P. SCHWARZE, Die Verwendung der refraktometrischen Fettbestimmung zu Serienuntersuchungen an Zuchtmaterial. (Fettbestimmung in Zuchtmaterial, I. Mitteilung.) Züchter 12, H. 7, 164—167 (1940) und Vorratspflege u. Lebensmittelforsch. 3, 484—488 (1940). — G. STELZNER, Tageslänge, Temperatur und andere Umweltfaktoren in ihrem Einfluß auf die Knollenbildung der Kartoffel. Züchter 12, H. 10, 233—237 (1940). (In Zusammenarbeit mit M. TORKA.) — H. J. TROLL, Vegetationsbeobachtungen an Lupinen in verschiedenen geographischen Breiten. Züchter 12, 129—139 (1940) — Saatzeitversuche mit Zucht- und Landsorten sowie Wildformen von *Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*. Pflanzenbau 16, 403—430 (1940) — Die Lupinenarten als Ölpflanzen. In ROEMER-RUDORF, Handbuch der Pflanzenzüchtung 4. Berlin: Paul Parey 1940. (In Zusammenarbeit mit J. HACKBARTH.) — H. ULLRICH, Studien über die Ursachen der Frostresistenz. II. Untersuchungen über den Temperaturverlauf beim Gefrieren von Blättern und Vergleichsobjekten. Planta (Berl.), Arch. wiss. Bot. 31, H. 2 (1940). (In Zusammenarbeit mit A. MÄDE) — Temperaturuntersuchungen an erfrierenden Blättern. Ein Beitrag zur Frage der Frostresistenzforschung in der Pflanzenzüchtung. Umschau 45, H. 3 (1941). (In Zusammenarbeit mit A. MÄDE.) — W. VON WETTSTEIN, Die Prüfung individueller Verschiedenheiten bei der Kiefer. Dtsch. Forstwirtschaft 22, Nr 25/26, 205 (1940) — Die vegetative Vermehrung von Aspen (*Populus tremula*). Züchter 12, H. 4, 92—95 (1940) — Zur Blütenbiologie von *Pinus silvestris*. Z. Forst- u. Jagdw. 72, H. 12, 404 bis 409 (1940) — Die Züchtung von Birke und Pappel. Umschau 44, H. 47, 741—745 (1940) — Die Vermehrung und Kultur der Pappel. Verlag I. D. Sauerländer, Ffm., 2. Aufl. 1941.
- Veröffentlichungen, die sich im Druck bzw. in Bearbeitung befinden:* AUST, Sofia: Qualitätszüchtung beim Roggen. (In Zusammenarbeit mit H. P. OSSENT.) (Im Druck.) Züchter 13, H. 4 (1941) — Erhöhte Saatgutgewinnung bei Roggen durch vegetative Vermehrung. (Im Druck.) Züchter 13, H. 4 (1941). — R. BAUER, Beiträge zur Auslese frostharter Typen beim Kern- und Steinobst. (Untersuchungen aus der Zweigstelle Südmark des Erwin-Baur-Institutes, Klagenfurt.) Teil I: Die spezifischen Auslesebedingungen im Klagenfurter Becken. (In Zusammenarbeit mit A. MÄDE.) (In Bearbeitung.) Teil II: Langjährige Ergebnisse der Sortenprüfung bei Kern- und Steinobst auf Kälteresistenz. (In Bearbeitung.) Teil III: Der St. Pauler Weinapfel — ein frostharter, vegetativ wurzelecht vermehrbare Stammbildner. (In Bearbeitung) — Beiträge zur Resistenzzüchtung bei *Rubus*. I. Die Erscheinungen des Rutensterbens als Folge von Kälteschäden. II. Das pilzbedingte Rutensterben. III. Langjährige Sortimentsbeobachtungen bei *Rubus* zur Gewinnung frost- und pilzfester Zuchtsorten. (In Bearbeitung.) (In Zusammenarbeit mit F. GRUBER) — Beiträge zur Resistenzzüchtung bei *Ribes*. I. Langjährige Spezies- und Sortimentsbeobachtungen bei *Ribes* zur Gewinnung mehlaufester Züchtungsgrundlagen. (In Zusammenarbeit mit F. GRUBER.) (In Bearbeitung.) — II. Langjährige Spezies- und Sortimentsbeobachtungen bei *Ribes* zur Gewinnung blattbefallfester Züchtungsgrundlagen. (In Zusammenarbeit mit F. GRUBER.) (In Bearbeitung.) — H. BREIDER, Untersuchungen über Vererbung und Widerstandsfähigkeit gegen die Reblaus. (*Phylloxera vastatrix* Planch.) (Fortsetzung) — Analyse von Resistenzmerkmalen, die gegen alle Biotypen der Reblaus wirksam sind — Cytologische und physiologische Untersuchungen an Reblausgallen. (Gemeinsam mit Dr. DE LATTIN.) — Biologie, Histologie und Entwicklungsgeschichte der Reblaus — Genetische Untersuchungen der Variationsbreite von Rebensämlingen (Riesling, Sylvaner, Müller Thurgau, V. Rupestris und V. Riparia) — Untersuchungen zur Geschlechtsbestimmungsanalyse bei lebendgebärenden Zahnkarpfen — Weitere Untersuchungen zur Vererbung von Melanosarkomen — Analyse von Artmerkmalen geographisch vikariierender Arten — Fischfang und Fischzucht. Jagdkunde. Landwirtschaftliche Zoologie-Im Handbuch für Biologie. — H. BRÜCHER, Über die reziprok verschiedenen Art- und Rassenkreuzungen von *Epilobium* und ihre Ursachen. III. Teil. (In Vorbereitung.) — W. EIFFERT †, Fertiggestellte Arbeiten: Zur Fortpflanzungs- und Verbreitungsbiologie des Rotbrennerregers (*Pseudopeziza tracheiphila* Müller-Thurgau) — Begründung und Aussichten der Resistenzprüfung von Reben gegenüber dem Roten Brenner — Zur Variabilität des Rotbrennerpilzes (*Pseudopeziza tracheiphila* Müller-Thurgau) — Entwicklung und heutiger Stand der Ampelographie. — H. ERNST, Beobachtungen über Änderungen der photoperiodischen Reaktion nach Polyploidisierung bei *Antirrhinum majus* Sippe 50. (In Vorbereitung) — Reduktionsleistung und Fertilitätsverhältnisse bei tetraploiden Wildspezies-Bastarden von *Antirrhinum*. (In Vorbereitung) — Haploide Pflanzen von *Antirrhinum majus* S 50. II. Die F₁ aus Rückkreuzung mit der diploiden Elternform. (In Vorbereitung.) — F. GRUBER, Weitere Beiträge zur Vererbung der Selbst-

sterilität und Selbstfertilität bei *Antirrhinum* — Beiträge zur Resistenzzüchtung bei *Rubus*. III. Langjährige Sortimentsbeobachtungen bei *Rubus* zur Gewinnung frost- und pilzfester Zuchtsorten. (In Zusammenarbeit mit R. BAUER.) (In Bearbeitung) — Beiträge zur Resistenzzüchtung bei *Ribes*. I. Langjährige Spezies- und Sortimentsbeobachtungen bei *Ribes* zur Gewinnung mehltaufester Züchtungsgrundlagen. (In Zusammenarbeit mit R. BAUER.) (In Bearbeitung) — II. Langjährige Spezies- und Sortimentsbeobachtungen bei *Ribes* zur Gewinnung blattbefallfester Züchtungsgrundlagen. (In Zusammenarbeit mit R. BAUER.) (In Bearbeitung.) — J. HACKBARTH, Fragen der Vererbung, insbesondere der Kopplung bei *Lupinus luteus*. Züchter 13, H. 2 (1941) (Im Druck) — Ein neuer Zuchtstamm von gelben Süßlupinen mit schneller Jugendentwicklung. Züchter 13, H. 3 (1941). (Im Druck) — Fragen des Anbaues und der Züchtung von Ölpflanzen in Deutschland. Phosphorsäure 10 (1941). (Im Druck) — Untersuchungen an dem *Antirrhinum*-Wildsippensortiment von E. BAUR. I. Das Wildsippensortiment und die von E. Baur durchgeführten Kreuzungen. Z. induct. Abstammungslehre 1941. (In Zusammenarbeit mit P. MICHAELIS u. G. SCHELLER.) (Im Druck) — Untersuchungen an dem *Antirrhinum*-Wildsippensortiment von E. Baur. II. Das Verhalten der liv-deci Kopplungsgruppe bei Kreuzungen mit den Wildsippensorten des Müncheberger Sortimentes. (In Bearbeitung.) Z. induct. Abstammungslehre 1941. (In Zusammenarbeit mit P. MICHAELIS u. G. SCHELLER.) (Im Druck) — Über die Zahl der Gene für Alkaloidfreiheit bei *Lupinus luteus*. Züchter 13, H. 3 (1941). (Im Druck.) (In Zusammenarbeit mit H. J. TROLL) — Zur Kenntnis der züchterischen Bedeutung iberischer Wildformen von *Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*. Z. Züchtung (A), Pflanzenzüchtg 23 (1940). (Im Druck.) (In Zusammenarbeit mit M. KLINKOWSKI). — W. HENNING, Morphologisch-systematische und genetische Untersuchungen an Arten und Artbastarden der Gattung *Malus*. — W. HERTZSCH, Die Züchtung der Gräser. *Phalaris*, *Phleum*, *Poa fertilis*, *Festuca pratensis*, *Dactylis*. ROEMER-RUDORF, Handbuch der Pflanzenzüchtung. 3. Berlin: P. Parey. (In Bearbeitung.) — W. HOFFMANN, Hanf (*Cannabis sativa*). ROEMER-RUDORF, Handbuch der Pflanzenzüchtung. Berlin: P. Parey. (In Bearbeitung) — Koppelungsuntersuchungen bei *Antirrhinum*-Artbastarden. — B. HUSFELD, Gedanken zur Resistenzzüchtung. Vortrag, gehalten auf d. Internat. Tagung für Weinbau in Bad Kreuznach 1939. (Im Druck) — Grundsätzliches zur Klonenzüchtung. (Im Druck) — Zur Züchtung gegen *Uncinula necator* widerstandsfähiger Reben. — E. KAPLAN, Versuche über die Beeinflussung der Häufigkeit röntgen-induzierter Mutationen und anderer Röntgenwirkungen bei *Antirrhinum majus* durch Veränderung des Quellungsstandes der Samen. Vor der Fertigstellung. (In Zusammenarbeit mit E. KNAPP.) — E. KNAPP, Die Bezeichnung der „Gene“ von *Antirrhinum majus*, nebst Bemerkungen zur genetischen Nomenklatur und Begriffsbildung. (Im Druck) — Züchtung durch Mutationsauslösung. ROEMER-RUDORF, Handbuch der Pflanzenzüchtung. Berlin: P. Parey. (Im Druck) — Versuche über die Beeinflussung der Häufigkeit röntgen-induzierter Mutationen und anderer Röntgenwirkung bei *Antirrhinum majus* durch Veränderung des Quellungsstandes der Samen. (Vor der Fertigstellung.) (In Zusammenarbeit mit R. KAPLAN.) — A. KAUTZSCH, Versuche zur künstlichen Erzeugung von Polyploidie beim Beerenobst,

im besonderen bei Erdbeeren. (In Bearbeitung) — Versuche zur Fruchtbarmachung steriler Artbastarde durch Polyploidisierung. (In Bearbeitung.) — G. DE LATIN, Über die Abstammung der Rebe. (Im Druck) — Untersuchungen über experimentelle Erzeugung von Polyploidie bei *Vitis* — Cytologisch-genetische Untersuchungen an polyploiden *Vitis*-Arten — Über die Höhlentiere und ihre Entstehung. (Im Druck) — Eine neue Rasse von *Parnassius apollo* L. aus Anatolien (Pep. Pap.). (Im Druck) — Untersuchungen über das Kavernicolenproblem mit besonderer Berücksichtigung der Isopoden — Untersuchungen über Amphogenie und Monogenie bei *Cylisticus* (Crust. Isop.) — Entwicklungsphysiologische Untersuchungen über Isopodenaugen. — A. MÄDE, Beiträge zur Auslese frostharter Typen beim Kern- und Steinobst. (Untersuchungen aus der Zweigstelle Südmark des Erwin Baur-Institutes, Klagenfurt). Teil I: Die spezifischen Auslesebedingungen im Klagenfurter Becken. (In Zusammenarbeit mit R. BAUER.) (In Bearbeitung.) — P. MICHAELIS, Untersuchungen am *Antirrhinum*-Wildsippensortiment von E. BAUR. III. Über reziproke Unterschiede bei *Antirrhinum*-Kreuzungen. (In Vorbereitung) — Über die Bedeutung der Genquantität für die Manifestation reziproker Unterschiede. — H. P. OSSENT, Qualitätszüchtung beim Roggen. Züchter 14, H. 4 (1941). (Im Druck.) (In Zusammenarbeit mit S. AUST.) — K. VON ROSENSTIEL, Weizenzüchtung. (In Vorbereitung.) (In Zusammenarbeit mit ÅKERMANN u. ISENBECK) — Die Gersten der Abessinienexpeditionen. (In Zusammenarbeit mit W. HOFFMANN.) — H. ROSS, Über die unterschiedliche Aktivität des oxydativen Abbaues in reziproken *Epilobium*-Bastarden. Teil I. — W. RUDORF, Entwicklungsphysiologische Untersuchungen. Erscheint i. Forsch.dienst. (Im Druck) — Die Züchtung kleeartiger Feldfutterpflanzen. In ROEMER-RUDORF, Handbuch der Pflanzenzüchtung 3. Berlin: P. Parey. (Im Druck) — Neuere Beobachtungen über Photoperiodismus. Erscheint i. Z. Züchtg. (Im Druck.) (In Zusammenarbeit mit O. SCHRÖCK) — Die Bedeutung des entwicklungsphysiologischen Zustandes für die Kälteresistenz. (In Bearbeitung) — Die Erzeugung polyploider und amphidiploider Formen bei *Melilotus*, *Medicago* und *Brassica*. (In Bearbeitung.) — W. SCHERZ, Weitere Untersuchungen über die Mutationen bei *Vitis*, insbesondere über polyploide Formen, sowie züchterische Auswertung der Mutanten — Untersuchungen zur Züchtung frostresistenter Weinreben — Weitere Untersuchungen über die Befruchtungsverhältnisse hermaphroditer Weinreben — Reziproke Unterschiede bei *Vitis*-Kreuzungen — Die Variation von Rebensämlingspopulationen hinsichtlich der Bewurzelung — Untersuchungen an Rebensämlingen in jüngsten Stadien unter besonderer Berücksichtigung der Bedeutung des Aufspaltungsbildes für die Ampelographie und die Züchtung — Weitere Mitteilungen über die photoperiodische Reaktion der Weinrebe. — M. SCHMIDT, Untersuchungen über die Biologie von *Venturia inaequalis* in Zusammenhang mit der Züchtung schorfwiderstandsfähiger Apfelsorten. Forsch. f. Volk u. Nahrungsfreiheit) — Beiträge zur Züchtung frostwiderstandsfähiger Obstsorten — Genetische und befruchtungsbiologische Untersuchungen an Kirschsämlingen, insbesondere an Kreuzungen zwischen Süß- und Sauerkirschen — Genetische und züchterische Studien in der Gattung *Malus* — Auslese und Züchtung als Triebkräfte der Entwicklung der Lebewesen, insbesondere unserer Nutzpflanzen. (In einer vom Thür. Landesamt für Rassewesen herausgegebenen Sammelbroschüre) —

Johann Gregor Mendel, der Begründer der Vererbungswissenschaft. Hugo de Vries — Carl Erich Correns — Erwin Baur. In: Bahnbrecher lebensgesetzlichen Denkens — Die Beziehungen zwischen Kernzahl, Fruchtgewicht, Fruchtgröße und Wüchsigkeit der Sämlingsnachkommen bei verschiedenen diploiden und triploiden Apfelsorten. (In Zusammenarbeit mit C. F. RUDLOFF, Geisenheim) — Grundriß der Züchtungskunde für Gärtner. Grundlagen und Fortschritte im Garten- und Weinbau, hrsg. v. C. F. RUDLOFF. (In Zusammenarbeit mit W. HERBST, Geisenheim.) — O. SCHRÖCK, Die Züchtung alkaloidarmen Geißklee (*Galega officinalis*) — Untersuchungen über die Leistung polyploider Formen bei *Melilotus* und *Medicago*. — F. SCHWANITZ, Eine somatische Mutation an der Rübenwurzel. — P. SCHWARZE, Fettbestimmung in Zuchtmaterial. II. Mitt. — G. STELZNER, Untersuchungen über die Virusresistenz der Kartoffel. (In Bearbeitung.) — H. J. TROLL, Saatzeit und Nutzungsform bei gelben und blauen Süßlupinen. Mitt. Landw. 1941. (Im Druck) — Über die Zahl der Gene für Alkaloidfreiheit bei *Lupinus luteus*. Züchter 13, H. 3 (1941). (Im Druck.) (In Zusammenarbeit mit J. HACKBARTH.) — H. ULLRICH, Beziehungen zwischen Struktur und Frostresistenz bei Pflanzen. Forsch. f. Volk- u. Nahrungsfreiheit. (Im Druck) — Versuche zur Verhinderung des Etiollements mit Osram-HNR-Licht bei niedriger Lichtintensität. (In Abfassung) — Zur Analyse des photoperiodischen Wirkungsspektrums bei *Isaria*-Gerste. — W. VON WETTSTEIN, Wuchsteigerung durch Kombinationszüchtung und Chromosomenvermehrung. Forstarch.

**Kaiser Wilhelm-Institut für Tierzuchtforchung,
Rostock-Dummerstorf.**

Komm. Direktor: JONAS SCHMIDT.

Veröffentlichungen: LÖWE, Die mecklenburgische Kaltblut-Hengstkörung 1940. Wbl. Landesbauernsch. 1940, Nr 48 — Die Hengsttage in Magdeburg. Wbl. Landesbauernsch. Sachsen-Anhalt 1940, H. 51 — Die Körung der Kaltbluthengste in Güstrow 1940. Z. dtsh. Kaltblut 14, H. 2 (1941) — Hengstkörung und -prämiierung in Magdeburg 1940. Dtsch. landw. Tierzucht 45, H. 4 (1941) — Die Vererbungsforschung als Grundlage der Züchtung. (Im Druck) — Der Fettgehalt der Milch als Problem der Tierzucht. (Im Druck) — Skelett als Grundlage von Körperform und Leistung beim Schwein. (Im Druck.)

Deutsches Entomologisches Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Berlin-Dahlem.

Komm. Direktor: HANS SACHTLEBEN.

Veröffentlichungen: L. BENICK, Zwei neue Staphyliniden aus dem tropischen Amerika. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 328—332 (1940). — M. BERNHAUER, Neue Staphyliniden aus Costa Rica. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 158—161 (1940). — F. BORCHMANN, Alleculidae aus dem Deutschen Entomologischen Institut. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 154—158 (1940). — W. D. FUNKHOUSER, Three new manchurian Membracidae. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 144 bis 146 (1940). — W. HENNIG, Kritische Übersicht über die verwandtschaftliche Stellung der bisher als „Phytalmiidae“ zusammengefaßten Gattungen. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 58—64 (1940) — Über die systematische Stellung von *Palaeotimia hoesti* Meun. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 89—91 (1940) — Orientalische Bibioniden im Deutschen Entomologischen Institut. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 251—255 (1940) — Außereuropäische Psiliden und Platystomiden im Deutschen Entomologischen Institut. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 304—318 (1940) — Verzeichnis der

Dipteren von Formosa. Entomol. Beih. 8 (1941). — M. HERING, Neue alt- und neuweltliche Bohrfliegen. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 50—57 (1940). — E. M. HERING, Neue Acalypraten aus Mandschukuo. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 288—295 (1940) — Über die Unterschiede zwischen *Titanio schrankiana* (Hochw.) und *T. phrygialis* (Hbn.), mit Beschreibung von *T. phrygialis kardakoffi* n. subsp. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 318—321 (1940). — W. HORN †, 96 Zeichnungen von Dromicae. Hrsg. von HANS JOHN. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 269—276 (1940). — M. T. JAMES, Two new neotropical Stratiomyidae. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 120—122 (1940). — H. JOHN, Eine neue Species von *Holophygus* Sharp. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 71—75 (1940) — *Cephalophanus* n. gen. Entomol. Bl. 36, 82—85 (1940) — Zwei neue Arten der Gattung *Parmaschema* Heller. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 149—153 (1940) — *Discozenia* und *Cassidoloma* Kolbe, zwei wenig bekannte Genera der *Notiophygidae* aus Afrika, nebst Beschreibungen neuer Arten. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 257—269 (1940). — O. KARL, Eine neue Muscide (Anthomyiide) aus Formosa. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 147 (1940). — R. KORSCHESKY, Über *Coccinellidae* von Erythrea. Redia 26, 71—72 (1940) — Verzeichnis der Sammelindices von Zeitschriften mit mehr oder weniger entomologischem Inhalt. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 209—225 (1940). — H. LIPP, 3. Beitrag zur Cerambycidenfauna von Bellinghen (Oder). Märk. Tierwelt 4, 217—224 (1940). — H. v. OETTINGEN, Versuche zur Verhinderung von Schimmelbildung bei der Bearbeitung trockener Insekten. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 67—71 (1940) — Über einige Versuche zur Verbesserung wasserhaltiger Einschlußmittel für mikroskopische Präparate. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 162—169 (1940). — E. OTTEN, Gezogene Chalcididen und ihre Wirte. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 177—202 (1940) — Phasiinen als Entoparasiten, im besonderen von *Sciocoris cursitans* F. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 321—328 (1940). — R. ROESLER, Neue Copeognathen. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 236—244 (1940). — H. SACHTLEBEN, *Antheraea pernyi*-Puppen als Nahrungsmittel. Arb. phys.-angew. Entomol. 7, 171 (1940). — K. E. SCHEDL, *Scolytidae* und *Platypodidae*. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 203—208 (1940). — H. SCHMITZ, Ein neuer *Aenigmatistes* aus Transvaal. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 65—67 (1940). — G. SZELÉNYI, Ein Beitrag zur Kenntnis parasitischer Hymenopteren an Hand einiger Zuchtergebnisse. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 226—236 (1940). — R. TAKAHASHI, A new species of *Aleyrodidae* from Jugoslavia. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 148—149 (1940) — *Coccidae*. Entomologische Sammelergebnisse der Deutschen Hindukusch-Expedition 1935 der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 153 (1940). — E. UHMANN, Hispinen des Deutschen Entomologischen Instituts, Berlin-Dahlem. IV. Teil. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 113—120 (1940). — E. VOSS, Über neue und wenig bekannte Rübler-Arten aus der neotropischen Region, vorwiegend aus Brasilien. (Schluß.) Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 1—16 (1940) — Eine *Ulomascus*- und eine *Psepholax*-Art aus dem Deutschen Entomologischen Institut. Arb. morph.-taxon. Entomol. 7, 332—335 (1940).

Hydrobiologische Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Plön (Holstein).

Direktor: AUGUST THIENEMANN.

Wissenschaftliches Mitglied: FRIEDRICH LENZ.

Veröffentlichungen: F. GEYER, Der ungarische Hunds-fisch (*Umbra lacustris* Grossinger). *Z. Morph. u. Ökol. Tiere* 36, 745–811 — Abnorme Seitenlinien von Fischen. *Z. Fischerei* 38, 221–253. — E. KANN, Ökologische Untersuchungen an Litoralalgen ostholsteinischer Seen. *Arch. f. Hydrobiol.* 37, 177–269 — Cyanophyceenkrusten aus einem Teich bei Abisko. *Arch. f. Hydrobiol.* 37, 495–503 — Krustensteine in Seen. Eine vergleichende Übersicht. *Arch. f. Hydrobiol.* 37, 504–532. — R. KREUZER, Limnologisch-ökologische Untersuchungen an holsteinischen Kleingewässern. *Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd.* 10, 359 bis 572. — K. LASKAR u. K. STRENZKE, Eisschub an Ufern norddeutscher Seen und seine Wirkung. *Natur u. Volk* 71, 63–70. — FR. LENZ, Bericht über den Verlauf der 9. Mitgliederversammlung der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie vom 4. bis 16. VIII. 1939 in Schweden. *Verh. int. Ver. f. theor. u. angew. Limnol.* 9, 1–34 — Die Metamorphose der Chironomidengattung *Cryptochironomus*. *Zool. Anz.* 133, 29–41 — (mit GOETGHEBUER), Tendipedidae—Podonominae. In: E. LINDNER, Die Fliegen der palaeartischen Region. 13e — (mit GOETGHEBUER), Tendipedidae—Corynoneurinae. In: E. LINDNER, Die Fliegen der palaeartischen Region. 13f — (mit GOETGHEBUER), Tendipedidae—Diamesinae. In: E. LINDNER, Die Fliegen der palaeartischen Region. 13d. — W. OHLE, Allgemeiner Jahresbericht 1939 des Arbeitskreises „Stoffhaushalt der Gewässer“. *Forsch.dienst* 9, 478–486 — Chemische Eigenart der småländischen Seen. *Verh. int. Ver. f. theor. u. angew. Limnol.* 9, 145–159 — Über den Kaliumgehalt der Binnengewässer. *Jb. „Vom Wasser“* 14, 158–174. — H. ROLL, Weitere Waldquellen Holsteins und ihre Pflanzengesellschaften. *Arch. f. Hydrobiol.* 36, 424 bis 465 — Die Bedeutung Alexander v. Humboldts für die Pflanzengeographie. *Fedde, Rep. Beih.* 121, 14–20 — Holsteinische Tümpel und ihre Pflanzengesellschaften. *Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd.* 10, 573–630 — Pflanzenkunde im Plöner Seengebiet und die Beteiligung der Hydrobiologischen Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft an der Pflanzenforschung. *Nordelbingen* 16, 301–324 — Quellvegetation und Pflanzensoziologie. *Forsch. u. Fortschr.* 17, 102–103. — K. STRENZKE, Terrestrische Chironomiden V. *Campptocladus stercorarius* De Geer. *Zool. Anz.* 132, 115–123. — A. THIENEMANN, Ansprachen auf dem 9. Internationalen Limnologen-Kongreß. *Verh. int. Ver. f. theor. u. angew. Limnol.* 9, 3–4, 10–11, 13–15, 24–26 — Lebenskreislauf im Binnensee. Die Limnologie, eine Brücke zur Ganzheitsforschung. *Das Reich* Nr 19, 22 — Unser Bild der lebenden Natur. 90. u. 91. Jb. naturhist. Ges. Hannover 27–51 — (mit STRENZKE), Terrestrische Chironomiden III–IV: Zwei parthenogenetische Formen. *Zool. Anz.* 132, 24–40 — Die begriffliche Unterscheidung zwischen See, Weiher, Teich. *Rheinische Heimatpflege* H. 1/2, 6–9 — Die Hydrobiologische Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Plön. *Festschr. zum 275. jährl. Bestehen der Christian-Albrechts-Universität Kiel* 381–385 — (mit STRENZKE), Terrestrische Chironomiden VI. *Pseudosmittia holsata*, eine neue Art mit fakultativer Parthenogenese. *Zool. Anz.* 132, 238–244 — Lappländische Chironomiden und ihre Wohngewässer. (Ergebnisse von Untersuchungen im Abiskogebiet in Schwedisch-Lappland). *Arch. f. Hydrobiol., Suppl.-Bd.* 17, 1–253 — (mit STRENZKE), Terrestrische Chironomiden VII. Die Gattung *Paraphaenocladus* Th. *Zool. Anz.* 133, 137–146 — (mit F. PAGAST u. F. KRÜGER), Terrestrische Chironomiden VIII. *Metriocnemus fus-*

cipes Mg. und *Metriocnemus terrester* n. sp. *Pagast. Zool. Anz.* 133.

Im Druck befindliche Arbeiten: E. KANN, Über ein neues Vorkommen von *Chantransia incrustans* (Hansgirg) in Ostholstein. — F. KRÜGER, Parthenogenetische *Stylotanytarsus*larven als Bewohner einer Trinkwasserleitung. — FR. LENZ, Die Jugendstadien der *Sectio Chironomariae connectenses* — Das Atemorgan der Chironomidenpuppen. — H. ROLL, Ziele und Wege der Potamobotanik — Die Vegetation einer Insel im Gr. Plöner See — Neues Studium am Phalaridetum *arundinaceae*. — K. STRENZKE, Norddeutsche Proturen. — A. THIENEMANN, Die Bedeutung der Limnologie für die allgemeine Biologie und die Fischerei — Walter Voigt und die Anfänge der Limnologie im Rheinland — Leben und Umwelt — Die Stechmückenplage in der Arktis, ein ökologisches Problem — (mit GOETGHEBUER), *Neozavrelia luteola* n. g. n. sp. — (mit STRENZKE), Terrestrische Chironomiden. IX. *Euphaenocladus* — Chironomiden-Metamorphosen. XVIII — Vom Wesen der Ökologie. — H. UTERMÖHL, Flagellaten-Studien. I. *Volvocales* — Über die Bestimmung der Sink- und Auftriebsgeschwindigkeit mikroskopisch kleiner Körper in Flüssigkeiten mit dem Umgekehrten Mikroskop.

Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Langenargen a. Bodensee.

Komm. Leiter: HANS-JOACHIM ELSTER.

Veröffentlichungen: W. EINSELE, Physikalisch-chemische Betrachtung einiger Probleme des limnischen Mangan- und Eisenkreislaufs. (*Verh. int. Ver. f. theor. u. angew. Limnol. Paris*, 5. III. 1937. — H. J. ELSTER, Aufgaben der Binnenfischerei im Kriege. *Umschau* 44 — Einiges über die Erzielung von Höchst-erträgen in der Seenfischerei. *Fischerei-Ztg* 43 — Einige Beiträge zur Klusgarnfrage am Bodensee. *Allg. Fischerei-Ztg* 65 — Einige Betrachtungen zur Fischerei-statistik des Bodensees. *Allg. Fischerei-Ztg* 66. — F. KRIEGSMANN, Blaufelchenuntersuchungen am Bodensee im Jahre 1939. *Allg. Fischerei-Ztg* 65. — W. NÜMANN, Untersuchungen über die Biologie einiger Bodenseefische in der Uferregion und den Randgebieten des freien Sees. *Z. Fischerei* 37.

Im Druck befindliche Arbeiten: W. EINSELE, Untersuchungen über den chemischen Kreislauf des Schleimsees. *Z. Fischerei*. — H. J. ELSTER, Die Blaufelchen-Fischerei im Bodensee. Der Fang mit dem Klusgarn. Hochschulfilm der Reichsanstalt f. Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht. — H. J. ELSTER u. W. KÜHL, Die Blaufelchen-Fischerei im Bodensee. Der Fang mit dem Schwebesatz und Embryonal-Entwicklung des Blaufelchens. Hochschulfilm der Reichsanstalt f. Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht. — J. GRIM, Phytoplankton und Düngung in Seen und Teichen. *Allg. Fischerei-Ztg.* — W. NÜMANN, Weitere Versuche zur Klusgarnfrage im Bodensee. *Allg. Fischerei-Ztg.*

Biologische Station Lunz der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft (Kupelwiesersche Stiftung), Lunz am See, Niederdonau.

Direktor: FRANZ RUTNER.

Veröffentlichungen: V. BREHM, Notiz zum Bau der Greifantenne des *Diaptomus piscinae* Forbes. *Zool. Anz.* 1940, 132 — Streifzüge mit dem Moosieb. *Mikrokosmos* 33 (1940). — K. EIBL, Studien über das Protoplasmaverhalten der Desmidiaceen-Chromatophoren. *Protoplasma* (Berl.) 33 (1939). — L. GEITLER, Temperaturbedingte Ausbildung von Spezialsegmenten an Chromatophorenden. *Chromosoma* Abt. B 1 (1940)

— Über eine Struktureigentümlichkeit der Raphe und über das Plasmoptyseverhalten der Diatomeen. Ber. deutsch. bot. Ges. 59 (1941). — W. KÜHNELT, Standortstetigkeit und Formgliederung bei einigen Landtieren der Ostalpen. Verh. dtsh. zool. Ges. 1939. — LEITINGER-MICOLETZKY, E. Die Tiersukzession auf Fichtenschlägen. Zool. Jb., Abt. System., Ökol. u. Geogr. 73 (1940). — E. MERKER, Der Lichtschutz im belebten Wasser. Internat. Rev. d. Hydrobiol. 40 (1940) — Lichtgefahr und Tierwelt. Biologe 9 (1940). — E. MERKER u. FR. STAUDER, Der Lichtschutz in Gemischen von Salzlösungen. Naturwiss. 28 (1940). — F. PETRAK, Beiträge zur Kenntnis der Pilzflora der Umgebung von Lunz am See und des Dürrensteins in Niederdonau. Ann. Mycologici 38 (1940). — F. RUTTNER, Hans Kupelwieser †. Verh. internat. Ver. f. theoret. u. angew. Limnol. 9 (1940). — F. SAUBERER u. F. RUTTNER, Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. Leipzig 1941. — A. v. SZILVINYI, Mikrobiologische Untersuchungen im Lunzer Gebiet. Tl. III: Die Schimmelpilzflora. Zbl. Bakter. II. Abt. 103 (1941). — L. TSCHERMAK, Beitrag zur Entwicklungsgeschichte und Morphologie der Protococcale Trochiscia granulata. Österr. bot. Z. 90, (1941).

Deutsch-Italienisches Institut für Meeresbiologie zu Rovigno d'Istria.

Direktoren: JOACHIM HÄMMERLING u. MASSIMO SELLA.
Wissenschaftliches Mitglied: ADOLF STEUER.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: THILO KRUMBACH, Berlin.

Wissenschaftliche Gäste: DR. BETH, Hamburg; Prof. LEPESCHKIN, Wien; DR. SCACCINI, Bologna.

Veröffentlichungen: N. BARIGOZZI, Relazione fra numero cromosomico e grandezza nucleare in Artemia salina Leach. Scienza Genetica 2, 1 (1940). — N. BENACCHIO, Flora di Rovigno d'Istria. Thalassia 4, 4 (1939). — P. FAUVEL, Annélides polychètes de la Haute Adriatique. Thalassia 4, 1 (1940). — A. FIORENCIS, I caprellidi del mare adriatico presso Rovigno. Thalassia 4, 6 (1940). — J. HÄMMERLING, Fortpflanzung im Tier- und Pflanzenreich. Sammlung Götschen 1940, Nr 1138 — Transplantationsversuche zwischen Acetabularia mediterranea und crenulata. Not. Ist. Biol. Rovigno 2, 18 (1940). — C. HERBST, Untersuchungen zur Bestimmung des Geschlechts. IX. Mitt. Der Einfluß des Glycerins auf die Geschlechtsbestimmung bei Bonellia. Roux' Arch. 139, 282—302 (1939). — C. HERBST, Untersuchungen zur Bestimmung des Geschlechts. X. Mitt. Über Bonellia weibchen mit spaltförmiger Leibeshöhle und ihre Bedeutung für meine Hydratationstheorie der Geschlechtsbestimmung. Roux' Arch. 140, 252 (1940). — E. KAMPTNER, Über die Coccolithineen der Südwestküste von Istrien. 2. Ber. Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-Naturwiss. Kl., Abt. I, 148, H. 3/4 (1939). — G. VON KOLOSVARY, Beiträge zur Kenntnis der Tierassoziationen von Mytilus galloprovincialis LAM. in der Adria. Zool. Anz. 131, 205—208 (1940) — Eine neue Form von Lycosa entzi Chyzer. Zool. Anz. 132, 146 (1940). — G. KRAMER, Über das „Concolor“-Merkmal (Fehlen der Zeichnung) bei Eidechsen und seine Vererbung. Biol. Zbl. 61, H. 1/2 (1941). — W. v. LEPESCHKIN, Ultrarote Strahlen im Dienste der Erforschung des molekularen Baues des Protoplasmas. III. Anteil des Tyndall- und Plotnikow-Effekts an der Streuung lebender und toter Zellen usw. Protoplasma (Berl.) 35, 95 (1940) — Über die Resistenz des Protoplasmas der Echinodermen-Eier gegen mechanische Eingriffe, seine Fluideigenschaften und die sog. „surface precipitation reaction“. Protoplasma (Berl.) 35, 364

(1940). — S. MORGANTE, I bromboli delle coste Istriane. Not. Ist. Biol. Rovigno 2, 16 (1940). — W. NÜMANN, Untersuchungen über die Biologie einiger Bodenseefische aus der Uferregion und den Randgebieten des freien Sees. Z. Fischerei 37, 637—688 (1940) — Der Einfluß verschiedener Faktoren auf den Verlauf der Nitritreaktion nach GRIESS-ILOSVAY. Not. Ist. Biol. Rovigno 2, 14 (1940). — F. ROCH, Die Tereidiniden des Mittelmeeres. Thalassia 4, 3 (1940). — B. SCHUSSNIG, Über einige neue Protophyten aus der Adria. Arch. Protistenkunde 93, H. 3 (1940). — M. E. A. SELLA, L'industria del Trepang. Thalassia 4, 5 (1940). — A. STEUER, Über eine neue Ectinosoma-Art (Copepoda Harpacticoida) aus dem Mittelmeer. Zool. Anz. 132, 124 (1940). — Über einige Copepoda cyclopoida der mediterranen Amphioxussande. Not. Ist. Biol. Rovigno 2, 17 (1940). — G. STIASNY, Über Drymonema dalmatina HAECKEL. Zool. Jb., Abt. Anat. u. Ontog. 66, H. 3 (1940). — M. TIRELLI, Bottoni di senso e papille sui due lati del capo di una solea solea L. albina. Internat. Rev. d. Hydrobiol. 39, 537 (1940). — A. VATOVA, Le zocosenosi della laguna Veneta. Thalassia 3, 10 (1940) — Distribuzione geografica delle alghe nella laguna veneta e fattori, che la determinano. Thalassia 4, 2 (1940) — La fauna bentonica del bacino di pomo (Medio Adriatico). Not. Ist. Biol. Rovigno 2, 15 (1940) — Notizie idrografiche sui laghi dell' A. O. I. Nota preliminare, Atti R. Accad. dei Lincei 28 (1938) — Notizie idrografiche e biologiche sui laghi dell' A. O. I. Thalassia 4, 9 (1940). — K. VIETS, Meeresmilben aus der Adria. Arch. Naturgesch. N. F. 9, H. 1 (1940). — P. VOLZ, Kann die Flachwasserfauna des Mittelmeeres als Warmwasserfauna charakterisiert werden? Internat. Rev. d. Hydrobiol. 40, H. 3/4 (1940) — Steinbohrende Meeresschwämme. Umschau 44, 693—695 (1940). — V. ZANON, Le diatomee di Rovigno. Thalassia 3, 9 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: F. BERTOLINI, Osservazioni sui denti dei Plettognati. Thalassia 5, 3 (1941). — W. NÜMANN, Der Nährstoffhaushalt in der nordöstlichen Adria. Thalassia 5, 2 (1941) — Der Stickstoffhaushalt eines mäßig-eutrophen Sees (Schleifensee). Z. Fischerei 1941 — Weitere Beiträge zur Klusgarn-Versuchsfischerei. Allg. Fischerei-Ztg 1941. — W. PANNING, Über einige ostafrikanische Seewalzen und ihre Eignung zur Trepang-Gewinnung. Thalassia 4, 8 (1941). — SCACCINI, Primo elenco dei pesci raccolti nell'Atlantico, coste dell'Africa nordoccidentale. Thalassia 4, 10 (1941). — M. SELLA, Der Trepang. Umschau 1941 — Scomber scomber Linn. (Adriatico): sulla fluttuazioni della pesca. Thalassia 5, 5. — M. SELLA e H. LISSNER, Osservazioni sullo Scomber colias GML. con riferimento allo Sc. scomber Lin. Thalassia 5, 1 (1941). — A. VATOVA, Relazione generale sulla Missione Ittiologica in A. O. I. Monografia del Ministero A. I. — Relazione dei Laghi Galla. Monografia del Ministero A. I. — A. VATOVA e M. PICCOTTI, Condizioni fisico-chimiche del mare di Rovigno. Thalassia 4, 7. — V. ZANON, Diatomee dello stagno Palù. Thalassia 5, 4. — W. v. LEPESCHKIN, Vitalfärbung der Echinodermen-Eier und selektive Permeabilität der Protoplasmaoberfläche. Protoplasma (Berl.) 1941.

Vogelwarte Rossitten der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, Rossitten (Kurische Nehrung).

Leiter: ERNST SCHÜZ.

Wissenschaftliches Mitglied: OSKAR HEINROTH.

Veröffentlichungen: E. SCHÜZ, 31. Bericht der Vogelwarte Rossitten der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (April 1938 bis Juni

1940). Vogelzug 11, 109—120. — W. RÜPPELL, Neue Ergebnisse über Heimfinden beim Habicht (Versuche zur Ortstreue und Fernorientierung der Vögel. IX). Vogelzug 11, 57—64. — R. DROST u. L. SCHILLING, Über den Zug des Trauerfliegenschneppers, *Muscicapa hypoleuca* (Pall.). Vogelzug 11, 71—85. — R. DROST u. E. SCHÜZ, Nochmals vom Wegzug 1939. Vogelzug 11, 87. — L. VON KALITSCH, Zur Frage des Dohlenzuges in Ostdeutschland. Vogelzug 11, 120—123. — R. DROST u. E. SCHÜZ, Über den Zug der europäischen Bachstelzen (*Motacilla a. alba* L. und *M. a. yarrellii* Gould). Vogelzug 11, 145—161 — Von den Folgen des harten Winters 1939/40 für die Vogelwelt. Vogelzug 11, 161—191. — G. CREUTZ, Vom Zug des Grauen Fliegenschneppers, *Muscicapa striata striata* (Pallas). Vogelzug 12, 1—14. — E. SCHÜZ, Raubseeschwalben (*Hydroprogne tschegrava*) als Fernwanderer. Vogelzug 12, 23. — F. TISCHLER u. E. SCHÜZ, Invasion von Dickschnabel-Tannenhähern (*Nucifraga c. caryocatactes*) in Nordost-Deutschland Herbst 1940. Vogelzug 12, 25. — R. DROST u. E. SCHÜZ, Bewegungen in der Vogelwelt 1940. Vogelzug 12, 26. — E. SCHÜZ, Regenwürmer als Nahrung des Weißen Storches. Beitr. Fortpflanzbiol. d. Vögel 16, 203—205. — H. RINGLEBEN, Ornithologische Beobachtungen in Masowien Herbst 1939. Ber. Ver. Schles. Ornithol. 25, 4—10. — R. MANGELS u. E. SCHÜZ, Seltene Vögel im Gebiet des Kurischen Haffs 1938 und 1939. Ornithol. Mber. 48, 125. — F. TISCHLER, Die Vögel Ostpreußens und seiner Nachbargebiete. Schriften der Albertus-Universität, hrsg. vom Ostpreußischen Hochschulkreis. Naturwiss. Reihe 3. Königsberg u. Berlin: Osteuropa-Verlag 1941, 2 Bände. — E. SCHÜZ, Beobachtungen über Ökologie und Brutbiologie von Tafelente (*Nyroca ferina*) und Reiherente (*N. fuligula*). Beitr. Fortpflanzbiol. d. Vögel 17, 41—50.

**Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie,
Berlin-Dahlem.**

Direktor: OTTO HEINRICH WARBURG.

Im Gange befindliche Arbeiten: TH. BÜCHER, Isolierung eines phosphatübertragenden Ferments der Gärung. — F. KUBOWITZ u. W. LÜTTGENS, Isolierung des Gärungsferments Carboxylase. — F. KUBOWITZ u. P. OTT, Isolierung von Gärungsfermenten aus tierischen Zellen. — E. NEGELEIN, Isolierung des dephosphorilierenden Gärungsferments. — O. WARBURG u. W. CHRISTIAN, Kristallisation des Gärungsferments Enolase.

**Kaiser Wilhelm-Institut für Anthropologie, menschliche
Erblehre und Eugenik, Berlin-Dahlem.**

Direktor: EUGEN FISCHER.

Wissenschaftliches Mitglied: FRITZ LENZ.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: OTMAR FRHR. v. VERSCHUER, Frankfurt a. M.

Direktor der Abteilung für Rassenhygiene: FRITZ LENZ.

Leiter der Abteilung für Erbpsychologie: KURT GOTTSCHALDT.

Leiter der Abteilung für experimentelle Erbpathologie: HANS NACHTSHEIM.

Leiter der Abteilung für Rassenkunde: WOLFGANG ABEL.

Leiter der Außenstelle für Tuberkulose-Erbforschung: KARL DIEHL.

Wissenschaftliche Gäste: Geh. Medizinalrat Dr. MAX FISCHER (verst. am 8. Juli 1940); Studiendirektor Prof. Dr. GEIPEL, Dr. med. KÜHNE, Prof. MALAN (Ungarn); Prof. LAJOS CSIK (Ungarn); Dr. phil. ERIC HUG (Schweiz).

Veröffentlichungen: EUGEN FISCHER, Die menschlichen Rassen als Gruppen mit gleichen Gensätzen. Abh. preuß. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. 1940, Nr 3 — Fortschritte auf dem Gebiete der Vererbungsforschung. Veröff. Berl. Akad. ärztl. Fortbildg 1940, Nr 6. — EUGEN FISCHER u. K. DIEHL, Experimente über Tuberkulose beim Kaninchen. Erbarzt 8, H. 5 (1940). — FRITZ LENZ, Über Verwandtenehen. Gesdh.führ. dtsh. Volk 1941, H. 2 — Zur Frage der Erbbedingtheit der Zahnkaries. Fortschr. Erbp. usw. 4, H. 5/6 (1940) — Alfred Ploetz. Biologe 9, H. 7/8 (1940) — Über Fortpflanzung und Ekehäufigkeit in Berlin. Volk u. Rasse 1940, H. 9. — Max FISCHER †, Kinderreichtum in deutschen Fürstengeschlechtern. Volk u. Rasse 1940, H. 4 — Familienforschung. Geisteskrankenpflege 44, Nr 6 (1940) — Erbanlage und Erbmerkmal. Geisteskrankenpflege 44, Nr 7 (1940). — WOLFGANG ABEL, Physiognomik und Mimik. Handbuch der Erbbiologie des Menschen 2 (1940) — Die Erbanlagen des normalen Stützgewebes. Handbuch der Erbbiologie des Menschen 3 (1940) — Die Erbanlagen der Papillarmuster. Handbuch der Erbbiologie des Menschen 3 (1940) — Vererbung normaler morphologischer Eigenschaften des Menschen. Fortschr. Erbp. usw. 4, H. 3/4 (1940). — HORST GEYER, Die angeborenen und früh erworbenen Schwachsinnzustände. Fortschr. Neur. 12, H. 7/8 (1940) — Gegensätzliche Äußerung seelischer Anlagen bei erbgleichen Zwillingen. Z. menschl. Vererbgs- u. Konstit.lehre 24, H. 4 (1940). — HEINZ LEMSER u. F. K. STÖRRING, Über die Beziehungen von Akromegalie und Diabetes. Münch. med. Wschr. 1940, Nr 13. — GEORG GEIPEL, Gleichgeschlechtig und gleichgeschlechtlich. Erbarzt 8, H. 11 (1940) — Die Gesamtanzahl der Fingerleisten als neues Merkmal zur Zwillingsdiagnose. Erbarzt 9, H. 1 (1941). — MICHAEL MALAN, Zur Erblichkeit der Orientierungsfähigkeit im Raum. Z. Morph. u. Anthrop. 39, H. 1 (1940). — RITA HAUSCHILD, Bastardstudien an Chinesen, Negern, Indianern in Trinidad und Venezuela. Z. Morph. u. Anthrop. 39, H. 2 (1941). — WALTER DORNFELDT, Studien über Schädelform und Schädelveränderung von Berliner Ostjuden und ihren Kindern. Z. Morph. u. Anthrop. 39, H. 2 (1941). — HORST EGGERT, Ehescheidungen und ihre gesellschaftsbiologischen Ursachen. Arch. Rassen- u. Ges. Biol. 34, H. 5 (1940). — v. TIEDEMANN, Zur Frage des Aussterbens adliger Sippen. (Nicht veröffentlicht).

**Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung,
Heidelberg.**

Direktor des Gesamtinstituts: RICHARD KUHN.

Institut für Physik.

Direktor: WALTHER BOTHE.

Veröffentlichungen: W. BOTHE u. L. RATZEL, Die Einzelstreuung schneller Elektronen in Aluminium und Nickel. Z. Physik 115, 497 (1940). — W. BOTHE, Die Einzelstreuung von Elektronen über kleine Winkel. Naturwiss. 28, 239 (1940). — W. BOTHE u. R. KUHN, Das Kaiser Wilhelm-Institut für Medizinische Forschung in Heidelberg. Aus der Arbeit des Stifterverbandes der Deutschen Forschungsgemeinschaft 1940. — R. FLEISCHMANN, Anreicherung von N¹⁵ nach dem Trennrohrverfahren von Clusius und Dickel. Physik. Z. 41, 14 (1940) — Atomkerne, Radioaktivität. Physik i. regelm. Ber. 8, 1 (1940) — Kernchemie. Angew. Chem. 53, 485 (1940) — Kernchemie, Z. Elektrochem. 47, 8 (1941). — W. GENTNER, Die Erzeugung schneller Ionenstrahlen für Kernreaktionen. Erg. exakt. Naturwiss. 19, 107 (1940).

Im Druck: W. BOTHE u. A. FLAMMERSFELD, Das 18-min-Molybdän aus Uran. Naturwiss.

Abteilung für Biologie.

Direktor: RICHARD KUHN.

Veröffentlichungen: R. KUHN u. F. MOEWUS, Über die chemische Wirkungsweise der Gene Mot, M_D und Gathe bei Chlamydomonas. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 547 (1940). — R. KUHN u. K. WALLENFELS, Echinochrome als prosthetische Gruppen hochmolekularer Symplexe in den Eiern von Arbacia pustulosa. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 458 (1940). — R. KUHN u. F. MOEWUS, Wie kommen die Verhältniszahlen cis-:trans-Crocetindimethylester bei den getrenntgeschlechtlichen Rassen von Chlamydomonas zustande? Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 559 (1940). — F. MOEWUS, Über Zoosporen-Kopulationen bei Monostroma. Biol. Zbl. 60, 225 (1940). — M. HARTMANN, O. SCHARTAU u. K. WALLENFELS, Untersuchungen über die Befruchtungsstoffe der Seeigel. II. Biol. Zbl. 60, 398 (1940). — E. F. MÖLLER, Nährstoffe und Wuchsstoffe der Milchsäurebakterien. Angew. Chem. 53, 204 (1940). — F. MOEWUS, Über die Sexualität von Botrydium granulatum. Biol. Zbl. 60, 484 (1940) — Über Mutationen der Sexual-Gene bei Chlamydomonas. Biol. Zbl. 60, 597 (1940) — Die Analyse von 42 erblichen Eigenschaften der Chlamydomonas-eugametos-Gruppe. I. Teil: Zellform, Membran, Geißeln, Chloroplast, Pyrenoid, Augenfleck, Zellteilung. Z. induct. Abstammungslehre 78, 418 (1940) — Die Analyse von 42 erblichen Eigenschaften der Chlamydomonas-eugametos-Gruppe. II. Teil: Zellresistenz, Sexualität, Zygote, Besprechung der Ergebnisse. Z. induct. Abstammungslehre 78, 463 (1940) — Die Analyse von 42 erblichen Eigenschaften der Chlamydomonas-eugametos-Gruppe. III. Teil: Die 10 Koppelungsgruppen. Z. induct. Abstammungslehre 78, 501 (1940). — K. WALLENFELS, Chemische Einblicke in den Befruchtungsvorgang bei Tieren. Öster. Chem.-Ztg 1940, Nr 19/20.

Im Druck befindend sich: F. MOEWUS, Zur Sexualität der niederen Organismen. I. Flagellaten und Algen. Erg. Biol. — K. WALLENFELS, Mucinspaltende Fermente. Z. angew. Chem.

Institut für Chemie.

Direktor: RICHARD KUHN.

Wissenschaftliche Gäste: Prof. Dr. LUDWIG JOST, emer. Professor d. Botanik, Heidelberg.

Veröffentlichungen: R. KUHN, Carl Bosch. Naturwiss. 28, 481 (1940). — R. KUHN, N. A. SÖRENSEN u. L. BIRKOFER, Über die Eisenproteide der Milz; der Bauplan des Ferritins. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 823 (1940). — R. KUHN u. TH. WIELAND, Über Dioxyacyl-Derivate des β -Alanins und l-Leucins aus der Leber des Thunfisches. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 962 (1940) — Kristallisiertes Chininsalz der Pantothenensäure; Synthese und Spaltung des Racemates in die Antipoden. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 971 (1940). — O. WESTPHAL u. D. JERCHER, Über die Umsetzung von höheren 1-Chlor-paraffinen mit Ammoniak, primären, sekundären und tertiären Aminen. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1002 (1940). — R. KUHN, Die Entdeckung physiologischer Wirkungen altbekannter Naturstoffe. Angew. Chem. 53, 309 (1940). — H.-J. BIELIG, Zur Frage der Bildung von Vitamin A aus β -Carotin im Organismus der Ratte. Hoppe-Seylers Z. 266, 112 (1940). — R. KUHN u. H.-J. BIELIG, Über Invertseifen I; die Einwirkung von Invertseifen auf Eiweißstoffe. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1080 (1940). — R. KUHN u. O. DANN, Über Invertseifen II; Butyl-, Octyl-, Lauryl- und Cetyl-dimethyl-sulfoniumjodid. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1092 (1940). — R. KUHN, D. JERCHER u. O. WESTPHAL, Über Invertseifen III: Dialkyl-methyl-

benzyl-ammoniumchloride. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1095 (1940). — R. KUHN u. D. JERCHER, Über Invertseifen IV; quartäre Salze von Aminophenoläthern. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1100 (1940). — R. KUHN u. O. WESTPHAL, Über Invertseifen V; quartäre Salze von stellungsisomeren Oxy-chinolinäthern. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1105 (1940) — Über Invertseifen VI: Triazoliumsalze. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1109 (1940). — R. KUHN u. TH. WIELAND, Über die optischen Antipoden der Pantothenensäure. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1134 (1940). — R. KUHN u. G. PLATZER, Über Kumulene III. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1410 (1940). — R. KUHN u. TH. WIELAND, Spaltung der d, l-Pantothenensäure durch Cinchonidin. Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 218 (1941). — R. KUHN u. I. LÖW, Über das Androtermon von Chlamydomonas eugametos; linksdrehender 4-Oxy-2,6,6-trimethyl- Δ^1 -tetrahydrobenzaldehyd. Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 219 (1941). — F. WEYGAND, Darstellung von N-Glykosiden des Anilins und substituierter Aniline. Ber. dtsh. chem. Ges. 72, 1663 (1939) — Über N-Glykoside. II. Mitt.: Amadori-Umlagerungen. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1259 (1940) — Über N-Glykoside. III. Mitt.: Sterischer Verlauf der Hydrierung von Iso-glykosaminen; Drehungsregeln bei 9-Polyoxyalkyl-flavinen und N-Polyoxyalkyl-aminobenzolen. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1278 (1940) — Über N-Glykoside. IV. Mitt.: Theorie der Osazonbildung. Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1284 (1940) — Notiz zur Darstellung von β -Alanin. Ber. dtsh. chem. Ges. 74, 256 (1941). — L. BIRKOFER u. A. TAURINS, Quantitative Bestimmung der schwefelhaltigen Aminosäuren in verschiedenen Globinen. Hoppe-Seylers Z. 265, 94 (1940).

Im Druck befindend sich: R. KUHN u. D. JERCHER, Über Invertseifen VII; Tetrazoliumsalze — Über Invertseifen VIII; Reduktion von Tetrazoliumsalzen durch Bakterien, gärende Hefe und keimende Saaten.

Abteilung Dr. I. HAUSSER.

Leiter: ISOLDE HAUSSER.

Im Druck bzw. in Vorbereitung zum Druck befindlich: I. HAUSSER u. E. KINDER, Dielektrische Relaxation von organischen Zwitterionen in Lösung. — I. HAUSSER, R. KUHN u. Mitarbeiter, Die Wirkung des Lichtes auf die Bildung und Zerstörung von Befruchtungsstoffen.

In Bearbeitung befindlich: I. HAUSSER, Entwicklung von Ultrakurzwellenröhren — Untersuchungen von Laufzeitröhren. I. HAUSSER, zusammen mit dem Institut für Chemie, Konstitutionsprobleme organischer Moleküle.

Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund.

Komm. Direktor: GUNTHER LEHMANN.

Veröffentlichungen: E. DONAY, Die Beziehungen zwischen Herkunft und Beruf auf Grund einer statistischen Erhebung in der Dortmunder Bevölkerung. Diss. Kiel 1940. — W. DROESE u. H. BRAMSEL, Vitamin-Tabelle der gebräuchlichen Nahrungsmittel. Beih. z. Zeitschrift Ernährung H. 8. Leipzig: Joh. Ambrosius Barth 1941. — O. GRAF, Zur Frage der Arbeits- und Pausengestaltung bei Fließarbeit. I. Mitt.: O. GRAF u. E. BORNEMANN, Methodische Vorfagen und Einübungsbeobachtungen. Arb.physiol. 11, 185 (1940). — E. KOFRANYI u. H.-F. MICHAELIS, Ein tragbarer Apparat zur Bestimmung des Gasstoffwechsels. Arb.physiol. 11, 148 (1940). — H. KRAUT, Physiologisch-Chemische Auswirkung der Auspuffgase. Jb. der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E.V. 20 (1939), erschienen 1940. Vortrag, gehalten am 7. XII. 1939

in Berlin. — H. KRAUT u. W. DROESE, Ernährung und Leistungsfähigkeit. *Z. angew. Chem.* 54, Nr 1/2, 1 (1941). — H. KRAUT u. ANNE WEISCHER, Gewinnung freigelöster Enzyme aus tierischen Organen, Pflanzengewebe und Samen. Die Methoden der Fermentforschung 1940/41, 1164 — Aufspaltung von Enzymen in ihre Komponenten. Die Methoden der Fermentforschung 1940/41, 1486 — Ascorbinsäure und Leberesterase. *Biochem. Z.* 305, 94 (1940). — G. LEHMANN, Zur Physiologie des Liegens. *Arb.physiol.* 11, 253 (1940). — G. LEHMANN u. A. SZAKALL, Vergleichende anthropometrische und funktionelle Untersuchungen bei Jugendlichen. *Arb.physiol.* 11, 259 (1940). — H.-U. MATTHES, Die Bedeutung des Atemwiderstandes für die Messung des respiratorischen Stoffwechsels. *Arb.physiol.* 11, 117 (1940). — H.-F. MICHAELIS, Ein praktischer Apparat zur Umsatzbestimmung in der Klinik. *Münch. med. Wschr.* 88, 20 (1941) — Ausbau der Fluoreszenzmethode zum Adrenalinnachweis. *Diss. Bonn* 1941. — E. A. MÜLLER, Ventrikelvolumen, Tonus und Vorhofdrucke am Säugetierherzen. *Pflügers Arch.* 243, 336 (1940) — Die Beeinflussung der Kontraktionsfähigkeit des Herzens durch Glukose-Insulin-Dauerinfusion. *Pflügers Arch.* 243, 341 (1940) — Volumen, Leistung, Tonus und Kontraktionsfähigkeit am Säugetierherzen. *Erg. Physiol.* 43, 89 (1940) — Der Einfluß von Pausen auf das Arbeitsmaximum beim Radfahren. *Arb.physiol.* 11, 211 (1940) — Die quantitative Auswertung der Wirkung des Veritols auf die Herzdynamik. *Arch. f. exper. Path.* 196, 455 (1940). — A. SZAKALL, Intravitale Bestimmung des Chlorgehaltes bei Mensch und Tier. *Arb.physiol.* 11, 175 (1940).

Im Druck befindlichen folgenden Arbeiten: E. BORNE-MANN, Die methodische Verwertbarkeit des elektrischen Hautphänomens. *Med. Welt* 1941 — Zur Frage der Arbeits- und Pausengestaltung bei Fließarbeit von O. GRAF: II. Mitt. Über Temporegelung und Pausengestaltung. *Arb.physiol.* 11 (1941). — W. DROESE, Die Hebung der Leistungsfähigkeit durch B₁ und die Erkennung einer B₁-Hypovitaminose. *Arb.physiol.* 11 (1941). — O. GRAF, Ein Beitrag zur Psychologie der freien und der zeitgebundenen Arbeitsweise. *Z. Arb.psychol.* — Arbeitsphysiologie für den Betriebsmann. In BRAMESFELD-GRAFS Leitfaden des Arbeitsstudiums. VDI-Verlag Berlin 1941 — Die Bedeutung der Richtlinien für die Beurteilung der Erbgesundheit vom 18. VII. 1940 für die Arbeit in der Rauschgiftbekämpfung. Reichsgesundheitsverlag — Tabakgebrauch und Leistung. *Z. Genußgifte, Reichsgesundheitsverlag.* — H. KRAUT u. E. KOFRANYI, Proteasen und Amidasen. *Handbuch der Katalyse* 3. Wien: Julius Springer. — H. KRAUT u. MARGARETE ROHDEWALD, Carbohydrasen. *Handbuch der Katalyse* 3. Wien: Julius Springer. — H. KRAUT u. A. SZAKALL, Zur Technik der Stoffwechselbilanz bei Arbeitsversuchen. *Arb.physiol.* 11. — H. KRAUT u. ANNE WEISCHER, Esterasen. *Handbuch der Katalyse* 3. Wien: Julius Springer. — G. LEHMANN u. HEDWIG MICHAELIS, Die Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit. *Arb.physiol.* 11 (1941). — G. LEHMANN, Die Wasserstoffionemessung. 2. Aufl. Leipzig: Joh. Ambrosius Barth 1941. — H.-U. MATTHES, Die zweckmäßigste Leiter. *Arb.physiol.* 11 (1941). — E. A. MÜLLER, Ein neues ergometrisches Verfahren. *Arb.physiol.* 11 (1941) — Die Regulierung der Atmung. *Pflügers Arch.* 1941. — H. VENNEWALD, Über Eigenreflexe bei schnell verlaufenden mechanisch erzwungenen Bewegungen. *Arb.physiol.* 11 (1941). — LIESEL WILDEMANN, Bilanzversuche mit Vitamin B₁ an Ratten. *Biochem. Z.*

Kaiser Wilhelm-Institut für Biophysik, Frankfurt a. M., Außenstelle im Radiumbad Oberschlema/Erzgebirge.

Direktor: BORIS RAJEWSKY.

Wissenschaftliche Gäste: Dr. G. HECKER, Danzig; Dr. A. STEINHÄUSER, Gießen.

Veröffentlichte und im Druck befindliche Arbeiten: A. STEINHÄUSER, Beitrag zur Frage der Erwärmung von Geweben durch Ultrakurzwellen. *Strahlenther.* 68, 79—89 (1940). — R. STACHOWIACK, Messung der Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante biologischer Körper im Wellenbereich von 400—10000 m Wellenlängen. *Ann. Physik* 37, 496—508 (1940). — H. SCHAEFFER, R. BUCKEL u. H. K. MÜLLER, Sicherung gegen gefährdende Spannungsführung an erdfreien Anlagen elektrisch betriebener Strecken. *Elektrische Bahnen*, S. 1—10 (August 1940). — H. SCHAEFFER, Schäden durch Wegfall, Veränderung und künstliche Entstehung von Strahlen. *Zivilisationsschäden am Menschen*, S. 26—37 (1940). — K. KREBS, Über die Toxizität der Thoriumemanation. *Naturwiss.* 28, 766—767 (1940). — H. SCHAEFFER u. R. STACHOWIACK, Komplexe Sondenmessung an Modellen zur Ermittlung der Feldverteilung bei der Ultrakurzwellen-Kondensatorfelddurchflutung von Mehrschichtdielektriken. *Z. techn. Physik* 21, 367—372 (1940). — W. WIRTH, Messung der Zahl der Kondensationskerne verschiedener Kernquellen im Raum und ihr Verbleiben in den oberen Atemwegen. *Diss. Frankfurt* 1940. — R. ED. LIESEGANG, Feinbau und Anfärbbarkeit. *Z. Mikrosk.* 57, 307—309 (1940) — Lichtwirkungen aus geologischen Vorzeiten. *Natur u. Volk* 71, 90—93 (1941). — A. KREBS, Künstlich ionisierte Luft als biologisch-medizinischer Faktor. *Balneologie* 8, 97 bis 102 (1941). — R. ED. LIESEGANG, Fragen der Quarzstaubkrankheit (Silikose). *Keram. Rdsch.* 49, 1—4 (1941). — B. RAJEWSKY, Physikalische Diagnostik der Radiumvergiftungen. *Einrichtung einer Untersuchungsstelle.* *Strahlenther.* 69, 438—502 (1941) — Röntgenapparate in Röntgentechnik. *Hrsg. v. R. GRASHEY.* Leipzig: Georg Thieme. — M. DORNEICH u. A. JANITZKY, Die in der Röntgendiagnostik verwendeten Vakuumröhren in Röntgentechnik. *Hrsg. v. R. GRASHEY,* Leipzig: Georg Thieme. — R. STACHOWIACK, Die Hochfrequenz-Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstante einiger biologischer Gewebe im Bereich von 400—10000 m Wellenlänge. *Pflügers Arch.* — A. SCHRAUB, Über den Einfluß adsorbierter Gase und Dämpfe auf den lichtelektrischen Effekt einiger Metalle. *Diss. Frankfurt.* — R. STACHOWIACK, Die Berechnung des Feldverlaufs in einem ultrahochfrequenzdurchfluteten System konzentrischer Zylinder komplexer Leitfähigkeit. *Ann. Physik.*

In Vorbereitung zum Druck: B. RAJEWSKY, Strahlenwirkungen im lebenden Gewebe — Der Begriff des Treffers und des wirksamen Ereignisses bei der Deutung der biologischen Strahlenwirkungen. — A. KREBS, Ein Versuch zum Nachweis der Diffusion von Radiumemanation. — Y. NING, Über die Wirkung verschiedener Röntgenbestrahlungsmethoden auf Transplantations- und Spontancarcinom der Maus. — K. INOUE, Über die Wirkung inkorporierter Radiumemanation auf das weiße Blutbild des Menschen. — K. INOUE, A. JANITZKY u. B. RAJEWSKY, Alphastrahlenwirkung auf überlebendes Gewebe. — M. DORNEICH, Messungen mit der kleinen Ionisationskammer im Wasserphantom. — B. WILKEN, Über die Luftionenbildung bei einigen UV.-Strahlern — Absorption weicher Röntgenstrahlen in der menschlichen Haut und Verteilung der Strahlenintensität in den obersten Hautschichten bei der Oberflächentherapie.

bestrahlung. Diss. Frankfurt. — H. HIMMELREICH, Ein selbstregistrierendes Spektralphotometer. Diss. Frankfurt. — N. WOLODKIEWITSCH, Luftionemessungen mit einem Modell der oberen Atmungswege. — H. BECK u. CH. LEGEL, Luftionemessungen an einer Klimakammer. — W. DREBLOW, Bestimmung von Radiumablagerungen mit Zählrohanordnungen. Diss. Frankfurt. — K. SITTEL, Emanationsmessungen an strömenden Gasen nach der Zählrohrmethode. Diss. Frankfurt. — H. SCHWAN, Dielektrisches Verhalten inhomogener Stoffe insbesondere biologischer Körper bei verschiedenen Temperaturen und verschiedenen Frequenzen. Diss. Frankfurt. — B. RAJEWSKY u. A. SCHRAUB, Radioaktivitätsmessungen im St. Joachimsthaler Bergbaurevier I. — A. SCHRAUB, Radioaktivitätsmessungen im St. Joachimsthaler Bergbaurevier II. — H. SCHWAN, Über die Niederfrequenzleitfähigkeit von Blut und Blutserum bei verschiedenen Temperaturen. — G. GSELL, Absorptionsmessungen an biologischen Substanzen im Gebiete von 50 cm bis 1 m ungedämpfter elektrischer Wellen. Diss. Frankfurt. — A. JANITZKY u. Y. NING, Emanationsgehalt des Blutes bei Emanationsbädern. — B. RAJEWSKY u. H. SCHWAN, Individuelle Schwankungen der Blutleitfähigkeit. — H. SCHWAN, Polarisationserscheinungen an den Elektroden bei Niederfrequenzmessungen der Leitfähigkeit. — M. DORNEICH u. H. SCHAEFER, Zur Methodik von Strahlenschutzmessungen. — H. SCHWAN, Elektrische Blutzählung und ihre praktische Bedeutung.

Kaiser Wilhelm-Institut für Hirnforschung, Berlin-Buch.

Direktor: HUGO SPATZ.

Wissenschaftliche Mitglieder: JULIUS HALLERVORDEN, WILHELM TÖNNIS.

Anatomische Abteilung (SPATZ).

Wissenschaftliche Gäste: Dr. VON BAGH, Helsinki (Finnland); Dr. BUSTAMANTE, Madrid (Spanien); Frau Dr. H. LANGE-COSAK, Berlin; Dr. PETERS, München; Dr. DEI POLI, Padua (Italien); Dr. WEISSCHEDEL, Berlin; Dr. ZUCHA, Preßburg (Slowakei).

Veröffentlichungen: H. SPATZ, Oskar Vogt zum 70. Geburtstag. *Nervenarzt* 13, 145 (1940). — E. WELTE, Methode der Hirnsektion und makroskopische Diagnostik. *Allg. Z. Psychiatr.* 115, 390—401 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: G. DEI POLI u. F. ZUCHA, Beiträge zur Kenntnis der Anomalien und Erkrankungen der Arteria carotis interna. (Gemeinsam mit der Abteilung für allgemeine Pathologie.) *Zbl. Neur.*

Histopathologische Abteilung mit dem angegliederten Laboratorium der Prosektur der Brandenburgischen Landesanstalten in der Landesanstalt Görden bei Brandenburg a. d. Havel (früher Potsdam) (HALLERVORDEN).

Wissenschaftliche Gäste: Obermedizinalrat Dr. FRIEDRICH, Dösen; cand. med. BIRNBAUM, Berlin; Dr. DOHMEN, Würzburg.

Veröffentlichungen: O. AMMERMAN, Isolierte Schädigung der unteren Olive bei Myoklonusepilepsie. *Arch. f. Psychiatr.* 111, 213 (1940). — W. J. EICKE, Neue Beobachtungen über die HALLERVORDEN-SPATZsche Krankheit. *Arch. f. Psychiatr.* 111, 514 (1940). — J. HALLERVORDEN, Die zentralen Entmarkungskrankheiten. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 150, 201 (1940). — LAUBENTHAL u. HALLERVORDEN, Über ein Geschwisterpaar mit einer eigenartigen frühkindlichen Hirnerkrankung nebst Mikrocephalie und über seine Sippe. *Arch. f. Psychiatr.* 111, 712 (1940). — M. LENZ, Hirnveränderungen nach einem 10 Monate vor dem Tode vorgenommenen Erwürgungsversuch. *D.I. Berlin* 1940.

Im Druck befindliche Arbeiten: E. KRÜCKE, Über Paramyloidose mit besonderer Beteiligung der peripheren Nerven und granularer Atrophie des Gehirns. *Arch. f. Psychiatr.*

Abteilung für menschliche Erb- und Konstitutionsforschung (PATZIG).

Veröffentlichungen: B. PATZIG, Die Pathogenese der Schizophrenie — ein genetisches Problem. *Z. Konstitutionslehre* 24 (1941).

Physiologische Abteilung (KORNMÜLLER).

Wissenschaftliche Gäste: Dr. PALME, Berlin; Dr. OFFERMANN, Neuß; Dr. Götze, Berlin; Dr. GREMMER, Berlin.

Veröffentlichungen: R. GRÜTTNER u. A. BONKÁLÓ, Über Ermüdung und Schlaf auf Grund hirnbioelektrischer Untersuchungen. *Arch. f. Psychiatr.* 111, 652 (1940) — Hirnbioelektrische Untersuchungen über die Wirkung des Pervitin und des Coffein bei Ermüdungszuständen. *Psychiatr.-neur. Wschr.* 42, Nr 25 (1940). — R. JANZEN u. A. F. KORNMÜLLER, Hirnbioelektrische Untersuchungen an Kranken mit symptomatischer Epilepsie. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 150, 283 (1940). — A. E. KORNMÜLLER, Über einige bei Willkürbewegungen und auf Sinnesreize auftretende bioelektrische Erscheinungen der Hirnrinde des Menschen. *Z. Sinnesphysiol.* 68, 119 (1940) — Einige weitere Erfahrungen über die Lokalisation von Tumoren und anderen herdförmigen Erkrankungen des Gehirns mittels der hirnbioelektrischen Lokalisationsmethodik. *Zbl. Neurochir.* 5, Nr 2, 73 (1940) — Die hirnbioelektrische Untersuchung des Menschen. I. Die Grundlagen der Methodik und das Verhalten des Gesunden. *Fortschr. Neur.* 12, 193 (1940). — Gemeinsam mit R. JANZEN, Hirnbioelektrische Untersuchungen bei genuiner Epilepsie. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 152, 78 (1941).

Im Druck befindliche Arbeiten: A. E. KORNMÜLLER, F. PALME u. H. STRUGHOLD (in Gemeinschaft mit dem Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des RLM.), Über die Veränderungen der Gehirnaktionsströme im akuten Sauerstoffmangel. *Z. Luftmed.* 5 (1941).

Physikalisch-Technische Unterabteilung (SCHAEFER).

In Vorbereitung: SCHAEFER, Die charakteristischen Eigenschaften der Registriergeräte für bioelektrische Untersuchungen.

Abteilung für Tumorforschung und experimentelle Pathologie des Gehirns (TÖNNIS).

Wissenschaftlicher Gast: Dr. IRSIGLER, Berlin.

Veröffentlichungen: H. NOETZEL, Arachnoidalzysten in der Vierhügelgegend. *Zbl. Neurochir. H. 1* (1940). — F. J. IRSIGLER, Über den posttraumatischen Hirndruck. *Arch. klin. Chir.* 200, 202 (1940). — C. J. ZÜLCH, Morphologische Befunde bei Hirnschwellung. *Z. Neurochir.* 4 (1940) — Über die morphologischen Folgen der Anwendung des elektrischen Stromes zum Schneiden und Koagulieren des Hirn- und Geschwulstgewebes. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 151, 1 (1940) — Das Medulloblastom. *Arch. f. Psychiatr.* 112 (1940) — Zur Pathologie der Hirngeschwülste. *Wien. klin. Wschr.* 1940 (April).

Abteilung für Allgemeine Pathologie (ANDERS).

Veröffentlichungen: H. E. ANDERS u. W. J. EICKE, Die Gehirngefäße beim Hochdruck. *Arch. f. Psychiatr.* 112 (1940).

Im Druck befindliche Arbeiten: G. DEI POLI u. F. ZUCHA, Beiträge zur Kenntnis der Anomalien und der Erkrankungen der Arteria carotis interna (gemeinsam mit der Anatomischen Abteilung). *Zbl. Neurochir.*

Chemische Abteilung (SELBACH).

Veröffentlichungen: H. SELBACH, Physikalisch-chemische Untersuchungen zur Frage der Hirnvolumenvermehrung (Hirnschwellung und Hirnödeme). Arch. f. Psychiatr. **112**, 409 (1940). — Gemeinsam mit G. E. PERRET, Chemische Untersuchungen bei experimentellen Massenverschiebungen und Formveränderungen des Gehirns. Arch. f. Psychiatr. **112**, 441 (1940).

Druckfertige Arbeiten: H. SELBACH u. E. MEHRING, Experimentelle Untersuchungen über die Neutralisationsfähigkeit des Hirngewebes im Insulinkoma und Cardiazolshock. — G. PETERS u. H. SELBACH, Experimentelle Untersuchungen über die Neutralisationsfähigkeit des Hirngewebes nach Comotio. — H. SELBACH, Experimentelle Untersuchungen über Veränderung der Oberflächenspannung physiologischer Lösungen durch Hirngewebe in verschiedenem Funktionszustand.

Genetische Abteilung am Kaiser Wilhelm-Institut für Hirnforschung, Berlin-Buch.

Leiter: N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY.

Veröffentlichungen: H. J. BORN, Versuche mit radioaktivem Phosphor an Ratten. Naturwiss. **28** (1940). — H. J. BORN u. H. A. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Versuche mit radioaktivem Chlor-Isotop an Mäusen. Naturwiss. **28** (1940) — Versuche mit radioaktivem Arsen an Mäusen. Naturwiss. **29** (1941). — H. J. BORN, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Anwendungen der Neutronen und der künstlich radioaktiven Stoffe in Chemie und Biologie. Umschau **45** (1941). — H. J. BORN u. K. G. ZIMMER, Anwendung radioaktiver Isotope bei Untersuchungen über die Filtration von Aerosolen. Naturwiss. **28** (1940) — Untersuchungen an Schwebstoff-Filtern mittels radioaktiver Stoffe. Gasmasken **1940** — Zur Frage der Steigerung der mutationsauslösenden Wirkung der Röntgenstrahlen durch Einbringung schweratomiger Salze in den Organismus. II. Z. indukt. Abstammungslehre **78** (1940). — W. BUCHMANN u. K. G. ZIMMER, Zur Frage der Steigerung der mutationsauslösenden Wirkung der Röntgenstrahlen durch Einbringung schweratomiger Salze in den Organismus. I. Z. indukt. Abstammungslehre **78** (1940). — K. EBERHARDT u. K. G. ZIMMER, Über die Bedeutung des Zeitfaktors für die Auslösung von Mutationen durch Strahlung. Fortschr. Röntgenstr. **61** (1940). — H. LÜERS u. A. STUBBE, Der Gehalt an freiem Ca^{+} -Stoff in der Drosophila-Lymphe. Z. indukt. Abstammungslehre **79** (1940) — Vergleichende Untersuchungen der Wildtypen verschiedener Drosophila-Arten an Hand von Transplantationen der Augenanlagen. II. Vergleich der Wildtypen von Drosophila melanogaster und Drosophila virilis. Z. indukt. Abstammungslehre **79** (1940). — A. STUBBE u. M. VOGT, Über die Homologie einiger Augenfarbgene bei Drosophila funebris und Drosophila melanogaster an Hand von Augentransplantationen. Z. indukt. Abstammungslehre **78** (1940) — Vergleichende Untersuchungen der Wildtypen verschiedener Drosophila-Arten an Hand von Transplantationen der Augenanlagen. I. Vergleich der Wildtypen von Drosophila melanogaster, Drosophila funebris und Drosophila pseudoobscura. Z. indukt. Abstammungslehre **78** (1940). — H. A. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Temperaturmodifikabilität des Zeichnungsmusters bei verschiedenen Populationen von Epilachna chryso-melina. Biol. Zbl. **61** (1941). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, The production of mutations by neutron irradiation. Research and Progress (Berl.) **5** (1939) — Spontane und strahleninduzierte Mutabilität in geographisch verschiedenen Stämmen von Drosophila

melanogaster. Biol. Zbl. **60** (1940) — Sulla questione dell'isolamento biologico entro popolazioni specifiche. Scientia Genetica **2** (1940) — Mutations and geographical variation. The New Systematics. Oxford 1940 — Über den Mutationsmechanismus und die Natur der Gene. Nova Acta Leopoldina (Halle) N. F. **9** (1940) — Eine biophysikalische Analyse des Mutationsvorganges. Nova Acta Leopoldina (Halle) N. F. **1940**, Nr 60 — Allgemeines über die Entstehung neuer Erbanlagen. Handbuch der Erbbiologie des Menschen **1** (1940) — Allgemeine Erscheinungen der Genmanfestierung. Handbuch der Erbbiologie des Menschen **1** (1940) — Der Positionseffekt der Gene. Handbuch der Erbbiologie des Menschen **1** (1940) — N. K. Koltzoff. Naturwiss. **29** (1941) — Il meccanismo di mutazione e la natura del gene. Rend. Ist. Sanità Pubbl. **3** (1941) — Mutationen als Material der Rassen- und Artbildung. Gesdh.führ. dtsch. Volkes **1941**. — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. H. A., Populationsgenetische Versuche an Drosophila. I. Zeitliche und räumliche Verteilung der Individuen einiger Drosophila-Arten über das Gelände. Z. indukt. Abstammungslehre **79** (1940) — Populationsgenetische Versuche an Drosophila. II. Aktionsbereiche von Drosophila funebris und Drosophila melanogaster. Z. indukt. Abstammungslehre **79** (1940) — Populationsgenetische Versuche an Drosophila. III. Quantitative Untersuchung an einigen Drosophila-Populationen. Z. indukt. Abstammungslehre **79** (1940). — S. R. ZARAPKIN, Eine neue quantitative Methode zur Bestimmung der Eineiigkeit bei Zwillingen. Forsch. u. Fortschr. **16** (1940). — K. G. ZIMMER, Über eine evtl. Beteiligung radiochemischer Reaktionen in wäßrigen Lösungen an biologischen Strahlenwirkungen. Fundam. radiol. (Berl.) **5** (1940) — Zur biophysikalischen Analyse des Vorganges der Tötung von Drosophila-Eiern durch Strahlung. Biol. Zbl. **60** (1940) — Dosimetrische und strahlenbiologische Versuche mit schnellen Neutronen. III. Strahlenther. **68** (1940) — Die Bestimmung von Argon in Sauerstoff-Stickstoff-Gemischen. Angew. Chem. **54** (1941) — Zur Berücksichtigung der biologischen Variabilität bei der Treffertheorie der biologischen Strahlenwirkung. Biol. Zbl. **61** (1941).

Im Druck befindliche Arbeiten: H. BAUER u. N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Genetik und Evolutionsforschung an Tieren (im Druck). — H. J. BORN u. J. GERLACH, Über den Verbleib natürlich-radioaktiver Stoffe im Organismus nach parenteraler Zuführung. Naturwiss. (im Druck). — H. J. BORN, A. LANG, G. SCHRAMM u. K. G. ZIMMER, Versuche zur Markierung von Tabakmosaikvirus mit Radiophosphor. Naturwiss. (im Druck). — W. BUCHMANN u. K. G. ZIMMER, Zur Frage der Steigerung der mutationsauslösenden Wirkung der Röntgenstrahlen durch Einbringung schweratomiger Salze in den Organismus. III. Z. indukt. Abstammungslehre (im Druck). — H. LÜERS u. A. STUBBE, Vergleichende Untersuchungen der Wildtypen verschiedener Drosophila-Arten an Hand von Transplantationen der Augenanlagen. III. Z. indukt. Abstammungslehre (im Druck) — Vergleichende Untersuchungen der Wildtypen verschiedener Drosophila-Arten an Hand von Transplantationen der Augenanlagen. IV. Z. indukt. Abstammungslehre (im Druck). — H. A. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Temperaturmodifikation des Zeichnungsmusters in verschiedenen Populationen der Epilachna chryso-melina. Nova Acta Leopoldina (Halle) (im Druck). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Einige chemisch-biologische Anwendungen der schnellen Neutronen und der künstlich radioaktiven Stoffe. Angew. Chem. (im Druck). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY,

K. G. ZIMMER u. N. RIEHL, Strahlenwirkung auf biologische Elementareinheiten. Naturwiss. (im Druck). — P. M. WOLF u. H. J. BORN, Über den Reinheitsgrad von Thorium-X-Präparaten. Strahlenther. (im Druck). — P. M. WOLF, H. J. BORN u. J. GERLACH, Über die Verteilung natürlich radioaktiver Substanzen im Organismus nach parenteraler Zufuhr. Strahlenther. (im Druck). — S. R. ZARAFKIN, Phänoanalyse von einigen Populationen der *Epilachna chrysolina*. Nova Acta Leopoldina (im Druck).

Deutsche Forschungsanstalt für Psychiatrie in München (Kaiser Wilhelm-Institut).

Geschäftsführender Direktor: ERNST RÜDIN.

Institutsdirektoren und wissenschaftliche Mitglieder: ERNST RÜDIN, FRANZ JAHNEL, KURT SCHNEIDER, WILLIBALD SCHOLZ.

Mitglied der Forschungsanstalt: HANS LUXENBURGER.

Institut für Genealogie und Demographie.

Direktor: ERNST RÜDIN.

Veröffentlichungen: H. E. GROBIG, Ausleseforschung an der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie in München. Allg. Z. Psychiatr. **112**, 153 (1939) — Aus Untersuchungen in einer gehobenen Durchschnittsbevölkerung (Krankheits- und Begabungsprognose für die Kinder einer Bevölkerungsauslese. Z. Neur. **165**, 112 (1939) — Empirische-Erbprognose und Ausleseforschung an der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie, München. Volk u. Rasse **1939**, H. 4. — K. IDELBERGER, Ist der angeborene Klumpfuß ein Erbleiden? Erbarzt **8**, H. 9 (1940). — A. u. K. IDELBERGER, Serienmäßige Zwillingsuntersuchungen zur Erbpathologie der Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten. (Bericht über eine unausgelesene Serie von 41 Paaren.) Z. menschl. Vererbgs- u. Konstit.lehre **24** (1940). — A. JUDA, Psychiatrisch-genealogische Untersuchungen an einer Serie von 392 Hilfsschulzwillingen und deren Familien. Erbarzt **8**, H. 7 (1940) — Über das Vorkommen von gleichen und ähnlichen Begabungsanlagen in den Familien von hochbegabten Künstlern und etwaige Korrelationen zu anderen hervorstechenden Begabungen. Allg. Z. Psychiatr. **116** (1940). — HANS LUXENBURGER, Die Zwillingsforschung als Methode der Erbforschung beim Menschen. Handbuch der Erbbiologie des Menschen. G. JUST. Berlin: Julius Springer 1940 — Die Bedeutung des Maßes der Stichprobenauslese für die Berechnung der Manifestationswahrscheinlichkeit erblicher Merkmale. Z. menschl. Vererbgs- u. Konstit.lehre **24** (1940) — Schizophrenie und manisch-depressives Irresein. Fortschr. Erbpath. usw. **4** (1940) — Psychotherapie und Erblehre. Zbl. Psychother. **12** (1940). — HEINZ RIEDEL, Kinderpsychiatrie und Psychotherapie in Wien. Münch. med. Wschr. **1940**, Nr 42 — Probleme der Geisteskrankheiten. Dtsch. wiss. Dienst Nr 20 (Nov. 1940). — HEIN SCHRÖDER, Der Mongolismus. Volk u. Rasse **59** (1940) — Epilepsie und Schwachsinn. Med. Klin. **1940**, H. 14 u. 15 — Beitrag zur Frage der Ätiologie des Mongolismus. Verh.-Ber. d. III. internat. Neur.-Kongr. Kopenhagen **1939**, 372–375 — Zur Frage der ovariellen Insuffizienz bei Mongoloidenmüttern. Z. Neur. **170**, 148 (1940). — BRUNO SCHULZ, Kinder manisch-depressiver und anderer affekt-psychotischer Elternpaare. Z. Neur. **169**, 311 (1940) — Kinder von Elternpaaren mit einem schizophreneren und einem affekt-psychotischen Partner. Z. Neur. **170**, 441 (1940) — Kinder aus Ehen zwischen einem endogenen oder reaktiv Geisteskranken und einem Querulanten oder induziert Gestörten. Z. Neur. **171**, 57 (1941).

Im Druck befindliche Arbeiten: K. IDELBERGER, Angeborener Klumpfuß und Schwachsinn. Verh. dtsch. orthop. Ges. **1941** — Vorläufige Ergebnisse der Zwillingsforschung bei den Lippen-, Kiefer-, Gaumenspalten. Verh. dtsch. orthop. Ges. **1941**. — HANS LUXENBURGER, Manisch-depressives Irresein. In: Handbuch der Erbkrankheiten. A. GÜTT. Leipzig: Georg Thieme. — H. E. GROBIG, Psychiatrische und neurologische Erkrankungen einer Auslesebevölkerung. Zugleich eine Krankheits- und Begabungsprognose für die Kinder einer Bevölkerungsauslese. (Aus Untersuchungen in einer gehobenen Durchschnittsbevölkerung.) (Werkmeister.) (I. u. II. Mitt.) Z. Neur. **1940** — Die Psychiatrie als Wegbereiterin positiver Rassenhygiene. Arch. Rassenbiol. **1941**.

Klinisches Institut.

Direktor: KURT SCHNEIDER.

Veröffentlichungen: L. BAUMER, Ergebnisse bei der Provokation von Anfallskranken mit der Wasserstoff-Tonephinmethode. Nervenarzt **13**, 481 (1940). — K. KÜHNE, Schizophrenie im Kindesalter. Psychiatr.-neur. Wschr. **1940**, H. 16, 1. — W. SCHEID, Zur Klinik der intrakraniellen Carcinometastasen. Allg. Z. Psychiatr. **113**, 66 (1939). — G. SCHMIDT, Der Wahn im deutschsprachigen Schrifttum der letzten 25 Jahre (1914–1939). Zbl. Neur. **97**, 113 (1940). — K. SCHNEIDER, Die psychopathischen Persönlichkeiten, 4. Aufl. Wien 1940. — H. WEIGEL, Der Liquorbefund in der Differentialdiagnose der Hirnarteriosklerose. Z. Neur. **168**, 792 (1940).

Hirnpathologisches Institut.

Direktor: WILLIBALD SCHOLZ.

Prosektor: HANS SCHLEUSSING.

Wissenschaftlicher Gast: WLADIMIR NIKOLAJEW, Tiegenhof b. Gnesen.

Veröffentlichungen: W. SCHOLZ, Über den Einfluß chronischen Sauerstoffmangels auf das menschliche Gehirn. Z. Neur. **171** (1941) — Über die Stellung des Capillarsystems im Hirnkreislauf und seine Bedeutung für Krankheitszustände des Gehirns. — H. SCHLEUSSING, Pathologische Anatomie der Tuberkulose der Harn- und männlichen Geschlechtsorgane. Erg. Tbk.forsch. **9**. — BARBARA SCHMIDT, Chronische Leptomeningitis cerebrospinalis tuberculosa. Beitr. Klin. Tbk. **96** (1940).

Im Druck: W. SCHOLZ, Krankheitsprozeß und anatomisches Symptom. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem — Morphologische Veränderungen am Gewebe und seinen Bestandteilen bei den sog. Degenerationsprozessen. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem — Allgemeine histologische Merkmale und besondere Formen kreislaufbedingter Gewebsveränderungen. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem. — G. PETERS, Encephalitis disseminata non purulenta acuta. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem — Konzentrische Sklerose. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem — Neuromyelitis optica. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem — Multiple Sklerose. Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie, Teil Nervensystem. — TH. ROEDER, Schizophrenes Siechtum auf der Grundlage ausgedehnter Hirnveränderungen nach akuter Kohlenoxydvergiftung. Z. Neur. — E. BRAND, Über eine brauchbare Gegenfärbung zur Holzerschen Gliafaser-methode. Z. Neur.

Institute für Serologie, experimentelle Therapie und Spirochätenforschung.

Direktor: FRANZ JAHNEL.

Veröffentlichungen: F. JAHNEL, Die Biologie des Treponema pallidum und das Syphilisproblem. Lisboa Medica 16, 717 (1939) — Über die chemotherapeutischen Eigenschaften des Indiums bei experimenteller Syphilis und Trypanosomenkrankheiten. Z. Immunforsch. 98, 112 (1940) — Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß des Hungerns auf den Syphilisverlauf. Z. Immunforsch. 98, 97 (1940) — Untersuchungen über die Einwirkung des Giftes der Sandotter Vipera ammodytes ammodytes Linnaeus bei experimenteller Syphilis. Z. Immunforsch. 98, 144 (1940) — Über das Vorkommen positiver Wassermann- und Flockungsreaktionen im Serum anscheinend gesunder Hammel. Z. Immunforsch. 98, 306 (1940) — Über die Unwirksamkeit verschiedener Schlangengifte bei experimenteller Syphilis. Z. Immunforsch. 98, 344 (1940) — Neuere Untersuchungen über die Pathologie und Therapie der syphilitischen Erkrankungen des Gehirns und Rückenmarks (Lues cerebrospinalis, Lues cerebri, Lues spinalis, Tabes). 10. Bericht. Fortschr. Neur. 1940, H. 10, 349 — Über positive Luesreaktionen im Rinderserum. Z. Immunforsch. 98, H. 6 (1940). — F. ROEDER, Läßt sich die Lehmann-Faciussche Reaktion durch Anwendung optischer Meßinstrumente zur Erkennung der Schizophrenie aus dem Liquor brauchbar machen. Allg. Z. Psychiatr. 115, 114—131 (1940). — O. REHM, Die Cerebrospinalflüssigkeit der Tiere. Arch. Tierheilk. 76, 39—46 (1940). — D. GIGANTE, Über die Boventersche Reaktion zur mikroskopischen Schnelldiagnose des syphilitischen Liquors. Z. Immunforsch. 98, 181 (1940) — Über das Vorkommen unspezifischer Lues- und Gonorrhöekomplementbindungsreaktionen bei inneren Erkrankungen. Klin. Wschr. 1941 I, 123 — Erfahrungen mit der Trockenblutreaktion M.K.R. II auf Syphilis nach Meinicke und Fischer. Z. Immunforsch. 99, H. 4 (1941).

Im Druck: F. JAHNEL, Über das Vorkommen positiver Luesreaktionen im Serum von Pferden. Z. Immunforsch. — Über positive Luesreaktionen in Blut und Liquor nach Einspritzung von artfremdem Serum. Münch. med. Wschr. In Vorbereitung: Über die Sprachstörungen bei Nervensyphilis — Über Beeinflussung des Syphilisverlaufes durch natürliche Heilfaktoren — Das serologische Verhalten des Ziegenblutes — Neuere Untersuchungen über die Pathologie und Therapie der syphilitischen Erkrankungen des Gehirns und Rückenmarks (Lues cerebrospinalis, Lues cerebri, Lues spinalis, Tabes). 11. Bericht — Handbuch der pathologischen Anatomie: Spirochäten bei Paralyse, Tabes und Syphilis des Zentralnervensystems; — Spontanencephaliden der Laboratoriumstiere; — Trypanosomenkrankheiten.

Kaiser Wilhelm-Institut für Deutsche Geschichte, Berlin.

Direktor: PAUL KEHR.

Der II., von Dr. WENTZ bearbeitete Band der „Germania Sacra“ mit dem Bistum Brandenburg ist im Verlag Walter de Gruyter erschienen. Ein weiterer Band über das Erzstift Magdeburg befindet sich in Vorbereitung.

Der von Dr. SAMANEK im Auftrage der I. F. Böhmischer-Stiftung in Wien herausgegebene VI. Band der Regesta imperii mit den Regesten Adolfs von Nassau geht seiner Vollendung entgegen.

Kaiser Wilhelm-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht, Berlin.

Direktor: VIKTOR BRUNS.

Stellvertretender Direktor und wissenschaftliches Mitglied: ERNST SCHMITZ.

Wissenschaftliche Mitglieder: CARL SCHMITT, BERTHOLD SCHENK GRAF VON STAUFFENBERG, HEINRICH TRIEPEL.

Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied: RUDOLF SMEND.

Veröffentlichungen: a) Zeitschrift für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht 9, Nr 4 — 10, Nr 1/2. Hrsg. in Gemeinschaft mit den wissenschaftlichen Mitgliedern von VIKTOR BRUNS u. ERNST SCHMITZ. Berlin: Walter de Gruyter & Co. 1940.

Von den Mitarbeitern des Instituts stammen folgende Abhandlungen und Berichte: BRUNS, Der britische Wirtschaftskrieg und das geltende Seekriegsrecht. — BLOCH, Chronik der Staatsverträge — Die Behandlung deutscher Staatsangehöriger im feindlichen Ausland. — KORKISCH, Die Neuregelung der Staatsangehörigkeit in den Gebieten der früheren Tschechoslowakei. — MAKAROV, Der sowjetrussisch-finnische Konflikt — Die Eingliederung Bessarabiens und der Nordbukowina in die Sowjet-Union — Die Militär- und Arbeitsdienstpflicht der Ausländer in Frankreich. — MOSLER, Das französische Prisenverfahren im gegenwärtigen Kriege. — SCHLUETER, Der Ausbruch des Krieges. — WEISS, Britische Theorie und Praxis zur Frage der Lossagung von der Fakultativklausel. — WENGLER, Gesetzgebung über die Beziehungen zum Feind und die Behandlung feindlichen Vermögens.

b) MARTENS-TRIEPEL, Nouveau Recueil Général de Traités et autres actes relatifs aux rapports de droit international. Tome XXXVII, Livr. 3 — XXXVIII, Livr. 1. Leipzig: Hans Buske 1940/41.

c) Beiträge zum ausländischen öffentlichen Recht und Völkerrecht, H. 26: BRUNS, Der britische Wirtschaftskrieg und das geltende Seekriegsrecht. Berlin: Carl Heymanns Verlag 1940.

Veröffentlichungen im Druck: a) Zeitschrift für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht 10, Nr 3/4.

b) Supplement zu den Fontes Juris Gentium: Politische Verträge. Eine Sammlung von Urkunden, Bd. 3, Teil 1 und 2. Bearb. von GEORG VON GRETSCHANINOW.

c) MARTENS-TRIEPEL, Nouveau Recueil Général de Traités et autres actes relatifs aux rapports de droit international. Tome XXXVIII, Livr. 2.

In Vorbereitung befindliche Veröffentlichungen und sonstige Untersuchungen: Fontes Juris Gentium, Ser. A, Sect. 2, Tom. 2 ff.: ERNST SCHMITZ u. WILHELM FRIEDE, Handbuch der Entscheidungen der Obersten Gerichtshöfe der Vereinigten Staaten von Amerika in völkerrechtlichen Fragen — Handbuch der Entscheidungen des französischen Kassationshofs und Staatsrats in völkerrechtlichen Fragen. — Ser. B, Sect. 1, Tom 3.: A. N. MAKAROV u. ERNST SCHMITZ, Handbuch der diplomatischen Korrespondenz der europäischen Staaten 1878—1885. — Supplement zu den Fontes Juris Gentium: G. v. GRETSCHANINOW, Politische Verträge, Bd. 2, Tl. 3. — BLOCH, Chronik der Staatsverträge — Die Einwirkung des Krieges auf die Rechtsstellung Islands. — BUENGER, Der britisch-japanische Zwischenfall von Tientsin — Der Vertrag zwischen Japan und der Regierung Wang Chingwei. — v. GRETSCHANINOW, Tätigkeit und Mitgliederbestand des Völkerbundes im gegenwärtigen Kriege. — KORKISCH, Die rumänischen Gebietsabtretungen an Ungarn und Bulgarien und die Regelung damit zusammenhängender Volkstumsfragen. — MAKAROV, Die Eingliederung der baltischen Staaten in die Sowjet-Union — Gesetze über Fragen der Staats-

angehörigkeit 1939/40 — Die Einführung der Sowjetgesetzbücher in den in die Sowjet-Union eingegliederten Gebieten — Das interregionale Privatrecht des vorrevolutionären Rußland. — MOSLER, Das Recht der Handelsgesellschaften im Elsaß und in Lothringen. — v. PUTTKAMER, Die polnische Frage auf der Versailler Friedenskonferenz. — SCHMITZ, Die „offene Stadt“ im geltenden Kriebsrecht. — STREBEL, Die Behandlung des feindlichen Vermögens. — WENGLER, Die Rechtsstellung der Mischlinge im italienischen Kolonialrecht nach dem Gesetz vom 13. V. 1940.

Veröffentlichungen außerhalb der Institutspublikationen: BRUNS, Zum Fall der „Altmark“. In: Mh. f. ausw. Politik 7, H. 3, 155—160 — Rechtswidriger Handelskrieg. In: „Das Reich“ vom 8. IX. 1940 — Bilanz der Schuld. In: „Das Reich“ vom 17. IX. 1940 (Nr 17) — Die Kriegsschuld der Vereinigten Staaten, amerikanische Rechtsauffassungen. In: „Das Reich“ vom 19. I. 1941 (Nr 3). — BUENGER, Über die Betriebspflicht im Bergrecht. In: Dtsch. Gemein- u. Wirtschaftsrecht 1941, Nr 1/2, 15—17. — MOSLER, Die Anwendung der belgischen Weltkriegsgesetzgebung seit der Mobilmachung. In: Reichsverw. bl. 62, H. 1, 7/8 — Die Verwaltung im Elsaß und in Lothringen zur Zeit — des Waffenstillstandes. In: Reichsverw. bl. 61, H. 38, 501—506. — SCHMITZ, Die „offene Stadt“ im geltenden Kriebsrecht. In: Dtsch. Recht, Ausgabe A, 10, H. 51/52. — WENGLER, Das deutsche Privatrecht im Protektorat Böhmen und Mähren und im Generalgouvernement Polen. In: Z. Akad. dtsh. Recht 7, 105—108 — Grundfragen des interregionalen Privatrechtes in Deutschland. In: Dtsch. Rechtswissensch. 5, 168—178 — Wohnsitz- oder Abstammungsgrundsatz im deutschen interlokalen Recht? In: Z. Akad. dtsh. Recht 7, 354—355 — Die Anknüpfungen des zwingenden Schuldrechts im internationalen Privatrecht. In: Z. vergl. Rechtswissensch. 54, 168—212.

Kaiser Wilhelm-Institut für ausländisches und internationales Privatrecht, Berlin.

Direktor: ERNST HEYMANN.

Wissenschaftliche Mitglieder: HEINRICH TITZE, JUSTUS WILHELM HEDEMANN.

Veröffentlichungen: a) Zeitschrift für ausländisches und internationales Privatrecht, herausgegeben in Gemeinschaft mit J. W. HEDEMANN, M. PAGENSTECHER, F. SCHLEGELBERGER, H. TITZE von E. HEYMANN; 13, H. 1/2. Darin als Beiträge der im Institut wissenschaftlich Tätigen: E. HEYMANN, Festschrift Ernst Heymann 1940 (Rezensionsabhandlung). — K. BÜNGER, Zur Reform des japanischen Handelsgesetzbuchs. — K. GÜNTHER, Das Privatrecht in Dänemark. — G. LUTHER, Die privatrechtliche Gesetzgebung Italiens in den Jahren 1937 und 1938.

b) Beiträge zum ausländischen und internationalen Privatrecht. Hrsg. von E. HEYMANN. H. 17: G. KEGEL, H. RUPP, K. ZWEIGERT, Die Einwirkung des Krieges auf Verträge in der Rechtsprechung Deutschlands, Frankreichs, Englands und der Vereinigten Staaten von Amerika.

c) An anderer Stelle: F. KORKISCH, Der deutsche Einfluß auf die polnische Gesetzgebung in den Jahren 1919—1939, „Die Burg“, Vierteljahrsschrift des Instituts für Deutsche Ostarbeit, Krakau 1, 28ff. (1940).

Im Druck befindliche und zur Veröffentlichung vorbereitete Arbeiten: a) für die Zeitschrift: K. BÜNGER, Die Zivil- und Handelsgesetzgebung der Mandschurei. — K. GÜNTHER, Die Aktienrechtsreform in Schweden — Das Zivil- und Handelsrecht in Norwegen. — G. KEGEL, Die internationalprivatrechtliche Qualifikation

der Grundstücksgesellschaft mit beschränkter Haftung. — F. KORKISCH, Die Rechtsangleichung im Lande Österreich und im Sudetengau — Die Rechtsentwicklung im Protektorat Böhmen und Mähren. — G. LUTHER, Rechtsvergleichende Betrachtungen zur Personenrechtsreform. — H. MÜLLER, F. KORKISCH, Die deutsche Rechtsprechung auf dem Gebiete des internationalen Privatrechts in den Jahren 1935—1940. — H. RUPP, Die Anerkennung der Zuständigkeitsvereinbarung im Britischen Reich und in den Vereinigten Staaten von Amerika — Die Zuständigkeit zur Vornahme von Vollstreckungsakten nach dem Recht der Vereinigten Staaten von Amerika — Die Parteivereinbarung im internationalen Privatrecht der Vereinigten Staaten. — W. WENGLER, Das Kollisionsrecht der englischen Kolonien: Die Kolonien des französischen Rechts. — C. J. WURMAN, Niederländische Gesetzgebung in den Jahren 1935—1938. — K. ZWEIGERT, Die privatrechtliche Wirkung der Clearingverträge in der internationalen Rechtsprechung.

b) Sonderbeiträge der Zeitschrift anlässlich des 70. Geburtstages des Institutsdirektors. Beiträge der wissenschaftlichen Mitarbeiter im Institut: K. BÜNGER, Die mandschurischen Handelsgesellschaften. Ein Beitrag zum deutschen Einfluß im ostasiatischen Recht. — W. ERBE, Zum Gegenstand der Rechtsvergleichung. — K. GÜNTHER, Die Gläubigeranfechtung im internationalen Privatrecht. — G. KEGEL, Zum Problem der Geschäftsgrundlage. — F. KORKISCH, Das internationale Privatrecht in der Slowakei. — G. LUTHER, Das internationale Privatrecht im neuen italienischen Codice civile. — H. MÜLLER, Die Reform des Bürgerrechts in der Schweiz. — L. ROSSMANN, Das Verbot des gemeinschaftlichen Testaments im internationalen Privatrecht. — H. RUPP, Probleme der Rechtsanwendung vor den Bundesgerichten in den Vereinigten Staaten von Amerika (von Swift v. Tyson vor Erie R.R.C. v. Tompkins). — K. ZWEIGERT, Das Kondiktionsstatut.

c) In Vorbereitung befindliche Untersuchungen u. a.:

Aus dem romanischen Recht: Gesetzgebung, Rechtsprechung und Schrifttum in Frankreich in den Jahren 1937—1939. — Italienische Rechtsprechung 1937 bis 1940. — Belgische Gesetzgebung 1938 und 1939. — Belgische Rechtsprechung zum internationalen Privatrecht 1932—1939. — Die Rechtsentwicklung im neuen Spanien. — Das Zivil- und Handelsrecht Portugals. — Das internationale Privatrecht in den lateinamerikanischen Staaten (in Einzeluntersuchungen).

Aus dem anglo-amerikanischen Recht: Englische Gesetzgebung und Rechtsprechung in den Jahren 1937—1939. — Untersuchungen zur Rechtsentwicklung in den Vereinigten Staaten von Amerika.

Aus dem nordischen Recht: Die Rechtsvereinheitlichung in den nordischen Staaten. — Die Entwicklung des internationalen Privatrechts in den nordischen Staaten. — Schwedische Gesetzgebung in den Jahren 1937—1940, Rechtsprechung 1935—1940.

Aus dem osteuropäischen Recht: Das Zivil- und Handelsrecht der Slowakei. — Die Rechtsentwicklung Ungarns. — Aus der Rechtsprechung der ungarischen Gerichte 1935—1938. — Die neuere Entwicklung des rumänischen Zivil- und Handelsrechts. — Neue Gesetzgebung und Rechtsprechung in Griechenland.

Aus dem asiatischen Recht: Die Rechtsentwicklung in der Türkei. — Untersuchungen zum Zivil- und Handelsrecht des Fernen Ostens (China, Japan, Mandschuko).

d) Für das Rechtsvergleichende Handwörterbuch: H. TITZE, Vertrag — Redaktion von Bd. 7 des Rechts-

vergleichenden Handwörterbuchs. — E. VON CAEMMERER, Ungerechtfertigte Bereicherung. — W. ERBE, Vertrag zugunsten Dritter. — K. GÜNTHER, Unterhaltspflicht — Vorkaufsrecht — Wiederkaufsrecht. — F. KORKISCH, Verwandtschaft. — G. LUTHER, Verlöbniß. — H. MÜLLER, Wucher. — L. ROSSMANN, Versteigerung. — K. ZWEIGERT, Wettbewerbsverbot.

e) An anderer Stelle: F. KORKISCH, Die privatrechtliche Stellung der Deutschen im Generalgouvernement (Institut für Deutsche Ostarbeit, Krakau).

f) In besonderen Werken wird das Institut veröffentlichten: A. N. MAKAROV, Internationales Privatrecht (Sammlung der Gesetze und Verträge).

Kaiser Wilhelm-Institut für Kunst- und Kulturwissenschaft im Palazzo Zuccari, Rom.

I. Abteilung für Kunstwissenschaft.

Direktor: LEO BRUHNS.

Veröffentlichungen (im 4. Band 1940 des Römischen Jahrbuches für Kunstwissenschaft): THEODOR HETZER, Paolo Veronese. — FRANZSEPP WÜRTEMBERGER, Die manieristische Deckenmalerei in Mittelitalien. — LUDWIG WACHLER, Giovannantonio Dosio. — LEO BRUHNS, Das Motiv der ewigen Anbetung in der römischen Grabplastik des 16., 17. und 18. Jahrhunderts. — BERNHARD DEGENHART, Kleine Beiträge zur Kunstgeschichte des Palazzo Zuccari.

In Vorbereitung (vorgesehen für den 5. Band des Römischen Jahrbuchs für Kunstwissenschaft): 1. RUDOLF KAUTZSCH, Langobardische Schmuckkunst in Oberitalien. — 2. HEINRICH M. SCHWARZ, Normankirchen in Sizilien und Calabrien. — 3. CARL LAMB, Villa d'Este in Tivoli.

In Buchform sollen erscheinen: WERNER KÖRTE, Das Stauferkastell Lagopesole in Lukanien. — BERNHARD DEGENHART, Corpus der frühen italienischen

Handzeichnungen. — WILHELM PAESELER, Pietro Cavallini.

II. Abteilung für Kulturwissenschaft.

Direktor: WERNER HOPPENSTEDT.

Wissenschaftliche Gäste: Prof. Dr. JOHANN VON LEERS (Universität Jena); Ministerialdirektor Prof. Dr. HOLFELDER (Reichserziehungsministerium Berlin); Prof. ADOLF ZIEGLER (München); Prof. Dr. GERHARD ROHLFS (Universität München); Prof. Dr. FRIEDRICH WILHELM v. BISSING (Oberaudorf); Dr. LUDWIG FERDINAND CLAUSS (Universität Berlin); Prof. Dr. OTTO HAHN (Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin).

In der Vortragsreihe der Abteilung erschienen: H. 22: FRIEDRICH BOCK, Parallelismi fra la storia italiana e tedesca. — H. 23: FRITZ SCHALK, Moralisti italiani del rinascimento. — H. 24: JOHANN VON LEERS, L'Inghilterra — l'avversario del continente europeo. — H. 25: HANS REITER, L'Importanza del pensiero biologico per un governo razionale. — H. 26: JOSEPH LOSCHELDER, Die Oper als Kunstform. — Ferner erschien als Abhandlung: Dr. ANNELIESE MAIER, Die Impetustheorie in der Scholastik. — Als Sonderveröffentlichung erschien: JOHANN VON LEERS, Elementi comuni nella storia Italiana e Germanica.

In Vorbereitung (aus der Vortragsreihe): RODOLFO CORSELLI, La collaborazione militare italo-germanica attraverso i secoli. — JULIUS EVOLA, Die arische Lehre von Kampf und Sieg. — FRIEDRICH WILHELM VON BISSING, Mathilde Wesendonck, die Frau und Dichterin. — GERHARD ROHLFS, L'italianità linguistica della Corsica.

Sonderheft: Die Verdi-Feier im Kaiser Wilhelm-Institut für Kulturwissenschaft, mit Beiträgen von Dr. Dr. WERNER VON DER SCHULENBURG u. Dr. JOSEPH LOSCHELDER.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Gleichgewichte in salzsauren Al^{3+} , Fe^{3+} und F^- enthaltenden Lösungen.

Im Zusammenhang mit Versuchen zur Bestimmung der Dissoziation von komplexen Aluminiumfluorid- und Ferrifluoridionen, die in einer demnächst erscheinenden Arbeit publiziert werden, wurden auf Basis eigener potentiometrischer Messungen bei 25°C die folgenden Gleichgewichtskonstanten berechnet:

$$\frac{a_{H^+} \cdot a_{F^-}}{c_{HF}} = 6,9 \cdot 10^{-4}; \quad \frac{a_{HF_2^-}}{c_{HF} \cdot a_{F^-}} = 5,4^1)$$

(a = Aktivität; c = Konzentration; f = Aktivitätsfaktor).

Die übrigen im folgenden angegebenen Konstanten wurden aus Messungen bei einer konstanten Ionenstärke von 0,53 erhalten.

$$\frac{c_{H^+} \cdot c_{F^-}}{c_{HF}} = 1,22 \cdot 10^{-3}; \quad \frac{c_{HF_2^-}}{c_{HF} \cdot c_{F^-}} = 4,8;$$

$$\frac{c_{Fe^{3+}} \cdot c_{Cl^-}}{c_{FeCl_2^+}} = 0,43^2); \quad \frac{c_{FeOH^{2+}} \cdot c_{H^+}}{c_{Fe^{3+}}} = 1,51 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{c_{Fe^{3+}} \cdot c_{F^-}}{c_{FeF_2^+}} = 8 \cdot 10^{-6}.$$

Was die Aluminiumfluoridionen betrifft, so scheint es, als ob die 5 ersten Dissoziationskonstanten sich sukzessiv um etwa eine Zehnerpotenz vergrößern. Wenigstens sind, wieder bei einer Ionenstärke von 0,53, die 3. und die 4. Konstante von der folgenden Größenordnung:

$$\frac{c_{AlF_2^+} \cdot c_{F^-}}{c_{AlF_3}} \sim 10^{-4}; \quad \frac{c_{AlF_3} \cdot c_{F^-}}{c_{AlF_4^-}} \sim 10^{-3};$$

Das Vorkommen von AlF_6^{3-} -Ionen (wie auch von FeF_6^{3-} -Ionen) wurde noch nicht beobachtet. Es ist aber nicht unwahrscheinlich, daß in einer Al^{3+} enthaltenden Lösung, die bei höherer Fluoridkonzentration keine komplexen Salze abscheidet, etwa die Hälfte des Aluminiums als AlF_6^{3-} vorkommt, wenn die Fluoridkonzentration von der Größenordnung 10^{-1} ist.

Stockholm, Institut für anorganische und allgemeine Chemie der Universität, den 9. Juni 1941. CYRILL BROSSET.

¹⁾ Hier wurde $f_{HF_2} = f_{F^-}$ angenommen.

²⁾ Das Vorkommen dieses Gleichgewichts wurde schon von BRAY und HERSHEY [J. amer. chem. Soc. 56, 1889 (1934)] angenommen, die K_0 aus Messungen von POPOFF und KUNZ [ebenda 51, 382 (1929)] zu 0,05 berechnet haben. Kürzlich haben BENT und FRENCH [ebenda 63, 568 (1941)] $K_0 = 0,78$ aus Extinktionsmessungen erhalten.

Sulfonamidhemmende Wirkung der p-Aminobenzoesäure bei autotrophen Organismen.

Mehrere Forscher haben uns auf die sulfonamidhemmende Wirkung der p-Aminobenzoesäure aufmerksam gemacht. Für Bakterien wurde dieser Effekt sowohl *in vitro*¹⁻⁵⁾ als *in vivo*⁶⁻⁸⁾ festgestellt. Auch für das Virus des Lymphogranuloma venereum hat FINDLAY⁷⁾ einen ähnlichen Effekt *in vivo* nachgewiesen.

Diese Entdeckungen gaben dem Verfasser den Anstoß, zu untersuchen, ob eine entsprechende Abnahme des Sulfonamideffektes durch p-Aminobenzoesäure auch bei autotrophen Organismen festzustellen ist.

Als Versuchsobjekte wurden einige vom Verfasser seit langem kultivierte Diatomeenstämme gewählt. Diese gehörten dem Genus *Nitzschia* an; es handelt sich um *N. palea*

var. debilis. Sie wurden in Strichkulturen auf Agarplatten laut früher beschriebener Methodik⁹⁾ bei etwa 20° C gezüchtet.

Als Grundsubstrat wurde Agar, der nebst Nährsalzen in Leitungswasser gelöst war, verwendet. Es war also keine sulfonamidhemmende Substanz vorhanden. Zu diesem Grundnährboden wurden die zu untersuchenden Sulfonamid-derivate (Sulfanilamid, Sulfapyridin, Sulfathiazol) in verschiedenen Konzentrationen zugesetzt, um die sicher zuwachs hemmende Konzentration festzustellen. Nachdem diese bestimmt war, wurde untersucht, welche Konzentration von p-Aminobenzoesäure notwendig war, um die zuwachs hemmende Wirkung der Sulfonamide aufzuheben.

Es wurde gezeigt, daß für diese *Nitzschia*-Stämme Sulfathiazol am wenigsten wachstumshemmend wirkt und Sulfanilamid am meisten; Sulfapyridin nahm in dieser Hinsicht eine Mittelstellung ein. Die wirksamen Konzentrationen waren von derselben Größenordnung wie bei Versuchen mit Bakterien auf peptonfreien Nährböden.

Die wachstumshemmende Wirkung der untersuchten Verbindungen wurde durch p-Aminobenzoesäure aufgehoben. Der von STRAUSS, LOWELL und FINLAND¹⁰⁾ entdeckte Unterschied in der Wirkung der p-Aminobenzoesäure gegen die drei untersuchten Verbindungen, der darin besteht, daß die hemmende Wirkung gegen Sulfanilamid größer ist als gegen Sulfapyridin und gegen dieses wieder größer als gegen Sulfathiazol, zeigte sich in den Versuchen des Verfassers als gültig auch für die untersuchten Diatomeenstämmen.

Diese Ergebnisse sind insofern von Interesse, als hier ein von den ernährungsphysiologisch heterotrophen Bakterien und von einer Virusart bekannter Effekt nun auch bei autotrophen Organismen nachgewiesen werden konnte.

Eine vollständige Veröffentlichung meiner Ergebnisse wird später erscheinen.

Stockholm (Schweden), Staatliches bakteriologisches Laboratorium, den 21. Juni 1941. STEN WIEDLING.

¹⁾ D. D. WOODS u. P. FILDES, Chem. Ind. 59, 133 (1940).

²⁾ D. D. WOODS, Brit. J. exper. Path. 21, 74 (1940).

³⁾ O. WEIS u. L. R. JONES, J. Bacter. 41, 82 (1941).

⁴⁾ M. LANDY u. J. WYENO, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 46, 59 (1941).

⁵⁾ E. STRAUSS, J. H. DINGLE u. M. FINLAND, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 46, 131 (1941).

⁶⁾ F. R. SELBIE, Brit. J. exper. Path. 21, 90 (1940).

⁷⁾ G. M. FINDLAY, Brit. J. exper. Path. 21, 356 (1940).

⁸⁾ M. McCARTY, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 46, 133 (1941).

⁹⁾ S. WIEDLING, Bot. Not. 1941, 37.

¹⁰⁾ E. STRAUSS, F. C. LOWELL u. M. FINLAND, J. clin. Invest. 20, 189 (1941).

Über den Zusammenhang zwischen Verfestigung und Gitterverbiegungen.

ANDRADE und CHOW¹⁾ haben kürzlich wieder den Asterismus an gedehnten kubisch-raumzentrierten Metallen untersucht und sind auf Grund ihrer Ergebnisse zu der schon früher von TAYLOR, YAMAGUCHI und BURGERS²⁾ vertretenen

Ansicht gelangt, daß die dadurch angezeigten Gitterverbiegungen (und -verwindungen) unmittelbar eine Folge des Gleitens und die Ursache der Verfestigung seien. Demgegenüber habe ich an Naphthalinkristallen, die in dünnen Gleitschichten lediglich durch Schubkräfte in der Gleitebene parallel zur Gleitrichtung beansprucht wurden [Schiebegleitung nach BAUSCH³⁾], auch nach sehr großen Abgleitungen (bis zu 9) keinerlei Asterismus festgestellt⁴⁾.

Dadurch ist nachgewiesen, daß bei dieser Anordnung das Gleiten rein und mikroskopisch homogen erfolgt⁵⁾ und die bei der Dehnung und Stauchung auftretenden mikroskopisch inhomogenen Gitterverbiegungen mit dem Gleitvorgang als solchem nichts zu tun haben, sondern lediglich durch die Art der Versuchsführung bedingte unvermeidliche Begleiterscheinungen darstellen. Diese Versuche sind also keine „reinen“ Versuche, die nur einen Vorgang, frei von weiteren, insbesondere experimentell nicht genau prüfbareren Einflüssen erfassen. Diese Tatsache ist bisher kaum beachtet worden⁶⁾.

Hervorzuheben ist, daß auch bei der Schiebegleitung Verfestigung auftritt, die nahezu so groß ist wie bei der Dehnung⁷⁾. Damit ist erwiesen, daß auch das reine Gleiten eine Verfestigung bewirkt, die aber mit dem Asterismus nicht zusammenhängt und daher andere Ursachen hat als die dadurch angezeigten Gitterverbiegungen. Natürlich sind diese nicht ohne Einfluß auf die äußeren Kräfte (die sie ja miterzeugen müssen), bedingen also eine zusätzliche Verfestigung, die aber bei gedehnten und gestauchten Einkristallen nur eine untergeordnete Bedeutung besitzt. Erst bei inhomogen verformten Einkristallen und verformten Vielkristallen tritt sie gegenüber der reinen Gleitverfestigung in den Vordergrund⁷⁾.

Stuttgart, Zweites Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, den 5. Juli 1941. A. KOCHENDÖRFER.

¹⁾ E. N. DA C. ANDRADE u. Y. S. CHOW, Proc. roy. Soc. Lond. A 175, 290 (1940).

²⁾ Vgl. den zusammenfassenden Bericht von W. G. BURGERS, Die Plastizität der Kristalle, in R. HOUWINK, Elastizität, Plastizität und Struktur der Materie. Dresden u. Leipzig: Th. Steinkopff 1938.

³⁾ K. BAUSCH, Z. Phys. 93, 479 (1935).

⁴⁾ A. KOCHENDÖRFER, Plastische Eigenschaften von Kristallen und metallischen Werkstoffen. Reine u. angew. Metallkunde in Einzeldarstellungen, hrsg. von W. KÖSTER, Bd. 7. Berlin: Julius Springer 1941.

⁵⁾ Dagegen kann aus dem Fehlen des Asterismus nicht geschlossen werden, daß die Verformung auch submikroskopisch homogen sei. Wenn auch der experimentelle Nachweis der submikroskopischen Gitterverbiegungen, der bei geeigneter Verteilung derselben durch eine Linienverbreiterung erfolgen kann, noch fehlt, so ergibt sich ihr Bestehen doch zwingend aus der Tatsache der reinen Gleitverfestigung.

⁶⁾ Wahrscheinlich sind auch viele optische und röntgenographische Erscheinungen, die an gedehnten und gestauchten Salzkristallen beobachtet wurden, Auswirkungen der unvermeidlichen mikroskopisch inhomogenen Gitterverbiegungen und nicht des reinen Gleitens selbst.

⁷⁾ Eine ausführliche Behandlung dieser Fragen erfolgt in dem unter ⁴⁾ zitierten Bericht.

Besprechung.

THORADE, H., *Ebbe und Flut. Ihre Entstehung und ihre Wandlungen*. (Verständliche Wissenschaft. Bd. 46.) Berlin: Julius Springer 1941. VI, 115 S u. 69 Textabb. Preis geb. RM 4.80.

Es ist ein schwieriges Unternehmen, unsere Kenntnisse der Entstehung und Entwicklung der die Ozeane in allen ihren Teilen umfassenden Erscheinungen der Ebbe und Flut gemeinverständlich, d. h. ohne mathematische Vorkenntnisse und Betrachtungen darstellen zu wollen. Es bedarf hierzu des Zurückgreifens auf allgemeine physikalische Grundlagen und eine „Freilegung des logischen Gedankengewebes“, und schon dies allein macht die Darstellung schwierig und setzt beim Leser die Notwendigkeit, aber auch die Fähigkeit voraus, den Gedankengängen zu folgen und selbst

mitzudenken. THORADE hat schon in anderen Fällen bewiesen, daß er die Gabe besitzt, schwierige Entwicklungen „gemeinverständlich“ zur Darstellung zu bringen. Auch in diesem Büchlein ist ihm dies meisterhaft gelungen, wobei betont werden muß, daß der Gegenstand in durchaus moderner Weise bis zu den neuesten Ergebnissen der Forschung gebracht worden ist. Es ist sehr erfreulich, daß wir nunmehr eine solche gute, in viele Einzelheiten gehende, allgemein verständliche Darstellung der Erscheinung der Gezeiten besitzen. Auf sie wird man immer hinweisen können, wenn von sachkundiger Seite „neue“ Theorien der Gezeiten vorgelegt werden, bei denen zumeist festzustellen ist, daß die Verfasser die „alte“ Theorie nicht genügend genau kennen oder mißverstanden haben. A. DEFANT.

Hans Driesch.

Der Naturforscher und Naturphilosoph (1867—1941).

Von E. UNGERER, Karlsruhe.

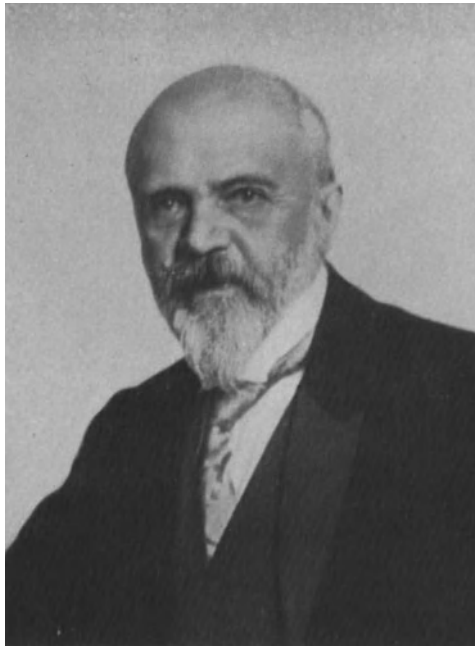
Am 16. April 1941 ist in Leipzig HANS DRIESCH entschlafen. Sein Lebenswerk als Naturforscher ist ebenso mitbestimmend für einen Abschnitt der Geschichte der Biologie, wie sein Lebenswerk als Philosoph zum mindesten für die Geschichte der Beziehungen zwischen Philosophie und Naturwissenschaft künftig einen Einschnitt bedeuten wird. DRIESCHS letzte, in seinem Todesjahr erschienene Buchveröffentlichung über „Biologische Probleme höherer Ordnung“ zeigt zusammen mit einer Reihe größerer und kleinerer Arbeiten aus den beiden letzten Jahrzehnten, wie sehr der Problembereich des organischen Lebens, von dem er ausgegangen war und durch dessen neuartige Inangriffnahme er seinen Aufstieg zur großen und weltbekanntesten Forscherpersönlichkeit vollzogen hatte, ihn bis an sein Ende aufs stärkste beschäftigte.

Über ein halbes Jahrhundert umfaßt HANS DRIESCHS weitgespannte Forscherarbeit. Im ersten Jahrzehnt, zwischen 1889 und 1899, ist er *Zoologe*: einer der erfolgreichsten Mitbegründer der Entwicklungsphysiologie der Tiere, zugleich bemüht um deren theoretische Voraussetzungen. Die entscheidende Arbeit von 1899, „Die Lokalisation morphogener Vorgänge, ein Beweis vitalistischen Geschehens“, leitet zugleich das Jahrzehnt seiner wichtigsten *naturphilosophischen* Leistungen ein, an dessen Ende und Höhepunkt die „Philosophie des Organischen“ von 1909 steht. Die innere Notwendigkeit der Entwicklung seiner Probleme macht ihn im nächsten Jahrzehnt zum „reinen“ *Philosophen*, der in den umfangreichen Werken der „Ordnungslehre“ (1912) und der „Wirklichkeitslehre“ (1917) ein System der Philosophie schafft; in „Die Logik als Aufgabe“ (1913) und „Wissen und Denken“ (1919) wird die Verbindung logischer und denkpsychologischer Auf-

gaben hergestellt, in „Leib und Seele“ (1916, 2. Aufl. 1920) das psychophysische Grundproblem von neuen Gesichtspunkten in Angriff genommen. Die beiden letzten Jahrzehnte zwischen 1920 und 1941 sind (in umgearbeiteten Auflagen der Hauptwerke wie in zahlreichen Abhandlungen und Buchveröffentlichungen) dem *Ausbau* der verschiedenfältigen philosophischen und bi-theoretischen Fragen gewidmet, wobei auch psychologische Probleme einen breiteren Raum einnehmen.

HANS DRIESCH wurde am 28. Oktober 1867 in Kreuznach als Sohn eines Hamburger Großkaufmanns geboren. Seine Primanerzeit stand unter dem Einfluß von ERNST HAECKELS „Natürlicher Schöpfungsgeschichte“ und „Genereller Morphologie“. Das Bewußtsein, daß in der Biologie neue geistige Kräfte sich machtvoll regten und stärksten Einfluß auf Weltbild und Lebensauffassung gewinnen mußten, führte ihn zum naturwissenschaftlichen Studium und vor allem zu dem der Zoologie. Diese biologischen Lehrjahre fielen also in die Zeit des fast nicht mehr umstrittenen Sieges der Abstammungslehre und ihres stärksten Einflusses auf alle biologischen Teildisziplinen und wurde, neben einem Freiburger Semester, im Hauptquar-

tier des deutschen Darwinismus, in Jena bei ERNST HAECKEL, verbracht. Die Doktorarbeit des jungen Zoologen über die Verzweigungsformen stockbildender Hydroidpolypen ist im ganzen aus HAECKELS Fragestellung und Forschungsweise heraus durchgeführt und endet mit Stammbaumkonstruktionen; dennoch enthält sie schon etwas in dieser wissenschaftlichen Umwelt Neues und Weiterweisendes: die Frage nach den inneren Bedingungen des „Wachstumsgesetzes“ dieser Polypenstöcke und nach den äußeren Bedingungen seiner Verwirklichung und Abänderung



samt dem Hinweis auf die Fruchtbarkeit ihrer experimentellen Bestimmung. Diese *kausale* Fragestellung aber verriet ein Unbefriedigtsein mit der Erklärungsweise des Meisters und wurde so zum Anzeichen früherer geistiger Selbständigkeit; denn für ERNST HAECKEL war das Problem der Formbildung erledigt durch die Herleitung des gegenwärtigen Entwicklungsgeschehens auf Grund des „biogenetischen Grundgesetzes“ aus dem Nachwirken der stammesgeschichtlichen Vergangenheit der betreffenden Organismen, worin „Vererbung“ und „Anpassung“ als die beiden großen Faktoren der Phylogenese sich spiegelten. Dieser geschichtlichen Denkweise HAECKELS, die ihm selbst als biologische Erklärung galt, trat hier ein kausales Bedürfnis anderer Art zur Seite. Noch stärker waren die unmittelbar daran sich anschließenden Arbeiten des jungen DRIESCH durch dieses Streben nach einer ursächlichen Erhellung des Lebens- und insbesondere Formbildungsgeschehens bestimmt. Das Bewußtsein einer neuen Problematik veranlaßte ihn zu einer Umschau nach allen zeitgenössischen Versuchen der Biologie, die in gleiche Richtung zielten, worüber er in dem Aufsatz „Die mathematisch-mechanische Behandlung biologischer Probleme“ (1890) kritisch Rechenschaft ablegte. Die hier vollzogene Unterscheidung einer rein *formalen* „mathematischen“ Betrachtungsweise (wozu u. a. die HAECKELSche „Promorphologie“ gehörte) von der *kausalen* „mechanischen“, die nach Art der Physik (und Chemie) im Experiment Gesetze des Formbildungsgeschehens, seine Bedingungen oder Ursachen unmittelbar — d. h. ohne historische Konstruktion — zu ermitteln sucht, führte nun auch zum äußeren Bruch mit ERNST HAECKEL, der dem Schüler die zustimmende Beschäftigung mit einer Forschungsrichtung seiner bisherigen Gegner nicht verzieh. Für DRIESCH selbst war aber damit schon im Ausgang seiner Forschertätigkeit Entscheidendes für seine naturwissenschaftliche Arbeit gewonnen: jede einzelne Fragestellung innerhalb der Biologie empfing für ihn ihre Rechtfertigung allein aus der *grundsätzlichen Bedeutung für die Erklärung der Lebensvorgänge*. Der ganze Sinn biologischen Forschens lag ihm in der *Theorie*. Hier ebenso Zusammenhang und Einheit herzustellen, wie dies der zeitgenössischen Physik durch die mechanische Wärmetheorie, das Energieprinzip und die elektromagnetische Lichttheorie, der Chemie durch Quantifizierung der Atom- und Molekülvorstellung, durch das periodische System der Elemente, durch die Molekülmodelle der organischen Chemie und die Anfänge der „physikalischen“ weitgehend gelungen war, empfand er als wichtigste Aufgabe. Darum mußten auch in der Biologie einerseits die letzten Möglichkeiten der theoretischen Erklärung so scharf als möglich herausgearbeitet und andererseits die Fragestellungen für die Experimentalforschung so bestimmt werden, daß der Ausfall der Versuche Antwort auf das Entweder-Oder ihrer theoretischen Möglichkeiten gab.

Worauf der junge Zoologe aus eigener Fragestellung gestoßen war und was er mit scharfem Blick als das Gemeinsame an einer Reihe sonst recht verschiedenartiger zeitgenössischer Untersuchungen in Zoologie, menschlicher Keimesgeschichte und Botanik erkannte, das war eine neue Forschungsrichtung der Biologie, die experimentelle Ermittlung der Bedingungen organischer Formbildung und Entwicklung, die er selbst hier als „mechanische“ Betrachtungsweise, die der ältere Begründer dieses Wissenschaftszweiges in der Zoologie, WILHELM ROUX, an dessen Seite er sich nun stellte, als „Entwicklungsmechanik der Organismen“ und die wir heute als Form- oder Entwicklungsphysiologie bezeichnen. Für DRIESCH begann eine Zeit erfolgreichster Experimentalforschung auf diesem Gebiet — die letzten Versuche reichen sogar bis ans Ende des nächsten Jahrzehnts (1909) —, von denen die meisten in der Zoologischen Station zu Neapel ausgeführt wurden. [A. BETHES Schilderung in Naturwiss. 28, H. 52, 820ff. (1940), gibt Erinnerungen aus jenen Jahren.] Am Beginn dieses Abschnitts selbständiger Forschung (1889/90) und einige Jahre später (1893/94) liegen auch zwei größere Reisen in die asiatischen Tropen. Alle Versuche, die er anstellt — ihre wichtigsten Ergebnisse sind in den „Entwicklungsmechanischen Studien I—X“ in der Z. wiss. Zool. und den Mitt. zool. Station Neapel sowie in den „Studien über das Regulationsvermögen der Organismen I—VII“ im Arch. Entw.Mechan. niedergelegt —, dienen der Entscheidung genau bestimmter theoretischer Möglichkeiten, und ihr Ausfall führt ihn mit Notwendigkeit zu grundsätzlichen Erwägungen, zu immer genauerer Zergliederung der Voraussetzungen und Folgerungen, die in einer Reihe theoretischer Arbeiten — besonders in Aufsätzen im Biol. Zbl. sowie in Buchveröffentlichungen, so der Programmschrift „Die Biologie als selbständige Grundwissenschaft“ (1893, 2. Aufl. 1911) und der „Analytischen Theorie der organischen Entwicklung“ (1894) — erörtert werden. Dabei geht es nicht um irgendeine Einzelfrage, sondern um die Kernfrage der Erklärung der organischen Formbildung überhaupt, um die letzten Voraussetzungen ihrer Theorie.

Von besonderer Bedeutung hierfür ist die Bestimmung des Verhältnisses von Vererbung und Keimesentwicklung. Der Freiburger Zoologe AUG. WEISMANN hatte (noch vor der Wiederentdeckung der MENDELSchen Regeln und der auf ihrer Grundlage nachweisbaren Chromosomentheorie) den Zellkern als Träger erblicher Eigenschaften wahrscheinlich gemacht und Vorstellungen darüber entwickelt, wie es auf der Grundlage der Zell- und Kernteilung zur immer mehr differenzierten Ausbildung der einzelnen Organe jedes Organismus kommen könne. Als Voraussetzung hierfür galt ihm unter Zugrundelegung einer „Kontinuität des Keimplasmas“ (das bei der Bildung der Geschlechtszellen durch „qualitativ-gleiche“ Kernteilung unter Erhaltung seiner art-

bestimmten Formbildungsanlagen gewissermaßen nur weiterwächst), daß bei der Ausbildung des (von ihm gewissermaßen abgegliederten) „Soma“, des Leibes des individuellen Organismus, im Verlauf der Keimesentwicklung eine Anzahl von Schritten „qualitativ-ungleicher“ Kernteilung die Erbmasse auf die einzelnen Körperteile und Organe und ihre Gewebe verteilen, so daß also eine Einschränkung der Formbildungsmöglichkeiten auf die tatsächlich verwirklichten Einzelformen stattfindet; für „Regenerationen“ entnommener Organe mußte die Hilfsannahme eines „Reservekeimplasmas“ eingeführt werden. Ein Versuch von W. Roux am Froschei, der eine der beiden ersten Furchungszellen durch Nadelstich abgetötet hatte und aus der zweiten eine Art Halbformbildung einer Kaulquappe sich entwickeln sah, schien diese Auffassung zu bestätigen. DRIESCH hatte in den durchsichtigen und widerstandsfähigen Seeigeln ein günstiges Versuchsmaterial erkannt und stellte mit ihm Versuche der verschiedensten Art zur Prüfung dieser Lehre von der qualitativ-ungleichen Kernteilung an. Sie verliefen völlig unerwartet. Ob er auf dem 2- oder 4-Zellenstadium der Furchung oder sogar später durch Schütteln, weiterhin durch Zerfall infolge kalkfreien Seewassers einzelne Furchungszellen oder beliebige Gruppen unter ihnen isolierte, ob er sie bei der Furchung durch Quetschen zwischen Glasplatten verlagerte und so zwischen ganz anderen Nachbarn sich weiterteilen ließ, ob er schließlich selbst bei der späteren vielzelligen Furchungskugel, der Blastula, Stücke herauschnitt: fast immer entstand eine zwar verkleinerte, aber in bezug auf alle Organe (Hautschicht mit Wimperschnüren, dreiteiliger Darm, Skeletstäbe) vollständige, „normale“, zweiseitig-symmetrische Seeigellarve, ein „Pluteus“. Diese Ergebnisse waren, wie DRIESCH einwandfrei nachwies, mit der Lehre von der qualitativ-ungleichen Kernteilung unverträglich, und auch der andersartige Versuchsausfall bei Roux konnte aus der Wirkung der angrenzenden absterbenden Furchungszelle erklärt werden. In diesem Verhalten aber sah DRIESCH ein noch tiefer greifendes Problem als das der normalen Entwicklung verborgen. Die Erweiterung auf das Wiederstellungsvermögen besonders „plastischer“ Meerestiere im erwachsenen Zustand konnte vielleicht grundsätzlich Auskunft geben über die Gesetzmäßigkeit, welche die tierische Formbildung beherrscht. In Versuchen mit dem aus einem „Kiemenkorb“ und einem „Eingeweidesack“ bestehenden Manteltier *Clavellina* ergab sich, daß bei einer Trennung dieser beiden Teile jeder für sich durch Wachstumsvorgänge — durch „Regeneration“ —, ja daß selbst herausgeschnittene kleine Teile des Kiemenkorbes durch andere Formen der Wiederherstellung — „Restitution“ — ein verkleinertes vollständiges Manteltier liefern konnten. Der Hydroidpolyp *Trubularia* konnte den Rest des an ganz beliebiger Stelle durch Querschneiden seines Polypenköpfchens beraubten

Stammes zu einem Polypen ergänzen. Bei der Analyse dieser Versuchsergebnisse stieß DRIESCH auf den Grundsachverhalt, der von nun an sein Denken über tierische Formbildung, ja über organisches Leben überhaupt bestimmte. Daß die Formbildungsvorgänge an den untersuchten Tieren nicht nur schlechthin ursächlich bedingt sind, sondern wie nach einem bestimmten Ziele — nämlich der Herstellung der Endform des Tieres — hingelenkt verlaufen und darum als *teleologisch* bezeichnet werden mußten, ja daß sie nach verschiedenen Störungen dasselbe Ziel auf verschiedenen Wegen zu erreichen vermochten, daß sie unter verschiedenen Bedingungen *äquifinal* vor sich gehen, das hatte er schon bald als Ergebnis herausgestellt. Dabei aber hatte er stillschweigend im Sinne seiner „mechanistischen“ Denkweise vorausgesetzt, daß diese Zielstrebigkeit der tierischen Entwicklung durch Besonderheit der „Struktur“, d. h. des erbmäßig überkommenen Stoffgefüges, also durch die Anordnung der Vererbungsträger in den Zellen und Organen irgendwie — wenn auch nicht in der durch WEISMANN vorausgesetzten einfachen Form — bestimmt sei. Das Verhalten seiner Versuchstiere bei der Formwiederherstellung aber führte ihn nun zu einer allgemeinen Formulierung der hier herrschenden Gesetzmäßigkeit des Geschehens, die jene Voraussetzung grundsätzlich ausschließen sollte. Er bezeichnete einen Organismus oder einen Teil eines Organismus, bei dem jede beliebig aus dem Zusammenhang gelöste Teilgesamtheit organischer Elemente „dasselbe“ typisch zusammengesetzte Gebilde wie jede andere beliebig herausgegriffene Teilgesamtheit oder wie die volle Gesamtheit den relativen Proportionen nach bei der Formbildung leisten kann, als „harmonisch-äquipotentielles System“. Das Verwirklichtsein solcher harmonisch-äquipotentieller Systeme bei den Formbildungsleistungen seiner Versuchstiere, diese *Beliebigkeit der Ortsbestimmung* — der „Lokalisation“ — des Formbildungsgeschehens (oder wie er später sagt: der „Einfügung“ oder „Insertion“) widerspricht aber, so folgerte DRIESCH, grundsätzlich der Auffassung, daß eine nach drei Raumrichtungen typisch verschieden ausgebildete physikalisch-chemische „Struktur“ — die er häufig vergleichend als „Maschine“ bezeichnet — Ursache dieser äquifinalen Formwiederherstellungen sein kann. Denn eine solche Struktur müßte bei verschiedenem Herausgreifen von Teilbestandteilen verschiedene Ergebnisse, praktisch also Teilbildungen liefern. Keine „statische Teleologie“ — wie er seinen bisherigen Standpunkt nannte —, keine „Maschinentheorie des Lebens“, sondern nur eine „dynamische Teleologie“, ein „Vitalismus“ könne theoretisch diesen Entwicklungsgeschehnissen gerecht werden. Eine andere Gesetzmäßigkeit als die vom Anorganischen her bekannte materielle Geschehensgesetzlichkeit auf Grund fester Strukturen müsse das organische Leben beherrschen. Es müsse im Organismus ein „außerräumlicher

Naturfaktor“ mitgegeben sein, durch dessen Wirken die Formbildungsvorgänge „ihr Ziel in sich tragen“, den er daher mit dem Namen bezeichnete, den der griechische Naturforscher und Philosoph ARISTOTELES für eben diesen Sachverhalt geprägt hatte, als „*Entelechie*“. Durch sie *wirkt* der Organismus *als Ganzes* und *zum Ganzen hin*. Das Wesentliche dieses neuen Vitalismus sieht DRIESCH gerade darin, daß nicht durch eine Allgemeinerörterung „des“ organischen Lebens, durch Besinnung auf sein „Wesen“, sondern durch exakte Analyse eines ganz bestimmten, experimentell beherrschbaren Formbildungsgeschehens ein strenger Beweis für die Sondergesetzlichkeit oder Autonomie des organischen Lebens geführt wird.

Durch seine Methodik wie durch die Analyse seiner Experimentalergebnisse und durch kritische Forschungsberichte („Die Entwicklungsphysiologie 1902—1905 u. 1905—1908“ in Anat. Hefte, II. Abtlg. „Ergebnisse“) hat DRIESCH stärker als ROUX' entwicklungsmechanische Untersuchungen die weitere Entwicklung der Formphysiologie der Tiere bis auf unsere Tage angeregt und vor allem die hervorragenden Forschungen H. SPEMANNs und seiner Mitarbeiter beeinflußt. Von DRIESCHs Problemformulierungen, von seiner Verwendung des „Potenz“-Begriffs (der Einheit des Formbildungsvermögens als entwicklungsphysiologisches Gegenstück des Begriffs der Erbinheit oder des Gens in der Vererbungslehre) und der Unterscheidung der „prospektiven Bedeutung“ (des tatsächlichen Schicksals eines Keimbezirks bestimmter Entwicklungsstufe unter normalen Entwicklungsbedingungen) von der „prospektiven Potenz“ (der ganzen Fülle von Formbildungsmöglichkeiten dieses Keimbezirks unter wechselnden Bedingungen) ging der Weg zu SPEMANNs Begriffen des „Organisationszentrums“ und des „Organisators“ bei seinem (mit Durchschnürungen und vor allem Verpflanzung von Keimteilen an Frühstadien von Amphibien arbeitenden) Nachweis einer stufenweisen Einschränkung der ursprünglichen Äquipotentialität unter Einengung der prospektiven Potenz der Keimbezirke im zeitlichen Verlauf der Entwicklung.

Die weiteren Experimente DRIESCHs gelten der Sicherung der bisherigen Versuchsergebnisse gegen sachliche Bedenken und ihrer Ergänzung, das zuletzt [Arch. Entw.Mechan. 30 (1910)] angestellte dem Nachweis, daß auch auf dem gewissermaßen entgegengesetzten Weg, nämlich nicht durch Isolierung von Bruchstücken des werdenden Organismus, sondern durch Verschmelzung zweier (achsenparalleler) Seeigellarven im Blastulastadium ein normales — jetzt vergrößertes — Ganzes, eine Pluteuslarve mit normaler (nicht etwa doppelter) Organbeschaffenheit gebildet werden könne. Im übrigen aber war für DRIESCH durch seine Versuche geleistet, was die experimentelle Methode für die Entscheidung über die Theorie des organischen Lebens überhaupt leisten konnte: der Nachweis einer hier bestehenden Sondergesetzlichkeit

gegenüber der anorganischen Natur. Die Aufgaben, die sich von da aus ergaben, waren ihrem Wesen nach nicht mehr beobachtend oder experimentierend, sondern gedanklich. Es galt, von dem gewonnenen sicheren Ausgangspunkte aus zunächst einmal die Gesamtheit der Lebensvorgänge zu überprüfen und auf die Folgerungen zu untersuchen. Dies geschah für die Formbildungs- und Betriebsleistungen der Organismen durch „Die organischen Regulationen“ (1901). Aus den Geschehnissen bei der Bildung eines tierischen Eierstocks oder bei dem Teilungsgeschehen im Kambium der höheren Pflanzen, die er als Fälle eines „komplex-äquipotentiellen Systems“ kennzeichnete (und damit aus einer Begleiterscheinung der „Vererbung“), entwickelte er dabei einen zweiten Beweis für die Autonomie der Lebensvorgänge. Für ein weiteres Gebiet von Lebenserscheinungen, für die Verhaltensleistungen oder Handlungen der Tiere und des Menschen, für die gewissermaßen „seelische Seite“ des organischen Lebens, führte er entsprechende Untersuchungen durch in dem Werk „Die ‚Seele‘ als elementarer Naturfaktor“ (1903). Hier lieferte ihm die Analyse der Erfahrungshandlung im Zusammentreffen einer „Individualität der Zuordnung von Reiz und Reizantwort“ mit dem Bestehen einer „historischen Reaktionsbasis“ — wobei unter Verwertung früherer Wahrnehmungs- oder Handlungsergebnisse eine sinngemäße Verbindung von Handlungserfordernis und Handlungserfolg hergestellt wird — einen dritten Beweis für die Selbstgesetzlichkeit des organischen Lebens. Der Gegensatz von anorganischem Naturgesetz und „entelechialem“ Wirken erfordert eine wissenschaftstheoretische Klärung der begrifflichen, beziehungshaften und urteilsmäßigen Voraussetzungen der Naturforschung im allgemeinen und der Biologie im besonderen, welche er in der Schrift „Naturbegriffe und Natururteile“ (1904) unternahm. Damit einher ging eine gründliche philosophische Schulung, die nun Notwendigkeit geworden war, ein Studium ebenso der zeitgenössischen Philosophie wie der klassischen Werke der großen Philosophen, von denen KANT und SCHOPENHAUER besonderen Einfluß auf bestimmte Seiten seines eigenen Denkens gewannen. Das Ergebnis seiner bisherigen Bemühungen, der experimentell-erfahrungswissenschaftlichen wie der wissenschaftstheoretischen, wurden von philosophischem Gesichtspunkt zusammengefaßt in dem naturphilosophischen Hauptwerk der „Philosophie des Organischen“ (1909), der einer englischen Fassung als Wiedergabe seiner Vorlesungen als Gifford-Lecturer an der schottischen Universität Aberdeen vorausgegangen war. Außer der Übersicht über die Gesamtheit der mit dem organischen Leben verbundenen Fragen brachte diese Untersuchung vor allem den Versuch einer Klärung über das Wesen der Entelechie — die bei den Naturforschern von allen Bestandteilen der Lehre DRIESCHs den stärksten Anstoß erregt hatte — und über die Möglichkeit, wie dieser

organische Eigenfaktor ohne Verletzung der energetischen Hauptsätze in das im Organismus gegebene physikalisch-chemische Geschehen eingreifen könne. Eine Weiterführung dieser Untersuchungen haben neben späteren Auflagen der „Philosophie des Organischen“ (4. Aufl. 1928) insbesondere die in den Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss. erschienenen „Logischen Studien über Entwicklung“ (I. u. II., 1918, 1919), die Schrift „Der Begriff der organischen Form“ (1919) und die Bios-Abhandlungen „Die Maschine und der Organismus“ (4, 1935) und „Biologische Probleme höherer Ordnung“ (11, 1941) gebracht; die letztere Arbeit behandelt außer dem Freiheitsproblem und der Frage eines „immanenten Vitalismus“ insbesondere das Problem der Stammesgeschichte, in der er ebenfalls die Entelechie am Werke sieht.

Mit innerer Notwendigkeit trieb es DRIESCH von diesem Ausgangspunkt einer philosophischen Grundlegung der Fragen des organischen Lebens, die sich schon zu einer solchen der Fragen der Natur und des seelischen Lebens erweitert hatten (die ja mit jenem unlösbar verbunden sind) weiter zum Ganzen einer philosophischen Rechenschafts-ablage. Zugleich damit erwachte bei ihm, der in den ersten zwei Jahrzehnten seiner wissenschaftlichen Tätigkeit als freier Forscher gelebt hatte, das Bedürfnis, als Lehrer zu wirken. Zu Beginn des W.-S. 1909/10 habilitierte er sich an der mathematisch-wissenschaftlichen Fakultät der Universität Heidelberg für Naturphilosophie; 1911 wurde er a.o. Professor, 1912 in die Philosophische Fakultät unter Ausdehnung seines Lehrrechts auf das Gesamtgebiet der Philosophie übernommen. In seiner „Ordnungslehre“ (1912) schuf er den „ersten, nichtmetaphysischen Teil eines Systems der Philosophie“. Diese Besinnung auf die „Ordnung“ alles „Gegebenen“ baute auf den logischen und gegenständlichen Grundlagen alles Erkennens und damit auch aller Wissenschaft, auf der „Allgemeinen Ordnungslehre“, diejenige der beiden wichtigsten für sich abgrenzbaren Gegebenheits-ausschnitte, eine „Lehre von der Ordnung des Naturwirklichen“ und eine „Lehre von der Ordnung der Erlebtheit“ auf. Den Abschluß bildete die Behandlung des Gefüges der Wissenschaften, vor der bei der 2. Auflage (1923) der „Lehre von den Ordnungsformen des Geistes“, der „Kulturphilosophie“, ein eigener Abschnitt gewidmet wurde. In einer ganzen Reihe von Abhandlungen hat DRIESCH immer wieder auf die Prüfung und Sicherung der letzten Erkenntnisgrundlagen seines philosophischen Systems zurückgegriffen. Eine methodologische Weiterführung bedeutsamer Art für die Naturforschung brachte die Heidelberger Akademieschrift: „Zur Lehre von der Induktion“ (1915) mit der wichtigen Unterscheidung der nur kennzeichnenden „Klasseninduktion“ von der erklärenden „Allgemeinheitsinduktion“. Aus den Voraussetzungen der Ordnungslehre ergab sich für DRIESCH auch die Ablehnung der Relativitätstheorie aus grundsätz-

lichen Bedenken („Relativitätstheorie und Philosophie“ 1924, 2. Aufl. 1930). Die ganze Ordnungslehre verblieb innerhalb der Voraussetzung, daß zunächst ohne jede „erkenntnistheoretische“ Annahme über das Wesen der „Wirklichkeit“ jeder Gegenstand des Wissens als ein Ich-erlebtes *Gegebenes* auf seine Ordnungsgrundlagen untersucht werden müsse. Im Ausklang des Werkes aber wurde hervorgehoben, daß dieser Standpunkt der Ordnungslehre nur ein vorläufiger sei, da aus der Tatsächlichkeit einer in sich bestehenden Naturordnung, aus dem im seelischen Bereich gegebenen Erlebnis des „Du“ und aus dem Erlebnis der sittlichen Forderung Hinweise auf eine übersubjektive Wirklichkeit bestehen. Die Untersuchung, welche Aussagen sich über die rationalen Grundlagen dieser vom Ich und damit vom „Erlebtheit“ unabhängigen Wirklichkeit machen lassen, ist die Aufgabe des II. Teiles seines Systems der Philosophie, der „Wirklichkeitslehre“ (1917, 3. Aufl. 1930; eine kurze Darstellung „Metaphysik“ 1924). Die „Wirklichkeitslehre“ ist nicht etwa ein „System“ im Sinne einer spekulativen Ausdeutung der Wirklichkeit aus einem Prinzip, sondern der Versuch, das ganze Gefüge sinnvoller Fragen über sie zu entwickeln und die Möglichkeit ihrer Beantwortung zu erörtern, wenn dahinter auch eine weltanschauliche Grundüberzeugung deutlich sich abzeichnet. Die Ordnungsgrundlagen und Wirklichkeitsfragen des seelischen Bereichs behandelten die „Grundprobleme der Psychologie“ (1926, 2. Aufl. 1929) und die „Alltagsrätsel des Seelenlebens“ (1938). Einen Ausbau seiner ethischen und kulturphilosophischen Gedanken gab „Die sittliche Tat“ (1927) und „Der Mensch und die Welt“ (1928); die mit ihnen verbundenen geschichtsphilosophischen Anschauungen sind zweifellos der anfechtbarste und schwächste Teil seiner Lehre. Zur zeitgenössischen Philosophie nahm er, oft warnend vor mangelnder Strenge und Zucht des Denkens oder vor der Unterdrückung wesentlicher Seiten der Wirklichkeit, Stellung in den Büchern „Philosophische Forschungswege“ (1930) und „Philosophische Gegenwartsfragen“ (1933). Seine beiden philosophischen Hauptwerke hatten DRIESCH einen Ruf als Ordinarius nach Köln verschafft, von wo er nach wenig über einem Jahr nach Leipzig berufen wurde, wo er bis zu seiner Emeritierung als Lehrer und bis zu seinem Tode als Denker und Schriftsteller wirkte. Seine Tätigkeit als Lehrer und als Vortragsredner — die ihn um die ganze Erde führte, davon längere Zeit in China und in Nordamerika — war in ihrer Wirkung fast noch stärker als die des geschriebenen Wortes. Er verstand die Kunst, vom Einfachsten ausgehend in durchsichtig klarer Gedankenführung zu den schwierigsten Fragen hinzuleiten, durch das eigene Gepacktheitsein vom Problem dem Zuhörer das Mitgehen zugleich zur Unentrinnbarkeit und zum Genuß zu machen.

Was den Naturforscher an DRIESCHS im engeren Sinn philosophischer Leistung angeht, ist einmal die kritische Vorsicht, der unerbittliche

Zwang der Rechenschaftsablage über jeden Schritt des Denkens, der Vorrang jeder echten „Erfahrung“ vor jeder auf bloßer Möglichkeit des Gedankens aufgebauten „Spekulation“ und damit verbunden die scharfe Trennung von Erfahrungswissenschaft und Metaphysik, die Sicherung der ordnungsmäßigen Grundlegung der Erfahrungswissenschaften gegenüber dem Hereinspielen ungeprüfter Vorannahmen metaphysischer Art über die letzte Ausdeutung der Wirklichkeit, die erst auf ihrer Grundlage — wenn auch, wie wir ergänzend hinzufügen müssen, aus letzten und nicht erfahrungswissenschaftlich begründbaren menschlichen Haltungen gegenüber der Wirklichkeit heraus — ein Recht gewinnt. Weltanschaulich ist darüber hinaus der Kampf gegen die materialistische Weltauffassung bedeutsam, dem DRIESCH eine eigene Schrift („Die Überwindung des Materialismus“ 1935) gewidmet hat.

Die biologische und naturphilosophische Leistung DRIESCHS, seine Begründung des Vitalismus, steht, obschon vor über 40 Jahren durchgeführt und seither nur in Einzelheiten ausgebaut und verteidigt, noch immer im Mittelpunkt der Erörterungen über das Lebensproblem. Im Sachlichen sind Einzelheiten berichtigt worden — die entwicklungsphysiologischen Forschungen haben neben „Regulationstieren“ wie den Versuchsobjekten DRIESCHS, andere, in ihrer Entwicklung festgelegte „Mosaiktiere“ aufgezeigt und (besonders durch SPEMANN und seine Schule) auch für die ersteren Tiere Stufen einer allmählichen Einschränkung des Regulationsvermögens nachgewiesen; die Restitution von Bruchstücken der *Clavelina* geht nicht durch umschmelzende „Morphallaxis“, sondern durch Gruppen von Reservezellen vor sich; bei der Entwicklung von zerteilten Furchungsstadien der Seeigel kommen auch Grenzen der Regulation vor — aber an der Tatsachengrundlage im ganzen hat sich nichts geändert. Gegen die Bündigkeit des Beweises einer Unmöglichkeit der ausschließlich physikalisch-chemischen Erklärung der organischen Formbildungsvorgänge sind vielerlei Einwände vorgebracht worden, die zu einem guten Teil nur gegen DRIESCHS Bezeichnungsweise (z. B. gegen seinen „Maschinen“-Begriff oder gegen die Berechtigung der Formulierung des „harmonisch-äquipotentiellen Systems“) sich richteten. Am schwersten wiegt der Einwand gegen das „Unmöglich“, daß die Theorie der physikalischen und chemischen Geschehnisse im

anorganischen Bereich selbst noch nicht als abgeschlossen gelten könne, daß vielleicht künftig in ihre eigenen Grundlagen statt der festen Strukturgegebenheiten ein dynamisches Moment mit aufgenommen werden müsse, aus welchem Vorgänge der „Erhaltung“ und „Regulation“ von „Strukturen“ — z. B. des Atoms — sich ergeben möchten, so daß eine Vorstufe für die besondere Lebensgesetzlichkeit auch hier schon bestünde. Anders als mit der Anerkennung von DRIESCHS Kritik an der „mechanistischen“ Denkweise steht es mit der des Erklärungswertes der von ihm eingeführten Lebensgesetzlichkeit, der „Entelechie“. Dieser „außerräumliche Naturfaktor“, der auf geheimnisvolle Weise das sonst Unerklärte hervorbringen soll, war den meisten Biologen unheimlich und unannehmbar. So sehr DRIESCH sich mühte, sein Zusammenwirken mit den anorganischen Naturgesetzmäßigkeiten einleuchtend zu machen — innerhalb der Erfahrungsforschung bleibt er für die Erklärung ein Fremdling, weil er nicht leistet, was sonst „Naturerklärung“ heißt: die Ableitung künftigen Geschehens aus genau formulierbarer Voraussetzung. Daneben wurde der Einwand geltend gemacht, daß in DRIESCHS Auffassung, der Organismus bestehe aus einer physikalisch-chemischen Struktur + der in sie eingreifenden Entelechie, in diesem „+“ eine nicht nur begriffliche, sondern seinsmäßige Trennung vollzogen sei, die in der Wirklichkeit nicht zu bestehen brauche: statt einer solchen „Und-Verbindung“, die etwa im Tode in ihre beiden Bestandteile, die zerstörte Maschine und den unzerstörten Maschinenlenker und -erbauer, zerfalle, könne eine neue Stufengesetzlichkeit gegenüber der „materiellen“ vorliegen, ein echtes „Ganzes“, dessen Zerstörung nur materielle Bruchstücke läßt. Anders freilich steht es, wenn der Entelechiebegriff nur als Grenzproblem und Mittel einer über der Erfahrungswissenschaft sich aufbauenden Wirklichkeitsdeutung aufgefaßt wird. Wie sich aber die Naturforschung mit dem Problem des Lebens auch weiterhin abfinden wird — unverlierbar ist ihr durch DRIESCHS Lebenswerk die Bewahrung vor der Probleblindheit eines „Mechanismus“, der über der physikalisch-chemischen Seite des organischen Geschehens seine Sonderordnung übersieht, wie sie am augenfälligsten in den von DRIESCH so sorgfältig analysierten Formbildungsvorgängen und Gebarensformen der tierischen Handlungen sich äußert.

Die Herstellung natürlich radioaktiver Elemente auf künstlichem Wege.

Zusammenfassender Bericht.

Von S. FLÜGGE, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie.)

Es ist schon vor einigen Jahren gelungen, durch Umwandlung von Wismut unter Deuteronenbestrahlung künstlich das Bi-Isotop 210 herzustellen, das mit dem zur natürlichen Uran-Radium-

Familie gehörigen RaE identisch ist. Da es einen gewissen Reiz hat, solche Atomarten künstlich herzustellen, die sich hinsichtlich aller untersuchten Eigenschaften als völlig identisch mit den be-

kannten, in der Natur vorkommenden Radioelementen erwiesen haben, und da in der letzten Zeit einige weitere Arbeiten auf diesem Gebiet erschienen, aber schwer zugänglich sind, soll hier kurz darüber referiert werden. Alle diese Arbeiten setzen wegen der hohen Kernladungszahlen der beteiligten Atome große Energien der geladenen Geschosse voraus und *konnten deshalb nur mit Hilfe des Zyklotrons durchgeführt werden.*

Für die Bestrahlung kommen in Frage die stabilen Isotope der Elemente Blei und Wismut, sowie die hinreichend langlebigen Strahler RaD, Ra, Io, Th, Pa und die drei Uranisotope, die immerhin in wägbarer, Th und U sogar in großer Menge zugänglich sind. Schreibt man sich systematisch alle Reaktionen auf, die an diesen Elementen bzw. Isotopen zu bereits bekannten natürlichen Radioaktiven führen würden — wobei die schwachen Strahler RaD, Ra, Io, Th, Pa, U als herzustellende Produkte selbst ausgeschlossen werden —, so erhält man die nachstehende Übersicht:

wie die der α -Teilchen, ist die beim Eindringen in den Kern zu überwindende Potentialschwelle auch nur halb so hoch. Leider ist aber ihre kinetische Energie nur $\frac{1}{4}$ von derjenigen der α -Teilchen, da die Energie der Teilchen, die ein Zyklotron liefert, ihrer Masse proportional ist. Daher ist es bisher auch noch nicht gelungen, eine der gewünschten Reaktionen mit Protonen hervorzurufen.

Viel günstiger liegen die Verhältnisse sofort, wenn man Deuteronen benutzt. Der Potentialwall ist hier derselbe wie für Protonen, wegen ihrer doppelt so großen Masse ist aber auch ihre Energie doppelt so groß wie die der Protonen. Hinzu kommt noch die leichte Polarisierbarkeit der Deuteronen (Oppenheimer-Phillips-Prozeß), die ein Eindringen des im Deuteron gebundenen Neutrons in den Kern gestattet, während das Proton überhaupt draußen bleibt. Zum mindesten wird hierdurch die Reaktion (d, p) wahrscheinlicher. Sie wurde daher auch zuerst bekannt und am

Tabelle 1. Theoretische Herstellungsmöglichkeiten natürlicher Radioaktiver.

Herzustellen:		Durch Neutronen	Durch Protonen	Durch Deuteronen	Durch α -Teilchen	Durch γ -Strahlen
AcC''	$^{207}_{81}\text{Tl}$	$^{207}\text{Pb}(n, p)$				
ThC''	$^{208}_{81}\text{Tl}$	$^{208}\text{Pb}(n, p)$		$^{210}\text{RaD}(d, \alpha)$		
RaC''	$^{210}_{81}\text{Tl}$	$^{210}\text{RaD}(n, p)$				
AcB	$^{211}_{82}\text{Pb}$	$^{210}\text{RaD}(n, \gamma)$		$^{210}\text{RaD}(d, p)$		
RaE	$^{210}_{83}\text{Bi}$	$^{209}\text{Bi}(n, \gamma)$	$^{210}\text{RaD}(p, n)$	$^{209}\text{Bi}(d, p)$	$^{207}\text{Pb}(\alpha, p)$	
				$^{208}\text{Pb}(d, \gamma)$		
				$^{210}\text{RaD}(d, 2n)$		
AcC	$^{211}_{83}\text{Bi}$		$^{210}\text{RaD}(p, \gamma)$	$^{210}\text{RaD}(d, n)$	$^{208}\text{Pb}(\alpha, p)$	
ThC	$^{212}_{83}\text{Bi}$			$^{210}\text{RaD}(d, \gamma)$		
RaF	$^{210}_{84}\text{Po}$		$^{209}\text{Bi}(p, \gamma)$	$^{209}\text{Bi}(d, n)$	$^{207}\text{Pb}(\alpha, n)$	
					$^{208}\text{Pb}(\alpha, 2n)$	
AcC'	$^{211}_{84}\text{Po}$			$^{209}\text{Bi}(d, \gamma)$	$^{208}\text{Pb}(\alpha, n)$	
ThC'	$^{212}_{84}\text{Po}$				$^{209}\text{Bi}(\alpha, p)$	
					$^{210}\text{RaD}(\alpha, 2n)$	
Ac	$^{227}_{89}\text{Ac}$		$^{226}\text{Ra}(p, \gamma)$	$^{226}\text{Ra}(d, n)$		
			$^{230}\text{Io}(p, \alpha)$			
MsTh 2	$^{228}_{89}\text{Ac}$	$^{231}\text{Pa}(n, \alpha)$		$^{226}\text{Ra}(d, \gamma)$		
				$^{230}\text{Io}(d, \alpha)$		
RdTh	$^{228}_{90}\text{Th}$		$^{231}\text{Pa}(p, \alpha)$		$^{226}\text{Ra}(\alpha, 2n)$	
UY	$^{231}_{90}\text{Th}$	$^{230}\text{Io}(n, \gamma)$		$^{230}\text{Io}(d, p)$		$^{232}\text{Th}(\gamma, n)$
		$^{231}\text{Pa}(n, p)$				
		$^{232}\text{Th}(n, 2n)$				
UX 2	$^{234}_{91}\text{Pa}$			$^{232}\text{Th}(d, \gamma)$		

Zu dieser Übersicht ist allgemein zu bemerken: Wegen der COULOMBSCHEN Abstoßungskraft, die auf ein geladenes Geschöß wirkt, sind α -Teilchen nur dann zu brauchen, wenn ihre Energie sehr hoch ist. Da die neuen amerikanischen Zyklotrone bereits α -Teilchen von über 30 MeV Energie liefern, scheinen diese Reaktionen jetzt in den Bereich des Möglichen zu rücken.

Mit Protonen kann man schon leichter den Kern erreichen. Da ihre Ladung nur halb so groß ist

Wismut studiert. Dort wurde in neuester Zeit auch das Auftreten der Reaktion (d, n) beobachtet. Dabei wurden Proben von etwa 7 mg Bi bestrahlt; Mengen dieser Größenordnung könnte man aber auch von RaD und Io beschaffen. Zum mindesten sollten daher die Reaktionen $\text{RaD}(d, p)$ AcB und $\text{Io}(d, p)$ UY nachweisbar sein; daneben wohl auch $\text{RaD}(d, 2n)$ RaE; $\text{RaD}(d, n)$ AcC und $\text{Ra}(d, n)$ Ac. Reaktionen, bei denen α -Teilchen emittiert werden, sind weniger wahrscheinlich, ebenso reine

Einfangprozesse geladener Teilchen wie (p, γ) und der Photoeffekt (γ, n) .

Bei Neutronenbestrahlung endlich fallen alle Schwierigkeiten weg, die aus der Kernladung folgen. Man darf daher dort stets viel höhere Ausbeuten erwarten, besonders bei Ausnutzung des „Verstärkungseffektes“ für die Reaktion (n, γ) bei Verwendung von Neutronen, die in wasserstoffhaltigen Substanzen verlangsamt sind. Man muß sich andererseits aber immer vor Augen halten, daß die Neutronenquellen um viele Zehnerpotenzen schwächer sind als die Quellen geladener Korpuskeln, da die Neutronen ja erst durch Kernreaktionen aus solchen erzeugt werden müssen, und die Ausbeute derartiger Reaktionen selbst in günstigen Fällen nicht größer als 10^{-5} ist. Man hat insbesondere schon frühzeitig nach der Reaktion $^{209}\text{Bi}(n, \gamma) \text{ } ^{210}\text{RaE}$ gesucht, sie aber bisher nicht nachweisen können. Als obere Grenze für den Wirkungsquerschnitt bei langsamen Neutronen geben O'NEAL und GOLDHABER (7) in einer neuen Arbeit $0,1 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$. Dagegen ist die Reaktion $^{209}\text{Bi}(d, p) \text{ } ^{210}\text{RaE}$ gut bekannt, obwohl sie bisher maximal mit einem Wirkungsquerschnitt von nur $4 \cdot 10^{-28} \text{ cm}^2$ beobachtet wurde.

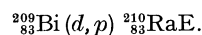
Außer der hier diskutierten Möglichkeit direkter Herstellung natürlich radioaktiver Isotope durch Kernreaktionen gibt es auch noch einen Umweg, der zum Ziele führen kann. Man stellt nämlich zunächst durch eine Kernreaktion ein anderes, nur künstlich erreichbares Produkt her, das seinerseits dann radioaktiv zerfällt in ein solches, das auch in der Natur vorkommt, so daß man also wieder in eine der drei bekannten natürlichen Zerfallsreihen einmündet. Ein solcher Fall ist bekannt; durch die Reaktion $^{209}\text{Bi}(\alpha, 2n)$ entsteht ein Kern der Massenzahl 211 zu der in der Natur nicht vorkommenden Kernladungszahl 85, der anschließend durch K-Einfang in das Polonium-Isotop AcC' übergeht.

Es soll nun im einzelnen über die vorliegenden Arbeiten berichtet werden.

I. Herstellung von RaE und RaF (Po) aus Wismut.

Vergebliche Versuche, den Neutroneneinfang an Wismut zu studieren, wurden bereits 1934 unternommen. Nachdem dann die ersten Zyklotrone in Betrieb gesetzt waren und schnelle Deuteronen lieferten, mit denen es LAWRENCE gelang, selbst ein so schweres Element wie Platin noch umzuwandeln, lag der Gedanke nahe, auch am Wismut die Erzeugung künstlicher Radioaktivität zu versuchen. Hierzu bestrahlte LIVINGOOD (1) 1936 eine dicke Bi-Schicht 4 Stunden lang mit $1,2 \mu\text{A}$ Deuteronenstrom von 4,4 MeV kinetischer Energie und beobachtete die entstandene Aktivität im Elektroskop. Außer einer starken Verunreinigung durch ^{24}Na [HZ¹⁾] 15 Stunden), die von früheren im gleichen Zyklotron durchgeführten Versuchen herrührte, wurde eine β -Aktivität festgestellt, die

mit 5 Tagen HZ abklang und dem RaE zugeschrieben wurde gemäß der Reaktionsgleichung



Die Ausbeute war gering; etwa $2 \cdot 10^9$ Deuteronen mußten auf die Bi-Schicht geschossen werden, um einen RaE-Kern zu erzeugen.

Aus RaE entsteht beim Zerfall RaF (Po), das seinerseits ein α -Strahler von 140 Tagen HZ ist. Es sollte als Folgeprodukt des künstlich hergestellten RaE nachweisbar sein. Deshalb wurde auch die α -Aktivität des bestrahlten Wismuts mit dem Proportionalverstärker gemessen. Es wurde ein Präparat hergestellt, das durch $13 \mu\text{A}$ Stunden Deuteronen von 5,4 MeV hergestellt war. Die Messungen sind wesentlich genauer als die der β -Aktivität, da die sehr starke β -Aktivität der Na-Verunreinigung auf die Beobachtung der α -Teilchen ohne Einfluß ist. Die α -Aktivität wurde während 36 Tagen beobachtet und festgestellt, daß sie entsprechend der allmählichen Nachbildung des Poloniums mit 5 Tagen HZ anklingt und nach etwa 25 Tagen ein flaches Maximum erreicht, nach dem sie schwach wieder abzufallen beginnt. Der Abfall des Poloniums wurde nicht weiter verfolgt, da sich auf seine HZ aus dem Zeitpunkt des Maximums schon ungefähr schließen läßt. Die Messungen sind aber infolge der geringen Intensitäten nicht sehr genau. Als weitere Kontrolle wurde deshalb noch die Reichweite der α -Teilchen gemessen und mit derjenigen von natürlichem Polonium in Übereinstimmung gefunden.

Der Nachweis der Reaktion war damit zwar gelungen; es bestand aber das Bedürfnis, zu größeren Intensitäten zu kommen, um genauere Messungen durchführen zu können. Das war erreichbar in dem Augenblick, in dem größere Zyklotrone verfügbar waren, mit denen sich höhere Deuteronenenergien erreichen ließen. Hierüber sind im Jahre 1940 eine englische und eine amerikanische Arbeit erschienen.

HURST, LATHAM und LEWIS (2) benutzten das neue Zyklotron des Cavendish Laboratory in Cambridge. Durch ein dünnes Platinfenster wurde ein Deuteronenstrahl von 8,8 MeV herausgezogen. Zunächst wurden zwei Bi-Proben mit je etwa $1,5 \mu\text{A}$ min bombardiert. Die Untersuchung der β -Aktivität, die bei LIVINGOOD durch die zufällige Na-Verunreinigung gestört worden war, ergab hier einen klaren Abfall mit 5 Tagen, der HZ des RaE. Daneben wurden noch zwei kurze HZ von 3 min und 20 min aufgefunden, deren eindeutige Zuordnung nicht gelang. Die chemische Untersuchung der 20-Minuten-Periode ergab, daß diese sicher keinem Pb-, Bi-, Tl- oder Po-Isotop angehört; sie wurde daher für eine Verunreinigung gehalten. Die 3-Minuten-Aktivität dagegen konnte zwar von Bi, Tl und Po getrennt werden, fiel aber gemeinsam mit Blei aus einer Bi-Lösung in HNO_3 als Sulfat, Chlorid und Karbonat aus. Es ist aber einstweilen unklar, durch welche Reaktion sie entstanden sein kann.

¹⁾ HZ = Halbwertszeit.

Interessanter erwies sich die Untersuchung der α -Aktivität der Bi-Proben, die mit Ionisationskammer und Proportionalverstärker während 40 Tagen verfolgt wurde. Hierbei stellte sich das überraschende Ergebnis heraus, daß der Anstieg der α -Aktivität nicht mehr von Null aus erfolgte wie bei LIVINGOODS Präparat, sondern schon bei Beginn der Messung eine merkliche Anfangsintensität vorhanden war (vgl. Figur). Der beob-

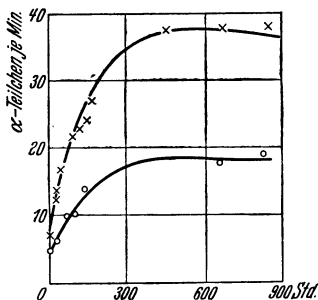
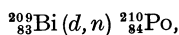


Fig. Aktivität von zwei bestrahlten Wismutproben.

achtete α -Strahler entstand also nicht nur durch den Nachbildungsprozeß auf dem Umwege über RaE, sondern auch direkt durch die Reaktion



wobei die Reaktion $\text{Bi}(d, p)\text{RaE}$ sich als ungefähr 4,8mal häufiger erwies als die neu entdeckte $\text{Bi}(d, n)\text{Po}$.

Dies Ergebnis ist sehr interessant. Da die (d, p) -Reaktion durch einen Oppenheimer-Phillips-Prozeß ohne Eindringen des im Deuteron gebundenen Protons in den Atomkern zustande kommen kann, tritt sie im allgemeinen mit größerer Wahrscheinlichkeit auf als die Reaktion (d, n) . Daher sind auch bei schweren Atomkernen mehr (d, p) -Reaktionen bekannt als (d, n) -Reaktionen. Selbst in den Fällen, in denen beide vorkommen, führt aber immer eine von beiden zu einem Isotop, das stabil ist gegen β -Zerfall. Das ist auch hier der Fall. Dank der α -Aktivität des entstehenden Po aber erhalten wir trotzdem in beiden Fällen eine Radioaktivität, die es sehr erleichtert, Ausbeutemessungen für beide Reaktionen anzustellen und miteinander zu vergleichen. Solche Versuche wurden von den Verfassern sofort angestellt. Sie stellten dünne Bi-Schichten von etwa 3 mg/cm^2 her durch Aufdampfen von spektroskopisch reinem Bi auf Al-Folien im Vakuum. Daraus wurden Stücke von $1,2 \times 2 \text{ cm}^2$ geschnitten. Eine Serie solcher Folien, die ausreicht, um die Deuteronen bis auf 5 MeV abzubremsen, wurde auf einem wassergekühlten Messinghalter befestigt. Für kleinere Energien als 5 MeV wird die Ausbeute rasch unmeßbar klein, und außerdem durch die Reichweitestreuung (stragglings) der gebremsten Deuteronen auch deren Energie zu unscharf definiert. Die α -Aktivität der verschiedenen Folien wurde dann gemessen und die Anstiegskurven nach dem Muster der Fig. 1 in die Anteile des direkt und in-

direkt gebildeten Po zerlegt. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Tabelle 2. Ausbeute von Polonium aus Wismut.

Energie des Deuterons MeV	α -Teilchen/min von Polonium		Verhältnis $(d, p)/(d, n)$
	aus RaE, d. h. (d, p)	direkt, d. h. (d, n)	
8,75	445	104	4,3
8,3	265	52,5	5,0
7,6	118	24	4,9
6,95	39	6,2	6,3
6,25	9,8	1,5	6,5
5,5	2,0	—	—
		(< 0,3)	

Als Maß für die Genauigkeit der Zahlen wird angegeben, daß der statistische Fehler bei großen Energien $\pm 5\%$ betrage, bei kleineren aber viel schlechter sei. Die angegebenen Deuteronenergien sind um 0,2 MeV unsicher. Die Reichweitestreuung gibt eine Unsicherheit von 0,15 MeV bei Abbremsung bis auf 5 MeV.

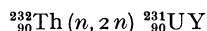
Man sieht den raschen Anstieg der beiden Reaktionen mit wachsender Deuteronenergie. Die letzte Spalte zeigt, daß bei kleineren Energien der Oppenheimer-Phillips-Prozeß in zunehmendem Maße vor der Reaktion (d, n) begünstigt wird, was ja auch dem älteren Befunde von LIVINGOOD entspricht. Eine Schwellenenergie läßt sich für keine der Reaktionen feststellen, wie denn überhaupt Angaben über Schwellenwerte bei Verwendung geladener Teilchen meist apparativ bedingt und nicht reell sein dürften. Ein Versuch der Verfasser, die Form des Anstiegs beider Ausbeutekurven mit der theoretischen Erwartung zu vergleichen, führte zu keinem eindeutigen Ergebnis.

CORK, HALPERN und TATEL (3) haben etwa gleichzeitig ähnliche Versuche angestellt. Sie geben bei einer Deuteronenergie von 10 MeV das Verhältnis $(d, p)/(d, n) \approx 4,5$ an, was gut zu den Messungen der englischen Forscher paßt. Dagegen stimmt ihre Behauptung, daß für die direkte Bildung von Polonium bei 6,5 MeV Deuteronenergie ein Schwellenwert liege, schlecht zu der obigen Tabelle, die noch bei 6,25 MeV kein extremes Ansteigen des Verhältnisses der Ausbeuten zeigt. Die Arbeit enthält weiterhin einige neue Angaben über die absoluten Wirkungsquerschnitte der beiden Reaktionen, die für 10 MeV Deuteronenergie zu $9 \cdot 10^{-29} \text{ cm}^2$ für die Reaktion (d, n) und $4 \cdot 10^{-28} \text{ cm}^2$ für (d, p) angegeben werden.

II. Herstellung von UY aus Th.

NISHINA, YASAKI, KIMURA und IKAWA (4) stellten ein Thoriumnitrat her, das von allen Zerfallsprodukten des Th mit Ausnahme des mit ihm isotonen RdTh befreit war, und bestrahlten es mit schnellen Neutronen des Tokyoter Zyklotrons ($\text{Li} + 3 \text{ MeV}$ Deuteronen). Die Dauer der Bestrahlung wurde zwischen 3 und 15 Stunden variiert. Nach der Bestrahlung wurde chemisch Thorium abgetrennt und zwei HZ im Th-Nieder-

schlag beobachtet: die eine von 26 min, die auch aus Versuchen von MEITNER, HAHN und STRASSMANN schon bekannt und von diesen dem Einfangprozeß $^{232}\text{Th}(n, \gamma) ^{232}\text{Th}$ zugeschrieben wurde; daneben noch eine längere von 24,5 Stunden, die dem Prozeß



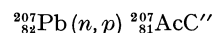
zugehören soll. In der Tat stimmt die HZ genau mit derjenigen des natürlichen UY (24,6 Stunden) überein. Das Vorzeichen der β -Strahlen ist negativ; ihr Absorptionskoeffizient wurde in Al gemessen und zu 246 cm^{-1} angegeben. Der Vergleich dieser Angabe mit dem natürlichen UY ist allerdings nicht exakt möglich. Während nämlich ANTONOFF ursprünglich einen gut hierzu passenden Absorptionskoeffizienten von 300 cm^{-1} für das natürliche UY angab, fand ERCHOVA späterhin, daß die Strahlung aus zwei sehr verschieden harten Komponenten von 53 cm^{-1} und 585 cm^{-1} besteht.

Das Ergebnis der japanischen Forscher erscheint interessant, weil es hiernach möglich ist, aus einer radioaktiven Reihe in die andere überzugehen, indem man von der Thoriumfamilie in die Actiniumfamilie hineinkommt. Die Deutung der Beobachtungen scheint aber zur Zeit noch unsicher, um so mehr, als in der Zwischenzeit der Spaltungsprozeß auch am Thorium bekanntgeworden ist und die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden kann, daß das beobachtete Folgeprodukt von 24,5 Stunden HZ ein Spaltungsprodukt ist. Die Frage ließe sich wohl chemisch entscheiden; in der Note der japanischen Autoren werden leider keine näheren Angaben über die Art der chemischen Abtrennung gemacht.

III. Herstellung des Thallium-Isotops AcC'' aus Pb.

Bestrahlt man Pb mit Neutronen, so darf man erwarten, daß die Prozesse (n, γ) und $(n, 2n)$ auftreten, die wiederum zu Pb-Isotopen führen. Will man dagegen eines der Nachbareremente erzeugen, so ist es sicher nötig, außer der Verwendung beträchtlicher Neutronenenergien auch sonst Maßnahmen zu treffen, durch die eine möglichst große Intensität erreicht werden kann. BRETSCHER und COOK (5) gingen deshalb folgendermaßen vor: Sie benutzten als Neutronenquelle das Cambridger Zyklotron, und zwar wurde Li mit $5-10 \mu\text{A}$ Deuteronenstrom von 9 MeV Energie beschossen und die dabei entstehenden schnellen Neutronen 10 min auf 500 g Pb-Nitrat einwirken lassen. Diese sehr große Menge von Pb wurde nach der Bestrahlung in heißem Wasser aufgelöst, das Pb als Sulfat gefällt und durch Filtrieren entfernt, einige Milligramm Tl als Träger zur Lösung zugesetzt und als Tl_2S gefällt, der entstehende Niederschlag getrocknet und unter das Zählrohr gebracht. Diese Manipulationen dauerten nach einiger Übung zusammen nur noch 5 min. Der Abfall der β -Aktivität erfolgte mit 4,6 min HZ und konnte über 6 HZ verfolgt werden.

Die Entstehung eines Thalliumisotops aus Blei muß durch die Reaktion (n, p) erfolgt sein. Die stabilen Isotope des Bleis haben die Massenzahlen 204, 206, 207 und 208; aus ihnen würden entstehen ^{204}Tl , dessen HZ von 4,1 min aus den Reaktionen $^{203}\text{Tl}(n, \gamma)$ und $^{205}\text{Tl}(n, 2n)$ bekannt ist, ^{206}Tl , das aus $^{205}\text{Tl}(n, \gamma)$ entstehen und 97 min HZ haben soll, ^{207}Tl oder AcC'' mit 4,7 min und ^{208}Tl oder ThC'' mit 3,2 min HZ. Kontrollversuche bestätigten die Erzeugung des 4,1-Minuten-Isotops durch $\text{Tl}(n, \gamma)$, dagegen wurde von ^{206}Tl weder bei der Neutronenbestrahlung von Thallium noch bei der von Blei etwas gefunden. Es kann wohl als sicher angenommen werden, daß die beobachtete Aktivität von 4,6 min HZ der Reaktion



angehört; der kleine Unterschied gegenüber der HZ von 4,7 min, die in derselben Versuchsanordnung an natürlichem AcC'' , das durch Rückstoß aus aktivem Niederschlag gewonnen war, erhalten wurde, rührt vielleicht her von einer geringen Menge ^{204}Tl oder $^{208}\text{ThC}''$, die eine scheinbare Verkürzung der HZ bewirkt.

Absorptionsversuche über die Härte der Strahlung konnten bisher aus äußeren Gründen nicht durchgeführt werden.

IV. Herstellung des Polonium-Isotops AcC' aus Wismut.

Endlich sei noch berichtet über eine ebenfalls 1940 erschienene Arbeit von CORSON, MACKENZIE und SEGRÈ (6), über die teilweise bereits von STRASSMANN¹⁾ berichtet worden ist.

Wismut wurde im Zyklotron mit α -Teilchen von 32 MeV beschossen. Das bestrahlte Präparat zeigte eine einheitliche HZ von 7,5 Stunden, und zwar bestand die Aktivität aus zwei α -Teilchengruppen von $(6,55 \pm 0,04) \text{ cm}$ Reichweite entsprechend 7,46 MeV Energie in 60% und von $(4,52 \pm 0,03) \text{ cm}$ Reichweite entsprechend 5,94 MeV in 40% aller Fälle, ferner aus einer γ -Strahlung von etwa 0,5 MeV, einer Röntgenstrahlung von etwa 80 keV, einer weichen Röntgenstrahlung und ein paar langsamen Elektronen.

Zunächst wurden die beiden α -Strahler näher untersucht und gezeigt, daß zwischen ihnen kein genetischer Zusammenhang besteht. Hierzu wurden 3 Versuche ausgeführt:

1. Nach sehr kurzer Bestrahlungsdauer (30 sec) waren beide α -Gruppen voll ausgebildet und fielen mit 7,5 Stunden HZ ab, ohne daß sich eine mit endlicher HZ erfolgende Nachbildung gezeigt hätte.

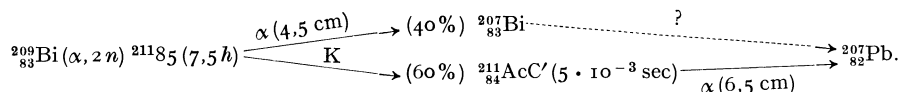
2. Es wäre dann immer noch möglich, daß der zweite α -Strahl in sehr kurzer Zeit dem ersten folgt, zumal nach der Geiger-Nuttall-Beziehung zu 6,55 cm Reichweite eine HZ von etwa 10^{-3} sec gehören sollte. Dann müßten sich Koinzidenzen

¹⁾ Naturwiss. 29 (1941) im Erscheinen.

zwischen α -Teilchen nachweisen lassen, die aber nicht gefunden wurden.

3. Kerne, die bei einem α -Zerfall einen Rückstoß erfahren haben, wurden gesammelt. Der so entstehende Niederschlag erwies sich als inaktiv.

Liegt keine genetische Beziehung vor, so bleibt die Möglichkeit einer Verzweigung. Eine einfache Verzweigung ist aber auch nicht denkbar, da sonst die Lebensdauer entsprechend kurz werden müßte (10^{-3} sec) und außerdem die langreichweitige Gruppe mit etwa 10^6 mal größerer Intensität auftreten müßte als die andere, was nicht der Fall ist. Es wurde darum von den Verfassern folgendes Schema angenommen:



Die Entstehung des Elements 85 konnte chemisch gesichert werden (vgl. STRASSMANN, l. c.). Auch vom physikalischen Standpunkt aus erscheint die Reaktion ($\alpha, 2n$) als die wahrscheinlichste, da die Aussendung geladener Teilchen wegen des Gamowberges recht unwahrscheinlich ist, und die „Verdampfung“ von zwei Neutronen entsprechend der hohen Anregungsenergie beim Einfang eines 32 MeV- α -Teilchens bereits wahrscheinlicher ist als die eines einzigen Neutrons. Die harte α -Gruppe paßt in der Reichweite sehr gut zu AcC', das α -Teilchen von 6,57 cm mit einer HZ von etwa $5 \cdot 10^{-3}$ sec emittiert. Auch der K-Einfang, der von $^{211}_{85}$ zum AcC' führen muß, ist tatsächlich

vorhanden; von ihm rührt die 80 keV-Strahlung her, die durch kritische Absorptionsversuche zugeordnet werden konnte. Hier liegt also ein solcher Fall vor, wo es gelingt, ein natürlich radioaktives Element künstlich auf dem Umwege über ein anderes künstliches Isotop zu erzeugen.

Die Reaktion wird natürlich nur mit sehr schnellen α -Teilchen beobachtet; ähnlich wie in der Arbeit von HURST, LATHAM und LEWIS wird eine Ausbeutekurve aufgenommen, indem dünne Bismut-Schichten von nur 0,1 mm Luftäquivalent auf Al-Folien aufgedampft und dann bestrahlt werden; die Reaktion ist von 26 MeV an nachweisbar und

wird bei rasch ansteigender Intensität bis 31 MeV aufwärts verfolgt.

Literatur.

(1) J. J. LIVINGOOD, Physic. Rev. 50, 425—434 (1936). — (2) D. G. HURST, R. LATHAM u. W. B. LEWIS, Proc. roy. Soc. Lond. A 174, 126—136 (1940). — (3) J. M. CORK, J. HALPERN u. H. TATEL, Physic. Rev. 57, 348 (1940), abs. 20; 57, 371—372 (1940). — (4) Y. NISHINA, T. YASAKI, K. KIMURA u. M. IKAWA, Nature (Lond.) 142, 874 (1938). — (5) E. BRETSCHER u. L. G. COOK, Nature (Lond.) 146, 430—431 (1940) (Heft 3700 v. 28. IX. 1940). — (6) D. R. CORSON, K. R. MACKENZIE u. E. SEGRÈ, Physic. Rev. 58, 672—678 (1940). — (7) R. D. O'NEAL u. M. GOLDBABER, Physic. Rev. 59, 102 (1941).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Zur Theorie des Clusius'schen Trennrohrs.

Die quantitative Theorie des CLUSIUS'schen Isotopentrennverfahrens wurde zunächst für die ebene Anordnung entwickelt¹⁾. Im Hinblick auf die praktische Wichtigkeit haben wir, unabhängig voneinander und nach etwas verschiedenen Methoden, auch den Grenzfall des Trennrohres mit dünnem Draht behandelt²⁾. Der Rechnung liegt wieder die Annahme ungestörter, laminarer Konvektion zugrunde.

Es seien: Z die Koordinate längs des Rohres; R bzw. r der Rohr- bzw. Drahtradius; g die mittlere Gasdichte; g die Erdbeschleunigung; η die Zähigkeit; D die Diffusionskonstante; A der Molenbruch des leichten Isotops; α die Thermoeffusionskonstante; T die mittlere absolute Temperatur. Die Temperaturdifferenz zwischen Draht und Außenwand ΔT sei so klein, daß η und D konstant zu setzen sind. τ (g/sec) bezeichne den Transport an leichtem Isotop von unten nach oben (positive Z -Richtung).

Das Ergebnis der Rechnung werde so wiedergegeben, daß der früher behandelte ebene Fall ($R/r \approx 1$) mit enthalten ist. Im zylindrischen Fall ist $R \gg r$ vorausgesetzt und Glieder der Größenordnung $(r/R)^2$ sind vernachlässigt. Mit

$$q = \pi (R^2 - r^2); d = R - r$$

hat man

$$\tau = \varphi \cdot \alpha g \frac{g}{\eta} \left(\frac{\Delta T}{T} \right)^2 \cdot q d^2 \left[A(1-A) - H^* \frac{dA}{dZ} \right], \quad (1)$$

wobei

$$H^* = \psi \cdot \frac{1}{\alpha} \frac{g}{\eta D} d^4 \left[1 + \left(\frac{d^*}{d} \right)^6 \right] \quad (2)$$

und

$$d^{*3} = \chi \cdot \frac{\eta D}{e g} \frac{T}{\Delta T}. \quad (3)$$

H^* ist die Länge des Rohrabschnittes, längs dem im Endzustand ($\tau = 0$) das Konzentrationsverhältnis $\frac{A}{1-A}$ sich um den Faktor e verschiebt. H^* wird am kleinsten, wenn $d = 0,89 d^*$ gewählt wird.

Die Zahlfaktoren φ , ψ und χ hängen nur vom Radienverhältnis R/r ab und sind in Tabelle 1 angegeben. Übrigens besteht die Beziehung $\varphi \psi \chi^2 = 1$.

Im Unterschied zum „ebenen Fall“ lassen sich die Formeln nicht exakt auf große Temperaturdifferenzen ausdehnen (vgl. FURRY u. a., l. c.), sondern zur quantitativen Behandlung sind dann numerische Integrationen erforderlich (vgl. Fußnote 2). Die hier angegebenen Formeln sind

Tabelle 1.

	φ	ψ	χ
$R/r \approx 1$	$\frac{1}{720}$	$\frac{1}{500}$	600
$R/r \gg 1$	$\frac{(\ln R/r - 2)(1 + 2r/R)}{128 \ln^2 R/r (\ln R/r - 1)}$	$\frac{(\ln R/r - 1,88)^2 (1 + 4r/R)}{461 (\ln R/r - 1) (\ln R/r - 2)}$	$\frac{243 \ln R/r (\ln R/r - 1)}{(\ln R/r - 1,88) (1 + 3r/R)}$
$R/r = 50$	$\frac{1}{2460}$	$\frac{1}{572}$	1280

jedoch nützlich als Anhaltspunkte zur Orientierung über die Richtung der Änderungen gegenüber dem ebenen Fall. Wie eine Abschätzung und auch der Vergleich mit experimentellen Daten zeigt, stimmen sie auch quantitativ einigermaßen, wenn ρ , η , D , T nicht beim gewöhnlichen, sondern etwa beim logarithmischen Temperaturmittelwert genommen werden.

Hannover, Institut für Theoretische Physik der Technischen Hochschule, und München, Institut für Physikalische Chemie der Universität, den 5. Juli 1941.

HANS JENSEN. LUDWIG WALDMANN.

¹⁾ L. WALDMANN, Naturwiss. 27, 230 (1939) — Z. Physik. 114, 53 (1939). — W. H. FURRY, R. CLARK JONES u. L. ONSAGER, Physic. Rev. 55, 1083 (1939). — P. DEBYE, Ann. Phys. 36, 284 (1939).

²⁾ Vgl. auch W. H. FURRY u. R. CLARK JONES, Physic. Rev. 57, 561 (1940), wo spezielle numerische Ergebnisse angeführt sind.

Rotationsumwandlungen in festem Monogerman.

Seit mehreren Jahren suchen wir nach unbekanntem Umwandlungspunkten bei kondensierten Gasen. Im Zuge der Erforschung der calorischen Eigenschaften der Tetrahydride haben wir uns jetzt mit Monogerman GeH_4 beschäftigt. Aus Analogiegründen sollte dieses Gas eine Umwandlung vom Typ der Rotationsumwandlungen haben¹⁾. Wir fanden jedoch zwei nur $3,3^\circ$ auseinanderliegende Umwandlungen bei $73,1^\circ$ und $76,5^\circ$ abs., die beide die Erscheinungen der Hysterese zeigen. Eine weitere Anomalie findet sich bei $62,6^\circ$ abs.; dort steigt die Molwärme von 12 auf 21 cal an, um dann wieder auf 13 cal abzufallen. Bei tieferen Temperaturen treten bis 10° abs. sonstige auffällige Besonderheiten nicht mehr hervor.

In der folgenden Tabelle bringen wir eine Auswahl der Versuchsergebnisse, die wir an Proben erhalten haben, die 6—8 Stunden lang bei 60° abs. getempert wurden.

	Temperatur ° abs.	Wärmetönung cal/Mol
Umwandlung III \rightarrow II beim Erwärmen	73,1	50,4
Umwandlung II \rightarrow I beim Erwärmen	76,5	85,6
Schmelzen I \rightarrow flüssig	107,2	199,2

Die Erfahrungen am Monogerman zeigen wieder deutlich, daß Voraussagen über die Zahl von Umwandlungspunkten bei kondensierten Gasen gegenwärtig noch nicht möglich sind, was auf das Fehlen einer verbindlichen Theorie der Rotationsumwandlungen zurückzuführen ist.

Tabelle 1. Kohlensäureanhydratasegehalt in Geweben von gesunden Ratten und solchen mit Impftumoren. Sauerstoffverbrauch und Glykolyse dieser Gewebe *in vitro*.

Milz	Niere	Leber	Lunge	Gehirn	Ganzes Auge	Pankreas	Muskel	Hoden	Tumor
<i>Normaltier.</i> Relative Fermentmengen (reziproke Werte der Reaktionsbeschleunigung).									
60	59,5	25,8	25,4	19,7	19,7	9,9	7,5	6,6	—
<i>Tumorratten.</i> a) Anzahl der Messungen.									
6	2	5	5	2	2	5	4	6	6
b) Relative Fermentmengen (reziproke Werte der Reaktionsbeschleunigung.)									
60,7	60	31,8	30,2	20,7	21,5	12,6	6,7	7,3	3,5
<i>Sauerstoffverbrauch (Q_{O₂}) in vitro.</i> (Nach WARBURG, POSENER und NEGELEIN u. a.)									
12	21	11,6		11	30,7 nur Netzhaut	4,6 Kaninchen	sehr klein	12,3	7,2 und 9
<i>Anaerobe Glykolyse (Q_M^{N₂}) in vitro.</i>									
8	3,2	3,3		19	88	3,4	sehr klein	8,5	25 und 34
<i>Aerobe Glykolyse (Q_M^{O₂}) in vitro.</i>									
0	0	0,6		2,5	45	0	sehr klein	7,2	25—35

Die ausführliche Veröffentlichung soll in der Z. physik. Chem. (B) erfolgen.

München, Physikalisch-Chemisches Institut d. Universität, den 7. Juli 1941. KLAUS CLUSIUS. GEBHARD FABER.

¹⁾ K. CLUSIUS u. L. POPP, Z. physik. Chem. (B) 46, 81 (1940).

Der Kohlensäureanhydratasegehalt in Geweben und im Blut.

1. Bei der Prüfung des Gehaltes an Kohlensäureanhydratase in den Geweben gesunder Ratten und solcher mit Impftumoren (*Jensen-Sarkom*, *Flexner-Jobling-Karzinom*, unter die Haut über dem linken Vorderbein mit Hohlneedle geimpft) fand sich, daß von allen untersuchten Gewebearten der wässrige Tumorextrakt die Reaktion $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ am wenigsten beschleunigte. Es wurde nur nichtnekrotisches Tumorgewebe der Außenzone verwendet. Wenn die reziproken Werte der Reaktionsbeschleunigung durch die Extrakte im großen und ganzen als relative Angaben der Fermentmengen angesehen werden können, findet sich im Tumor durchschnittlich nur $\frac{1}{17}$ der Fermentmenge der Milz und Niere, $\frac{1}{9}$ derjenigen der Leber und $\frac{1}{2}$ der Fermentmenge in der Muskulatur. Der Fermentgehalt in den anderen Gewebearten ist bei gesunden und Tumortieren etwa derselbe. Der hohe Kohlensäureanhydratasegehalt der Milz ist wohl hauptsächlich auf den Gehalt an Blut zurückzuführen. Es wird besonders darauf hingewiesen, daß die Organe zwar nur gut entbluteten Tieren entnommen wurden, die aber nicht durch Viviperfusion absolut blutfrei gemacht waren.

Neben dem geringen Gehalt an Kohlensäureanhydratase hat das *Jensen-Sarkom* ja auch sehr wenig *Cytochrom c* und *Diaphorase*¹⁾. Die Gewebearten mit reichlichen Mengen von Kohlensäureanhydratase haben auch einen hohen Sauerstoffverbrauch (Tabelle 1). Der Fermentgehalt in der *Retina* allein ist recht hoch²⁾, bei den Messungen wurde das ganze Auge zur Extraktbereitung benutzt, wobei zu beachten ist, daß *Sklera*, Glaskörper und Kammerwasser sehr wenig Ferment oder gar keines besitzen. Nur die Zahlen der Tumoren zeigen ein großes Mißverhältnis: Die Tumorschneitte verbrauchen *in vitro* trotz ihres geringen Fermentgehaltes viel Sauerstoff. Andererseits ist aber von WARBURG eine schlechte Sauerstoffversorgung des ganzen Tumors *in vivo* festgestellt worden, so daß die Tumoren *in vivo* tatsächlich wohl wenig CO_2 abgeben, dafür aber aerob und anaerob sehr viel Milchsäure bilden^{3, 4, 5)}. Die Kohlensäureanhydratase-reiche *Retina* dagegen glykolyisiert nur *in vitro* stark.

Die Mengen an Aktivatoren der Kohlensäureanhydratase in den untersuchten Gewebearten, beurteilt nach dem Wirkungsgrad der gekochten wässrigen, eiweißfreien Extrakte, scheinen auch bei Beachtung der unterschiedlichen Verluste

bei der Extraktzubereitung in den Tumoren ebenfalls geringer zu sein als in sämtlichen anderen Gewebearten, wenn auch hier der Unterschied nicht immer deutlich ist. So wurden bei der Prüfung der Aktivierung der Hydratationskatalyse mittels der BRINKMANSCHEN Y-Röhrchen-Methode folgende durchschnittliche verhältnismäßige Mengen gefunden: Milz 41, Leber 35, Pankreas 35, Muskel 36, Hoden 25, Tumor 21. Die Zahlen bei der Aktivierung der Dehydratationskatalyse, gemessen mit dem WARBURGMANOMETER⁶⁾, waren: Milz 200, Leber 212, Pankreas 172, Muskel 131, Hoden 160, Tumor 127. Da bei der Prüfung der Fermentmenge mit Hilfe der Feststellung der katalytischen Wirksamkeit des Extraktes die Einwirkung der Aktivatorn nicht ausgeschaltet werden kann, sind die Zahlen der Tabelle 1 nur bedingt richtig.

2. H. WILLE⁷⁾ hat an unserem Institut die katalytische Wirksamkeit des hämolysierten Blutes gesunder und kranker Menschen auf die Gleichgewichtsreaktion $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ gemessen. Unter der Annahme gleicher Aktivierung der Kohlensäureanhydratase durch jedes hämolysierte Blut hat er nach den Ergebnissen berechnet, daß pro Erythrocyt der Fermentgehalt erhöht ist bei Herz- und Kreislaufinsuffizienz, *Asthma bronchiale*, ADDISONscher Krankheit, *Perniciosa*, *Carcinom*, Lungentuberkulose u. a. Bei der BASEDOWschen Krankheit waren die Fermentmengen schwach erniedrigt.

Nach den erhaltenen Ergebnissen ist eine kompensatorische Veränderung des Fermentgehaltes der Erythrocyten oder des Gehaltes an Aktivatorn in Krankheitsfällen wahrscheinlich. Unter Zugrundelegung der Wirksamkeit unserer

Tabelle 2. Verhältnismäßige Fermentmengen pro Erythrocyt (Durchschnittszahlen).

gesund		krank		
♂	♀	Herz- u. Kreislauf- Insuffizienz	Asthma bronchiale	BASEDOW
<i>Anzahl ser Messungen.</i>				
28	27	60	18	25
<i>Relative Fermentmengen.</i>				
96,7	109	175,6	160	90

Fermentpräparate und der Wirksamkeit von hämolysiertem Säugetier- und Menschenblut und seiner Aktivatorwirkung enthält 1 ccm Blut wahrscheinlich etwa 500 γ Kohlensäureanhydratase. Ein Erythrocyt des menschlichen Blutes besitzt darnach ungefähr 10^{-7} γ Ferment.

Berlin, Physiologisch-Chemisches Institut der Universität, den 7. Juli 1941.
MICHAEL LEINER.

¹⁾ H. EULER u. H. HELLSTRÖM, Hoppe-Seylers Z. 255, 159 (1938).

²⁾ M. LEINER, Z. vergl. Physiol. 26 (1938).

³⁾ O. WARBURG, Verh. dtsch. Ges. Verdaugskrkh. 1926, 271.

⁴⁾ O. WARBURG, Biochem. Z. 184, 484 (1927).

⁵⁾ O. WARBURG, K. POSENER, E. NEGELEIN, Biochem. Z. 152, 309 (1924).

⁶⁾ M. LEINER u. G. LEINER, Biol. Z. 60 (1940).

⁷⁾ H. WILLE, Berlin: Diss. 1940.

Besprechungen.

RICHTER, MANFRED, **Grundriß der Farbenlehre der Gegenwart.** (Wissenschaftliche Forschungsberichte. Naturwissenschaftliche Reihe. Hrsg. v. RAPHAEL ED. LIESEGANG. Bd. 51.) Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1940. XII, 226 S. mit 120 Abb. u. 18 Abb. 15 x 22 cm. Preis brosch. RM 15.—, geb. RM 16.50.

In gedrängter Form wird eine Zusammenstellung alles dessen gegeben, was für das Verständnis der Farbmeterik wichtig ist. RICHTER beschränkt sich in seinem Buch auf die gesicherten Gebiete der Farbenlehre, d. h. auf die Gebiete, die der Messung irgendwie zugänglich sind. Umstrittene Fragen, die mehr den Künstler angehen, werden nicht behandelt, auch nicht die rein technischen Probleme der Farbherstellung.

Die Grundbegriffe und die Gesetze der additiven Farbmischung werden in verhältnismäßig ausführlicher Darstellung gegeben. Es ist dabei Wert gelegt worden auf eine betonte Eingrenzung und scharfe Definition aller Begriffe, so daß dem Leser mancher gedankliche Umweg erspart wird.

Das Spektrum als physikalische Grundlage der Farben und die sich ergebenden Beziehungen Spektrum-Auge werden klar dargestellt.

J. SCHMIDT behandelt in zwei Abschnitten die Physiologie und die Pathologie des Farbensehens. Es wird eine Übersicht über die physiologischen Vorgänge und deren pathologische Störungen gegeben. Man erkennt beim Lesen die großen Schwierigkeiten, die dem Forscher auf diesem Gebiete durch die Art der Probleme erwachsen.

Nachdem die Funktionen des Auges erörtert sind, behandelt R. die Kennzahlen, die Meßmethoden und Meßgeräte, mit deren Hilfe man sich in der dreidimensionalen Mannigfaltigkeit der Farben zurechtfindet. Auf alle wichtigen Kennzahltriaten ist eingegangen und die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Arten erklärt. Diese Zusammenstellung ist sowohl zum Studium als auch zum Nachschlagen sehr geeignet, zumal Literaturangaben reichlich vorhanden sind. Einige „Farbkörper“ sind beschrieben,

A. DRESLER hat in kurzer, klarer Darstellung über die hetero-chromatische Photometrie geschrieben. Der Abschnitt enthält alle wichtigen Verfahren und Methoden, die zur photometrischen Bewertung farbigen Lichtes entwickelt worden sind.
H. KORTE.

MATTHAEI, RUPPRECHT, **Die Farbenlehre im Goethe-Nationalmuseum.** Eine Darstellung auf Grund des gesamten Nachlasses in Weimar mit der ersten vollständigen Bestandsaufnahme. Jena: Gustav Fischer 1941. XIX, 216 S. mit 60 Abb. im Text sowie auf 4 schwarzen und 3 farbigen Tafeln. 16 x 24 cm. Preis brosch. RM 7.50, geb. RM 9.—.

Mit sehr viel Liebe sind nach gründlicher Sichtung und zum Teil nach Überholung von Goethes Nachlaß alle die Farbe betreffenden Gegenstände und Geräte beschrieben und dazu passende Stellen aus Goethes Schriften angeführt.

Es ist gelungen, Goethes Auffassung vom Licht und von der Farbe hauptsächlich aus Zitaten mit meist nur kurzen Erläuterungen erstehen zu lassen.

Deutlich zeichnet sich der manchmal sehr temperamentvoll geführte Streit Goethes gegen NEWTON und die sezierende Physik ab. Er erscheint dem Leser als das Zusammentreffen des Schönheit suchenden, schauenden Menschen mit dem nüchtern sachlich und zweckmäßig Denkenden.

Die Entwicklung hat, man möchte vielleicht sagen leider, dem sachlichen Denken die größeren Erfolge gegeben.

Das Buch besteht seiner Einteilung nach aus einem Führer durch die neuerrichtete Ausstellung von Goethes Geräten in der Mansarde des Goethehauses und aus einer bis ins einzelne gehenden Austellung von Goethes optischer Sammlung.
H. KORTE.

HECHT, FRIEDRICH, und JULIUS DONAU, **Anorganische Mikrogewichtsanalyse.** Wien: Jul. Springer 1940. XVII, 350 S. und 102 Abbild. 16 cm x 24 cm. Preis: brosch. RM 27.—, geb. RM 28.50.

Herr HECHT hat es unternommen, eine Monographiensammlung über das Gebiet der reinen und an-

gewandten Mikrochemie herauszubringen. Der Plan ist im Interesse der Sache sehr zu begrüßen. Als erster Band dieser Reihe von Einzeldarstellungen ist die „Anorganische Mikrogewichtsanalyse“ von F. HECHT und J. DONAU erschienen. Von den beiden Hauptteilen des Buches enthält der erste „Apparate und Arbeitstechnik“ (S. 1—145) die Abschnitte: Waagen und Wägetechnik, Wägungsformen, Vorbereitungen zur Analyse, Reagenzien, Geräte sowie Teiloperationen der Analyse. Der zweite Hauptteil „Analysemethoden“ (S. 146—357) behandelt Einzelbestimmungen, Trennungen von Kationen, Spezialmethoden, Analyse zusammengesetzter Substanzen und die Bestimmungen von Nebenbestandteilen in zusammengesetzten Substanzen. Die Autoren betonen im Vorwort, daß ihnen daran lag, nach einer allgemeinen Darstellung der Arbeitstechnik in erster Linie solche Bestimmungsmethoden zu beschreiben, die als wohlbegründet gelten können und in der Hand eines geübten Mikroanalytikers zuverlässige Ergebnisse liefern. Zur Vervollständigung wurden auch manche Methoden aufgenommen, die von ihnen selbst zwar nicht überprüft worden sind, für deren Güte jedoch der Name des Autors bürgt.

Die vorliegende Monographie der beiden auf dem Gebiet der Mikrochemie aktiv tätigen Verfasser ist ein wertvolles Buch. Es ist mit Kritik, Sachkenntnis, Gründlichkeit und viel Liebe geschrieben, man liest es mit Freude und großem Interesse und es wird der Mikrochemie und der anorganischen Mikrogewichtsanalyse sicherlich zahlreiche neue Freunde und Anhänger aus den Kreisen der Chemiker, Analytiker, Mineralogen, Geologen und Biologen zuführen. Die klaren Darlegungen sind mit über 100 Abbildungen versehen, die als gut gelungen und glücklich ausgewählt bezeichnet werden müssen; sie tragen dazu bei, alles noch eindringlicher zu gestalten.

Der Druck und die Ausstattung der Monographie sind vorzüglich und von der bekannten Güte der Bücher des Springer-Verlages.

Der Referent möchte zum Schluß den Wunsch aussprechen, daß bald auch eine ebenso schöne „Mikromaßanalyse“ erscheint. G. JANDER, Greifswald.

GOETSCH, W., **Vergleichende Biologie der Insektenstaaten**. Probleme der Biologie, herausgegeben von ERICH RIES und KARL WETZEL, Bd. 4. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker und Erler Kom.-Ges. 1940. VIII, 440 S. und 93 Abbild. 15 cm × 22 cm. Preis geb. RM. 27.—, br. RM. 25.—.

Seinen zahlreichen Einzelarbeiten und kürzeren zusammenfassenden Schriften über staatenbildende Insekten fügt der Verf. nun das vorliegende Buch hinzu, angeregt von seiten der Wissenschaftler wie auch der Praktiker, für welche letztere vor allem durch die Intensivierung der Wirtschaft in den Tropen und Subtropen neuerdings die Notwendigkeit einer energischeren Bekämpfung der Schädlinge unter den staatenbildenden Insekten immer stärker hervortritt (Termiten, Blattschneiderameisen). Als Kennzeichen des „Staatslebens“ betrachtet GOETSCH die auch gestaltlich ausgedrückte Arbeitsteilung, die Dauer der Vereinigung trotz ständigen Wechsels der Einzelwesen und die ständige Pflege der Brut. Die Hummeln, Melponinen und Faltenwespen schließt er also aus dem Begriff aus und behandelt sie daher auch nur einleitend, neben Solitärbiene u. dgl., als Vorstufen staatlichen Lebens, um dann ausführlich auf die Honigbienen, die Ameisen und Termiten einzugehen. Verhältnismäßig kurz gefaßt werden die Gebiete, die im eigenen Ameisenbüchlein

des Verf. (Verständliche Wissenschaft Bd. 33), in v. FRISCH'S Bienenbüchlein (ebenda Bd. 1) und bei ESCHERICH eingehend gewürdigt sind. Es entsteht so eine Darstellung, die auch dem Kenner viel Neues vermittelt und nicht unnützlich bereits Bekanntes und leicht Zugängliches wiederholt (auch für die Abbildungen gilt dies). Der erste Abschnitt des Hauptteils ist dem „Aufbau der Staaten“ gewidmet und beschäftigt sich nacheinander mit Lebensraum und Körpergestalt, Behausung und Ernährung, Sinnesleben und Umwelt, sowie Freundschaft und Feindschaft, wobei die geduldeten Mitbewohner, die von jeher die Aufmerksamkeit der Forschung auf sich gezogen haben, besonders ausführlich berücksichtigt werden. Im zweiten Abschnitt „Lebenslauf der Staaten“ kommen vor allem Gebiete zum Wort, die dem Verf. aus eigener Arbeit an Termiten und Ameisen besonders naheliegen, es folgen hier aufeinander Kapitel über Entstehen und Wachsen der Staaten (wobei die Staatsgründung, die Ausbildung der Arbeiterkaste und das Auftreten von Geschlechtstieren berücksichtigt werden), über die Aufnahme der Tätigkeit (Erkundung, Alarm, Kennzeichen der Wege), den Rhythmus der Arbeit (Gruppenbildung, Arbeitsteilung usw.) und schließlich über das Altern und Vergehen der Einzeltiere und der Staaten. Auf einen allgemeineren Fragen berührenden Schlußteil, folgt ein Schriftenverzeichnis, das das Wichtigste aus dem außerordentlich umfangreichen einschlägigen Schrifttum bringt, und endlich ein Sachverzeichnis.

Der Verf. verläßt im Gegensatz zu manchen buchhändlerisch sehr erfolgreichen Tierstaatschilderern der letzten Jahre nirgends den Boden der fest auf Beobachtung und Versuch gegründeten Schlüsse und vermeidet streng jede unberechtigte Vermenschlichung oder Psychologisierung des Treibens in den Insektenstaaten, und gerade deshalb möchte man wünschen, daß er auch außerhalb des Faches einen breiten Leserkreis fände, zumal die flüssige textliche, nicht unnötig durch Fremdworte beschwerte Darstellung und die gute Bilderung des Buches das Verständnis auch dem Nichtfachmann leicht machen. H. WEBER, Wien.

PRELL, HEINRICH, **Die Verbreitung des Elches in Deutschland** zu geschichtlicher Zeit. 93 Seiten. Mit 22 Abbild. auf 15 Tafeln. Leipzig: Paul Schöps 1941. Preis br. RM. 9.50.

Für die weite vorgeschichtliche Verbreitung des Elches in Europa liegen in Gestalt von Knochen- und Geweihfunden nicht wenige Belege vor. Gerade heute, wo Bestrebungen im Gange sind, durch wohlüberlegte Hege und vielleicht, wo die Verhältnisse es erlauben, Neuansiedlung den Bestand dieses prächtigen Wildes zu erhalten und zu heben, ist es natürlich wichtig zu wissen, wo es in Deutschland zu *geschichtlicher Zeit* noch gelebt hat, also unter Umweltbedingungen, die von den heutigen zwar meist recht verschieden waren, aber immerhin leidlich bekannt sind. Als Unterlagen für diesbezügliche Feststellungen kommen leider, wenn man von der Neuzeit absieht, einwandfrei bezeichnete Jagdtrophäen so gut wie nicht in Betracht. Man muß versuchen, im Schrifttum Anhaltspunkte zu gewinnen. Der Zoologe an der Forstlichen Hochschule zu Tharandt hat nun mit großer Mühe und unerbittlicher Kritik die in Betracht kommenden Nachrichten aus dem Altertum, dem Mittelalter und den letztvergangenen Jahrhunderten nachgeprüft. Man kann wohl sagen, daß das Resultat seiner Forschung insofern ziemlich niederschmetternd ist, als er überzeugend nachweist, wie wenig stichhaltig und

zuverlässig fast alle Angaben sind, welche — oft kritikal zitiert — immer wieder als Beweise dafür galten, daß sich noch in historischer Zeit das Verbreitungsgebiet des Elches weit über seinen heutigen Lebensraum hinaus westwärts erstreckt habe. Oft ist bei den Fehldeutungen alter Angaben eine erstaunliche Urteilslosigkeit zutage getreten, wohl getragen von dem Wunsche, deutsche Wildbahnen in romantischer Weise wimmeln zu lassen von wehrhaftem Großwild, bei dessen Jagd unsere Vorfahren ihren Mut bewährten. Man kann es bedauern, daß die sachliche Forschung manche Illusion zerstört, aber aus romantischen Vorstellungen sind nun einmal keine praktischen Schlüsse zu ziehen.

Die wesentlichsten Folgerungen PRELLS sind folgende: „Der Elch ist keineswegs zu historischen Zeiten fast allenthalben im nördlichen und mittleren Europa heimatisiert gewesen, wie immer wieder gleichsam als selbstverständlich angenommen wird. Er ist vielmehr weder in England noch in Frankreich zu historischen Zeiten auf Grund irgendwelcher Überlieferungen mit Sicherheit nachweisbar. Aber auch im Stromgebiete des Rheins, also in der Schweiz und in Westdeutschland, wo der Elch allgemein als wohlbekanntes Jagdtier des Mittelalters vorausgesetzt wird, fehlt jeglicher brauchbare Beleg für sein Vorkommen. Das gleiche gilt für das übrige Deutschland bis einschließlich des Stromgebietes der Elbe“.

KRIEG, München.

Astronomische Mitteilung.

Zur Konstitution der Venusatmosphäre.

Auf Grund der weitgehenden Ähnlichkeit der beiden Planeten Erde und Venus in bezug auf Größe und Masse (s. Tabelle 1), wurde es lange für sehr wahrscheinlich gehalten, daß ebenfalls eine große Ähnlichkeit in der Konstitution der Oberflächen und der Atmosphären bestehe. Diese Ansicht muß jedoch nach den neueren spektroskopischen Beobachtungen fallen gelassen werden.

Tabelle 1.

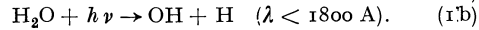
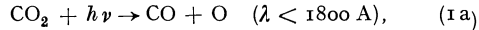
	Masse	Schwere- beschleunigung	Radius am Äquator	Mittlere Dichte	Solarkonst.
	Erde = 1	Erde = 1	Erde = 1	g cm ⁻³	Cal. cm ⁻² min ⁻¹
Venus . .	0,82	0,838	0,989	4,86	3,73
Erde . .	1,00	1,000	1,000	5,52	1,95

Sauerstoff und Wasserstoff, die im tellurischen Spektrum mit einer Reihe relativ kräftiger Banden hervortreten, sind im Venuslicht nicht nachzuweisen. Es bietet zwar einige Schwierigkeiten, die planetarischen Linien von denen tellurischen Ursprungs zu trennen, nach den Messungen von ST. JOHN und NICHOLSON [Astrophys. J. 56, 380 (1922)] kann es jedoch als sicher gelten, daß der Gehalt an Sauerstoff in der Atmosphäre der Venus unterhalb einem Tausendstel und für Wasserdampf unter einem Zehntel von dem der Erdhülle liegt. Den einzigen von jeder Spekulation freien Anhaltspunkt für die chemische Komposition der Venusatmosphäre liefern die von ADAMS und DUNHAM [Publ. Astron. Soc. Pacific 44, 243 (1932)] im nahen Ultrarot aufgefundenen beiden Rotationsschwingungsbanden des CO₂ im Venuslicht. Aus der Stärke der Banden läßt sich der Kohlendioxidgehalt ganz roh zu 400—3000-Meter-Atmosphären abschätzen. Aus der Lage des Intensitätsmaximums der Bandenzweige, das wegen mangelnder Auflösung nur ungefähr festzulegen ist, kann eine untere Grenze der Temperatur der absorbierenden Schichten ermittelt werden, die sich zu 50°C ergibt [A. ADEL, Astrophys. J. 86, 337 (1937)]. Infolge der geringen Durchlässigkeit des CO₂ für Wärmestrahlung muß damit gerechnet werden, daß die Temperatur am Boden der Atmosphäre bis in die Nähe des Siedepunktes des Wassers oder gar etwas darüber ansteigt (Treibhauseffekt). Bei der Existenz von Ozeanen auf der Venusoberfläche wären also ganz enorme Mengen von Wasserdampf in der Atmosphäre zu erwarten, die der spektroskopischen Beobachtung keinesfalls entgehen könnten. Auf Grund des Fehlens kräftiger Wasserdampfbanden im Spektrum ist demnach der Schluß unvermeidlich, daß Meere nicht vorhanden sind und die Dampfspannung des H₂O

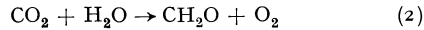
sehr weit unterhalb des Sättigungs- und Kondensationspunktes liegt. Somit läßt sich die hohe Albedo (0,59) der Venusoberfläche nicht, wie dies früher vermutet wurde, auf die reflektierende oder streuende Wirkung von Wolkenschichten aus H₂O zurückführen. Da es andererseits keinem Zweifel unterliegt, wie insbesondere durch SCHÖENBERG und GERASIMOVIC gezeigt worden ist, daß ein Modell der Venusoberfläche, welches der absoluten Helligkeit des Planeten und seiner Phasenkurve gerecht wird, einen atmosphärischen Bestandteil von stark streuender Wirkung einschließen muß, so hat man sich nach einer anderen Deutung der Wolkendecke der Venus umzusehen.

Im Zusammenhang mit dem Studium der Bedeutung photochemischer Prozesse für die Konstitution der Planetenatmosphären ist nun vor einigen Jahren von R. WILDT ein interessanter Gedanke zur Diskussion gestellt worden [Astrophys. J. 86, 321 (1937)], welcher möglicherweise die Lösung des Rätsels bringt und der in einer kürzlich erschienenen Arbeit [Astrophys. J. 92, 247 (1940)] von dem Verf. näher verfolgt worden ist. Es mag zunächst etwas überraschen, wenn WILDT bei seinen Überlegungen schließlich zu dem Schluß gelangt, daß die Wolkendecke der Venus aus Formaldehydkristallen, genauer gesagt, aus Polyoxymethylenhydratkristallen (CH₂O)_x · H₂O, also einer Verbindung eines Polymers des Formaldehyds mit H₂O besteht. Diese Wolkendecke soll sich in ganz analoger Weise durch einen Sublimationsvorgang bilden, wie die Cirruswolken (Eiskristalle) in der Erdatmosphäre. Grundlegend für die WILDTschen Gedankengänge ist einmal die Annahme, daß die Atmosphäre nach der Bildung des festen Planetenkerns vorwiegend aus CO₂ mit geringen Spuren von Wasserdampf bestand. Die Gründe für diese Voraussetzung sollen später unten noch näher angedeutet werden. Eine besondere Bedeutung wird dann der photochemischen Wirkung des Sonnenlichtes zugeschrieben, wodurch allein eine Bildung des Formaldehyds aus CO₂ und H₂O möglich wird. Daß in den Atmosphären des planetarischen Raumes ein photochemischer Einfluß der Sonnenstrahlung sich stark bemerkbar macht, und zwar noch bei großen Sonnendistanzen, ist am Beispiel der Kometen von K. WURM schon vor längerer Zeit gezeigt worden [Z. Astrophys. 8, 281 (1934); 9, 62 (1934)]. Sämtliche, in den Kometenatmosphären durch ihr Spektrum sich bemerkbar machenden Verbindungen verdanken ihr Entstehen der photochemischen Zersetzung mehratomiger Moleküle, ihr Verschwinden ist wiederum die Folge einer Photodissoziation. Man kann deshalb sicher damit rechnen, daß auch in den Planetenatmosphären die vorliegenden Verbindungen, soweit sie photochemisch empfindlich sind, durch das

einfallende Sonnenlicht zersetzt werden, obwohl unmittelbare Beweise dafür noch nicht vorliegen. Sowohl CO_2 wie auch H_2O besitzen nun unterhalb λ 1800 Å eine kontinuierliche Absorption, die im ersten Falle einer Abspaltung eines O-Atoms, im zweiten Falle der Dissoziation eines H-Atoms entspricht:



Durch die Anwesenheit freier H-Atome neben CO ist dann, wie Laboratoriumsversuche gezeigt haben, die Möglichkeit zur Formaldehydbildung gegeben, die beim vorliegenden Beispiel durch die allgemeine Gleichung



zu beschreiben wäre. Gegenüber dem entstehenden freien Sauerstoff erweist sich Formaldehyd als sehr beständig, ebenso gegenüber dem evtl. ebenfalls sich bildenden Ozon. Sauerstoff würde allerdings mit der Zeit die Reaktion (2) infolge seiner abschirmenden Wirkung durch kontinuierliche Absorption ($\lambda < 1950 \text{ Å}$) automatisch zum Stillstand bringen, falls derselbe nicht durch eine andere Reaktion irreversibel aufgebraucht werden könnte. Eine solche Möglichkeit besteht nun in der Tat in der fortschreitenden Verwitterung und Oxydation der feucht-warmen Oberfläche. Die photochemische Synthese kann demnach solange weitergehen, bis der Wasserdampfvorrat vollständig aufgebraucht ist.

Die ursprünglich nur bis zu diesem Punkte durchgeführte gedankliche Verfolgung der Chemie der Venusatmosphäre veranlaßte den Autor zu einer Suche nach den bekannten, in das Gebiet λ 3000 bis λ 2500 fallenden Absorptionsbanden des Formaldehyds im Venuslicht. Aufnahmen des Bereiches λ 3600 bis λ 3200, das nach HENRY und SCHOU [Z. Physik 49, 774 (1928)] fünf relativ kräftige Resonanzbanden des Formaldehyds aufweist, mit dem 82 zölligen Reflektor des Mc. Donald-Observatoriums in Verbindung mit einem größeren Quarzspektrographen zeigten nun keine Spur dieser Banden. Dieses negative Resultat entkräftet jedoch nicht, wie WILDT nachträglich feststellte, die vorstehend durchgeführten Überlegungen, diese sind vielmehr dahin zu ergänzen, daß die starke Neigung des Formaldehyds zur Polymerisation mit in Betracht zu ziehen bleibt. Nach TRAUTZ und UFER [J. prakt. Chem. 113, 105 (1926)] verläuft der Polymerisationsprozeß besonders schnell bei Anwesenheit von Wasserdampf. Die Einführung von nur geringen Spuren von H_2O in ein Gefäß von absolut trockenem monomolekularem CH_2O läßt im Reaktionsgefäß augenblicklich die Bildung dichter, weißer Wolken erkennen. Das Reaktionsprodukt stellt ein Hydrat eines Polymers $\text{HO} - (-\text{CH}_2 - \text{O})_x - \text{H}$ dar mit einem noch unbekanntem, aber zweifellos extrem hohen Polymerisationsgrad. Der Schmelzpunkt der Polyoxymethylenhydrate liegt zwischen $140 - 170^\circ \text{C}$, deren Dampfspannung hat die Höhe von einigen Prozent von der des Wassers bei derselben Temperatur. In dem Temperaturintervall der Venusatmosphäre ($T \approx 75^\circ - 125^\circ \text{C}$) vermögen demnach die Polyoxymethylenhydrate dieselbe Rolle zu spielen wie das Wasser in der Erdatmosphäre. Falls die photochemische Synthese des Formaldehyds bereits zu dem Punkte des vollständigen Verbrauchs des ursprünglich vorhandenen H_2O fortgeschritten ist, so bedeckt wahrscheinlich der größere Teil des Reaktionsproduktes jetzt die Oberfläche gleich einer „Schneedecke“. Letztere wird allerdings infolge der

in größeren Höhen der Atmosphäre durch Sublimation und Kondensation sich bildenden Wolken unsichtbar bleiben.

Den Ausgangspunkt der WILDTschen Überlegungen bildete, wie oben bemerkt wurde, die Annahme, daß die ursprüngliche Atmosphäre der Venus nach der Verfestigung des Planeten relativ arm an Wasserdampf war im Vergleich zur Erde. Für die augenblickliche Zeit ist eine extreme Armut an H_2O ebenso wie an O_2 durch den spektroskopischen Befund erwiesen. Im Lichte gewisser geochemischer Vorstellungen, die in erster Linie auf TAMMANN [Z. Physik. Chem. 110, 17 (1934)] zurückgehen, ergibt sich nun ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen dem Mangel an Wasserdampf und dem an freiem Sauerstoff. Nach TAMMANN bestand die Atmosphäre der Erde nach ihrer Entmischung vornehmlich aus Wasserstoff, Wasserdampf, Stickstoff und Kohlenoxyd. Wasserstoff ist zunächst gegenüber Sauerstoff stark im Überschuß vorhanden, entweicht jedoch dauernd infolge seiner größeren Molekularbewegung aus dem Schwerefeld in den interstellaren Raum, infolgedessen durch beginnende Dissoziation des Wasserdampfes freier Sauerstoff entsteht. Der freiwerdende Sauerstoff wird durch die Oxydation des flüssigen Magma sowie durch die Verbrennung von CO zu CO_2 dauernd aufgezehrt. Erst in dem Zeitpunkt der Erstarrung der Oberfläche ergibt sich die Möglichkeit eines Anwachsens des Gehaltes an freiem Sauerstoff in der Atmosphäre. Die weitere Abkühlung des Planeten bringt die Bildung der Ozeane durch Kondensation des Wasserdampfes. Vermehrt wird dann später die Menge des Sauerstoffes infolge der Kohlensäureassimilation durch das pflanzliche Grün nach dessen Entstehung. Es bleibt zu beachten, daß die Menge des freien Sauerstoffes der Luft verschwindend gering ist gegenüber des in der Silikatschicht gebundenen. Offensichtlich sind nach diesen Vorstellungen die nach der Verfestigung der Planetenoberfläche zurückbleibenden Mengen von H_2O und O_2 von dem Dissoziationsgrad des Wasserdampfes in der ursprünglichen Atmosphäre abhängig. Dieselben werden vermindert mit steigendem Dissoziationsgrad. WILDT vermutet nun, daß die besondere Konstitution der Venusatmosphäre auf einen niedrigeren Partialdruck des Wasserdampfes in der Uratmosphäre zurückzuführen ist, dessen Ursache allerdings ungeklärt bleibt. In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, die atmosphärischen Verhältnisse auf dem Mars zu betrachten. Dieser Planet nimmt in bezug auf den Wasserdampf- und Sauerstoffgehalt eine Zwischenstellung ein. Die lange diskutierte Frage, ob es sich bei den hellen Polkappen um kondensierten Wasserdampf oder kondensierte Kohlensäure handelt, ist im Laufe der letzten Jahre aus Temperaturmessungen zugunsten des H_2O entschieden worden. Ein Wasserdampfgehalt der Atmosphäre läßt sich jedoch spektroskopisch nicht nachweisen, und RUSSELL schätzt die in den Polkappen enthaltene Wassermenge auf weniger als die des Eriesees in Nordamerika, womit der gesamte H_2O -Gehalt wohl erfaßt ist, da Ozeane nicht vorhanden sind. Spektroskopisch erfaßbare Mengen an O_2 liegen nicht vor, wahrscheinlich ist der Sauerstoffgehalt in früherer Zeit jedoch höher gewesen, da anzunehmen ist, daß die rote Farbe weiter Gebiete der Marsoberfläche von der Oxydation eisenhaltiger Sandsteinformationen herrührt.

K. WURM.

Aus den Forschungen der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.

Neuere Beiträge zur Dynamik atmosphärischer und ozeanischer Strömungen.

Von H. GÖRTLER, Göttingen.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung.)

Die Mechanik der Strömungsvorgänge in der Atmosphäre und im Meer stellt ein besonders reizvolles Anwendungsgebiet der Strömungslehre dar. Eine ganze Reihe von Veröffentlichungen des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung ist diesem Fragenkreis unmittelbar oder mittelbar gewidmet. Prof. PRANDTL hat zuletzt in seinem Beitrag zum Meteorologen-Kongreß in Edinburgh 1936 [8]¹⁾ eine umfassende Darstellung der in seinem Institut auf diesem Gebiet durchgeführten oder in Angriff genommenen Untersuchungen gegeben. Sie betreffen die Mechanik der großen Zirkulation der Atmosphäre über der rotierenden Erdkugel, den Einfluß der Bodentopographie auf den Verlauf der Strömungen, die Mechanik der Zyklone und Antizyklone und schließlich auch eine Reihe von Fragen der Kleinformen des Wetters.

Als Beitrag zu dem vorliegenden, der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft und ihren Instituten gewidmeten Sonderheft der „Naturwissenschaften“ sollen im folgenden an Hand der in der Zwischenzeit zum Abschluß gekommenen Untersuchungen die wesentlichen Züge dieser Arbeiten einem größeren Leserkreise aufgezeigt werden. Zwar sind in diesem kurzen Zeitabschnitt und wegen kriegswichtiger Arbeiten des Instituts nur einige der eben genannten Forschungsaufgaben weiter gefördert worden, aber die behandelten Einzelprobleme dürften doch die Grundrichtung hervortreten lassen, in welcher im Göttinger Institut die Methoden und die Ergebnisse der Strömungsforschung auch für die Meteorologie und für die Erforschung der Meeresströmungen nutzbar gemacht werden.

1. Grundsätzlich ist zu der Methode dieser Forschungsarbeiten das Folgende zu sagen. Wenn man bedenkt, daß der Verlauf der Strömungen in der Atmosphäre und im Meer von den verschiedensten Einflüssen bestimmt wird — es seien nur genannt: Erddrehung, Erdkrümmung, Bodengestalt, Dichteveränderlichkeit, Reibung, Wärme- konvektion, Strahlung, Luftfeuchtigkeit —, so ist es wohl einleuchtend, daß einer allgemeinen Theorie große Schwierigkeiten entgegentreten. Für eine planmäßige Erforschung der Strömungserscheinungen ergibt sich daher als Zwangslage das Prinzip, daß man die verwickelten Beziehungen im Hinblick auf das gerade zu klärende Phänomen „zunächst in irgendeiner das Wesentliche heraus-

¹⁾ Die Ziffern in eckigen Klammern verweisen auf das Schriftenverzeichnis am Schluß des Berichts.

schälenden Form so vereinfacht, daß nur ein Problem der Mechanik übrigbleibt und daß man dieses mechanische Problem nun aber in strenger Form formuliert und zu lösen versucht“ (PRANDTL [8]).

Das vereinfachte Modell trägt jenen Einflüssen, die für das Zustandekommen der jeweiligen Erscheinung als wesentlich zu erachten sind, Rechnung und sieht von den übrigen zunächst bewußt ab. Am Ergebnis der hieran angestellten theoretischen Untersuchung gelangt man zu einem vertieften Einblick in die Rolle, welche die berücksichtigten Einflüsse beim Zustandekommen der Strömung übernehmen. Soweit das Gedankenmodell praktisch verwirklicht werden kann, hat man auch die Möglichkeit der experimentellen Nachprüfung im Laboratoriumsversuch. Damit ist schon viel gewonnen, wenn auch das wirkliche Zusammenspiel aller Einflüsse in der Natur dann im allgemeinen nicht einfach durch Superposition erschlossen werden kann.

2. Als erstes Beispiel, das zugleich seiner praktischen Bedeutung halber allgemeineres Interesse beanspruchen darf, sei das „Moazagotl“-Problem genannt. Der Bauer GOTTLIEB MATZ aus Warmbrunn, im Schlesischen der „Moazagotl“, der Matz-Gottlieb, genannt, soll, so wird berichtet¹⁾, jeweils beim Auftreten einer gewissen Wolkenbildung über dem Riesengebirge den Eintritt schlechten Wetters vorausgesagt haben. Es handelt sich bei dieser Wolkenbildung um eine stehende Hinderniswogenwolke in Gestalt einer oder mehrerer im Lee des Riesengebirges zum Gebirgskamm paralleler Wolkenbänke. Sie sind nur das von geeigneten Umständen abhängige Sichtbarwerden einer wellenartigen Bewegung der stabil geschichteten Atmosphäre hinter dem Gebirge. In weiten Kreisen bekannt wurde das Moazagotl als Strömungsvorgang erst, als es für die Segelfliegerei entdeckt wurde (WOLF HIRTH 1933). In seinem Aufwind wurden Höhenweltrekorde erzielt, und in der Folgezeit wurden auch im Lee anderer Gebirgszüge entsprechende Wellenbewegungen der

¹⁾ Nach KNOCH, Moazagotl's Wetterwolke über dem Hirschberger Tal im Riesengebirge und ihre prognostische Bedeutung, Anhang zum Tätigkeitsber. d. Preuß. Met. Inst. 1917/19, 66—74, Berlin. Ich zitiere nach J. KÜTTNER, Moazagotl und Föhnwelle. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 25, 79—114 (1938), wo man auch viele schöne Aufnahmen dieser Erscheinung findet.

freien Atmosphäre entdeckt, deren Aufwindgebiete den Segelflieger interessierten. Aber auch die horizontalen Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit dürfen Interesse beanspruchen.

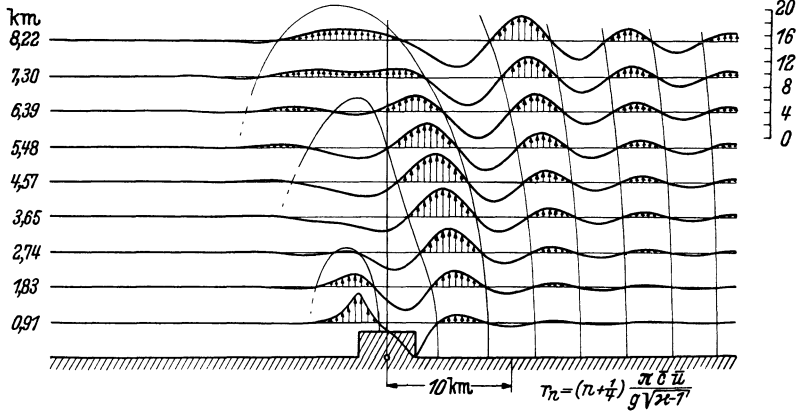


Fig. 1. Aufwindverteilung über einem Berggrücken nach G. LYRA.

Man hat solche Schwankungen durch Beobachtungen an Meteorschweifern festgestellt¹⁾. Auch diese Erscheinung läßt sich durch das Auftreten von Wellenbewegungen in der stationären, durch Bodenhebungen gestörten Strömung einer stabil geschichteten Atmosphäre erklären.

Für eine Theorie der Leewellen können Einflüsse wie Erddrehung, Erdkrümmung, Reibung,

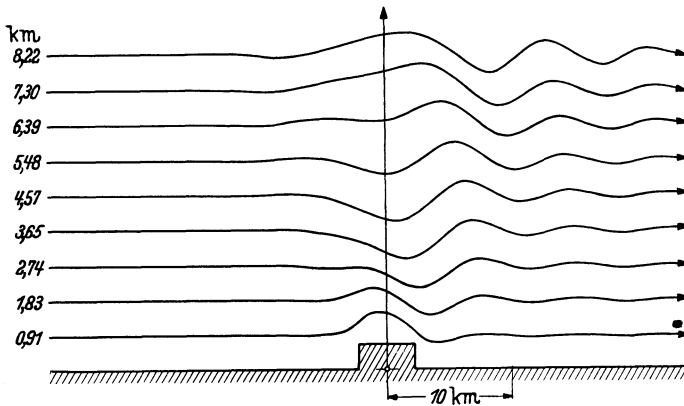


Fig. 2. Stromlinienverlauf zur Aufwindverteilung von Fig. 1.

Wärmekonvektion, Strahlung und Feuchtigkeit offenbar als zunächst unwesentlich außer acht gelassen werden. G. LYRA, dem eine quantitative hydrodynamische Theorie der Moazagotl-Aufwinde gelang [11], ging daher von dem folgenden vereinfachten Modell aus. In einer isotherm (also recht stabil) geschichteten Atmosphäre über ruhendem ebenen Boden erfolge eine reibungslose, zum Boden parallele, geradlinig-gleichförmige Strömung. Diese Bewegung werde nun durch das Vorhandensein einer langgestreckten (in der Theorie als zweidimensional zu behandelnden) Bodenerhebung mit

¹⁾ C. STÖRMER, The meteor train of March 24, 1935. *Astrophys. Norv.* 3, Nr 5 (Sept. 1939).

zur Strömungsrichtung senkrechtem Bergkamm gestört. Gefragt wird nach der Art der Störungsbewegungen, die sich für dieses Modell aus den hydrodynamischen Gleichungen (Gleichungen für die Erhaltung des Impulses, der Masse und der Energie) ergeben. Aus Gründen der mathematischen Durchführbarkeit muß man die Störungen als klein, den Berg also als hinreichend flach annehmen, um eine Linearisierung der hydrodynamischen Gleichungen bezüglich der unbekanntten Störungsgrößen (Störung der Strömungsgeschwindigkeit, des Druckes und der Dichte) vorzunehmen.

Auf die Rechnung selbst soll hier im einzelnen nicht eingegangen werden. Es genüge mitzuteilen, daß eine Gleichung für die Vertikalkomponente der Geschwindigkeit hergestellt wurde, welche im wesentlichen die Gestalt der Wellengleichung besaß und damit den Charakter der zu erwartenden Lösung bereits verbürgte¹⁾. Das allgemeine Ergebnis der Rechnung, numerisch ausgewertet für ein rechteckiges Bergprofil der Höhe 667 m und der Breite 4,5 km, ergab mit $\kappa = c_p/c_v = 1,16^2$) bei einer Anströmgeschwindigkeit $u = 15$ m/sec die Fig. 1 für die Aufwindverteilung (Aufwindgebiete durch Pfeile gekennzeichnet) und die Fig. 2 für den Stromlinienverlauf. (Man beachte, daß die Figuren in dreifacher Überhöhung wiedergegeben sind.) Die Wellenlänge von ≈ 7 km entspricht gut der bei dieser Windgeschwindigkeit im Lee des Riesengebirges beobachteten Wellenlänge von etwa 8 km. Zur Kennzeichnung der den Segelflieger interessierenden Aufwindgebiete gibt LYRA als Näherung für einige Entfernung hinter dem Berg die Gebiete zwischen den Kreisen mit den Radien r_{2n-1} und r_{2n} um den Berg an, wo

$$r_m = \left(m + \frac{1}{4}\right) \frac{\pi c u}{g \sqrt{\kappa - 1}}$$

(c Schallgeschwindigkeit, g Erdbeschleunigung) ist.

¹⁾ Für ein eingehenderes Studium sei hier bemerkt: Bezüglich der zur Lösung der Randwertaufgabe benutzten GREENSchen Funktion bleibt noch die Eindeutigkeitsfrage zu klären. Der grundsätzliche Charakter der Lösung ist jedoch als sichergestellt zu betrachten. Nach einer Anregung von Prof. PRANDTL wird man die Eindeutigkeit der Lösung dadurch erzwingen können, daß man in bereits anderweitig mit Erfolg gehandhabter Weise hypothetische Reibungskräfte einführt, mit denen man zur Grenze Null übergeht.

²⁾ Durch diese Wahl von κ kleiner als 1,405 wird die geringere Stabilität der polytropischen Schichtung mit brauchbarer Näherung berücksichtigt.

H. STÜMKE hat in einem Zusatz [12] zu der LYRASCHEN Arbeit die Verteilung der horizontalen Geschwindigkeitskomponenten im Hinblick auf die obengenannten Beobachtungen an Meteorschweifeln bestimmt und an Beispielen numerisch ausgewertet.

3. Neben der Veränderlichkeit der Dichte kommt bei Strömungen in der freien Atmosphäre und im Meer gegenüber den gewöhnlichen aerodynamischen und hydrodynamischen Verhältnissen in erster Linie hinzu: die Erddrehung. Die Winkelgeschwindigkeit $\vec{\omega}$ der Erddrehung ist dem Betrage nach

$$\omega = \frac{2\pi}{\text{Sterntag}} = 7,292 \cdot 10^{-5} \text{ sec}^{-1}.$$

Die gegenüber dem ruhenden System hinzutretende Zentrifugalbeschleunigung ist eine rein ortsabhängige Größe und gibt mit der Gravitation zusammen die örtliche Schwerebeschleunigung. Darüber hinaus kommt aber beim Übergang vom nichtrotierenden zum rotierenden Bezugssystem die Coriolisbeschleunigung hinzu, und diese äußert sich in einer von der jeweiligen Strömungsgeschwindigkeit \mathfrak{v} abhängigen Weise. Ihr Einfluß ist daher von besonderem Interesse.

Die Coriolisbeschleunigung ist durch den Vektor $2\mathfrak{v} \times \vec{\omega}$ gegeben. Ein Massenteilchen erfährt demnach durch sie eine ablenkende Kraft senkrecht zur Strömungsgeschwindigkeit \mathfrak{v} und zur Rotationsachse in dem durch das Vektorprodukt gegebenen Sinn. Es wird für das Verständnis des Weiteren dienlich sein, die Wirkung dieses seitlichen Drangs an zwei geläufigen Beispielen einfachster Bewegungsformen in Erinnerung zu bringen. Wir beschränken uns dabei auf einen nicht zu ausgedehnten Strömungsbereich, in welchem wir die geographische Breite φ näherungsweise durch einen konstanten mittleren Wert und die Erdoberfläche durch eine mittlere Tangentialebene, die Horizontalebene des Bereichs, ersetzen können.

Wenn etwa ein Massenpunkt eine völlig freie waagerechte Bewegung vollführt, so ergeben die Corioliskräfte eine Ablenkung, und zwar nach rechts auf der Nordhalbkugel, nach links auf der Südhalbkugel. Die Größe dieser Ablenkung pflegt man unter Heranziehung des Begriffs „Pendeltag“ zu veranschaulichen. Ein Pendeltag ist die Zeit, die ein FOUCAULTSches Pendel braucht, um eine volle Drehung von 360° zurückzulegen, also $1 \text{ Sterntag} / \sin \varphi$. Der Massenpunkt beschreibt dann in einem halben Pendeltag einen vollen Kreis, den „Trägheitskreis“¹⁾. Der Radius dieses Trägheitskreises ist also

$$R = \frac{V_0}{2\omega \sin \varphi},$$

wenn V_0 der konstante Betrag der Geschwindigkeit des Massenpunktes ist.

¹⁾ Dies gilt unter der gemachten Voraussetzung, daß φ als konstant betrachtet werden kann. Unter Berücksichtigung der Veränderlichkeit von φ ergeben sich in der Gegend des Äquators Kurven vom Typ der *Elastica*, s. L. PRANDTL [5].

Soll eine Flüssigkeit gezwungen werden, über einen ebenen horizontalen Boden mit geradliniggleichförmiger Geschwindigkeit \mathfrak{R}_0 zu strömen, so muß die ablenkende Wirkung der Coriolisbeschleunigung durch ein entgegenwirkendes Druckgefälle aufgehoben werden. Dieses Gleichgewicht von Corioliskraft und Druckgefälle wird gemäß den hydrodynamischen Bewegungsgleichungen erzielt, wenn das Druckfeld p durch

$$p = -\rho g z + 2\rho \omega \sin \varphi (v_0 x - u_0 y)$$

gegeben ist (ρ konstante Dichte der Flüssigkeit; x, y, z rechtwinklige kartesische Koordination, wobei z vertikal nach oben gerichtet ist; $\{u_0, v_0, 0\}$ die Komponenten von \mathfrak{R}_0 in Richtung dieser Achsen). Darin gibt der von der Höhe z über dem Boden linear abhängende erste Anteil nur den hydrostatischen Druck wieder. Der zweite Anteil liefert das benötigte horizontale Druckgefälle. Man folgert sofort, daß die Isobarenflächen, insbesondere die freie Oberfläche ($p = \text{const.}$) gegen den Boden in Richtung des horizontalen Druckgefälles geneigte Ebenen sind.

4. Für das Problem der stationären Strömung einer Flüssigkeit über Bodenerhebungen ergibt sich somit, daß gegenüber dem ruhenden Boden bei Berücksichtigung der Erddrehung eine von der örtlich veränderlichen Geschwindigkeit abhängige ablenkende Wirkung der Coriolisbeschleunigung hinzutritt. Diese Frage der Stromablenkung durch Bodenerhebungen interessiert sowohl in der Meteorologie als auch für die Erforschung der Meeresströmungen. Der Verfasser des vorliegenden Berichts hat in noch unveröffentlichten Untersuchungen [17] eine quantitative hydrodynamische Theorie dieser Erscheinung entwickelt, und zwar unter Berücksichtigung der inneren Reibung der Flüssigkeit.

L. PRANDTL hat in seinem oben zitierten Bericht [8] eine kurze Erörterung des Problems im Hinblick auf atmosphärische Strömungen unter Vernachlässigung der Reibung gegeben. Für Meeresströmungen liegt in den verdienstvollen Arbeiten von V. W. EKMAN¹⁾ eine weitentwickelte Theorie vor, die auch den Einfluß der Erdkrümmung und die Erzeugung eines zusätzlichen Oberflächenstromes durch den Wind über der Meeresoberfläche berücksichtigt. Grundsätzlich stimmen die der Theorie des Verfassers zugrunde liegenden Anschauungen mit der Theorie EKMAN'S (1932) überein. In der mathematischen Formulierung des Problems ist jedoch ein Fortschritt erzielt worden derart, daß man zu einfacheren Grundgleichungen gelangt, die einer expliziten Lösung zugänglich sind und zu sehr einfachen und in allen Phasen durchsichtigen allgemeinen Ergebnissen führen.

Zu den Annahmen und Vereinfachungen dieser Theorie ist das Folgende zu sagen: Es wird die stationäre Strömung eines reibenden Mediums

¹⁾ V. W. EKMAN, Studien zur Dynamik der Meeresströmungen. Gerlands Beitr. zur Geophysik 36, 385–438 (1932).

konstanter Dichte und endlicher Höhe betrachtet (als Ersatz für das Meer oder für eine stabil geschichtete Atmosphäre nach dem oben beschriebenen Arbeitsprinzip, daß man sich auf die für die betreffende Erscheinung — hier die Stromablenkung — in erster Linie maßgebenden Faktoren beschränkt). Von der Erdkrümmung wird bewußt abgesehen, um zunächst allein den bodentopographischen Einfluß zu studieren. Es wird also wieder die Erdoberfläche durch ihre Tangentialebene ersetzt und $\varphi = \text{const.}$ angenommen. Als Koordinatensystem wollen wir das oben unter Abschnitt 3 beschriebene rechtwinklige kartesische Koordinatensystem x, y, z annehmen; die zugehörigen Geschwindigkeitskomponenten seien u, v, w . Ferner stelle man sich im Hinblick auf die Anwendungen ein in waagrechter Richtung relativ zur mittleren Schichthöhe \bar{H} weit ausgedehntes Strömungsgebiet vor. Schließlich soll angenommen werden, daß der Boden $z = \zeta(x, y)$ nur schwach von dem Wert $z = 0$ abweicht und nicht zu große Steigungen aufweist in dem Sinne, daß $|\zeta| \ll \bar{H}$ und $\left| \frac{\partial \zeta}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial \zeta}{\partial y} \right| \ll 1$. In dem horizontal weit ausgedehnten Strömungsraum kann man dann die vertikalen Beschleunigungsglieder in den Bewegungsgleichungen vernachlässigen. Damit gilt für den Druckanstieg mit der Tiefe das hydrostatische Grundgesetz. Wegen der relativen Flachheit der Bodenerhebungen sind auch die Vertikalgeschwindigkeiten relativ klein; die mit dieser Geschwindigkeitskomponente gebildeten Beschleunigungsglieder können damit auch vernachlässigt werden¹⁾.

Die hydrodynamischen Gleichungen lassen dann Lösungen zu, deren horizontale Geschwindigkeitsverteilung von der Höhe z unabhängig ist. Wir stellen diese durch den horizontalen Vektor $\mathfrak{B} = \{u(x, y), v(x, y), 0\}$ dar. Aus Kontinuitätsgründen ist dann w von z linear abhängig: $w = a(x, y)z + b(x, y)$. Hat also die Strömung, wie wir voraussetzen wollen — insoweit die Reibung unberücksichtigt gelassen werden kann —, am Ort des Eintritts in den betrachteten Strömungsbereich diesen Charakter — man denke etwa an eine geradlinig-gleichförmige Strömung vor dem Berghindernis —, so trifft dies dann auch für den ganzen Strömungsbereich zu. Die Strömung ist zweidimensional in dem Sinne, daß alle Stromlinien durch eine gemeinsame vertikale Gerade in ihrem ganzen Verlauf die gleiche Grundrißprojektion haben.

Was nun den Reibungseinfluß betrifft, so beschränkt sich dieser auf eine relativ dünne Schicht in unmittelbarer Bodennähe. In dieser Grenz-

¹⁾ Man hat es dann mit denselben hydrodynamischen Ausgangsgleichungen zu tun, die für das Problem der Strömung einer Flüssigkeitsschicht auf der in ihrer Ebene rotierenden Scheibe gelten. Man kann somit die Theorie in dem unten besprochenen rotierenden Laboratorium nachprüfen. Dies ist bisher jedoch nur in qualitativer Hinsicht geschehen.

schicht gehen die Geschwindigkeiten wegen des Haftens der Flüssigkeit am Boden gegen Null. Dann gehen aber auch die ihnen dem Betrage nach verhältnismäßigen Corioliskräfte dort gegen Null. Der Druck aber pflanzt sich nach den Grundgesetzen der PRANDTL'schen Grenzschichttheorie praktisch unverändert in Tiefenrichtung durch die Reibungsschicht bis zum Boden fort. Also ist in der Reibungsschicht notwendig das in der darüberliegenden reibungslos zu behandelnden Hauptströmung bestehende Gleichgewicht zwischen horizontalem Druckgefälle und Corioliskräften nicht mehr vorhanden. Der überschüssige Druck setzt in der Bodenschicht eine zusätzliche Strömung in Gang. Diese „Sekundärströmung“ verläuft umgekehrt zur Richtung der ausfallenden Corioliskräfte und damit in der Grundrißprojektion senkrecht zu der darüberliegenden Hauptströmung. Sie erfolgt in solcher Stärke, daß die durch sie hervorgerufenen Reibungskräfte am Boden das Gleichgewicht gerade wieder herstellen. Insgesamt ergibt sich eine Bodenströmung schräg zur Hauptströmung.

Im Falle einer geradlinig-gleichförmigen Hauptströmung etwa, bei der \mathfrak{B} also drehungsfrei ist, hat die Sekundärströmung auf die Hauptströmung keinen Einfluß. Besitzt \mathfrak{B} aber Drehung, so kann die dazu senkrechte horizontale Sekundärströmung, die nicht mehr divergenzfrei sein wird, nur bestehen, wenn ihr von der Hauptströmung her Flüssigkeit zuströmt bzw. wenn solche nach oben abströmt, je nach dem Drehungssinn der \mathfrak{B} -Strömung. Unter Umständen kann dann die Sekundärströmung in der relativ dünnen Bodenschicht eine stark eingreifende Wirkung auf die Hauptströmung ausüben. Es ist daher von praktischem Interesse, beim Studium der Stromablenkung durch Bodenerhebungen auf der rotierenden Erde den Einfluß der Reibung zu ermitteln.

Für den durch die Sekundärströmung verursachten horizontalen zeitlichen Massenfluß in der Bodenschicht kann angesetzt werden:

$$\mathfrak{M} = \rho h \bar{\mathfrak{B}},$$

wo $\bar{\mathfrak{B}}$ aus dem Geschwindigkeitsvektor \mathfrak{B} durch Drehung um 90° hervorgeht: $\bar{\mathfrak{B}} = \{-v, u\}$. Der Proportionalitätsfaktor h hat die Dimension einer Länge. Er ist im allgemeinen noch abhängig von der Strömungsgeschwindigkeit und von der Bodenrauigkeit — es interessieren hier im Hinblick auf die Anwendungen nur turbulente Strömungen — und hat mit der Dicke der Grenzschicht zu tun. Diese Abhängigkeit kann auf Grund der Gesetze der ausgebildeten Turbulenz abgeschätzt werden.

Nach dieser ausführlicheren Erläuterung der Mechanik des Strömungsvorgangs mögen hier nur an einem Beispiel einige Teilergebnisse der vom Verfasser entwickelten Theorie dargestellt werden. Man denke sich einen zweidimensionalen Gebirgskamm mit dem Profil $\zeta = \frac{\zeta_0}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi x}{B} \right\}$ für $|x| \leq B/2$, $\zeta = 0$ außerhalb. Diese Bodenerhebung

möge mit der konstanten Hauptströmungsgeschwindigkeit u_0 senkrecht angeströmt werden. Dann gibt Fig. 3 die Grundrißprojektion einer Stromlinie der Hauptströmung (darunter das Bergprofil im Aufriß) in Abhängigkeit von gewissen Parametern, die noch zu erläutern sind. Es ist $R = u_0/2\omega \sin \varphi$ der mit der Anströmungsgeschwindigkeit u_0 gebildete Trägheitskreisradius. Sein Verhältnis zur Bergbreite, also R/B , ist ein Maß für das Verhältnis der longitudinalen Beschleunigung zur Coriolisbeschleunigung. Für den Reibungs-

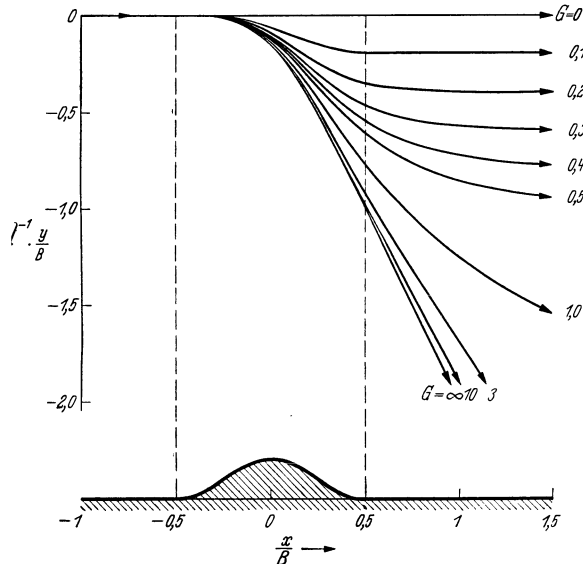


Fig. 3. Grundrißprojektion einer Stromlinie der Hauptströmung in Abhängigkeit vom Reibungseinfluß.

einfluß ist die Dimensionslose h/\bar{H} maßgebend, aber es zeigt sich allgemein, daß diese nicht selbständig auftritt, sondern immer nur in der dimensionslosen Parameterkombination

$$G = \frac{R}{B} : \frac{h}{\bar{H}}.$$

Bei festem R/B geben daher die verschiedenen Kurven der Fig. 3 den Einfluß der Sekundärströmung auf den Stromlinienverlauf in der Hauptströmung wieder. Man erkennt, daß für $G = 3$ und höher praktisch der reibungslose Grenzfall ($h = 0$, $G = \infty$) erreicht ist.

Ist h (und damit G) veränderlich, so zeigt die Theorie, daß bei mäßigen Schwankungen von h der Ersatz desselben durch einen konstanten mittleren Wert eine gute Näherung gibt, auch wenn h sehr schnellen Änderungen unterworfen ist. Aber auch der Fall starker Veränderlichkeit von h läßt sich theoretisch erfassen. Wir verweisen hierzu und bezüglich der allgemeinen Theorie auf die demnächst erscheinende Arbeit des Verfassers [17].

Es ist nun natürlich in erster Linie von Interesse zu erfahren, von welcher Größenordnung der Parameter G im Falle der ozeanischen und atmosphärischen Strömungen ist. Bei dem heutigen

Stand unserer Kenntnisse über die Gesetze turbulenter Strömungen läßt sich eine Abschätzung durchführen. Es zeigt sich, daß G jedenfalls größer als $3 \cdot 10^2 \bar{H}/B$ ist. Nimmt man beispielsweise $\bar{H}/B = 10^{-2}$ an — bei einer Meerestiefe $\bar{H} = 5$ km also Bergbreite $B = 500$ km, bei der Höhe $\bar{H} = 8$ km der gleichförmigen Atmosphäre $B = 800$ km —, so nimmt G Werte zwischen 3 und 80 an, je nach der Strömungsgeschwindigkeit, der geographischen Breite und der Art und Verteilung der turbulenz erzeugenden Bodenrauigkeiten (Bodenbewuchs, zerklüftete Gebirgsoberfläche usw.). Für solche Werte von G hat, wie obiges Beispiel (Fig. 3) lehrt, die Sekundärströmung keinen Einfluß auf die Hauptströmung, und man kann von vornherein die Reibung vernachlässigen. In Grenzfällen kann aber G eventuell Werte annehmen, für welche die Sekundärströmung bestimmenden Einfluß auf den Verlauf der Hauptströmung gewinnt. Es muß nämlich beachtet werden, daß die eben angedeutete Abschätzung für G nur größenordnungsmäßig gilt, mehr kann man bei unseren heutigen Kenntnissen der Gesetze turbulenter Strömungen nicht aussagen.

Für den reibungslosen Grenzfall ($G = \infty$) der Fig. 3 geben wir zur Veranschaulichung noch einige Zahlenangaben. Es sei etwa $B = 200$ km, $\zeta_0 = 10^{-1} \bar{H}$, $\varphi = 30^\circ$. Ist dann die Anströmungsgeschwindigkeit in der Hauptströmung $u_0 = 10$ cm sec $^{-1}$ (20 cm sec $^{-1}$), so ist $R = 1,37$ km (2,74 km), der Ablenkungswinkel γ der Stromlinie nach Überschreiten des Berges $\gamma = -82^\circ 12'$ ($-74^\circ 40'$), die Versetzung Δy eines Massenteilchens in y -Richtung nach Überschreiten des Berges $\Delta y = -3,65 B$ ($-1,82 B$), die zum Überschreiten der Bodenerhebung benötigte Zeit 22 Tage (11 Tage). Die gewählten Geschwindigkeiten entsprechen der im Meer vorkommenden Größenordnung. Wählen wir im Hinblick auf die Anwendungen bei atmosphärischen Strömungen etwa $u_0 = 20$ m sec $^{-1}$, was einem frischen Wind in Bodennähe entsprechen würde, so ist $R = 274$ km, $\gamma = -2^\circ 5'$, $\Delta y = -0,0182 B$, $t = 2,64$ Stunden.

5. Wir wenden uns nunmehr noch kurz einem anderen Problemkreis zu, der Mechanik der Zykclone und Antizykclone. In seinem schon mehrfach zitierten Bericht [8] an den Internationalen Meteorologie-Kongreß in Edinburgh 1936 hat PRANDTL die Frage der Entstehung eines Zyklons oder Antizyklons durch Umschichtungen in einer zunächst ruhend gedachten und irgendwie stabil geschichteten Atmosphäre erörtert. Es wurde dabei an das Aufsteigen erwärmter Luft von bodennahen Schichten gedacht. Diese Luftmasse wird sich dann in einer höheren Schicht wieder stabil einlagern. Bei diesem Umlagerungsvorgang eines Luftquantums nach oben muß aus Kontinuitätsgründen Luft in Bodennähe von den Seiten zur Mitte nachrücken. Diese horizontale endliche Verschiebung ist auf der rotierenden Erde von Coriolisgeschwindigkeiten begleitet, und es ist daher zu erwarten, daß eine zyklonal drehende Strömung

in Gang gesetzt wird. Oben in jener Schicht, in der sich das Luftquantum wieder stabil einlagert, wird sich bei dem seitlichen Auseinanderrücken der Luft entsprechend eine antizyklonal drehende Strömung ergeben.

Um diesen in seinen Einzelheiten nicht so einfachen Vorgang quantitativ durch eine strenge hydrodynamische Betrachtung zu erfassen, wird man wiederum zu solchen Vereinfachungen greifen, daß nur noch die für den Mechanismus ausschlaggebenden Faktoren berücksichtigt werden. Zunächst einmal kann man, den Abmessungen des Strömungsraumes entsprechend, wie bei unseren früheren Problemen, den Vorgang von der Erdkugel auf die rotierende Scheibe (Drehgeschwindigkeit $\omega' = \omega \sin \varphi$) verlegen. Denn der Durchmesser eines Zyklons ist als klein gegenüber dem Erdradius anzusehen. Er ist aber noch groß gegenüber der Höhe jener Schicht, in der sich die Hauptmasse der Luft befindet. Es kann also auch hier von den Vertikalbeschleunigungen abgesehen werden.

Von der inneren Reibung wird man ebenfalls zunächst absehen. Schließlich muß man sich auf eine Theorie der ersten Ordnung beschränken in dem Sinne, daß man das gesamte nach oben verlagerte Luftquantum als klein annimmt; demzufolge ist dann eine Linearisierung in den mit dieser Verlagerung zunächst erfolgenden ortsabhängigen Verschiebungen der Luftteilchen im ganzen Raum sowie in den begleitenden Druck- und Dichteänderungen und in den resultierenden Coriolisgeschwindigkeiten statthaft. Es wird angenommen, daß sich jedes Luftteilchen bei der Bewegung adiabatisch verhält.

Während PRANDTL der Einfachheit halber zunächst nur das analoge zweidimensionale Problem, das etwa für eine langgestreckte Tiefdruckrinne anwendbar ist, im einzelnen weiter verfolgte, hat H. STÜMKE in seiner Dissertation [13] von der Basis dieser Betrachtungen aus die Theorie des zylindersymmetrischen Falles, der einem Zyklon (idealisiert) entspricht, durchgeführt. Vorwiegend aus Gründen der mathematischen Einfachheit wurde in beiden Fällen eine isothermische Schichtung angenommen. Um wenigstens eine Andeutung über den Verlauf der Rechnung, welche die obigen Vorstellungen über die auf Grund der Verlagerung zu erwartende Drehströmung voll bestätigte, zu geben, sei mitgeteilt, daß man für die ortsabhängige Druckveränderung eine — natürlich lineare — partielle Differentialgleichung vom elliptischen Typus erhält. Damit kann man, wie in der Potentialtheorie, das Verschwinden bzw. Auftreten von Masse durch partikuläre Integrale von Senken- bzw. Quellencharakter darstellen. Zugleich kann man nach dieser Methode auch kompliziertere Windsysteme aufbauen.

STÜMKE hat seine Rechnungen auch für den Fall eines volumbeständigen Mediums durchgeführt, da in diesem Fall die Möglichkeit einer experimentellen Nachprüfung besteht. Wir kommen darauf zurück.

Nun dreht sich ja ein solcher Zyklon oder Antizyklon, einmal in Gang gesetzt, nicht ewig weiter, wenn ihm nicht weiterhin Energie zugeführt wird, sondern kommt auf Grund der inneren Reibung, die wir bisher außer Betracht gelassen haben, allmählich zum Stillstand. Im einzelnen hat man sich dies wie folgt vorzustellen. In der bodennahen Reibungsschicht, in der die Geschwindigkeiten wegen des Haftens am Boden auf Null absinken, wird eine Sekundärströmung (s. oben Abschnitt 4) in Gang gesetzt, die hier im Falle eines Zyklons, wie man sich leicht überlegt, Luft von außen nach innen führt (analog bei antizyklonalen Drehungen von innen nach außen), und zwar so lange, bis die Druckstörung abgebaut ist. Wenn man die Sekundärströmung etwa in der oben in Abschnitt 4 geschilderten Weise in erster Näherung erfaßt, wird man diesen Vorgang ebenfalls mit Hilfe der Quellen- und Senkenmethode berechnen können.

6. Der Modellversuch bildet seit jeher ein wichtiges Hilfsmittel der Strömungsforschung. Bereits in seinem Festvortrag anlässlich der Einweihung der Neubauten des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung 1926 [1] wies Prof. PRANDTL kurz auf seine Absicht hin, den Modellversuch auch für meteorologische Fragen einzusetzen. Hierzu stand im neuen Institut ein rotierendes Laboratorium bereit, ein um eine vertikale Achse drehbarer Raum, in welchem der mitrotierende Beobachter die in diesem Raum aufgebauten Versuche verfolgen kann und also sich gegenüber den beobachteten Vorgängen in derselben Lage befindet, wie der Beobachter auf der rotierenden Erde. Die Einrichtung dieses „Karussells“ ist mehrfach beschrieben worden (ausführlich von FETTE [2] in Anwendung auf technisch interessierende Strömungen).

Natürlich sind alle meteorologischen Vorgänge, bei denen die Dichteänderung einen wesentlichen Faktor bildet, vom Modellversuch ausgeschlossen, denn um die Troposphäre etwa in einem Modell von 1 m Höhe nachzubilden, müßte man ein Mittel zur Hand haben, die Schwerkraft im Versuchsapparat auf das Zehntausendfache zu steigern (s. [9], S. 82). Für die Aufklärung aller jener Erscheinungen aber, bei denen in der volumbeständigen Flüssigkeit bereits alle wesentlichen Einflüsse genügend wirklichkeitstreu zur Geltung kommen, kann der Modellversuch herangezogen werden. So sind Modellversuche mit Flüssigkeiten verschiedener Dichte zur Nachbildung eines Kaltluft-einbruchs sowie der Ausbreitung einer Cumuluswolke an einer Stabilitätsschicht durchgeführt worden [8], [7].

Was nun das rotierende Laboratorium anbelangt, so hat STÜMKE [13] seine oben angedeutete Zyklonentheorie, angewandt auf den Fall einer volumbeständigen Flüssigkeit, modellmäßig nachgeprüft. Dabei wurde am Boden einer mit Wasser gefüllten Schale im drehenden Karussell ein schwaches Hochdruckgebiet nachgebildet, indem der mittlere Bodenteil angehoben wurde. Prak-

tisch wurde dies so bewerkstelligt, daß an dieser Stelle des Schalenbodens eine Gummimembran eingespannt war, die dann von untenher aus einem Kessel mit Wasser gefüllt wurde, und zwar genügend langsam, um in der darüber befindlichen, ursprünglich relativ zur rotierenden Schale ruhenden Flüssigkeit keine wesentlichen Trägheitsbeschleunigungen hervorzurufen. An der optisch gemessenen Neigung der Flüssigkeitsoberfläche konnte dann die Theorie auch quantitativ nachgeprüft werden, wobei der Vergleich befriedigend ausfiel.

Wenn sich im rotierenden Karussell die Flüssigkeit in einer Schale mit horizontalem Boden relativ zur Schale in Ruhe befindet, also wie ein starrer Körper rotiert, und nun die Drehgeschwindigkeit des Karussells plötzlich vermindert oder völlig abgestoppt wird, so entsteht das Strömungsbild eines Tiefdruckgebiets (zyklonale Drehung). Das Anfangsstadium dieser Bewegung kurz nach dem Abstoppen ist von K.-H. THIRIOT [14] für den Fall einer nach oben und nach den Seiten unbegrenzten volumbeständigen Flüssigkeit grenzschichttheoretisch berechnet worden, der stationäre Endzustand dieser Strömung von U. T. BÖDEWADT [15]. Die experimentelle Nachprüfung der Theorie wurde von THIRIOT im rotierenden Laboratorium vorgenommen. Dabei wurden die Streichlinien der Bewegung — eine Streichlinie ist der augenblickliche Ort aller Teilchen, die im Laufe der Zeit einen festen Raumpunkt passiert haben, nur bei stationären Strömungen also eine Stromlinie — durch auf dem Boden ausgestreute Farbkriställchen als spiralförmig nach innen verlaufende Farbfahnen sichtbar gemacht. Auch der Strömungsanlauf beim plötzlichen Ingangsetzen der Karusselldrehung aus der Ruhe heraus (Strömung nach Art eines Hochdruckgebietes) ist von THIRIOT theoretisch und experimentell untersucht worden. Der stationäre Endzustand dieser Strömung war bereits früher von anderer Seite¹⁾ berechnet worden. Wir nennen diese Untersuchungen hier, weil sie im Hinblick auf die Mechanik zyklonal und antizyklonal bewegter Luftmassen insofern Interesse haben, als die Strömungsvorgänge in ihrem Charakter den Kerngebieten solcher Bewegungen entsprechen.

7. Wir möchten diesen Bericht, der in erster Linie in grundsätzlichen Zügen aufzeigen sollte, wie die Methoden und Ergebnisse der Strömungs-

¹⁾ W. G. COCHRAN, The flow due to a rotating disc. Cambridge Proc. 30, 365—375 (1934).

forschung auch auf dem Gebiet der atmosphärischen und ozeanischen Strömungen nutzbar gemacht werden, mit einer Zusammenstellung der hierher gehörigen Arbeiten des Göttinger Instituts beschließen. Es sind zu nennen:

[1] L. PRANDTL, Aufgaben der Strömungsforschung. Naturwiss. 14, 335—338 (1926). — [2] H. FETTE, Strömungsversuche im rotierenden Laboratorium. Z. techn. Physik 14, 257—266 (1933). — [3] L. PRANDTL u. W. TOLLMIEH, Die Windverteilung über dem Erdboden, errechnet aus den Gesetzen der Rohrströmung. Z. Geophysik 1, 47—55 (1925). — [4] L. PRANDTL, Meteorologische Anwendungen der Strömungslehre. Bjerknes-Festschrift der Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 19, 188—202 (1932). — [5] F. KROPATSCHEK, Die Mechanik der großen Zirkulation der Atmosphäre. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 22, 272—298 (1935). — [6] L. ROUX, Turbulente Windströmungen auf der rauhen Erdoberfläche. Z. Geophysik 11, 165—187 (1935). — [7] V. M. GHATAGE, Modellversuche über die gegenseitige Bewegung von Luftmassen verschiedener Temperaturen. Diss. Göttingen 1936. — [8] L. PRANDTL, Beiträge zur Mechanik der Atmosphäre. Bericht an den Internationalen Meteorologie-Kongreß in Edinburgh 1936. Erschienen in den Berichten der „Union Géodésique et Géophysique internationale“. Paris 1939. — [9] L. PRANDTL, Betrachtungen zur Mechanik der freien Atmosphäre. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-phys. Kl. III. Folge, H. 18, 75—84 (1937). — [10] W. PAESCHKE, Experimentelle Untersuchungen zum Rauheits- und Stabilitätsproblem in der bodennahen Luftschicht. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 24, 163—189 (1937). — [11] G. LYRA, Über den Einfluß von Bodenerhebungen auf die Strömung einer stabil geschichteten Atmosphäre. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 26, 197—206 (1940). — [12] H. STÜMKE, Bemerkungen über die horizontalen Störungsgeschwindigkeiten der in vorstehender Arbeit behandelten Strömung. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 26, 207—210 (1940). — [13] H. STÜMKE, Rotationssymmetrische Gleichgewichtsstörungen in einer isothermen Atmosphäre nebst einem Modellversuch mit rotierender Flüssigkeit. Z. Geophysik 16, 127—149 (1940). — [14] K.-H. THIRIOT, Über die laminare Anlaufströmung einer Flüssigkeit über einem rotierenden Boden bei plötzlicher Änderung des Drehungszustandes. Z. angew. Math. Mech. 20, 1—13 (1940). — [15] U. T. BÖDEWADT, Die Drehströmung über festem Grunde. Z. angew. Math. Mech. 20, 241—253 (1940). — [16] K.-H. THIRIOT, Untersuchung über die Grenzschicht einer Flüssigkeit über einer rotierenden Scheibe bei kleiner Winkelgeschwindigkeitsänderung. Erscheint demnächst in der Z. angew. Math. Mech. — [17] H. GÖRTLER, Einfluß der Bodentopographie auf Strömungen über der rotierenden Erde. Erscheint demnächst in der Z. angew. Math. Mech.

Über die Temperatur der höchsten Atmosphärenschichten.

Von E. REGENER, Friedrichshafen a. B.

(Aus der Forschungsstelle für Physik der Stratosphäre in der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.)

Unsere Kenntnisse über die Zustände in den höchsten Atmosphärenschichten sind merkwürdig langsam fortgeschritten. Bis zur Jahrhundertwende haben wir etwas Genaueres nur über die Troposphäre gewußt, über die bis etwa 10 km

reichende „Schicht der Umwälzungen“, in welcher die Temperatur nach oben abnimmt und in der sich die Erscheinungen abspielen, die wir das „Wetter“ nennen. Daß sich darüber die wolkenlose Stratosphäre aufbaut, in welcher die Temperatur mit

der Höhe nicht weiter sinkt, ist uns erst durch die Registrierballon-Aufstiege von R. ASSMANN und H. HERGESELL am Anfang dieses Jahrhunderts bekannt geworden. Um dieselbe Zeit (1902) postulierten dann A. E. KENNEDY und O. HEAVISIDE die Existenz einer leitenden Ionosphäre in 100 und mehr Kilometer Höhe, damit durch Reflexion an dieser Schicht die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen über sehr große Entfernungen auf der Erdoberfläche verständlich werden konnte. Und erst in den 20er Jahren ist der einwandfreie Nachweis der atmosphärischen Ozonschicht gelungen, deren maximale Konzentration in 20–25 km-Höhe liegt und deren obere Begrenzung in etwa 45 km Höhe zu suchen ist (CH. FABRY und H. BUISSON, P. GÖTZ und G. M. DOBSON).

In letzter Zeit ist viel über die Temperatur dieser hohen Schichten diskutiert worden. Für alle genannten Schichten soll die Temperatur höher sein als in der übrigen Stratosphäre, für die man in unseren Gegenden im Mittel etwa -55°C setzen kann. Für den obersten Teil der Ozonschicht in 40–45 km Höhe wird eine Temperatur von etwa $+50$ bis $+70^{\circ}\text{C}$ angenommen. Die ionosphärische E-Schicht in etwa 100 km Höhe soll Temperaturen von etwa $+35$ bis $+100^{\circ}\text{C}$ haben, während für die höheren F-Schichten Temperaturen von $+160$ bis $+660^{\circ}\text{C}$ gefordert werden¹⁾.

Mit Ausnahme der wenigen auf „optischem Wege“ gewonnenen Werte (über die noch unten zu sprechen sein wird), sind diese Temperaturen nicht direkt gemessen, sondern durch Rechnung gefunden worden. Die Temperatur geht dabei als Zustandsgröße in die mehr oder weniger einfachen Überlegungen zur Erklärung der beobachteten Erfahrungstatsachen (Brechung akustischer Wellen in der Ozonschicht und Reflexion elektrischer Wellen an der Ionosphäre) ein.

Die Vorstellung von solchen in der Atmosphäre in bestimmten Höhen eingelagerten Schichten, die eine so stark erhöhte Temperatur haben, hat nicht nur für den Laien, sondern auch für den Fachmeteorologen etwas Ungewöhnliches an sich. Ist man doch in der Meteorologie seit langem gewohnt, die Hauptquelle für die Erwärmung der Lufthülle der Erde in die durch die Sonnenstrahlung erwärmte Erdoberfläche selbst zu legen (die wolkenfreie Atmosphäre läßt rund 60% der Sonnenenergie bis zur Erdoberfläche hindurch). So sind denn auch von meteorologischer Seite²⁾ noch in jüngster Zeit Zweifel an der Realität der erhöhten Temperaturen der hohen Schichten ausgesprochen worden. Diese Zweifel können aber dem vorhandenen Material gegenüber nicht standhalten. In diesem Sinne sind insbesondere von R. PENNDORF³⁾ kürzlich die von verschiedenen Seiten sowohl für die Ozonschicht wie für die ionosphäri-

schen Schichten berechneten Temperaturwerte zusammengestellt und ausführlich diskutiert worden. Auch die Tatsache, daß bisher beim Nordlicht nach der optischen Methode wesentlich niedrigere Temperaturen gemessen wurden als sie für die gleich hohen ionosphärischen Schichten berechnet werden, wird diskutiert und der Unterschied auf die systematische Verschiedenheit in den Beobachtungsbedingungen zurückgeführt (hohe geographische Breite, Beobachtung der Nordlichter in der Nacht und im polaren Hochwinter, in dem überhaupt keine gut ausgebildete E-Schicht gefunden wird).

Es soll daher im folgenden die erhöhte Temperatur der oberen Schichten als reell angenommen und über die Zahlenwerte nicht weiter diskutiert werden. Es soll vielmehr der Versuch gemacht werden, an Hand von einigen Betrachtungen allgemeinerer Natur die Erscheinung der Temperaturerhöhung der hohen Schichten verständlich zu machen.

Die Sonnenstrahlung ist in der ganzen Meteorologie das primum agens, besonders aber für die hohen Schichten. Denn, während die Sonnenstrahlung durch die unteren Schichten mit relativ geringer Absorption hindurchgeht, ohne dabei aber eine Veränderung der Luft selbst zu bewirken, verdanken die hohen Schichten bereits ihre stoffliche Entstehung, d. h. ihre Umwandlung aus der gewöhnlichen Luft der absorbierten Sonnenstrahlung. Und zwar ist es die kurzwellige ultraviolette Strahlung von der Wellenlänge $\lambda < 0,3 \mu$, die von jeher als das chemisch wirksame Licht galt, die auch in den hohen Schichten diese Umwandlungen hervorruft. Und wenn wir weiter beachten, daß nach neueren astronomischen Untersuchungen die Sonne im äußersten Ultraviolett besonders stark selektiv strahlt, d. h. viel stärker, als sie es gemäß ihrer Temperatur als schwarzer Körper tun würde, so wird man die Verhältnisse wohl am besten so beschreiben können, daß man die höchsten Schichten der Atmosphäre als eine Art chemischer Küche bezeichnet, in der alles, was nur reagieren oder zersetzt werden kann, reagieren wird. Bis jetzt wissen wir, daß dort Ozonbildung und gleichzeitig Ozonzersetzung, ferner Dissoziation von Sauerstoff und Stickstoff, Ionisation dieser beiden Gase und wahrscheinlich auch der anderen noch vorhandenen Gasreste, Bildung von angeregten, bei den geringen Drucken in großen Höhen besonders langlebigen Atom- und Molekülzuständen und schließlich verschiedene Lumineszenzvorgänge (insbesondere von Natrium und Calcium) auftreten.

Daß sich dies alles gerade in den größten Höhen der Atmosphäre abspielt, hat seinen Grund darin, daß die gasförmigen Bestandteile der Atmosphäre im ganz kurzwelligen Ultraviolett außerordentlich stark absorbieren. Sauerstoff z. B. hat bei der Wellenlänge von $0,145 \mu$ einen dekadischen Absorptionskoeffizienten größer als 200, was bedeutet, daß bereits eine Sauerstoffschicht von $\frac{1}{200}$ cm Dicke (unter Normalbedingungen) nur noch $\frac{1}{10}$

¹⁾ R. PENNDORF, Meteor. Z. 58, 1 (1941). Vgl. auch J. ZENNECK, Erg. Kosm. Phys. 3, 31 (1938).

²⁾ K. WEGENER, Meteor. Z. 57, 290 (1940).

³⁾ R. PENNDORF, l. c.

der Intensität von auffallendem Licht von $\lambda = 0,145 \mu$ durchläßt; das ist eine stärkere Absorption als die meisten Metalle im Sichtbaren zeigen (man denke an die grün durchsichtigen Goldfolien). Beim Ozon ist es ähnlich; bei $\lambda = 0,25$ bis $0,26 \mu$ ist der Absorptionskoeffizient etwa 140 und bei $\lambda = 0,29 \mu$ beträgt er noch 20, so daß die, auf Normalbedingungen reduziert, nur etwa 0,3 cm dicke atmosphärische Ozonschicht kein Sonnenlicht von kürzerer Wellenlänge als $\lambda = 0,29 \mu$ mehr auf die Erdoberfläche herunterkommen läßt.

Eine weitere wichtige Besonderheit liegt darin, daß diese hohen Absorptionskoeffizienten der atmosphärischen Gase jeweils auf ein recht enges Wellenlängengebiet beschränkt sind. Daraus erklärt sich bereits das Auftreten der Schichten mit besonderen Eigenschaften in bestimmten Höhen. Dasjenige Gas, welches die Absorptionsbande mit dem höchsten Absorptionskoeffizienten hat, wird Sonnenlicht der betreffenden Wellenlänge in der größten Höhe absorbieren. Die Besonderheiten dieser Schicht werden von den bei dieser Wellenlänge möglichen Vorgängen (Dissoziation, chemische Veränderung oder Ionisation usw.) abhängen. Ist mit einem anderen Wellenlängengebiet die Möglichkeit einer anderen Reaktion verbunden, und ist für dieses Wellenlängengebiet die Absorption geringer, so liegt auch die dadurch entstandene Schicht in geringerer Höhe. So führt beim Sauerstoff die relativ schwache Absorption zwischen $\lambda = 0,175$ bis $\lambda = 0,205 \mu$ zur Bildung der Ozonschicht in den relativ geringen Höhen bis 45 km^1 . Für Licht noch kürzerer Wellenlänge (um $\lambda = 0,145 \mu$ herum) hat Sauerstoff den oben genannten, sehr hohen Absorptionskoeffizienten, so daß dieses Licht schon in den Höhen von etwa 100 km absorbiert wird und zur Bildung der E-Schicht führt²). Die F-Schichten schließlich in 200 und 300 km Höhe können nur einer noch stärkeren Absorption des Stickstoffs bei den Wellenlängen unter $0,1 \mu$ ihre Entstehung verdanken.

Mit vorstehendem sind die Verhältnisse in den oberen Schichten natürlich nur in großen Zügen beschrieben. Im einzelnen entstehen insbesondere für die rechnerische Erfassung der Vorgänge dadurch Schwierigkeiten, daß die absorbierenden Wellenlängengebiete in Wirklichkeit Bandenspektren von sehr komplizierter Struktur sind, bei denen die Absorption von Wellenlänge zu Wellenlänge stark wechselt und deren einzelne Glieder gerade im extremen Ultraviolett noch unvoll-

ständig bekannt und gedeutet sind. Eine weitere Komplikation liegt darin, daß die zur Absorption kommende Sonnenstrahlung im kurzwelligen Ultraviolett noch nicht direkt untersucht ist, da die hohe Atmosphäre gerade dieses Licht von unseren Instrumenten fern hält. Deswegen hofft die Sonnenphysik, Aufschlüsse über dieses Wellenlängengebiet gerade aus den Vorgängen in den höchsten Atmosphärenschichten zu erhalten. Ist ja doch die Untersuchung dieser Vorgänge eine Art Filteranalyse für die auffallende Sonnenstrahlung.

Schon die Existenz der sehr hohen Absorptionskoeffizienten bei den atmosphärischen Gasen sollte eigentlich die Erwärmung der hohen Schichten verständlich machen. Denn nur ein kleiner Teil der absorbierten Sonnenenergie wird zu chemischen Umsetzungen bzw. zur Ionisation verbraucht. Die Ozonbildung z. B. kommt über die seltenen Dreierstöße zustande, außerdem wirkt ihr die photochemische Ozonzersetzung entgegen, wobei die Bildungswärme des Ozons wieder frei wird. Die Ionenbildung kommt mit der Wiedervereinigung der Ionen ins Gleichgewicht, wobei schließlich wieder Wärme entsteht. Verloren geht der Wärmeentwicklung, das ist der Überführung in molekulare innere Bewegungsenergie, nur der Teil der absorbierten Sonnenenergie, der in Form von Wärme oder Licht besonderer Wellenlänge wieder ausgestrahlt wird. Alles übrige geht letzten Endes in molekulare Wärme über.

Für die Frage nach der Temperatur, die die oberen Schichten möglicherweise annehmen können, wollen wir, wie das z. B. auch bei der Berechnung der effektiven Strahlungstemperatur der Erde geschieht, die Temperatur für das Strahlungsgleichgewicht eines an der Grenze der Atmosphäre befindlichen schwarzen Körpers ausrechnen. Da die Schichten parallel der Erdoberfläche sind, nehmen wir eine horizontale Fläche F eines festen Körpers und lassen die Sonnenstrahlung der Einfachheit halber senkrecht auf die Fläche auffallen. Wir wollen ferner annehmen, daß nur die Oberseite der Fläche Strahlung aufnimmt und wieder ausstrahlt, daß also die Unterseite wärmeisoliert sei und nicht strahle. Und, um den Übergang zu der Wirklichkeit nicht zu verlieren, wollen wir schließlich das Absorptionsvermögen unserer Fläche für die verschiedenen Wellenlängen besonders bezeichnen. Denn kein natürlicher Körper mit glatter Oberfläche ist an sich vollkommen schwarz; sein Absorptionsvermögen A (= Emissionsvermögen) ist immer um einen endlichen Betrag von 1 verschieden. Die Annäherung an den „absolut schwarzen“ Körper kann nur durch die geometrische Konfiguration eines Hohlraums (hier aber mit beliebiger Schärfe) hergestellt werden. Alle natürlichen Körper haben zudem selektive Absorptionsgebiete, infolge deren sie für die Strahlung verschiedener Temperatur, d. h. verschiedener mittlerer Wellenlänge, verschieden schwarz sind. Wir berücksichtigen dies für unseren Fall, indem wir für unseren Testkörper das mittlere Absorptionsver-

¹) Daß die Ozonschicht nicht höher hinaufreicht, hängt sehr wahrscheinlich damit zusammen, daß die photochemische Ozonbildung über den Weg der Dreierstöße vor sich geht, die bei den niedrigen Drucken in größeren Höhen zu selten werden.

²) Man vergl. die Fig. 44 bei P. Götz, Erg. kosm. Phys. 3, 306 (1938). Hier ist auch eine zusammenfassende Darstellung des ganzen Ozonproblems zu finden.

mögen für die Wellenlängengebiete der Sonnenstrahlung, der Umgebungsstrahlung und der re-emittierten Strahlung mit A_s , A_u und A_e bezeichnen. Dann lautet, wenn S die Solarkonstante und σ die Strahlungskonstante bedeutet, die Bedingung für das Strahlungsgleichgewicht unserer Fläche:

$$A_s S F + A_u \sigma T_u^4 F = A_e \sigma T^4 F, \quad (1)$$

absorb.
Sonnen-
strahlung
absorb.
Umgebungs-
strahlung
wieder aus-
gesandte
Strahlung

woraus sich für die Gleichgewichtstemperatur

$$T = \sqrt[4]{\frac{A_s S}{A_e \sigma} + \frac{A_u T_u^4}{A_e}} \quad (2)$$

ergibt. Setzen wir $A_s = A_u = A_e = 1$, so haben wir damit unsere Fläche als vollkommen schwarz für alle Wellenlängen postuliert, und wir müssen noch für T_u , für die Temperatur der interplanetarischen Umgebung der Erde einen plausiblen Wert einsetzen. Diese Temperatur ist sicher sehr niedrig, so daß das Glied mit T_u^4 in erster Näherung vernachlässigt werden kann. Dann ergibt sich nach Einsetzen der Zahlenwerte¹⁾ für die Gleichgewichtstemperatur unserer Testfläche:

$$T = 392^\circ \text{ K oder } + 119^\circ \text{ C.}$$

Selbst wenn man für die Temperatur des interplanetarischen erdnahen Raumes nach K. WEGENER²⁾ den hohen Wert von $T_u = 150^\circ \text{ K}$ ($= -123^\circ \text{ C}$) einsetzt, erhält man für die Gleichgewichtstemperatur nur einen um 2° höheren Wert ($T = 394^\circ \text{ K}$ oder $+ 121^\circ \text{ C}$). Der Einfluß der Umgebungsstrahlung kann also, soweit es sich um eine Ausstrahlung in den interplanetarischen Raum handelt, vernachlässigt werden. Man sieht ferner, daß nach Formel (2) auch für einen grauen Körper, d. h. für einen Körper, bei dem das Absorptionsvermögen bei allen Wellenlängen der gleiche Bruchteil von 1 ist ($A_s = A_u = A_e < 1$), dieselbe Gleichgewichtstemperatur herauskommt. Nur erreicht bei plötzlichen Änderungen einer Intensität der graue Körper die neue Gleichgewichtstemperatur langsamer als der schwarze.

Es ist bemerkenswert, daß die Maximaltemperatur der von der Sonne beschienenen Mondoberfläche nach radiometrischen Messungen auch zu $+ 120^\circ \text{ C}$ angegeben wird³⁾. Der Mond ist nun in der Tat ein recht dunkler Körper, er reflektiert nur 7,3% des auffallenden Lichtes⁴⁾, hat also ein A_s für die sichtbare Sonnenstrahlung von 0,93. Auch für die Ausstrahlung bei $+ 120^\circ \text{ C}$, für die das Maximum bei $\lambda = 7,3 \mu$ liegt, muß er nach For-

¹⁾ $S = 1,94 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ und
 $\sigma = 1,374 \cdot 10^{-12} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{grad}^{-4}$.

²⁾ K. WEGENER, Gerl. Beitr. Geophys. 45, 189 (1935).

³⁾ Handbuch der Astrophysik 4, 403 (1929). Die Genauigkeit der radiometrischen Messungen ist natürlich nicht sehr groß.

⁴⁾ Aus der Vollmondhelligkeit abgeleitete Gesamtalbedo (Handbuch der Astrophysik, 1. c.).

mel (2) mindestens die gleiche Schwärze haben; sonst wäre die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Berechnung nicht möglich.

Der Mond ist der Repräsentant eines atmosphärenlosen Himmelskörpers. Ganz anders liegen die Verhältnisse, wenn eine wasserdampfhaltige Atmosphäre und Wasser und Eis vorhanden sind. Nehmen wir gleich einen extremen Fall, z. B. die Oberfläche von frisch gefallenem Schnee. Sichtbares Sonnenlicht reflektiert dieser sehr gut, so daß man A_s etwa = 0,1 setzen kann. Für das in Betracht kommende Ultrarot dagegen hat er ein sehr gutes Absorptions- (= Emissions-) Vermögen A_e , teils wegen der starken Absorptionsbanden von Wasser und Eis im Ultraroten, teils wegen seiner lockeren, an der Oberfläche mit Hohlräumen erfüllten Struktur. Setzen wir A_e vorsichtigerweise nur = 0,9, so erhalten wir nach (2) (ohne Umgebungsstrahlung) für eine horizontale Schneefläche an der Grenze der Erdatmosphäre im Sonnenlichte eine Gleichgewichtstemperatur von

$$T = 226^\circ \text{ K oder } -47^\circ \text{ C.}$$

Ähnlich wie Schnee verhalten sich viele weißen Körper, z. B. die Oxyde von Magnesium, Aluminium und Zink, auch Bleiweiß. Sie werden alle an der Atmosphären-grenze sehr tiefe Temperaturen annehmen, um so tiefere, je besser sie die Sonnenstrahlung reflektieren und je größer ihr Emissionsvermögen im Ultrarot für Wellenlängen größer als einige μ ist. Die selektiven Eigenschaften der Körper sind also für die Temperatur, die sie unter der Wirkung der Strahlung annehmen, von ganz besonderem Einfluß¹⁾.

Merkwürdig würde unsere Testfläche sich verhalten, wenn sie für die Sonnenstrahlung ein hohes Absorptionsvermögen, z. B. $A_s = 0,9$, für die ultrarote Ausstrahlung dagegen ein kleines Emissionsvermögen, z. B. $A_e = 0,1$, haben würde. Sie würde dann nach Formel (2) eine Gleichgewichtstemperatur von

$$T = 678^\circ \text{ K oder } + 405^\circ \text{ C}$$

annehmen, also eine wesentlich höhere Temperatur, als ein vollkommen schwarzer Körper. Es ist allerdings fraglich, ob es einen solchen Körper in fester Form wirklich gibt. Denn die meisten Körper, die im sichtbaren Gebiet schwarz sind, sind im Ultrarot erst recht schwarz. Der aus dem einfach gebauten Kohlenstoff bestehende Ruß wird z. B. erst bei dem ganz langwelligen Ultrarot bei $\lambda = 30 \mu$ wieder durchsichtig²⁾. Feste Körper mit komplizierter gebauten Molekülen, erst recht alle Metalle und elektrischen Leiter, haben durchweg im Ultrarot ein sehr hohes Absorptionsvermögen.

¹⁾ Die selektiven Eigenschaften können auch selbst noch temperaturabhängig sein, wodurch sich die Berechnung der Gleichgewichtstemperatur kompliziert.

²⁾ H. RUBENS u. K. HOFFMANN, Berl. Ber. 1922, 424-435.

Hat also die Annahme von solchen Eigenschaften für einen festen Körper einen durchaus fiktiven Charakter, so schafft sie uns andererseits den Übergang zu den Verhältnissen bei den atmosphärischen Gasen. Bei diesen haben wir im kurzwelligen Gebiet eine starke Absorption; zwar nicht im Sichtbaren, sondern im Ultraviolett, so daß in Formel (2) nicht die Solar-konstante, sondern ihr noch unbekannter Bruchteil im Ultraviolett einzusetzen ist. Im Sichtbaren und im ganzen Ultrarot sind aber die Hauptbestandteile der Luft, Stickstoff und Sauerstoff, hochgradig durchsichtig. Wegen ihrer äußerst geringen Absorption können sie im Sichtbaren und Ultraroten nur äußerst wenig in Form von Temperaturstrahlung emittieren. Da somit das A_e in Formel (2) sehr klein ist, so müssen diese Gase unter der Wirkung des ultravioletten Sonnenlichtes, auch, wenn dieses nur einige Prozente der gesamten Sonnenstrahlung ausmacht, recht hohe Gleichgewichtstemperaturen annehmen. Eine Berechnung dieser Temperatur ist für die ionosphärischen Schichten zur Zeit nicht möglich. Man kennt hier einerseits nicht die einfallende Sonnenenergie im extremen Ultraviolett, andererseits ist man über die Ausstrahlung noch zu unsicher. Zwar kennt man beim Sauerstoff¹⁾ im sichtbaren Rot und im nahen Ultrarot einige Absorptionsbanden, die sog. atmosphärischen Sauerstofflinien im Sonnenspektrum, die sich bei der Emission zu einem gewissen Grade beteiligen könnten; wahrscheinlich kommt aber die Emission durch die geringen Beimengungen anderer Gase, insbesondere von Wasserdampf und Kohlensäure zustande, die im Ultrarot starke Absorptionsbanden haben. Auf jeden Fall können aber die Temperaturen, wie sie für die E- und F-Schichten aus ihren elektrischen Eigenschaften berechnet werden, als durchaus verträglich mit den optischen Eigenschaften der atmosphärischen Bestandteile und dem sich daraus ergebenden Strahlungsgleichgewicht bezeichnet werden.

Günstiger liegen die Verhältnisse bei der Ozonschicht. Hier ist bezüglich der absorbierten Sonnenintensität nur eine geringfügige Extrapolation im Ultraviolett erforderlich und die für die Ausstrahlung maßgebenden Absorptionsbanden des Ozons im Ultrarot sind gut bekannt. Die entsprechenden Berechnungen von R. PENNDORF und E. H. GOWAN ergeben die eingangs erwähnten Temperaturen der Ozonschicht. Die Temperaturen sind etwas abhängig von dem zur Zeit noch ganz unsicher bekannten Wasserdampfgehalt der Atmosphäre in den Höhen der Ozonschicht. Derselbe hat, da er nur bei der Ausstrahlung beteiligt ist, einen abkühlenden Einfluß. Bei der Ozonschicht läßt sich auch die Rückwirkung ihrer Erwärmung auf die niederen Luftschichten einigermaßen übersehen. Bei den iono-

sphärischen Schichten ist diese Rückwirkung trotz ihrer höheren Temperatur sicher gering, da die Gesamtmasse der Luft, die in diesen Schichten enthalten ist und die für die Ausstrahlung in Betracht kommt, nur klein ist. Die Luftmasse z. B., die zwischen 100 und 150 km Höhe enthalten ist, hat, auf Atmosphärendruck zusammengedrückt, nur eine Schichtdicke von der Größenordnung eines Zentimeters.

Unsere Testfläche, mit der wir unsere Betrachtungen über die Temperatur der hohen Schichten begonnen hatten, hatten wir zunächst horizontal gestellt. An Umgebungsstrahlung nahm sie also nur die aus dem interplanetarischen Raum kommende Strahlung auf. Es ist von Interesse, sie auch in andere Richtungen gedreht zu denken und die Temperatur zu berechnen, die sie infolge der abgeänderten Strahlungsbedingungen annimmt. Denn für die Temperatur jedes wirklichen Körpers, den wir etwa in die in Frage stehenden großen Höhen bringen, spielt nicht die Lufttemperatur, sondern die ein- und ausgestrahlte Energie die ausschlaggebende Rolle. Je geringer die Dichte der Luft, um so kleiner wird der Wärmeinhalt der Luft und um so kleiner werden die Wärmemengen, die für den Wärmeübergang zwischen Luft und festem Körper in Frage kommen. Schon bei den Messungen der Lufttemperatur in den mit Registrierballonen erreichbaren Höhen macht es ja bekanntlich große Schwierigkeiten, die wirkliche, d. h. die durch Strahlung unbeeinflusste Temperatur der Luft zu messen. Der Wärmeübergang zwischen der Luft und dem Thermometerkörper muß durch Ventilation stark erhöht werden, um einigermaßen richtige Lufttemperaturen zu bekommen; um so stärker, je dünner die Luft wird, d. h. in je größeren Höhen man messen will. Schon in Höhe der oberen erwärmten Ozonschicht dürfte die Messung der Lufttemperatur mit Thermometerkörpern äußerst schwierig werden. In Höhen der E-Schicht erscheint sie unmöglich. Ein Körper in 100 km Höhe wird auch bei stärkster Ventilation von der hohen oder tiefen Temperatur der umgebenden Luft so gut wie unbeeinflusst bleiben, die Bilanz seines Wärmeinhalts wird fast ausschließlich durch die Ein- und Ausstrahlung bestimmt werden.

Lassen wir zunächst die Sonnenstrahlung auf unsere Testfläche ganz fortfallen, betrachten wir also die Verhältnisse bei Nacht, so fällt der erste Ausdruck in Formel (1) fort und die Strahlung der Fläche setzt sich mit der Strahlung des interplanetarischen Raumes ins Gleichgewicht¹⁾. Die Fläche nimmt also die Temperatur desselben an, d. h. die oben erwähnten -123°C oder noch weniger.

Richten wir jetzt die Normale der Fläche gegen die Erde, so fällt auf die Fläche dieselbe Strahlung, wie sie die Erde in den interplanetarischen Raum aussendet. Diese entspricht der effektiven Strah-

¹⁾ Stickstoff absorbiert wie die Edelgase erst im äußersten Ultraviolett.

¹⁾ Man beachte, daß die Strahlungskonstante σ für die Ausstrahlung über die Halbkugel gilt.

lungstemperatur der Erde, die man bekanntlich erhält, wenn man (unter Berücksichtigung der Albedo der Erde) die auf die Querschnittsfläche der Erde einfallende Sonnenstrahlung gleich der von der ganzen Erdoberfläche ausgesandten Strahlung setzt. Diese Strahlungstemperatur kommt zu etwa -26 bis -34°C heraus, je nach dem Zahlenwert für die etwas unsicher bekannte Albedo der Erde. Dieselbe Temperatur wird die nach unten gerichtete Fläche annehmen, da, von ihr aus gesehen, die Erdoberfläche den Raumwinkel der ganzen Halbkugel erfüllt. Die von unten kommende Strahlung ist nach neueren Überschlagsrechnungen¹⁾ zu 50 % aus der langwelligen Rückstrahlung der Erdatmosphäre und zu 42 % aus kurzwelliger an den Wolken und an der Luft reflektierter Sonnenstrahlung zusammengesetzt, während 8 % Erdbodenstrahlung sind, die durch die Atmosphäre hindurchgeht. Wenn die Fläche nicht schwarz ist, sondern selektiv absorbiert, können die Unterschiede in der Temperatur, die sie bei verschiedener Orientierung zur Erde annimmt, natürlich unter Umständen noch viel größer werden.

Für die Untersuchung der Wirkung der Strahlung aus verschiedenen Richtungen war die Fläche auf der Rückseite wärmeisoliert angenommen worden. Haben wir es mit einem ausgedehnten Körper, z. B. mit einer Kugel, zu tun, so werden natürlich die nach verschiedenen Richtungen orientierten Stellen derselben in ihrer Temperatur ganz verschieden beeinflusst werden. Der evtl. Ausgleich hängt von der Wärmeleitfähigkeit des Körpers ab. Schon bei den Stratosphärenflügen mit bemannten Ballonen hat man der Strahlung aus verschiedenen Richtungen Rechnung getragen. So war die kugelförmige Gondel bei den amerikanischen Ballonen Explorer I und II auf der Oberseite weiß, auf der Unterseite schwarz. Die Temperaturschwankung in der Gondel hielt sich dank dieser Maßnahme in mäßigen Grenzen. In 100 km Höhe werden aber die verschiedenen Seiten eines Körpers unter Umständen Temperaturdifferenzen bis zu mehreren 100° annehmen können. Ebenso groß werden auch die Temperaturschwankungen im Laufe eines Tages sein²⁾.

Da nach vorstehendem sehr geringe Aussicht besteht, die Temperatur der ganz hohen Schichten in der Atmosphäre direkt mit körperhaften Thermometern zu messen, wird man der *optischen* Methode der Temperaturmessung erhöhtes Interesse entgegenbringen. Bei dieser Methode wird aus der Struktur bestimmter Absorptions- oder Emissionsbanden die Temperatur der absorbierenden oder emittierenden Moleküle erhalten. Beim Ozon

z. B. werden in der Hugginsbande zwischen $\lambda = 0,32$ bis $0,36 \mu$ mit abnehmender Temperatur die Minima zwischen den einzelnen Gliedern der Bande ausgeprägter. Wenn die Abhängigkeit dieser Erscheinung von der Temperatur im Laboratorium quantitativ festgelegt ist, kann an dem aufgenommenen Absorptionsspektrum der atmosphärischen Ozonschicht ihre Temperatur abgelesen werden. Auf diese Weise sind in der Tat bereits einige direkte Bestimmungen der Temperatur der Ozonschicht erfolgt. Die Methode hat vorläufig noch den Nachteil, daß sie nur die Mitteltemperatur der ganzen Ozonschicht liefert, während in Wirklichkeit nur der oberste Teil der Ozonschicht erhöhte Temperatur hat. Beim Nordlicht ist die Temperatur am Emissionsspektrum gemessen worden. Hier liegen die Schwierigkeiten in der wegen der schwachen Intensität notwendigen langen Expositionsdauer.

Leider ist diese elegante Methode der Temperaturmessung in der Ausführung schwierig und natürlich nur in den Fällen anwendbar, wo ein atmosphärisches Gas absorbiert oder emittiert. Das letztere ist aber in unserem Falle kein schwerwiegender Nachteil, denn in der hohen Atmosphäre interessieren, wie wir gesehen haben, hauptsächlich nur die durch Absorption der Sonnenstrahlung entstandenen Schichten und gerade diese Fälle sieht ja die Methode heraus. Dabei ist noch zu bemerken, daß die Temperaturbestimmung nur eine Nebenleistung der optischen Methode ist und daß die optische Untersuchung der hohen Atmosphäre, ganz abgesehen vom lange bekannten Polarlicht, überhaupt erst zur Entdeckung der Ozonschicht, der Schichten des Natriums und Calciums, der Vorgänge beim Nachthimmelsleuchten und zum Teil sogar zur Höhenbestimmung dieser Schichten geführt hat. Die moderne Theorie der Spektren gibt uns ja weitgehende Aufschlüsse über den Mechanismus der Absorption und Emission und insbesondere auch über die Anfangs- und Endzustände der Atome und Moleküle bei diesen Prozessen, so daß die spektrale Untersuchung der hohen Schichten bereits eine Reihe von Aussagen über ihren Zustand machen konnte. Die Bestimmung der Temperatur kann beim Atomspektrum durch Messung der Linienbreite, die durch den Dopplereffekt infolge der thermischen Bewegung hervorgerufen ist, erfolgen, beim Spektrum der Moleküle durch Messung der Intensitätsverteilung in der Rotations- und Schwingungsstruktur der Banden¹⁾. Da die direkten Messungen in der Atmosphäre unter Benutzung von Registrierballonen kaum über die 30 km-Höhe hinausgekommen sind, wird man den weiteren Ergebnissen der Anwendung der optischen Methode auf die Untersuchung der hohen Schichten mit Interesse entgegensehen.

¹⁾ Handbuch der Meteorol. v. SÜRING, 5. Aufl., S. 76, 1939.

²⁾ Auf der wasserlosen Mondoberfläche müssen die Verwitterungserscheinungen allein durch diese Temperaturdifferenzen zustande kommen.

¹⁾ Vgl. darüber z. B.: G. HERZBERG, Molekülspektren und Molekülstruktur 1939.

Dampfdruckmessung reaktionsfähiger Stoffe.

(Eine neue Anwendung des Trennrohres.)

Von R. FLEISCHMANN, Heidelberg.

(Aus dem Institut für Physik am Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung.)

Das Trennrohr von CLUSIUS und DICKEL¹⁾ ist bisher vor allem zur Aufspaltung chemisch nicht oder nur sehr schwer trennbarer Gemische verwendet worden. So ist damit bei Chlor zum erstenmal die vollständige Trennung zweier Isotope (Cl^{35} und Cl^{37}) in Mengen von einigen Gramm gelungen. Es soll hier darauf hingewiesen werden, daß das Trennrohr auch als Laboratoriumshilfsmittel wertvolle Dienste leistet, wenn es sich darum handelt, Gase oder Dämpfe trotz eines erforderlichen Druckausgleiches von anderen Stoffen getrennt zu halten. Diese Aufgabe tritt z. B. auf bei der Dampfdruckmessung reaktionsfähiger Stoffe mit einem Hg-Manometer. Im folgenden sollen als Beispiel für diese Anwendung des Trennrohres Messungen an Br mitgeteilt und die dabei im Trennrohr ablaufenden Vorgänge kurz behandelt werden.

1. *Dampfdruckmessung:* Die verwendete Versuchsanordnung ist schematisch in Fig. 1 wieder gegeben. T_r ist ein Trennrohr aus Glas mit einem elektrisch heizbaren Pt-Draht, der durch eine Pt-Ir-Feder gespannt wird. Der Draht trägt wie üblich einige Pt-Scheibchen, die den Draht zentrieren. Oben ist über ein U-Rohr ein Hg-Manometer angeschlossen. Im unteren Ende des Trennrohres befindet sich flüssiges Br, dessen Dampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen werden soll. Bei den unten beschriebenen Versuchen war das Rohr 145 cm lang und hatte 6 mm Innendurchmesser.

Zu Beginn des Versuches wird das Br mit flüssiger Luft gekühlt und das Rohr evakuiert, dann wird bis zu einem bestimmten Druck p_0 He-Gas eingefüllt, der Trennrohrdraht geheizt (Druck p_1) und das Br mit Hilfe eines Bades zunehmend auf verschiedene Temperaturen T gebracht. Durch den sich entwickelnden Br_2 -Dampf wird He verdrängt, wobei der am Manometer ablesbare Druck steigt. Bei genügend hoher Br-Temperatur und genügender Trennrohrlänge verläuft die Mischzone (vgl. unten Fig. 3) ganz im Trennrohr. Am unteren Ende wird dann reiner Br_2 -Dampf, am oberen Ende reines He vorhanden sein. Obwohl die beiden Gase kommunizieren, bleibt die Verteilung aufrechterhalten. Bei dieser Lage der Mischzone ist der zu bestimmende Dampfdruck des Br genau gleich dem Druck des He. Das U-Rohr wird mit flüssiger Luft gekühlt; das hat zunächst nur den Zweck, das Manometer auch bei unvorsichtigem Hantieren vor den aggressiven Dämpfen zu schützen. Um mit einer einzigen He-Füllung einen möglichst großen Druckbereich

überdecken zu können, muß das Nebenvolumen, d. h. das Volumen V_2 des Manometers samt U-Rohr möglichst klein gegenüber dem Volumen V_1 des Trennrohres, und das Trennrohr genügend lang gemacht werden. Ein Ballastvolumen am unteren Ende ist zu vermeiden. Für Messungen in einem größeren Druckbereich sind mehrere He-Füllungen erforderlich.

Da für den Zusammenhang zwischen Dampfdruck p' und absoluter Temperatur T näherungs-

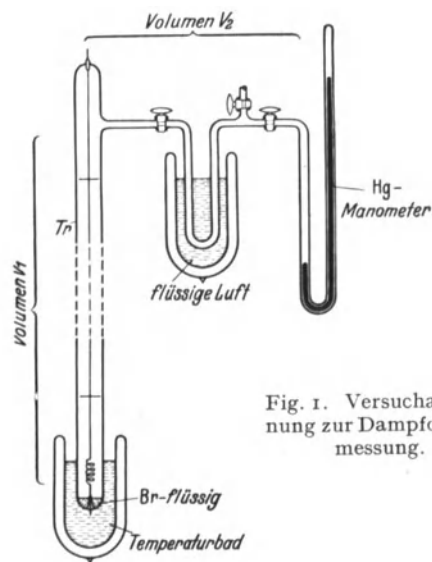


Fig. 1. Versuchsanordnung zur Dampfdruckmessung.

weise gilt $\log p' = A/T$, so ist es zweckmäßig, stets $\log p$ gegen $1/T$ aufzutragen, wo unter p der Druck im Manometer zu verstehen ist. Für verschiedene Druckbereiche verwendet man verschiedene He-Fülldrücke und erhält den Zusammenhang zwischen Dampfdruck und reziproker Temperatur als Hüllkurve an die gemessenen Kurven. Fig. 2 zeigt Messungen mit Br bei den He-Ausgangsdrücken von 24; 17; 3,1; 1,3 mm Hg. Die Drucke wurden mit einem Kathetometer abgelesen. Durch die vier eingezeichneten Kurven ist die fast geradlinige Hüllkurve recht genau definiert. Mit großen Kreisen sind Br-Dampfdrucke nach Literaturangaben¹⁾ eingetragen. Man erkennt die Brauchbarkeit des Verfahrens.

Die nähere Diskussion des Verfahrens wird zeigen, daß die Mischzone ein viel längeres Trennrohr erfüllen würde, daß aber der obere Teil der Mischzone bei dem gewählten Rohrdurchmesser infolge der Transportverhältnisse im Trennrohr

¹⁾ K. CLUSIUS u. G. DICKEL, Z. physik. Chem. B 44, 397 u. 451 (1939).

¹⁾ LANDOLT-BÖRNSTEIN, Hw II, S. 1332; Eg I, S. 721.

für Gase mit *sehr verschiedenem* Molekulargewicht abgeschnitten werden darf, ohne daß die Dampfdruckmessung merklich beeinflußt wird.

2. *Verlauf und Ausdehnung der Mischzone:* Die Konzentrationsverteilung in der Mischzone eines Trennrohres läßt sich kennzeichnen durch eine charakteristische Länge $L_0 = K/H$, auf der sich die Größe $\frac{\gamma}{1-\gamma}$ (für $\gamma \rightarrow 0$ also γ selbst) um das e -fache ändert. γ ist die Konzentration der einen Komponente des Gemisches. Der Zusammenhang

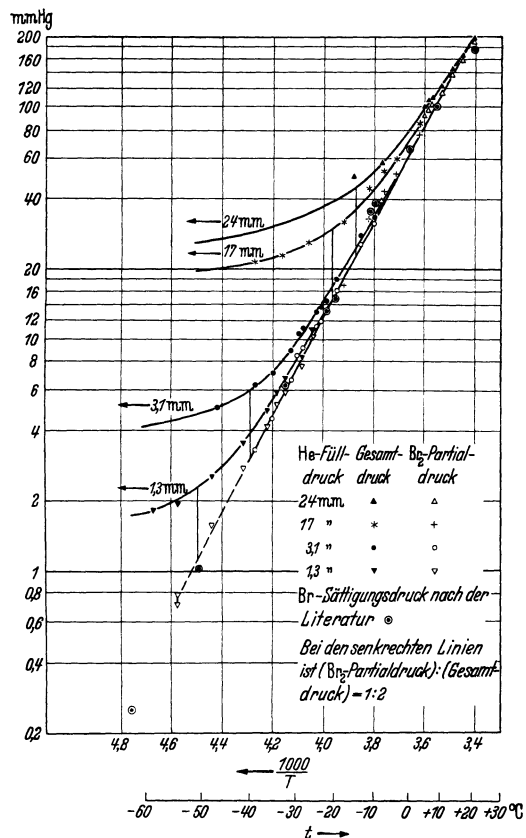


Fig. 2. Dampfdruckmessung von Brom. Manometerdruck in Abhängigkeit von der Br-Temperatur für verschiedene He-Füllungen. Die Hüllkurve (nahezu gerade Linie) ergibt den Br-Dampfdruck.

von L_0 mit den Konstanten des Gases ist von WALDMANN und JENSEN¹⁾ abgeleitet worden. Dabei geht vor allem der Koeffizient η der inneren Reibung und die Dichte ρ des Gases ein. Beide Größen treten quadratisch auf, der Haupteinfluß rührt von ρ her. Bei der Trennung von Isotopen oder von Gasen mit *ähnlichen* Molekulargewichten kann man längs des ganzen Trennrohres eine praktisch einheitliche Gasdichte annehmen. Daher gilt auch längs des ganzen Trennrohres ein einheitliches L_0 . Die Konzentrationsverteilung für diesen

¹⁾ L. WALDMANN u. H. JENSEN, Naturwiss. (erscheint demnächst).

Fall ist in Fig. 3a wiedergegeben. Ganz anders werden die Verhältnisse bei der Trennung von Gasen mit sehr verschiedener Dichte; wir setzen dabei ein Trennrohr mit einheitlicher lichter Weite voraus. In Tabelle 1 sind die zugehörigen L_0 für verschiedene Drucke und Mischungsverhältnisse für einen Rohrdurchmesser von 6 mm nach der Theorie ausgerechnet. Dabei ist stets der gleiche Temperaturunterschied zwischen kalter und warmer „Wand“ angenommen. In Wirklichkeit wird ein durchlaufender Draht in dem Gas mit höherem Molekulargewicht wegen der dort geringeren Wärmeleitung heißer, L_0 dort also kleiner¹⁾. Die konzentrationsabhängigen Unterschiede werden daher bei dieser naturgemäßen Betriebsart noch größer als in der Tabelle 1 angegeben.

Man sieht, daß bei Drucken von 0,2 Atm und bei hohem Br-Gehalt die Länge L_0 viel kleiner als

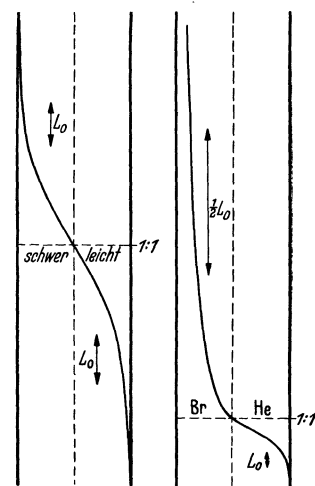


Fig. 3 a.

Fig. 3 b.

die verwendete Trennrohlänge ist. Kurze Rohrstücke weisen also schon erheblichen Konzentrationsunterschied auf. Bei kleinen Drucken und bei geringem Br-Gehalt (geringer Gasdichte) wird dagegen L_0 außerordentlich groß. Eine vollständige stationäre Trennung würde sehr große Rohrlängen erfordern. Ein gestaffeltes Trennrohr mit nach oben zunehmender Weite ist wegen der Volumenverteilung unzuweckmäßig. Bei einheitlichem Rohrdurchmesser nimmt nach der Tabelle L_0 und damit auch die Konzentration des schweren Anteils von unten nach oben zunächst sehr schnell, dann jedoch immer langsamer ab. Schematisch ist der Konzentrationsverlauf im Fall stationärer Endeinstellung unter Anlehnung an Tabelle 1 in Fig. 3b wiedergegeben. Er unterscheidet sich wesentlich von dem in Fig. 3a dargestellten Verlauf, der sich ebenfalls auf die Endeinstellung bezieht.

¹⁾ Es ist möglich, daß diese Erscheinung auch bei den von CLUSIUS und DICKEL (l. c. S. 471) beobachteten Abweichungen von der theoretischen Erwartung eine Rolle spielt.

Tabelle 1.

		L_0 (Einheit cm) = K/H					
p (mm Hg)	760	380	152	76	38	15,2	
p (Atm)	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	
100% He + 0% Br ₂	578	2330	14400	58500	231000	1450000	
95% „ + 5% „	—	—	1640	—	—	—	
90% „ + 10% „	—	—	570	—	—	—	
85% „ + 15% „	—	—	285	—	—	—	
75% „ + 25% „	10	21,3	124	497	2000	12500	
50% „ + 50% „	24,0	10,0	34,5	112	445	2790	
25% „ + 75% „	59,5	16,3	13,1	43,0	171	1075	
0% „ + 100% „	100	25,6	10,2	26,5	102	705	
		R_0 (Einheit cm)					
100% He + 0% Br ₂	2,6	4,14	7,6	12,1	19,2	35,4	
75% „ + 25% „	0,53	0,85	1,56	2,47	3,93	7,25	
50% „ + 50% „	0,32	0,51	0,95	1,50	2,38	4,4	
25% „ + 75% „	0,24	0,38	0,69	1,09	1,73	3,2	
0% „ + 100% „	0,20	0,31	0,58	0,92	1,46	2,68	
		H (Einheit 10 ⁻⁶ g/sec)					
100% He + 0% Br ₂	0,91	0,20	0,035	0,0088	0,0022	0,00036	
75% „ + 25% „	96	24,2	3,90	0,98	0,24	0,044	
50% „ + 50% „	413	103	16,0	4,1	1,03	0,16	
25% „ + 75% „	1000	244	38,6	9,9	2,5	0,39	
0% „ + 100% „	1580	386	62,0	15,3	4,0	0,63	

Drahttemperatur 500° C

Die charakteristische Länge L_0 wird nach der Theorie ein Minimum für einen gewissen charakteristischen Rohrradius R_0 . Für kleinere oder größere Radien ist L_0 größer. In der Tabelle ist auch R_0 in Abhängigkeit vom Druck und vom Mischungsverhältnis angegeben.

Die Geschwindigkeit, mit der sich der Gleichgewichtszustand einstellt, hängt vom „Transport“ ab. Wir betrachten nur den dafür charakteristischen Anfangstransport, d. h. die Menge der einen Komponente, die beim Ausgang von einer homogenen Mischung beim Beginn des Trennvorgangs je Zeiteinheit längs des Trennrohres befördert wird. Der Anfangstransport ist proportional $\gamma(1-\gamma) \cdot H$, wo γ wieder die Konzentration und H eine vom Rohrdurchmesser, von η und ρ abhängige Größe ist. Der Transport nimmt mit zunehmender Annäherung an den Zustand der End-einstellung gegen Null ab. In Tabelle 1 ist auch H für verschiedene Konzentrationen und Drucke angegeben. Man erkennt, daß der Transport für die Br-reiche Mischung groß, für die Br-arme Mischung aber sehr klein ist.

3. Vorgänge am Rohrende in kurzen Trenn-rohren. Falls bei beschränkter Rohrlänge die Br-arme Mischung an das obere Rohrende heranreicht, kann in der Anordnung der Fig. 1 dauernd Br₂-Dampf in das U-Rohr diffundieren. Die Nachlieferung von Br erfolgt in der Nähe des oberen Endes sehr langsam (kleiner Transport), in den unteren Teilen dagegen rasch (großer Transport). Unten herrscht also eine Verteilung, die in sehr guter Näherung der stationären End-einstellung entspricht, oben dagegen ist der Konzentrations-abfall steiler als der stationären End-einstellung

entspricht. Das sehr langsame Abströmen von Br-Dampf am oberen Ende beeinflusst die Dampfdruckmessung daher nicht.

Wenn die Mischzone an das untere Ende heranreicht, so wird — im Unterschied zu dem eben behandelten Fall — die Dampfdruckmessung beeinflusst. Am unteren Ende befindet sich dann ein Gemisch aus He und Br₂-Dampf, dessen Gesamtdruck p gemessen wird. Dieser ist also stets höher, im Grenzfall gleich dem Dampfdruck p' . Der Partialdruck des He kann berechnet werden, wenn sich die örtliche Lage der Mischzone angeben läßt und L_0 bekannt ist. Für die Berechnung wird benötigt: Der He-Fülldruck p_1 (bei geheiztem Draht und eingefrorenem Br), der beobachtete Druck p , das Volumen V_1 des Trennrohres, das Volumen V_2 von Manometer und U-Rohr. Dann ergibt sich das Volumen V_{Br} , das durch die Gegenwart des Br₂-Dampfes verdrängt wird (beim Druck p), aus $\frac{V_1 + V_2}{V_1 + V_2 - V_{Br}} = \frac{p}{p_1}$. Es ist zweckmäßig, V_{Br} graphisch als Funktion von p/p_1 aufzutragen.

Man muß nun noch wissen, in welchem Abstand vom einen Trennrohrende (z. B. dem unteren) ein bestimmtes Mischungsverhältnis (z. B. 1:1) vorhanden ist. Als Näherung für die wirklichen Verhältnisse kann man annehmen, daß der untere Teil des Trennrohres jeweils von reinem Br₂-Dampf bis zum Volumen V_{Br} erfüllt ist, und daß sich oberhalb davon reines He befindet. Wo in dieser Ersatzvorstellung Br₂ und He aneinandertreffen, kann man die Stelle annehmen, wo auch in Wirklichkeit das Verhältnis Br₂:He = 1:1 ist. Der Abstand x dieser Stelle vom unteren Ende ergibt

sich aus $V_{Br} = x \cdot q$, wo q der Querschnitt des Trennrohres ist. x läßt sich wieder als Funktion von p/p_1 angeben. Wenn man dann noch L_0 kennt, so läßt sich das Mischungsverhältnis $Br_2:He$ am unteren Ende und damit der Partialdruck des Br_2 angeben. In Fig. 2 sind die berechneten Partialdrucke eingetragen. Es wurde versucht, einheitlich mit $L_0 = 60$ cm durchzukommen. Das Ergebnis zeigt, daß die so abgeleiteten Dampfdruckwerte sogar noch bis zum Mischungsverhältnis 1:1 (gemessener Druck = doppelter Dampfdruck) gut auf der Geraden $\log p \approx A/T$ liegen. Bei den senkrechten Linien ist das Mischungsverhältnis $Br_2:He = 1:1$. Die zunächst als Hüllkurve gewonnene Linie kann also mit voller Berechtigung als Wiedergabe des wirklichen Zusammenhangs von Sättigungsdruck und Temperatur angesehen werden.

Die Verschiebung der Mischzone mit steigendem Dampfdruck läßt sich sehr gut durch Messung des *Spannungsabfalls* am geheizten Draht bei konstant gehaltenem Heizstrom verfolgen und überwachen, da die Wärmeableitung und damit die Drahttemperatur stark vom Molekulargewicht (nicht aber vom Druck) abhängt. Durch die Ver-

schiebung der Mischzone gerät ein anderer Bruchteil der Drahtlänge auf höhere oder tiefere Temperatur. Auch die Bildung von evtl. Zersetzungsgasen läßt sich erkennen, soweit sie schwerer kondensierbar sind als die zu untersuchende Substanz (Wärmeleitung verschieden von der des He). Bei den obigen Messungen mit Br_2 wurde der Trennrohrdraht stets mit 2,0 Amp. geheizt. Der Spannungsabfall betrug bis zu 36 V, bei reinem He war er dagegen nur 17,5 V.

Zusammenfassung. Die Temperaturabhängigkeit des Dampfdrucks von aggressiven Substanzen läßt sich mit Hilfe eines Trennrohres und eines Hg-Manometers messen. Im unteren Ende des Trennrohres befindet sich die Substanz, das Trennrohr wird mit He gefüllt, und oben wird ein Hg-Manometer angeschlossen. Das Ergebnis für Br ist in Fig. 2 wiedergegeben.

Es wird darauf hingewiesen, daß der Konzentrationsverlauf längs eines Trennrohres bei der Trennung von Stoffen mit sehr verschiedenem Molekulargewicht sich wesentlich unterscheidet von dem bei Stoffen mit ähnlichem Molekulargewicht (Fig. 3a u. b).

Die spektralanalytische Untersuchung von Einschlüssen.

VON G. THANHEISER † und J. HEYES, Düsseldorf.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung).

Es ist bekannt, in wie entscheidendem Maße die Metallographie und die Mineralogie durch die Möglichkeit gefördert worden sind, die interessierenden Objekte mikroskopisch untersuchen zu können. Erst das Mikroskop erschloß die Mannigfaltigkeit der Gefügebestandteile der einzelnen Legierungen und die Vielheit der verschiedenen Kristallarten, die manchmal am Aufbau eines Minerals beteiligt sind. Das ließ naturgemäß den Wunsch aufkommen, die chemische Zusammensetzung dieser kleinen Partikeln zu ermitteln.

Da ihre geringe Größe in den meisten Fällen eine chemisch-analytische Untersuchung ausschließt, ist man gezwungen, ihre chemische Natur durch Vergleich ihrer äußeren Eigenschaften wie der Form, der Farbe, des Glanzes, der Härte, des Verhaltens gegen lösende Reagenzien u. a. mit denen bekannter chemischer Körper zu bestimmen. Wenn auch diese subjektiven Methoden bei Vorhandensein eines durch Untersuchung zahlreicher Objekte gewonnenen Erfahrungsschatzes zur Feststellung der chemischen Natur fast sämtlicher Gefügebestandteile geführt haben, so ist doch ein objektives Verfahren zur Bestimmung der chemischen Komponenten von nicht geringer Bedeutung, stützt und sichert es doch die auf optischem Wege erhaltenen Befunde und klärt Fälle, in denen die Entscheidung schwierig ist.

Es sind deshalb schon verschiedene Verfahren entwickelt worden, die eine eindeutige Erkennung der chemischen Zusammensetzung von Gefügebestandteilen ermöglichen sollen.

Es lag nahe zu versuchen, die große Empfindlichkeit der Spektralanalyse in Verbindung mit der Eindeutigkeit ihrer Ergebnisse auf das vorliegende Problem anzuwenden. H. MORITZ¹⁾ hat als erster diese Möglichkeit erkannt und mit einem feinen Bohrer den interessierenden Gefügebestandteilen Material entnommen, um es im Kohlelichtbogen zu untersuchen. Auf röntgenspektroskopischem Wege wurde von L. v. HÁMOS²⁾ der Versuch gemacht, die unterschiedliche Zusammensetzung verschiedener Gefügebestandteile zu erkennen, doch konnten mit diesem Verfahren nur recht grobe Strukturunterschiede erfaßt werden.

VON G. SCHEIBE und J. MARTIN^{3, 4)} ist sodann noch ein Verfahren angegeben worden, das einen wesentlichen Beitrag zur Lösung des Problems darstellt. Sie hatten in eingehenden Vorversuchen die Bedingungen geklärt, unter denen der Funke ein möglichst kleines Flächenelement erfaßt. Durch Verringern des Abstandes der Gegenelektrode, durch Herabsetzen der Funkenintensität, der Kapazität und der Selbstinduktion gelang es ihnen, die Wirkung des Funkens auf sehr kleine Flächen zu beschränken. Allerdings mußten sie dabei auf den Spalt des Spektrographen verzichten, um

¹⁾ H. MORITZ, Zbl. Min. Geol. Paläont. A 1929, 251–254.

²⁾ L. v. HÁMOS, Metallwirtsch. 15, 433–436 (1936).

³⁾ G. SCHEIBE u. J. MARTIN, Spectrochimica Acta 1, 47–66 (1939).

⁴⁾ J. MARTIN, Diss. München 1937.

trotz der geringen Funkenintensität ausreichend belichtete Spektren zu erhalten.

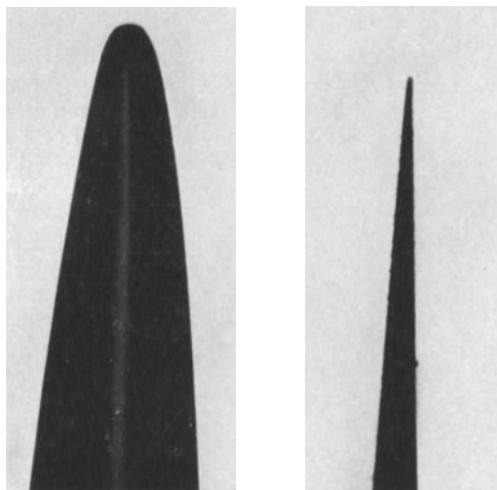
Dieser Verzicht auf den Spalt, an dessen Stelle der kleine Funke tritt, hat naturgemäß eine Ver-

wegen seiner Temperaturbeständigkeit, seiner Durchsichtigkeit und seiner hohen elektrischen Festigkeit Glimmer gewählt.

Zuerst mußte aber ein geeignetes Werkzeug zum Durchbohren des Glimmers geschaffen werden. Da Bohrer mit einem Durchmesser von wenigen hundertstel Millimetern nicht erhältlich waren, wurden zwei Verfahren entwickelt, um solche Bohrer selbst herzustellen.

Nach dem ersten Verfahren werden dünne Nadeln, die in einem Bohrfutter eingespannt sind, nach genauer Justierung in die Drehachse der Bohrmaschine unter langsamer Rotation in einem geeigneten Elektrolyten anodisch abgeätzt, bis sie die gewünschte Feinheit haben. Bei dem zweiten Verfahren wird ein Stahlstift in einer Schleifmaschine unter geringer Neigung gegen die Drehachse der Schleifscheibe auf größtmögliche Feinheit der Spitze geschliffen. In Fig. 1 ist eine auf diese Weise hergestellte Bohrnadel einer gewöhnlichen Nähnadel gegenübergestellt; der Durchmesser der Bohrnadelspitze beträgt ungefähr 0,01 mm.

Die zu durchbohrenden Glimmerplättchen werden über kleine mit Quecksilber gefüllte Vertiefungen einer Stahlplatte gelegt und bei hoher Drehzahl der Bohrmaschine durchbohrt. Zwischen Nadelspitze und Quecksilbertropfen liegt eine Potentialdifferenz, die den Durchtritt der Spitze durch das Glimmerplättchen leicht an einem Meß-



Nähnadel.

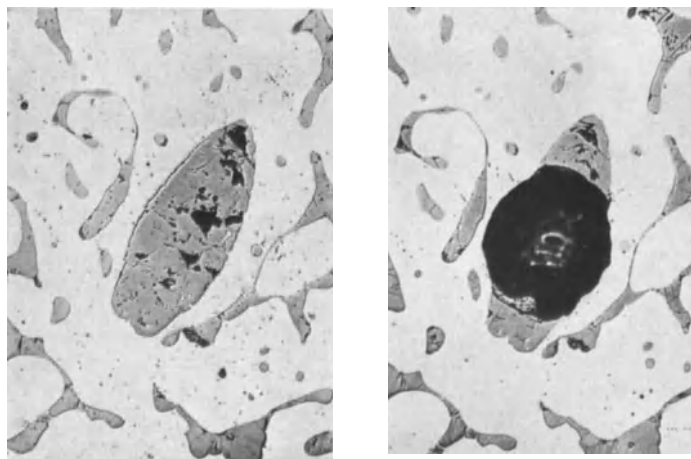
Bohrnadel.

Fig. 1. rd. 100 mal.

schlechterung der Definition der Linien zur Folge. Nachteilig für die praktische Anwendung sind der Einbau der Funkenstrecke in eine gasdichte Kammer, das Arbeiten mit einem Schutzgas und der verhältnismäßig verwickelte Aufbau des elektrischen Teils der Anordnung. Zwar kann die Zusammensetzung des Gefüges über eine gewisse Strecke auf Grund des Spektrums ermittelt werden, eine Untersuchung kleiner Flächenelemente ist jedoch nicht ohne weiteres möglich.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung sind, angeregt durch die ersten Ergebnisse von SCHEIBE und MARTIN, Versuche in derselben Richtung unternommen worden, über die ausführlicher in einer inzwischen erschienenen Veröffentlichung in den Mitteilungen des Kaiser Wilhelm-Instituts berichtet wird. Dabei wurde besonderer Wert auf einen möglichst einfachen Aufbau der Anordnung gelegt.

Im Gegensatz zu SCHEIBE und MARTIN wurde die Begrenzung der Abfunkfläche nicht durch eine außerordentlich weitgehende Schwächung des Funkens versucht. Sie mußte auch zu erreichen sein, wenn man den Funken durch ein Loch in einem Isolator auf die zu untersuchende Stelle auftreffen ließ. Das setzte bei kleinen Flächenelementen voraus, daß in den Isolator ein entsprechend feines Loch von wenigen hundertstel Millimetern Durchmesser gebohrt werden konnte. Als Isolator wurde



Einschluß vor dem Abfunken.

Einschluß nach dem Abfunken.

Fig. 2. Sulfideinschluß (Probe 114 W) 200 mal.

instrument erkennen läßt. Die durchbohrten Glimmerplättchen, an deren Stelle man nach einem Vorschlage von G. BALZ, Stuttgart, auch Gipsplättchen verwenden kann, werden dann auf den Schliff so aufgeklebt, daß das Loch sich gerade über der zu untersuchenden Stelle befindet.

Um eine möglichst große Linienintensität zu erhalten, werden die Probe und die Gegenelektrode möglichst weit, auf ungefähr 5—10 mm, dem

Spalt genähert. Bei der Kleinheit des Funkens und dem geringen Abstand der Funkenstrecke vom Spalt ist naturgemäß eine genaue Justierung des

Das von ihr ausgehende Licht tritt in Richtung der optischen Achse aus dem Spalt des Spektrographen aus. Es ist nun nicht schwierig, die mit dem Elektrodenhalter am Spaltkopf befestigte Gegenelektrode in die optische Achse zu justieren.

Dagegen bereitet die Justierung der Abfunkstelle größere Schwierigkeiten. Wegen seiner Kleinheit kann das Loch im Glimmer nur unter dem Mikroskop erkannt werden. Nach einer Reihe von Versuchen erwies es sich am zweckmäßigsten, an einer Lupe isoliert eine Elektrode so zu befestigen, daß nach Einschalten der Hochspannung der Funke beobachtet werden konnte. Da der Funke in der Nähe der Abfunkstelle

nur durch das Loch im Glimmer zur Probe übergehen kann, andererseits aber auch der in Rich-

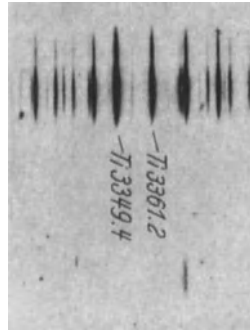
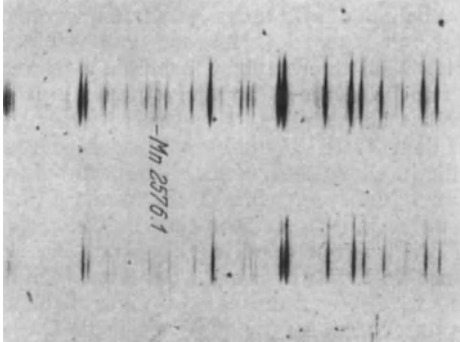


Fig. 3. Spektren der Probe 114 W. a = Spektrum des Sulfideinschlusses.
b = Spektrum des Grundgefüges.

Funkens in die optische Achse des Spektrographen von besonderer Bedeutung.

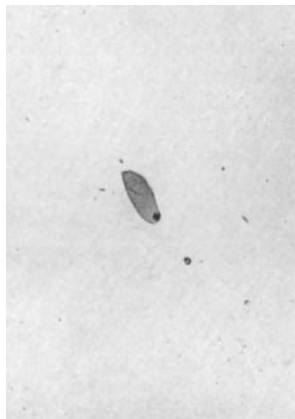
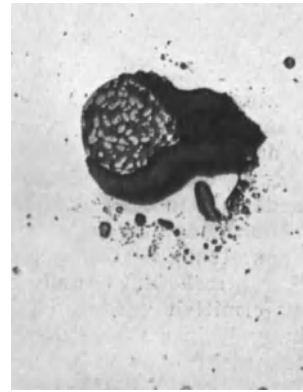
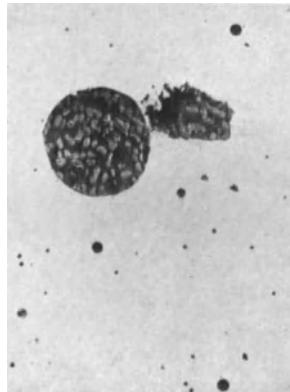


Fig. 4. Einschluß in einem Hochdruckrohr. rd. 200 mal.



Einschluß vor dem Abfunken. Einschluß nach dem Abfunken.
Fig. 6 (Probe 66). Vanadinegehalt 0,06%. 200 mal.

Zur Justierung der Gegenelektrode wird an die Stelle der Kassette eine Quecksilberlampe gesetzt.

tung der optischen Achse aus dem Spalt austretende Lichtstrahl auf der Probe sichtbar ist, so ist es mit Hilfe eines Kreuztisches, auf dem die Probe liegt, leicht möglich, auch die Abfunkstelle in die optische Achse zu justieren.

Als Hochspannungsquelle dient der FEUSSNERSche Funkenerzeuger, dessen Kapazität und Selbstinduktion abgeschaltet wird. Im Funkenkreis liegt zur Herabsetzung der Funkenintensität ein Wasserwiderstand von rd. 40000 Ohm und parallel zur Funkenstrecke eine Kapazität von 400 cm.

Durch Regelung des Primärstromes wird die Hochspannung auf einen Wert eingestellt, bei dem der Funke nur periodisch überspringt. Die Belichtungszeit beträgt 1 min. Zur Aufnahme werden

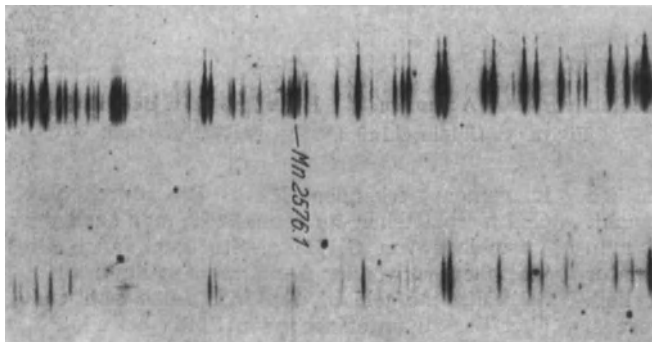


Fig. 5. Spektren Hochdruckrohr. a = Spektrum des Einschlusses.
b = Spektrum des Grundgefüges.

wegen ihrer großen Empfindlichkeit Agfa-Isochromplatten benutzt.

An einer Reihe von *Einschlüssen im Stahl* konnte die Brauchbarkeit des Verfahrens gezeigt werden. In Fig. 2 ist eine Aufnahme einer Stahlprobe vor und nach dem Abfunken wiedergegeben.

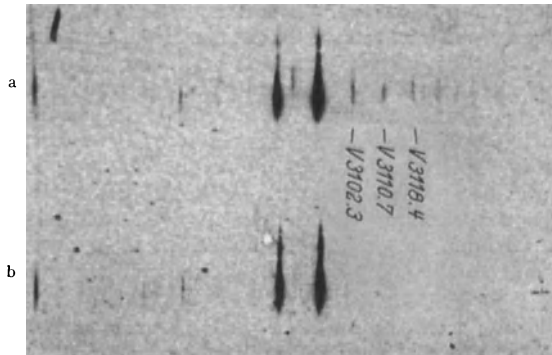


Fig. 7. Spektren (Probe 66). a = Spektrum des Einschlusses. b = Spektrum des Grundgefüges.

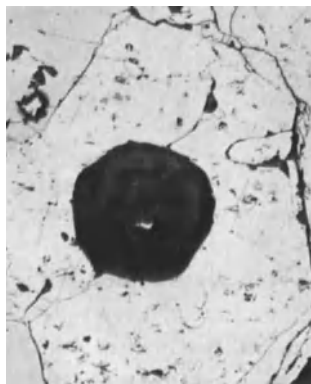
Der Stahl enthält 0,87 % C, 0,37 % S und 3,90 % Ti. Man sieht, daß der Funke den zu untersuchenden Einschuß genau erfaßt hat. Das erste der in Fig. 3 wiedergegebenen Teilspektren läßt deutlich im Spektrum des Sulfideinschlusses die Titan-Linien 3361,2 bzw. 3349,4 erkennen, die im Spektrum des Grundgefüges vollständig fehlen. Aus dem zweiten ist an der Linie 2576,1 zu ersehen, daß auch das Mangan, das nur in Spuren in dem

Sehr schön läßt sich aus den nächsten Figuren die Anreicherung von sehr geringen Zusätzen in den Einschlüssen erkennen. Fig. 6 zeigt einen Einschuß in einem Stahl, dem zur Desoxydation Vanadin zugesetzt worden war. Im zugehörigen Spektrum (Fig. 7) ist deutlich die starke Konzentration des Vanadins in den Einschlüssen festzustellen.

Liegen die Einschlüsse in Form von Silikaten oder von Tonerde vor, so empfiehlt es sich, die Kapazität im Funkenkreis heraufzusetzen, um eine Anregung dieser hochschmelzenden und nichtleitenden Oxyde zu erhalten. Eine geringe Vergrößerung der abgefunkten Fläche ist dabei in Kauf zu nehmen.

Auch für die *Untersuchung von Erzen* kann das Verfahren mit Erfolg herangezogen werden. Leitet die Erzprobe den elektrischen Strom, so läßt sich die bei der Untersuchung von Stahlproben bewährte Arbeitsweise ohne weiteres anwenden. In vielen Fällen finden sich aber in nichtleitenden Erzen kleine Einsprengungen von leitenden Erzpartikelchen, deren Natur ermittelt werden soll.

Man kennzeichnet hierzu zweckmäßig die zu untersuchende Stelle durch einen mit einem Diamanten eingeritzten Kreis und photographiert sie. Die Probenoberfläche wird dann durch eine Goldschicht, die durch Kathodenzerstäubung aufgebracht wird, leitend gemacht. Da die einzelnen Gefügebestandteile sich deutlich durch ihr mehr oder weniger großes Relief aus der polierten Oberfläche herausheben, kann man sie, besonders durch



Magnetkies.



Pentlandit.

Fig. 8. Abfunkstellen in einer Erzprobe. 100 mal.

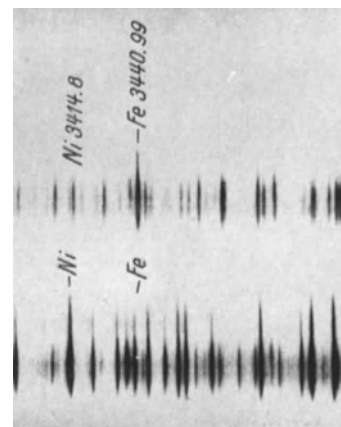


Fig. 9. Spektren der Erzprobe. a = Magnetkies. b = Pentlandit.

zum Erschmelzen der Probe verwandten Armco-eisen vorhanden war, in dem Sulfideinschuß stark angereichert ist.

An einer weiteren Probe sollte festgestellt werden, welcher Art der in Fig. 4 wiedergegebene Einschuß sei. Das Spektrum (Fig. 5) zeigt, daß es sich um einen stark manganhaltigen Einschuß handelt.

Vergleich mit der Aufnahme des Gefüges vor der Kathodenzerstäubung, gut erkennen und mit dem durchbohrten Glimmerplättchen abdecken.

An einem Magnetkies (FeS) mit Einsprengungen von Pentlandit ([FeNi]S), Fundort Sudbury, Canada, der uns von Herrn Prof. EHRENBURG, Aachen, dankenswerterweise ebenso wie die unten beschriebene Erzprobe, zur Verfügung gestellt

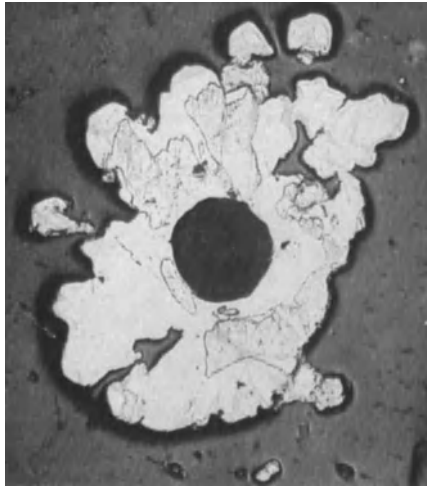


Fig. 10. Abfunktelle im Safflorit (CoAs_2).
100 mal.

Man erkennt deutlich die starke Intensitätssteigerung der Ni-Linie 3414,8 im Spektrum des Pentlandits. Die Fe-Linie 3440,99 dagegen hat in beiden Spektren ungefähr gleiche Intensität.

Die zweite untersuchte Probe, ein quarzitisches Erz der Grube Sophie bei Wittichen, Schwarzwald, enthielt gediegenes Wismut in einer Grundmasse von Safflorit (CoAs_2). Die Abfunktelle im gediegenen Wismut war wegen des niedrigen Schmelzpunktes stark verbreitert, so daß sich eine Wiedergabe erübrigt; die Abfunktelle im Safflorit zeigt Fig. 10. Das Spektrum (Fig. 11) läßt deutlich das kräftige Auftreten der Bi-Linie 3067,7 erkennen, die im Spektrum des Safflorits nur schwach in Erscheinung tritt. In anderen Ausschnitten des Saffloritspektrums sieht man dagegen deutlich die Co-Linie 3405,1 und die As-Linie 2349,8 sowie schwach auch die Ni-Linie 3414,8, die im Spektrum des gediegenen Wismuts vollständig fehlen.

Diese wenigen Beispiele zeigen, daß das neu entwickelte Verfahren der Untersuchung kleiner

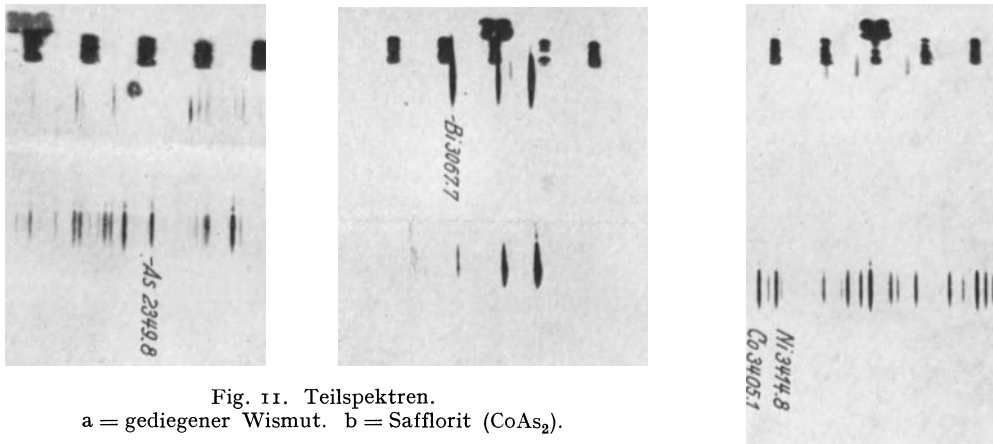


Fig. 11. Teilspektren.
a = gediegener Wismut. b = Safflorit (CoAs_2).

worden war, wurde sowohl der Magnetkies wie auch der Pentlandit abgefunkt (Fig. 8). Die dazugehörigen Spektren sind in Fig. 9 wiedergegeben.

Einschlüsse brauchbare Ergebnisse liefert und in der Lage ist, auf manchen Gebieten der Metallkunde und der Mineralogie wertvolle Hilfe zu leisten.

Die Auffüllung und die Erweiterung des periodischen Systems.

VON FRITZ STRASSMANN, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie.)

Mit der Einordnung der chemischen Elemente in das periodische System hatten MENDELEJEFF und L. MEYER dem Chemiker ein äußerst wertvolles Hilfsmittel bei der Suche nach neuen Elementen gegeben, denn einmal wiesen die zweifellos vorhandenen Lücken im System auf noch unbekannte Elemente hin, andererseits aber gestattete gerade das System durch eine Interpolation eine recht gute Voraussage chemischer und physikalischer Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen, wie MENDELEJEFF selbst dies in glücklichster Weise an den Beispielen des Scandiums, Galliums und Germaniums zeigen konnte.

Allerdings mußte damit gerechnet werden, daß Unsicherheiten bezüglich der Zuordnung im periodischen System, außergewöhnliche chemische Ähnlichkeit oder ausschließliches Vorkommen in geringen Konzentrationen die Isolierung der fehlenden Elemente erschweren konnten, so daß die restlose Ausfüllung der Lücken des Systems eine Frage der analytischen Geschicklichkeit und der Vervollkommnung der apparativen Hilfsmittel zu sein schien.

So kommt z. B. das Element 72, das Hafnium, schätzungsweise in etwa gleicher Verbreitung vor wie das Thorium und findet sich als steter Be-

gleiter des Zirkons in dessen Mineralien in Mengen von etwa 1%; im Alvit, einem Zirkon-Hafnium-Thorium-Silikat, sogar in erheblich größerer Konzentration. Nach einer älteren Anschauung sollte das Element 72 das Schlußglied in der Gruppe der seltenen Erden sein. Die BOHRsche Theorie über den Bau der Atomhülle wies ihm eindeutig seinen Platz in der 4. Gruppe des periodischen Systems an, zwischen Zirkon und Thorium. Im Jahre 1923 konnten COSTER und v. HEVESY daraufhin bei der röntgenographischen Untersuchung einer Reihe von Zirkonmineralien einige Linien dem Element 72 zuordnen und bei der analytischen Untersuchung die chemischen Eigenschaften des Elements eingehend studieren. Dabei zeigte sich, daß eine außergewöhnlich große Ähnlichkeit mit dem Zirkon bestand. Dieser Umstand läßt es begreiflich erscheinen, daß das Hafnium sich dem chemischen Nachweis so lange Zeit entzogen hat, obwohl es in verhältnismäßig großen Konzentrationen in den Zirkonmineralien vorhanden ist.

Im Gegensatz zum Hafnium sind beim Element 75, dem von NODDACK, BERG und TACKE im Jahr 1925 entdeckten Rhenium, Mineralien, die mehr als 0,001% Rhenium enthalten, bis jetzt nicht bekannt. Ein Nachweis oder eine direkte Abscheidung und Gewinnung kam also nicht in Frage; vielmehr mußte, kontrolliert durch röntgenographische Untersuchungen, das Element erst angereichert werden, bevor seine Isolierung und eine eingehende Beschreibung seiner chemischen Eigenschaften gelang.

Es lag nahe anzunehmen, daß ähnlich ungünstige Verhältnisse, wie sie beim Hafnium oder Rhenium vorlagen, die Auffindung der noch unbekanntesten Elemente mit den Ordnungszahlen 43, 61, 85 und 87 bisher verhindert hatten, und es fehlte nicht an zahlreichen Versuchen, sie bei der Verarbeitung geeigneter Ausgangssubstanzen so stark anzureichern, daß ein Nachweis oder gar eine Abtrennung möglich wurde. Bisher haben jedoch die Ergebnisse aller Arbeiten, die einen Nachweis der Elemente 43, 61, 85, 87 und 93 zu erbringen versuchten, noch keine Bestätigung von anderer Seite erfahren, so daß ein abschließendes Urteil noch nicht abgegeben werden kann. Da man aber heute, wie im folgenden gezeigt wird, die chemischen Eigenschaften dieser Elemente kennt, ist ihre evtl. Abscheidung und dementsprechend eine Nachprüfung der betreffenden Angaben erheblich erleichtert.

Erst eine von MATTAUCH¹⁾ empirisch erschlossene Regel, nach der von zwei benachbarten isobaren Kernen einer instabil sein soll, gab eine Erklärung für die negativen Ergebnisse aller Versuche, wägbare Mengen der Elemente 43 und 61 abzuscheiden. Die Tabelle der stabilen Isotope gibt für die beiden dem Element 43 benachbarten Elemente eine lückenlose Gruppe von Massenzahlen, und zwar für das ^{42}Mo die Massen: 92, 94,

95, 96, 97, 98, 100; für das ^{44}Ru die Massen 96, 98, 99, 100, 101, 102, 104; die beiden fehlenden Massen 93 und 103 gehören dem ^{41}Nb bzw. dem ^{45}Rh an, kommen für das Element 43 also auch nicht in Betracht, da stabile Isobare ungerader Ordnungszahl und Massenzahl in der Regel nicht existieren. Das gleiche gilt für das Element 61, da für ^{60}Nd und ^{62}Sm die Massenzahlen von 142 bis 150 und 152 und 154 bekannt sind; die fehlenden Massen 141, 151 und 153 gehören dem ^{59}Pr bzw. dem ^{63}Eu an.

Da nach neueren kernphysikalischen Erkenntnissen die MATTAUCHsche Regel zu einer auch theoretisch gut begründeten Aussage geworden ist, dürfte die bereits früher von MATTAUCH ausgesprochene Vermutung, daß die Elemente 43 und 61 keine stabilen Kerne besitzen, praktisch eine sehr sichere Voraussage sein. Für die Elemente 85 und 87 war von vornherein nicht mit der Existenz stabiler Atomarten zu rechnen, denn für die natürlich radioaktiven Atomarten, die die Kernladungszahlen 81 bis 92 besitzen, sind stabile Kerne nur noch beim ^{81}Tl , ^{82}Pb und ^{83}Bi bekannt, so daß man die Elemente 85 und 87 sogar unter den natürlich radioaktiven Atomarten erwarten könnte.

Wenn man also nicht annehmen will, daß es sich bei den Elementen 43, 61, 85 und 87 um äußerst langlebige Substanzen handelt, wie etwa beim Kalium, Rubidium, Samarium oder Cassiopeium, so ist die Wahrscheinlichkeit, wägbare Mengen dieser Elemente aus Mineralien abscheiden zu können, sehr gering. Trotzdem ist in der letzten Zeit dem Chemiker Gelegenheit geboten worden, die Eigenschaften dieser Elemente zu studieren. Es handelt sich dabei um die nach den bekannten Kernprozessen aus den benachbarten Elementen entstandenen instabilen Isotope, deren Verhalten mit Hilfe der üblichen radioaktiven Meßmethoden geprüft werden kann.

Für die Darstellung des Elementes 43 sind bisher die Reaktionen: $^{41}\text{Nb}(\alpha, n)$, $^{42}\text{Mo}(p, n)$, $^{42}\text{Mo}(d, n)$ und $^{42}\text{Mo}(n, \gamma)$ verwendet worden. Die ersten 3 Reaktionen führen unmittelbar zu instabilen Isotopen des Elementes 43, der Prozeß $\text{Mo}(n, \gamma)$ führt zunächst zu β -instabilen Molybdänisotopen. Die Uranspaltung führt ebenfalls zu einigen Isotopen des Elementes 43, und höchstwahrscheinlich ist das auch bei der Spaltung des Thoriums der Fall. Insgesamt sind zur Zeit 7 Isotope mit Halbwertszeiten von 14 Minuten bis zu 90 Tagen sicher bekannt, für 3 aktive Substanzen mit Halbwertszeiten von 18 Sekunden bis zu 1,5 Tagen ist die Identität mit dem Element 43 höchst wahrscheinlich gemacht worden. Diese Kerne wandeln sich etwa durch β -Strahlung, Einfang von K-Elektronen oder nach Emission von γ -Strahlung weiter um¹⁾. Die chemischen Eigen-

¹⁾ KING, HENDERSON u. RISSER, Physic. Rev. 55, 1118 (1939). — DELSASSO, RIDENOUR, SHERR u. WHITE, Physic. Rev. 55, 113 (1939). — SEABORG u. SEGRÈ, Physic. Rev. 55, 808 (1939). — CACCIAPUOTI,

¹⁾ J. MATTAUCH, Z. Physik 91, 361 (1934).

schaften wurden ziemlich eingehend von PERRIER und SEGRÈ¹⁾ untersucht, und zwar ist nach ihren Angaben die Ähnlichkeit mit dem Rhenium größer als mit dem Mangan. So läßt es sich mit geeigneten Trägersubstanzen (z. B. Platin oder Rhenium) aus 0,4 bis 5 n HCl mit Schwefelwasserstoff fällen (nach 24 Stunden vollständig). In 10 n Salzsäure wird die Fällung allerdings weitgehend verhindert, während Rhenium noch zum größten Teil ausfällt. Aus alkalischer Lösung fällt es gut mit MnS, schlechter dagegen mit FeS oder gar ZnS. Wie Re_2S_7 wird das Sulfid durch Wasserstoffsulfoxid in alkalischer Lösung leicht und vollständig zu leicht löslichen Anionen oxydiert, die aus essigsaurer Lösung mit Nitron und Perrhenat-Ionen als Träger quantitativ gefällt werden können. Das Oxyd läßt sich im Sauerstoffstrom bei 500° verflüchtigen, entsprechend den Eigenschaften des Re_2O_7 , doch bleibt es bei der Destillation des Rheniums im HCl-Gasstrom aus schwefelsaurer Lösung bei 200° vollständig im Rückstand. Im trockenen Cl_2 -Gasstrom ist das Element 43 zusammen mit Rhenium bei erhöhter Temperatur flüchtig, dagegen läßt es sich durch einen Cl_2 -Gasstrom bei 100° nicht aus Lösungen austreiben (Gegensatz zu $_{44}\text{Ru}$). Es läßt sich elektrolytisch leicht auf Platin abscheiden und durch elektrochemischen Austausch aus salzsauren Lösungen auf Zink niederschlagen. Bei der Abscheidung von MnO_2 aus saurer oder alkalischer Lösung wird das Element 43 nicht mitgefällt.

In der gleichen Weise wie das Element 43 läßt sich durch Anlagerung oder Abspaltung eines Protons das Element 61 aus seinen Nachbar-elementen $_{60}\text{Nd}$ und $_{62}\text{Sm}$ herstellen. Da man eine Identifizierung auf chemischem Wege aber höchstens durch Fraktionierungsversuche erwarten könnte, müssen in erster Linie die Kerneigenschaften und die benutzten Kernreaktionen zur Beurteilung herangezogen werden. So wäre es denkbar, daß man durch $_{60}\text{Nd}(d, n)$ und durch $_{62}\text{Sm}(n, p)$ zu Produkten mit gleicher Halbwertszeit kommt, was z. B. für die Massen 147 und 149 möglich ist. Damit wäre die Entstehung von Element 61 erwiesen. Da bisher aber nur eine Angabe über eine Reaktion $_{60}\text{Nd}(d, n)$ vorliegt²⁾, die zu einer β -strahlenden Substanz von 12,5 Stunden Halbwertszeit geführt hat, ist ihre Zugehörigkeit zur Kernladungszahl 61 nur wahrscheinlich. Ein einwandfreier Beweis ist damit nicht erbracht worden.

Die Elemente 85 und 87 liegen, wie bereits erwähnt, in einer Gruppe von Kernen, von denen stabile Isotope bisher nicht bekannt sind, und man könnte erwarten, daß sie selber zu den natürlich

radioaktiven Kernen gehören. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, kommen diese Substanzen nur in unwägbaren Mengen vor, so daß man Kernumwandlungsreaktionen meistens nicht anwenden kann. Für das Element 85, das Eka-Jod, läßt sich jedoch noch die Beschießung von $_{83}\text{Bi}$ mit α -Teilchen hoher Energie benutzen. So gelang es CORSON, MCKENZIE und SEGRÈ¹⁾ durch Beschießung von Wismut mit α -Teilchen von 32 MeV Energie eine α -aktive Substanz von 7,5 Stunden Halbwertszeit zu erhalten, die sie auf Grund ihres chemischen und kernphysikalischen Verhaltens einwandfrei dem Element 85 zuordnen konnten. Nach ihrer Deutung handelt es sich dabei um die Reaktion: $_{83}\text{Bi}(\alpha, 2n,)_{85}\text{I}$, die zu dem Körper von 7,5 Stunden Halbwertszeit führt, der 2 Gruppen von α -Strahlen emittiert, indem er zu 60% durch Einfang von K-Elektronen in ein Isotop des $_{84}\text{Po}$ übergeht, das identisch ist mit AcC' , also in $5 \cdot 10^{-3}$ Sek. unter Emission von α -Strahlen in $_{82}\text{Pb}$ übergeht, während 40% unter Emission von α -Strahlen in $_{83}\text{Bi}$ übergehen, das sich dann vermutlich weiter in $_{82}\text{Pb}$ umwandelt. Eine entsprechende Aktivität ist allerdings bisher nicht beobachtet worden.

Bezüglich der chemischen Eigenschaften scheint nach den Angaben von CORSON, MCKENZIE und SEGRÈ beim Eka-Jod ein merkliches Abweichen von den periodischen Änderungen innerhalb einer Gruppe aufzutreten, wie das bei den Endgliedern einer Gruppe des periodischen Systems ja häufiger beobachtet wird. So läßt es sich zwar in elementarer Form gemeinschaftlich mit Jod aus wässriger Lösung mit Tetrachlorkohlenstoff ausschütteln und mit Schwefeldioxyd reduzieren, doch soll es aus dieser Lösung nach dem Ansäuern mit Salpetersäure durch Silber-Ionen nur unvollständig gefällt werden, was vielleicht auf eine leichte Oxydierbarkeit deuten könnte. Bei der Destillation von Jod aus sauren Lösungen geht evtl. anwesendes Element 85 nur zu einem geringeren Teil mit ins Destillat, was der zu erwartenden geringeren Flüchtigkeit entspricht. Durch seine Flüchtigkeit unterscheidet es sich z. B. von seinem Nachbar-element, dem $_{84}\text{Po}$, von dem es sich übrigens in vielen anderen Eigenschaften nur graduell unterscheidet. So fällt es aus selbst sehr stark saurer Lösung durch Schwefelwasserstoff und scheidet sich durch elektrochemischen Austausch aus schwefelsaurer Lösung auf Zink ab, während es im Gegensatz zu Polonium sich aus 0,25 n Salpetersäure nicht auf Wismut abscheidet. Bei Versuchen über fraktionierte Sulfidfällung bei abnehmender Säurekonzentration und bei fraktionierter hydrolytischer Fällung war die Hauptaktivität im Gegensatz zum Polonium immer in der ersten Fraktion.

Auch für das Element 87, das Eka-Cäsium, wäre eine Herstellung aus dem Nachbar-element

Physic. Rev. 55, 110 (1939). — CACCIAPUOTI u. SEGRÈ, Physic. Rev. 52, 1252 (1937). — EWING, PERRY u. MCCREARY, Physic. Rev. 55, 1136 (1939). — DU BRIDGE, BARNES, WIGG, BUCK u. STRAIN, Physic. Rev. 53, 326 (1938).

¹⁾ PERRIER u. SEGRÈ, Atti Accad. naz. Lincei, Rend. 27, 579 (1938).

²⁾ POOL u. QUILL, Physic. Rev. 53, 437 (1938).

¹⁾ CORSON, MCKENZIE u. SEGRÈ, Physic. Rev. 57, 1087 (1940).

möglich, da das ^{88}Ra immerhin in Mengen vorhanden ist, die die Ausführung von Kernreaktionen (n, p) durchaus ermöglichen. Die Isolierung des evtl. entstandenen Elementes 87 und damit die Bestimmung seiner radioaktiven und chemischen Eigenschaften dürfte dann allerdings auf sehr große Schwierigkeiten stoßen, da die Ausgangssubstanz um viele Größenordnungen stärker aktiv ist, als es das evtl. entstandene Eka-Cäsium sein könnte.

Inzwischen ist aber von MARGUERITE PEREY¹⁾ das Element 87 auf einem anderen Wege isoliert worden. Bei der Prüfung älterer Angaben über eine schwache α -Aktivität des Aktiniums stellte M. PEREY fest, daß die α -Aktivität tatsächlich dem Aktinium zuzuordnen ist und nicht, wie man früher annahm, einer Verunreinigung des Aktiniums durch Protaktinium. Dieser Irrtum wurde durch die sehr große Ähnlichkeit der Reichweite der α -Strahlen von Protaktinium und Aktinium begünstigt. M. PEREY aber zeigte einwandfrei durch wiederholte chemische Abtrennungen und durch Messung der Nachbildung, daß das $^{227}_{89}\text{Ac}$ zu etwa 1% durch α -Strahlung in $^{223}_{87}\text{Eka-Cäsium}$ übergeht, das sie AcK nannte. AcK selbst ist ein β -Strahler von 21 Min. Halbwertszeit, der in AcX übergeht. In seinen chemischen Eigenschaften entspricht es den Alkalimetallen, läßt sich also leicht mit Rubidium- oder Cäsiumperchlorat oder -chloroplatinat ausfällen.

Wenn man von der noch vorhandenen Unsicherheit beim Element 61 absieht, sind also die Lücken des periodischen Systems nunmehr ausgefüllt. Nun ließ der Umstand, daß gerade das Element mit der höchsten Ordnungszahl, das $^{238}_{92}\text{U}$, in ausreichender Menge und bequem zu handhabender Form zur Verfügung steht, die Hoffnung berechtigt erscheinen, etwa durch einen (n, γ)-Prozeß zu neuen, vielleicht β -instabilen Uranisotopen zu gelangen, die dann ja notwendigerweise in ein Element 93 übergehen mußten. Die ersten diesbezüglichen Arbeiten von FERMI und Mitarbeitern schienen diese Annahme zu bestätigen; seine Angaben wurden durch die Arbeiten von HAHN, MEITNER und STRASSMANN bestätigt und erweitert, bis sie erkannten, daß es sich bei den „Transuranen“ in Wirklichkeit um Kernspaltstücke aus einem bisher in der Physik unbekanntem Vorgang handelte.

Unter den von HAHN, MEITNER und STRASSMANN aufgefundenen künstlich aktiven Produkten befand sich aber auch ein β -Strahler von 23 Min. Halbwertszeit, den sie auf Grund seiner chemischen Eigenschaften eindeutig als Uran identifizieren konnten. Der Körper war nach dem Prozeß $^{238}_{92}\text{U} (n, \gamma) ^{238}_{92}\text{U}$ entstanden und mußte als β -Strahler in $^{239}_{93}\text{Eka-Rhenium}$ übergehen. Da nach den Gruppeneigenschaften der 7. Gruppe eine Fällbar-

keit des Elementes 93 mit Schwefelwasserstoff aus saurer Lösung möglich war und vor der Auffindung der Uranspaltung durch die experimentellen Befunde auch erwiesen zu sein schien, wurde versucht, aus dem Uran von 23 Min. Halbwertszeit ein Folgeprodukt abzutrennen. Die Versuche blieben ohne Erfolg und führten zu dem Schluß, daß es sich vermutlich um einen sehr langlebigen β -Strahler handle. In neuerer Zeit gelang es aber McMILLAN und ABELSON¹⁾, nach einer nur mit sehr starken Strahlenquellen durchführbaren Methode das Uran von 23 Min. und sein evtl. Folgeprodukt frei von Spaltprodukten und auch praktisch frei von Uran und dessen Folgeprodukten zu erhalten. An dieser Probe konnten sie sowohl nachweisen, daß das Uran von 23 Min. Halbwertszeit in ein Element 93 von 2, 3 Tagen Halbwertszeit übergeht, wie auch einige chemische Eigenschaften des Elementes bestimmen.

Ihre Ergebnisse scheinen eine schon früher von V. M. GOLDSCHMIDT²⁾ geäußerte Vermutung zu bestätigen, daß beim Uran eine Gruppe von Elementen beginnt, deren chemische Eigenschaften einander so ähnlich sind, wie etwa die der seltenen Erden. Leider sind die Angaben der amerikanischen Forscher nur sehr kurz, und soweit bisher aus einigen orientierenden Versuchen zu ersehen ist, sogar zum Teil irreführend. Nach den Angaben von McMILLAN und ABELSON ist El. 93 aus mineral-saurer Lösung nicht mit Schwefelwasserstoff fällbar; es kommt in verschiedenen Wertigkeitsstufen vor und fällt mit dem Uran zusammen bei dessen Fällung als Natrium-Uranylacetat. (Diese letzte Angabe trifft nur zu, wenn bei der Fällung starke Oxydationsmittel zugegen sind.) Im Gegensatz zum Uran läßt es sich leicht durch Schwefeldioxyd reduzieren und ist im reduzierten Zustand offensichtlich beständiger als im oxydierten Zustand. Es verhält sich dann ähnlich wie Uran^{IV}, Thorium oder die seltenen Erden, das heißt, es bildet schwer lösliche Fluoride, Subphosphate und Alkali-Dopfelsulfate. Durch Ammoniak fällt es bei Abwesenheit von Karbonat in beiden Oxydationsstufen; Ammoniumkarbonat bildet, wie beim Thorium oder Uran, leicht lösliche Komplexverbindungen. Als β -Strahler muß es in ein Element 94 übergehen, doch konnte ein solches Element bisher nicht nachgewiesen werden. Aus dem Fehlen einer entsprechenden α - oder β -Strahlung bei sehr starken Präparaten konnte die Mindestgrenze der Halbwertszeit des Elementes 94 zu 10^6 Jahren geschätzt werden.

Zu dem Element 93 von 2, 3 Tagen Halbwertszeit existiert wahrscheinlich noch ein Isotop von der Masse 237. Japanische Forscher³⁾ erhielten

¹⁾ McMILLAN u. ABELSON, *Physic. Rev.* **57**, 1185 (1940).

²⁾ V. M. GOLDSCHMIDT, *Fortschr. Mineral., Kristallogr. u. Petrogr.* **15**, 93 (1931).

³⁾ NISHINA, YASAKI, KIMURA, IKAWA, *Physic. Rev.* **58**, 661 (1940).

¹⁾ M. PEREY, *J. Physique et Radium* **10**, 435 (1939) — PEREY u. LECOIN, *J. Physique et Radium* **10**, 439 (1939).

aus dem Prozeß $^{238}_{92}\text{U}(n, 2n)^{237}_{92}\text{U}$ ein β -strahlendes Uranisotop von 6,5 Tagen Halbwertszeit. Da sie aber in Unkenntnis der Arbeit von McMILLAN und ABELSON die Abscheidung des daraus entstehenden Elementes 93 mit Schwefelwasserstoff durchführen wollten, blieben ihre Versuche ohne Erfolg.

Die Wahrscheinlichkeit, derartige „Transurane“ aus geeigneten Uranvorkommen abscheiden zu können, ist außerordentlich gering, da genügend alte Uranerze, die einer dauernden, stärkeren Neutronenbestrahlung ausgesetzt waren, bisher nicht bekannt sind.

Neue bei der Uranspaltung auftretende Strontium- und Yttrium-Isotope.

Von HANS GÖTTE, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie.)

Unter den Spaltprodukten des Urans sind bisher 3 Strontium-Isotope von 7 Minuten (1), 6 Stunden (2) und 54 Tagen Halbwertszeit bekannt. Von diesen ist das erste wahrscheinlich als primäres Bruchstück anzusehen, da es nicht aus dem Gasstrom zu gewinnen ist, während die anderen über aktive Edelgase entstehen. In einer Veröffentlichung von C. LIEBER (1) aus dem Kaiser Wil-

helminstitut ergab nun aber eine ziemlich große Halbwertszeit von ungefähr 800μ Aluminium. Bei einer derartigen Durchdringbarkeit des 3,5-Stunden-Körpers müßte seine Nachbildung aus einem 6-Stunden-Körper in den Kurven sehr viel deutlicher werden. Es lag daher die Vermutung nahe, daß ein kürzerlebigeres Strontium-Isotop das 3,5-Stunden-Yttrium nachbildet und so der Anstieg dieses Yttriums durch den Abfall seiner Muttersubstanz verdeckt wird, so daß er in den Kurven nicht zum Ausdruck kommt. Zur Klärung dieser Frage wurden neue Strontiumpräparate hergestellt.

30 g Ammoniumuranat wurden mit etwa 1 g Ra/Be-Neutronen 24 Stunden lang bestrahlt und dann in 65proz. Salpetersäure gelöst. Nach Zugabe von 100 mg Strontium wurde dieses als Nitrat mit rauchender Salpetersäure gefällt und der Niederschlag auf einem Glasfilter G₄ von SCHOTT und Gen., Jena, abgesaugt, dann erneut in Wasser gelöst und wieder mit rauchender Salpetersäure abgeschieden. Nach nochmaligem Auflösen des Nitrats in Wasser wurde aus der Lösung das als Mischkristall mitgefällte Barium durch 2 Chromatfällungen in essigsaurer Lösung entfernt. Zum Schluß wurde mit karbonatfreiem Ammoniak eine Eisenhydroxydfällung vorgenommen und so Reste von Uran X, die seltenen Erden und das inzwischen seit der Nitratfällung nachgebildete Lanthan und Yttrium abgetrennt.

Aus der so erhaltenen Strontiumlösung wurde nun regelmäßig alle 3 Stunden das Yttrium abgeschieden, um aus den auf die Abtrennungszeiten extrapolierten Anfangsaktivitäten des 3,5-Stunden-Yttriums auf die Halbwertszeit seiner Muttersubstanz zu schließen. Unter den angegebenen Versuchsbedingungen ergab sich die Halbwertszeit des Mutter-Strontiums zu etwa 3 Stunden. Mit der zur Verfügung stehenden Neutronenquelle ließ sich bei der ersten Yttriumabtrennung nur eine Aktivität von 500 Teilchen pro Minute erzielen. Bei Abtrennung in 3stün-

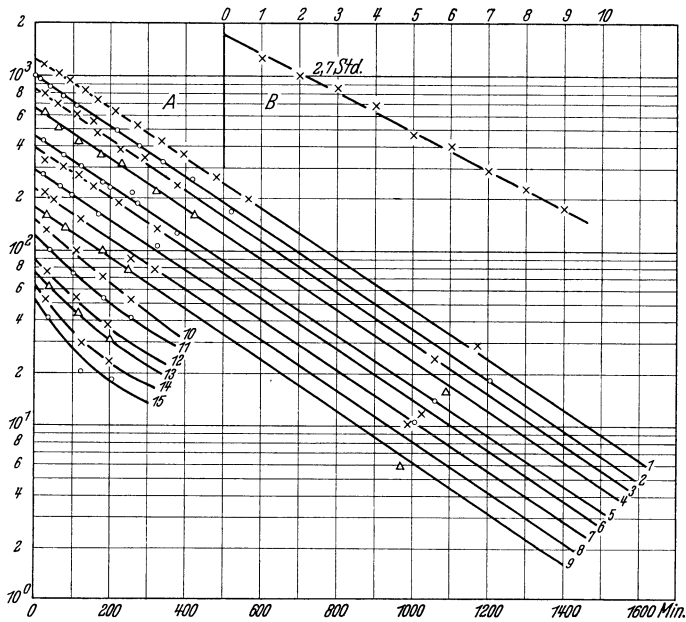


Fig. 1. Bestimmung der Halbwertszeit des 2,7-Stunden-Strontiums aus den Anfangsintensitäten der stündlich vorgenommenen Abtrennungen des 3,7-Stunden-Yttriums. A. Aktivitätsverlauf der einzelnen Yttriumfällungen. B. Anfangsintensitäten der Yttriumfällungen in Abhängigkeit von der Abtrennungszeit. Halbwertszeit des Strontiums.

helm-Institut für Chemie wird ein Strontium von 6 Stunden Halbwertszeit beschrieben, das in ein 3,5-Stunden-Yttrium übergeht. Dieses Strontium tritt auch bei der Uranspaltung durch γ -Strahlen auf (3). Seine Aktivitätskurve steigt, nachdem das Yttrium abgeschieden ist, über 2–3 Stunden ganz schwach an, um dann mit etwa 6 Stunden abzunehmen. Die Geringfügigkeit dieses Anstieges ist nur bei einer sehr weichen Strahlung des Yttriums zu verstehen. Eine ungefähre Härtebestimmung der β -Strahlen des 3,5-Stunden-Yttriums durch Absorptionsmessung mit Alu-

digen Intervallen sanken die Aktivitäten so schnell, daß nur 4 Meßpunkte zur Bestimmung der Halbwertszeit der Muttersubstanz aufgenommen werden konnten.

Eine genauere Bestimmung der Halbwertszeit des Strontiums sowie eine Energiebestimmung des 3,5-Stunden-Yttriums durch Absorption der β -Strahlen in Aluminium wurden erst möglich durch eine Bestrahlung an der Hochspannungsanlage des Kaiser Wilhelm-Instituts für Physik, die von den Herren Dr. W. MAURER und Dr. W. RAMM betrieben wird. 40 g Uranylнитrat wurden mit dieser Anlage bestrahlt. Dann wurden Strontium und Yttrium, wie oben beschrieben, abgeschieden. Bei je 2stündiger Yttriumabtrennung ergaben sich die Abfallskurven der Fig. 1. Bei einer Anfangsintensität des Yttriums von 1250 Teilchen pro Minute nehmen die ersten 9 Kurven mit 3,5 Stunden Halbwertszeit ab, und die Halbwertszeit der Muttersubstanz läßt sich aus den Anfangsintensitäten zu $2,7 \pm 0,2$ Stunden bestimmen. Dieses Strontium-Isotop war von C. LIEBER nicht gefunden worden, weil die Strontiumkurve vor und nach der Yttriumabtrennung schließlich mit einer Halbwertszeit von etwa 6 Stunden abnahm und so das 3,5-Stunden-Yttrium für ein Folgeprodukt des 6-Stunden-Körpers gehalten wurde. Dieser Abfall beträgt nicht immer 6 Stunden, sondern hängt, wie die Fig. 2 zeigt, vom Alter der Präparate und der Bestrahlungszeit des Urans ab. Den Einfluß des Alters des aus Uran abgeschiedenen Strontiums auf die Kurven zeigt Teil I der Fig. 2. Es handelt sich hier um Präparate, die aus einem 2,5 Stunden lang bestrahlten Uran gewonnen wurden, und bei denen bis zur Yttriumabtrennung einmal 4,5 Stunden, das andere Mal 19 Stunden gewartet wurde. Bei dem nach 4,5 Stunden gemessenen Präparat, das noch 2,7-Stunden-Strontium enthält und also auch 3,5-Stunden-Yttrium nachbildet, ergibt sich eine Halbwertszeit von 6,5 Stunden. Das andere, bei dem das 2,7-Stunden-Strontium zerfallen ist, nimmt mit 9,5 Stunden Halbwertszeit ab. Diese geradlinigen Abklingungen ergeben sich nach Abzug des auch schon bei kurzer Bestrahlung gebildeten 54-Tage-Strontiums und der aus dem längerlebigen Strontium gebildeten 57-Stunden-Aktivität (vgl. später), die sich als Restaktivitäten bei allen Strontiumpräparaten bemerkbar machen. Im Teil II der Kurven zeigt sich die Abhängigkeit der Kurvensteilheit von der Bestrahlungsdauer. Das eine Strontium ist aus einem 1 Stunde, das

andere aus einem 22 Stunden lang bestrahlten Uran abgeschieden worden. In beiden Fällen wurde das Yttrium nach 1 Stunde abgetrennt und die Präparate anschließend gemessen. Nach kurzer Bestrahlung ist der 2,7-Stunden-Körper weit mehr gebildet als das längerlebige Strontium, und die Kurve klingt mit einer Halbwertszeit von 5,5 Stunden ab, während bei der langen Bestrahlung, nach der das 2,7-Stunden-Strontium im Gleichgewicht und das längerlebige zu mehr als 75 % gebildet ist, die Kurve eine flachere Neigung zeigt, die einer Halbwertszeit von 7 Stunden entspricht. Aus diesen Kurven läßt sich mit Sicherheit auf ein weiteres Strontium-Isotop schließen,

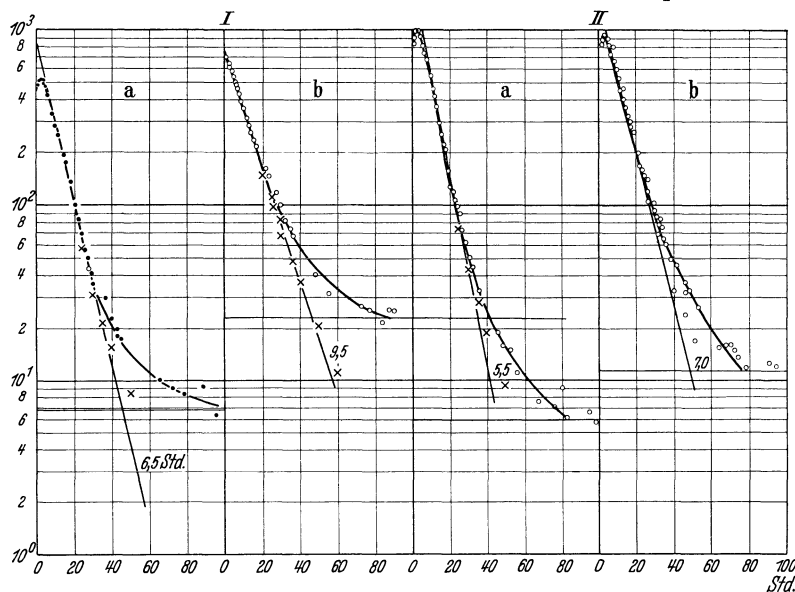


Fig. 2. Strontium-Abfallskurven. I. 2,5 Stunden bestrahlt. a) Yttrium-Abtrennung nach 4 Stunden. b) Yttrium-Abtrennung nach 19,5 Stunden. II. Yttrium-Abtrennung nach 1 Stunde. a) 1 Stunde. b) 22 Stunden bestrahlt.

das zwischen 7 und 9 Stunden Halbwertszeit hat und das sich wegen der Unempfindlichkeit der graphischen Darstellung auf logarithmischem Papier nicht genauer in seiner Halbwertszeit bestimmen läßt.

Die bei der Bestimmung der Halbwertszeit des 2,7-Stunden-Strontiums gemachten Yttrium-Abtrennungen nehmen, wie Fig. 1 zeigt, bis zur 9. Fällung mit 3,5 Stunden ab, dann aber beginnt von der 10. Fällung ab ein steilerer Abfall deutlich zu werden, der in den folgenden 4 Fällungen immer mehr hervortritt. Da es sich nach den chemischen Operationen bei der Fällung eines Eisen- oder Yttriumhydroxyds aus einer reinen Strontiumlösung mit kohlensäurefreiem Ammoniak nur um eine Yttrium- oder die ihm folgende Zirkonaktivität handeln kann, lag die Vermutung nahe, daß hier ein neues Yttrium-Isotop vorlag.

Dieser Körper macht sich erst bemerkbar, nachdem der 2,7-Stunden-Körper zerfallen ist. Daher war anzunehmen, daß es sich um die Tochtersubstanz des längeren Strontiums handelte, die wegen geringerer Beteiligung dieses Mutterstrontiums beim Spalt-

prozeß weniger in Erscheinung tritt, als das sich aus dem 2,7-Stunden-Strontium bildende 3,5-Stunden-

tionskurve ergibt für die β -Strahlen eine Reichweite von 6,4 mm in Aluminium, was nach der FEATHER-

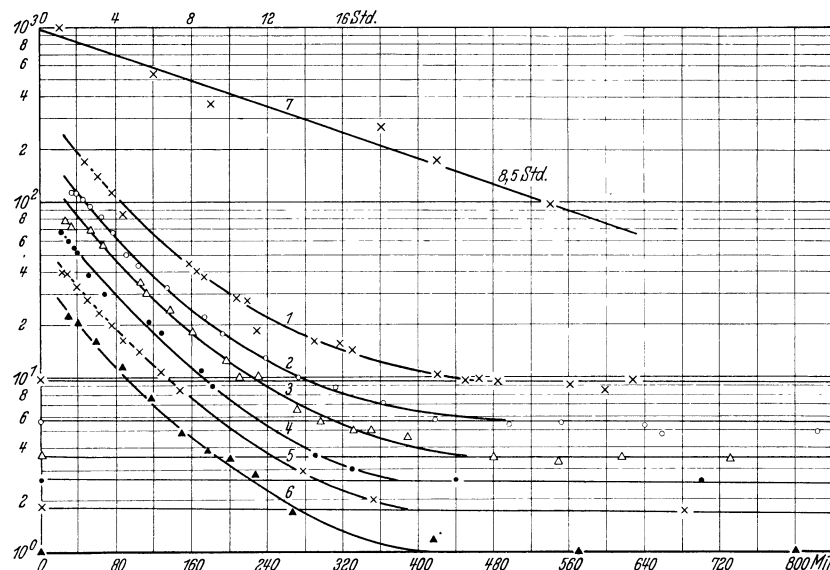


Fig. 3. Abklingkurven der Yttrium-Abtrennungen. Kurven 1, 2, 3, 4, 5, 6. Abfallskurven der Yttrium-Fällungen. Kurve 7 Halbwertszeit der Muttersubstanz des 57-Tage-Yttriums im anderen Maßstab.

Yttrium, das außerdem β -Strahlen viel größerer Durchdringbarkeit aussendet (vgl. später).

Um die Halbwertszeit des neuen Yttriums und seiner Muttersubstanz festzustellen, wurden 120 g

wurden in regelmäßigen Abständen von 1 Stunde Yttriumfällungen vorgenommen. Die Abklingkurven eines Teiles der Präparate zeigt Fig. 3. Es handelt sich hier um Präparate, die an einem und demselben Zähler gemessen wurden. Um jedes Präparat lange genug zählen zu können und außerdem eine genügende Anzahl von Meßpunkten für jede Abfallskurve zu bekommen, konnten nicht mehr als 5 bis 6 Präparate an einem Zähler gemessen werden. Bei der großen Anzahl der Abtrennungen war es daher nötig, an mehreren Verstärkern zu zählen. Der Kurvenverlauf ist bei sämtlichen Kurven, auch bei den an weiteren 4 Zählern aufgenommenen, der gleiche wie in Fig. 3. Nach anfänglich steilerem Abfall gehen die Kurven in eine langsame Abklingung von etwa 60 Tagen über. Bei dieser Restaktivität, deren Halbwertszeit an einem Präparat gesondert verfolgt wurde, handelt es sich offensichtlich um das von HAHN und STRASSMANN (5) gefundene 57-Tage-Yttrium. Zieht man diese Aktivitäten von den anfänglich viel steileren Kurven ab, so ergibt sich aus den Differenzkurven für das neue Yttrium eine Halbwertszeit von 50 ± 4 Minuten (Fig. 4). Die Anfangsintensitäten dieser Yttrium-

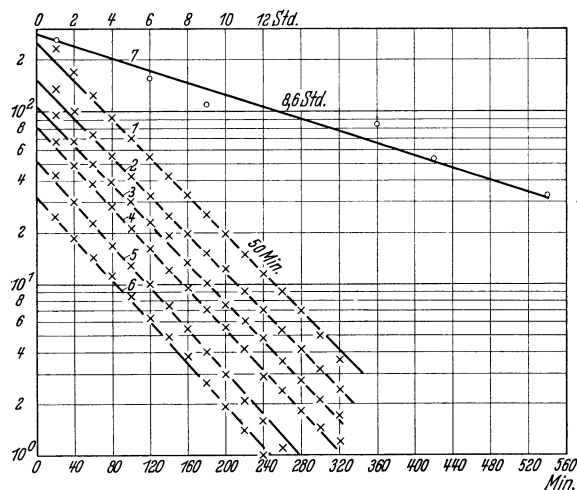


Fig. 4. Kurven 1-6 Abfallskurven des 50-Minuten-Yttriums. Kurve 7 Abfallskurve seiner Muttersubstanz im anderen Maßstab.

Uranylнитrat an der Hochspannungsanlage des Kaiser Wilhelm-Instituts für Physik bestrahlt und dann das Strontium, wie oben beschrieben, gefällt und gereinigt. Eine nach 2 Stunden vorgenommene Yttriumabtrennung wurde zur Bestimmung der Maximalenergie der β -Strahlen des 3,5-Stunden-Yttriums durch Absorptionsmessung mit Aluminiumfolien verwendet. Die erhaltene Absorp-

¹⁾ Das in zwei Stunden gebildete 57-Tage-Yttrium (vgl. später) hat, wie durch Absorptionsmessungen festgestellt wurde, eine Reichweite von etwa 2,6 mm Aluminium. Daraus errechnet sich eine Energie der β -Strahlen von 1,6 MeV. Eine γ -Strahlung ließ sich nicht beobachten. Diese Yttrium-Aktivität stört bei der Energiebestimmung der β -Strahlen des 3,5-Stunden-Yttriums also nicht.

aktivitäten, in Abhängigkeit von der Zeit ihrer Abtrennung aufgetragen, ergeben die Halbwertszeit der Muttersubstanz dieses 50-Minuten-Yttriums zu 8—9 Stunden. Ähnliche Werte ergeben die an anderen Zählern aufgenommenen Kurven.

Da die Intensität des 57-Tage-Yttriums ebenfalls von Abtrennung zu Abtrennung abnimmt, wurde aus den extrapolierten Anfangsintensitäten in gleicher Weise wie beim 50-Minuten-Körper die Halbwertszeit seiner Muttersubstanz bestimmt. Auch sie beträgt 8—9 Stunden. Wurden die Anfangsintensitäten der beiden Yttrium-Isotope von sämtlichen 25 Yttriumabtrennungen auf einen gemeinsamen Standard umgerechnet und so die an verschiedenen Zählern gemachten Messungen vergleichbar gemacht, so ergab sich Fig. 5. Die Halbwertszeit beider Strontium-Isotope beträgt also ungefähr 8,5 Stunden. Die umgerechneten Werte streuen stark, weil die geometrischen Ver-

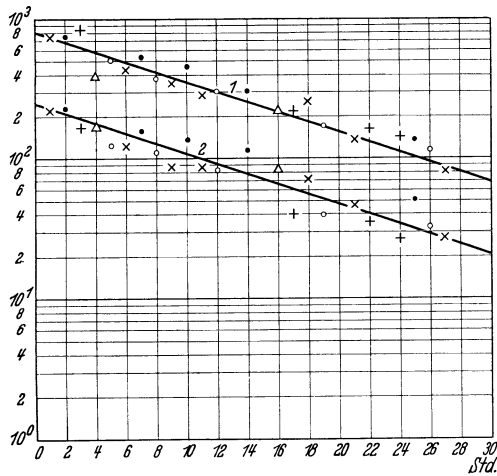


Fig. 5. Bestimmung der Halbwertszeit der Strontium-Isotope aus der Abnahme der Yttrium-Intensitäten bei stündlicher Yttrium-Abtrennung. 1) Mutter-Strontium des 50-Minuten-Yttriums. 2) Mutter-Strontium des 57-Tage-Yttriums. Durch gleiche Signatur bezeichnete Punkte sind am gleichen Verstärker gemessen.

hältnisse nicht bei allen Messungen völlig gleich waren. Insbesondere machen sich kleine Verschiedenheiten in der Höhe der Meßschiffchen und nicht ganz gleichmäßige Verteilung der Niederschläge auf den Filtern sehr bemerkbar. Diese durch die Versuchsbedingungen gegebenen Verhältnisse erschweren die Bestimmung der Halbwertszeit sehr. Dazu kommt, daß die logarithmische Darstellung so unempfindlich ist, daß ähnliche Halbwertszeiten schwer zu unterscheiden sind. Immerhin sieht es in diesem Falle so aus, als ob sowohl das 50-Minuten-Yttrium als auch das 57-Tage-Yttrium eine Muttersubstanz von 8,5 Stunden Halbwertszeit haben.

Für die Kenntnis des Spaltprozesses ist es wichtig festzustellen, welche Trümmer primär und welche sekundär sind. Bruchstücke, die sich nach der von HAHN und STRASSMANN (6) ausgearbeiteten

Methode aus einem Gasstrom abscheiden lassen, müssen über ein Edelgas entstanden und folglich sekundär sein. Es ließ sich mit Hilfe eines solchen Emaniersversuchs zeigen, daß ein aus dem Gasstrom abgeschiedenes Strontium das 3,5-Stunden-Yttrium nachbildet. Damit ist bewiesen, daß das 2,7-Stunden-Strontium über ein Krypton entsteht. Das aus dem Gasstrom gewonnene Strontium zeigt nach der Yttriumabtrennung einen ähnlichen Kurvenverlauf wie die Strontiumkurven der Fig. 2. Da das 57-Tage-Yttrium von HAHN und STRASSMANN ebenfalls aus dem Gasstrom abgeschieden worden ist, muß in dieser Aktivität die Muttersubstanz des 57-Tage-Yttriums enthalten sein. Da dieser Emanierungsversuch mit einer Neutronenquelle von nur 1 g Ra/Be-Neutronen durchgeführt wurde, erlaubten die dabei entstandenen Aktivitäten nicht, nach dem 50-Minuten-Yttrium zu suchen. Es ließ sich also nicht entscheiden, ob auch dessen Muttersubstanz an der aus dem Gasstrom gewonnenen Strontiumaktivität beteiligt ist. Erst ein mit der Strahlenquelle des K.W.I. für Physik durchgeführter Emaniersversuch ergab dann die Anwesenheit des 50-Minuten-Yttriums in dem über ein Gas entstandenen Aktivitätsgemisch. Die an einer Bleiplatte gesammelten Folgeprodukte der aktiven Edelgase wurden mit Salzsäure abgelöst und aus der Lösung das Strontium nach Zugabe von Strontiumchlorid mit Salpetersäure als Nitrat abgeschieden. Die weitere Verarbeitung auf das 50-Minuten-Yttrium war die gleiche wie bei dem aus dem Uran direkt abgeschiedenen Strontium. Die auftretenden Aktivitäten des 50-Minuten-Yttriums waren auch in diesem Falle sehr gering. Doch nahmen die 15 Teilchen/Minute mit etwa 50 Minuten Halbwertszeit ab.

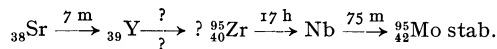
Die bisher beschriebenen Versuchsergebnisse lassen einen neuen Fall von Kernisomerie bei der Uranspaltung möglich erscheinen, denn sowohl das 50-Minuten- als auch das 57-Stunden-Yttrium kommen aus dem Gasstrom und haben beide eine Muttersubstanz von 8,5 Stunden Halbwertszeit. Die genauere Diskussion dieser Isomeriemöglichkeit soll demnächst in der Zeitschrift für Physik erscheinen.

Bei den aus den stark bestrahlten 120 g Uranyl nitrat hergestellten Strontiumpräparaten wurde, wie erwähnt, nach 2 Stunden eine Yttriumabtrennung vorgenommen und dann nach Ablauf von 30 Stunden, nachdem das 2,7-Stunden-Strontium auf 0,5‰ zerfallen war, eine zweite, bei der auch Zirkon mit abgeschieden wurde. Innerhalb dieser Wartezeit ist nicht nur das 2,7-Stunden-Strontium zerfallen, sondern auch etwa 85 % des 8,5-Stunden-Körpers. Die Folgeprodukte dieser Körper sind das 3,5-Stunden-Yttrium, das 50-Minuten-Yttrium und das 57-Tage-Yttrium. Ihre Zerfallsprodukte müssen Zirkon-Isotope sein. Aus diesem Grunde wurde das mit dem Yttrium als Hydroxyd gefällte Zirkon in salzsaurer Lösung mit Phosphorsäure als Zirkonphosphat gefällt und so vom Yttrium abgetrennt. Der Zirkonphosphat-

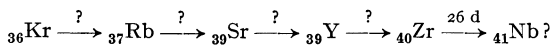
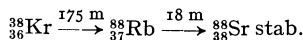
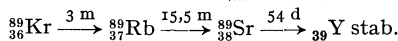
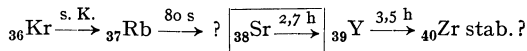
niederschlag erwies sich als inaktiv. Das von HAHN und STRASSMANN (6) gefundene Zirkon von 26 Tagen Halbwertszeit kann also kein Folgeprodukt eines dieser 3 Yttrium-Isotope sein. Die vorhandenen Yttriumaktivitäten hätten in jedem Fall ausreichen müssen, um eine meßbare Aktivität des 26-Tage-Zirkons zu bilden. Das 57-Tage-Yttrium hatte nach der Abtrennung nach 30 Stunden eine Aktivität von etwa 3000 Teilchen pro Minute. Aus dieser Aktivität hätten sich etwa 60 Teilchen/Minuten Zirkon bilden müssen, wenn man in beiden Fällen gleiche Durchdringbarkeit annimmt. Tatsächlich ist aber die β -Bestrahlung des Zirkons härter als die des 57-Tage-Yttriums, so daß die Meßverhältnisse noch günstiger wären. Es muß dem 26-Tage-Zirkon, da es sich aus dem Gasstrom gewinnen läßt, also eine weitere bisher unbekannte Reihe vorangehen.

Somit ist über die bei der Uranspaltung auftretenden Strontium-Isotope, ihre Muttersubstanz und Folgeprodukte folgendes bekannt. Dabei sind die in dieser Veröffentlichung neubeschriebenen Isotope und Zusammenhänge umrandet.

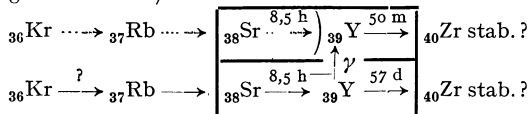
Nicht aus Gasstrom



Aus dem Gasstrom



(Wenn Kernisomerie vorliegt, gilt die in Klammern gesetzte Reihe):



Das Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie zu Rovigno d'Istria.

Von JOACHIM HÄMMERLING.

(Deutscher Direktor des Institutes.)

In diesem Jahre kann das Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie zugleich 2 Gedenktage feiern. 50 Jahre sind seit seiner ersten Gründung vergangen, und 10 Jahre besteht es nunmehr als deutsch-italienisches Gemeinschaftsunternehmen.

OTTO HERMES, der Besitzer des Berliner Aquariums, suchte an dem damals Österreich zugehörigen Teil der adriatischen Küste nach einem Platz, von dem er mit eigenen Hilfskräften eine sichere Materialversorgung mit Schauobjekten erwarten konnte. Wegen der günstigen Verbindungen zum Hinterlande fiel seine Wahl auf Rovigno. Aus dieser Keimzelle erwuchs mit der Zeit ein Institut, das sich auch wissenschaftlichen

Zusammenfassung.

Ein von C. LIEBER und anderen Forschern mit 6 Stunden Halbwertszeit angegebenes Strontium ist komplex und besteht aus einem mit 2,7 Stunden und einem mit 8,5 Stunden Halbwertszeit abnehmenden Strontium-Isotop. Das 2,7-Stunden-Strontium bildet das von C. LIEBER als Tochtersubstanz des 6-Stunden-Strontiums angegebene 3,5-Stunden-Yttrium nach. Aus dem 8,5-Stunden-Strontium entsteht das von HAHN und STRASSMANN beschriebene 57-Tage-Yttrium und ein bisher unbekanntes Yttrium von 50 Minuten Halbwertszeit. Es besteht die Möglichkeit, daß diese beiden Yttriumaktivitäten demselben Yttrium-Isotop zuzuordnen sind, daß also ein neuer Fall von Kernisomerie bei der Uranspaltung vorliegt. Andernfalls gibt es zwei 8,5-Stunden-Strontium-Isotope, von denen das eine das 57-Tage-Yttrium, das andere das 50-Minuten-Yttrium nachbildet. Das von HAHN und STRASSMANN im Gasstrom gefundene Zirkon von 26 Tagen Halbwertszeit kann aus keinem der 3 erwähnten Yttrium-Isotope entstehen.

Den Herren Dr. W. RAMM und Dr. W. MAURER möchte ich für ihr stets freundliches Entgegenkommen bei der Bestrahlung der Präparate an der von ihnen betriebenen Hochspannungsanlage meinen herzlichsten Dank sagen.

Auch Herrn Dr. WALTER SEELMANN-EGGEBERT spreche ich für seine Hilfe bei der Durchführung der Versuche meinen herzlichsten Dank an dieser Stelle aus.

Literatur.

1. C. LIEBER, Naturwiss. 27, 421 (1939).
2. O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 27, 163 (1939).
3. A. LANGER, W. E. STEPHENS, Physic. Rev. 58, 759 (1940).
4. N. FEATHER, Proc. Cambridge philos. Soc. 34, 599 (1938).
5. O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 28, 543 (1940).
6. O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 28, 54 (1940).

Aufgaben zuwandte. Im Jahre 1910 wurde das Institut von der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft übernommen und damit sein rein wissenschaftlicher Charakter endgültig legitimiert. Das Ende des Weltkrieges schuf freilich eine grundsätzliche Änderung der Situation. Istrien fiel an Italien und damit auch das Institut, das manchem wohl endgültig für Deutschland verloren schien. Allein die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft setzte ihren Einfluß ein, dennoch wieder eine Beteiligung an dem Institut zu erreichen. Ihr wissenschaftlicher Ratgeber in dieser Sache war MAX HARTMANN, der seit der Zeit gemeinsamer Arbeit mit SCHAUDINN die Entwicklungsmöglichkeiten des Institutes aus eigener Anschauung beurteilen konnte. Die Ver-

handlungen trafen auf Verständnis bei der anderen Seite, und so konnte eine Lösung gefunden werden, die von dem guten Willen beider Parteien Zeugnis ablegte: Im Jahre 1931 wurde das Institut auf Grund eines Abkommens mit klar geregelten Besitzverhältnissen, vor allem völliger Gleichberechtigung beider Partner einer gemeinsamen Leitung unterstellt.

Der italienische Vertragspartner ist das Kgl. Comitato Talassografico, die bedeutendste italienische Organisation zur Erforschung aller Probleme des Mittelmeeres. Die wissenschaftliche Leitung liegt in den Händen eines deutschen und eines italienischen Direktors, die für die Durchführung ihrer Aufgaben dem Verwaltungsrat verantwortlich sind. Dieser besteht aus einem italienischen Vorsitzenden sowie zu gleichen Teilen aus deutschen und italienischen Mitgliedern; auch die beiden Direktoren gehören ihm an. Als Präsident wurde Großadmiral THAON DE REVEL bestellt, womit zum Ausdruck kam, welche Bedeutung dem Unternehmen auch von italienischer Seite beigemessen wurde. Diese rein verwaltungstechnische Lösung hat sich in der Folgezeit als überaus glücklich erwiesen. Auf der einen Seite war die Autonomie des Institutes gegenüber beiden Ländern gewährleistet, auf der anderen Seite aber war es als echtes Gemeinschaftsunternehmen durch die beiden Vertragspartner fest in beiden Ländern verankert. So betrachten sich die beiden Direktoren stets als Beauftragte ihres Landes.

Es handelte sich hier nicht, wie mancher wohl denken mochte, um einen notdürftig zustande gekommenen Kompromiß, sondern um den ehrlichen Willen, eine im beiderseitigen Interesse liegende Lösung zu finden. Das deutsche Interesse ist so selbstverständlich, daß es nicht geschildert zu werden braucht; ebenso konnte Italien in gleichem Maße Vorteile durch die Mitarbeit deutscher Forscher am Institut erwarten, die natürlich nur auf der Basis der Gleichberechtigung zu erreichen war. Trotzdem war das Unternehmen ein Wagnis. Denn eine gemeinsame Verwaltung wird immer ihre delikaten Seiten haben, konkreter gesprochen der Umstand, daß zwei Herren im Hause sind. Die hierin liegende Gefahrenquelle konnte auch durch die beste Organisation nicht aus der Welt geschafft werden, mußte vielmehr die Probe aufs Exempel bestehen. Heute, nach 10 Jahren, ist kein Zweifel möglich, daß das Experiment geglückt ist. Dies ist vor allem sowohl dem ersten deutschen Direktor, Prof. STEUER, zu verdanken, der im Vorjahre in den verdienten Ruhestand trat, wie auch dem italienischen Direktor, Prof. SELLA. Ihnen gelang es, eine Atmosphäre gemeinsamen Vertrauens zu schaffen. Von italienischer Seite fand die im beiderseitigen Interesse geleistete Arbeit ihre Anerkennung in der Ernennung STEUERS zum Offizier des Italienischen Kronenordens, während SELLA gerade in diesem Jahre vom Führer das Verdienstkreuz des Deutschen Adlers erster Stufe verliehen wurde.

Im Hinblick auf seine Bedeutung für die kulturellen Beziehungen zwischen beiden Ländern wurde das Institut neuerdings in das deutsch-italienische Kulturabkommen eingebaut. —

Die Arbeitsgebiete des Institutes umfaßten von jeher die verschiedensten Zweige der Meeresbiologie. Mehrfach gingen sie über diese hinaus und zeitigten in verschiedenen Richtungen außerdem praktische Auswirkungen. Nur kurz seien sie an einigen charakteristischen Beispielen umrissen. In früheren Jahren führte SCHAUDINN am Institut eine Reihe seiner grundlegenden Protozoenforschungen durch, die zum raschen Aufblühen dieser damals noch jungen Wissenschaft führten. Es spricht nur für die an das Unglaubliche grenzende Beobachtungsgabe SCHAUDINNS, wenn manche seiner Beobachtungen bis zum heutigen Tage nicht wieder gemacht werden konnten. Die Zeit der Arbeiten dieses großen Forschers am Institute stellt einen Höhepunkt seiner Geschichte dar. Auf SCHAUDINN folgten PROWAZEK, REICHENOW u. a., die sich vorwiegend mit parasitischen Protozoen befaßten und ebenfalls wichtige Entdeckungen machten. Alle diese Forscher waren als Abgesandte des Reichsgesundheitsamtes Berlin am Institut tätig.

Das Interesse SELLAS, der das Institut schon vor der deutschen Wiederbeteiligung leitete, galt zunächst vornehmlich der Verbreitung und Wanderung des Thunfisches, der ja für die italienische Fischerei von großer Bedeutung ist. Durch einen glücklichen Einfall konnte das Rätsel gelöst werden: Die Form der Angelhaken ist in den verschiedenen Ländern charakteristisch unterschieden. Oft reißen sie ab und bleiben in Fischen stecken, die dann in ganz anderen Regionen endgültig gefangen werden. So geben diese unbeabsichtigten Marken Auskunft über die Wanderungswege. — Nicht minder erfolgreich war der Gedanke, den unterirdischen Verlauf der Karstgewässer Istriens auf biologischem Wege zu ermitteln. Früher war hierüber keine Klarheit zu gewinnen. Der Umstand, daß Aale zum Laichen aus dem Süßwasser ins Meer wandern, führte SELLA dazu, markierte reife Tiere in den Oberlauf der Karstgewässer zu setzen, die dann an den Mündungen durch Netze abgefischt werden konnten. — Biologische Methoden führten auch zur Ausrottung der Malaria. Die Sanierung Istriens ist SELLA und seinen Mitarbeitern zu verdanken. Schon SCHAUDINN konnte in einem isoliert gelegenen Dorfe die erste geglückte Sanierung durchführen. Eine vollkommene Befreiung Istriens von der Malaria mußte aber natürlich bei der Bekämpfung der Überträger anfangen. SELLA und seine Mitarbeiter setzten nun seit 1926 in über 800 Malariatümpeln alljährlich bis zu 200000 Gambusien aus. Der Freßgier dieser kleinen nordamerikanischen Fische fallen die Anopheleslarven restlos zum Opfer. Konnten im Jahre 1927 noch 146 verseuchte Tümpel gezählt werden, so war ihre Zahl im Jahre 1932 auf Null gesunken. Die Zahl positiver Blutbefunde war im Jahre 1924 noch 35 %, im Jahre

1927 nur noch 3 %, seitdem sind in der Umgebung Rovignos keine Neuinfektionen mehr vorgekommen. Beobachtungen über die Fieberkurve erkrankter Personen und die periodisch wechselnden Erträge des Thunfischfanges führten SELLA schließlich zu interessanten theoretischen Erörterungen über die Periodik von Lebensvorgängen überhaupt. In der letzten Zeit wandte er sich u. a. Untersuchungen über die Verwendbarkeit adriatischer Seegurken (Trepang) zu Nahrungszwecken zu.

Gerade die Arbeiten SELLAS haben den Vorteil, daß Ziel und Ergebnisse in kurzen Worten anschaulich gemacht werden können. Bei den folgenden Untersuchungen anderer Forscher ist das nicht möglich. Wenn deshalb nur kurz das Problem als solches geschildert wird, so mag daraus nicht gefolgert werden, daß die Ergebnisse weniger bedeutungsvoll sind.

Zum Arbeitsprogramm eines meeresbiologischen Institutes gehören natürlich auch Planktonforschungen. STEUER, der Verfasser des ersten grundlegenden Werkes über Planktonkunde, war zu Untersuchungen auf diesem Gebiete besonders berufen. Darüber hinaus ist er der beste Kenner der adriatischen Tier- und Pflanzenwelt überhaupt. In jeder Hinsicht war daher seine Bereitwilligkeit, den Ruf nach Rovigno anzunehmen, dankbar zu begrüßen, ebenso daß er, obwohl nunmehr im Ruhestande befindlich, seine Arbeitskraft auch weiterhin dem Institut erhält.

In engem Zusammenhang mit der Planktonforschung stehen Untersuchungen über den Nährstoffhaushalt des Meereswassers und andere hydrochemische Probleme. Auch diese Gebiete sind mehrfach bearbeitet worden, so von NÜMANN und VATOVA. Hierdurch ist eine Voraussetzung geschaffen, einmal auf breiter Grundlage biologischer, chemischer und physikalischer Arbeiten, auch unter Heranziehung des Experimentes, Untersuchungen über die Produktionsbiologie der Adria in Angriff zu nehmen.

Eine wichtige Voraussetzung für jede Art von Arbeiten an einem meeresbiologischen Institut ist eine möglichst eingehende Kenntnis der regionalen Fauna und Flora und ihrer Lebensgewohnheiten. In engem Zusammenhang damit stehen Untersuchungen über die Biocönosen und andere ökologische Probleme sowie die geographische Verbreitung usw. Mit diesen Fragen hat sich eine Reihe von Biologen, vorwiegend Zoologen, befaßt, u. a. KRÜMBACH, der eine der Vorkriegsdirektoren, sowie STEUER, ROCH, VATOVA. STEUER erforschte auch die Fischgründe Alexandriens — es sind das die ersten derartigen Arbeiten im südöstlichen Mittelmeergebiet —, während VATOVA seine Arbeiten auf die interessanten Verhältnisse der Lagunen Venedigs ausdehnen konnte. VATOVA trug auch in mühevoller Arbeit sämtliche bekannten faunistischen und floristischen Daten der Nordadria und besonders Rovignos zusammen. So unentbehrlich diese Zusammenstellung auch geworden ist, läßt sie doch deutlich die noch auszufüllenden

Lücken erkennen. Ein Algenwerk nach dem Vorbild des „Funk“ über die Neapler Algen wäre z. B. dringend erwünscht.

Das Institut ist mit Aquarien und Apparaturen einschl. eines kleinen chemischen Laboratoriums sowie den nötigen Fanggeräten für die bisher genannten Untersuchungen gut ausgestattet. Zu Land steht ein Auto, zu Wasser ein Ruderboot mit Außenbordmotor, ein schnelles Motorboot mit geringem Tiefgang sowie eine seetüchtige Fischerbarke zur Verfügung. Auch eine Taucherausrüstung ist vorhanden, ein Angehöriger des Institutspersonals wurde kürzlich als Taucher ausgebildet.

Dagegen fehlte es bisher fast ganz an der Ausrüstung zur Bearbeitung allgemeinbiologischer Probleme, für die ja das Mittelmeer und auch die Adria eine unerschöpfliche Fundquelle an Objekten ist. Es kann als erfreuliches Zeichen für die zukünftige Entwicklung des Institutes betrachtet werden, daß trotz des Krieges im letzten Jahre auch der Grundstock für solche Forschungen gelegt werden konnte. Es wurden die für fortpflanzungsphysiologische, entwicklungsphysiologische und genetische Untersuchungen an Algen und niederen Tieren erforderlichen Kultureinrichtungen geschaffen. Mit ihrer Hilfe konnten meine eigenen Arbeiten über die Wirkungsweise des Zellkernes bei Acetabularia mit gutem Erfolge fortgesetzt werden. Aber auch vielen anderen Problemen ist diese Einrichtung dienstbar.

Die Bibliothek des Institutes wird zumindest die Bedürfnisse nach marinbiologischer und hydrobiologischer Literatur überhaupt befriedigen, doch ist auch die darüber hinausgehende allgemeine und spezielle Literatur gut vertreten. Natürlich kann die Bibliothek keinen Vergleich mit der Neapels aushalten. Damit kommen wir zu einem Punkt von programmatischer Bedeutung. Uns deutschen Biologen liegt, wenn wir an meeresbiologische Institute denken, natürlich immer der Vergleich mit Neapel nahe. Hierbei darf indessen nicht übersehen werden, daß ein Institut wie das in Rovigno grundsätzlich eine andere Struktur haben muß. Der Aufbau Neapels ist vornehmlich auf den Zustrom von Forschern eingestellt, die sich meist nur kürzere Zeit am Institut aufhalten können. Hierauf beruht der große Impuls, der von Neapel für die Biologie ausgegangen ist. Für Rovigno wäre eine solche Struktur zweifellos unökonomisch. Hier muß vielmehr der Schwerpunkt darauf liegen, dem Stabe der am Institut länger weilenden Mitarbeiter die bestmöglichen Arbeitsbedingungen zu schaffen. Damit soll selbstverständlich nicht gesagt sein, daß der mehr oder weniger kurzdauernde Besuch von Gästen aus beiden Ländern und darüber hinaus von Angehörigen anderer Nationen als nebensächlich zu betrachten sei. Es handelt sich vielmehr nur darum, daß Rovigno nicht *vorzugsweise* ein Gäste-Institut sein kann. Dagegen stehen die vorhandenen Einrichtungen natürlich auch wissen-

schaftlichen Gästen zur Verfügung. Kurz gesagt: Vorbild für Rovigno muß die Struktur der Kaiser Wilhelm-Institute sein.

Wenn das Institut seine Aufgaben so ansieht, wird es sie auch in Zukunft zum Nutzen beider Länder durchführen können.



Das Deutsch-Italienische Institut für Meeresbiologie in Rovigno.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Experimentelle Mutationslösung bei Hefe und anderen Pilzen durch Behandlung mit Campher, Acenaphthen und Colchicin.

Colchicin und verschiedene andere Substanzen haben sich in den letzten Jahren als außerordentlich geeignete Mittel erwiesen, um bei Blütenpflanzen Veränderungen

nicht gelungen, durch Colchicinbehandlung Veränderungen auszulösen. Eigene umfassende Untersuchungen an Brauereihefen und anderen Pilzen zeigten aber, daß auf diesem Wege auch bei Pilzen Aberrationen zu erzielen sind. Gegen Colchicin selbst verhalten sich die Hefen allerdings recht refraktär. Bessere Resultate wurden durch Behandlung mit Acenaphthen erhalten, besonders bei gleichzeitiger Tempera-

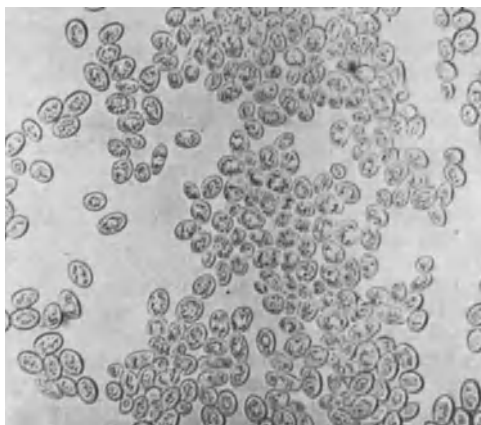


Fig. 1. Ursprungstamm der Hefe.

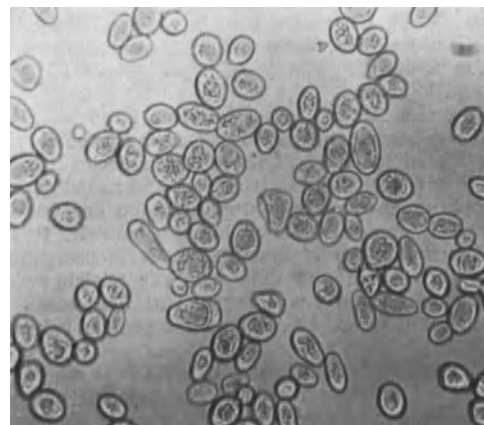


Fig. 2. Mutante mit wesentlich vergrößerten Zellen. Maßstab wie Fig. 1.

der Chromosomenzahl und damit das Auftreten von chromosomalen Mutanten verschiedenster Art auszulösen. Bei Pilzen ist es BLAKESLEE und anderen Untersuchern bisher

erhöht. Als ein ganz hervorragendes Mittel, um Veränderungen bei der Hefe und auch anderen Pilzen auszu-

ösen, erwies sich unter einer großen Anzahl von geprüften Substanzen der Campher, und zwar sowohl der natürliche wie der synthetische Campher. Campherdämpfe in ganz bestimmter Dosierung führen bei der Hefe anfänglich zu einem Wachstumstillstand, dem nach einiger Zeit ganz ungewohnte Vermehrungsbilder folgen. Es treten dabei lange, fadenförmige, mehrzellige Myzelien auf, die entweder nach einer Zeit des Wachstums durch Plasmaustritt zugrunde gehen oder zur Sprossung mit besonders großen Zellen übergehen. Aus derartig behandelten Hefekulturen ließen sich eine große Anzahl von Formaberranten der Hefe züchten. Besonders auffallend sind darunter solche Stämme, die ganz wesentliche Größenunterschiede gegenüber dem Ursprungsklon zeigen (vgl. Abb. 1 und 2). Es ist zu vermuten, daß es hierbei um tetraploide oder sonstige chromosomal höherwertige Formen handelt. Sie sind teilweise durchaus genau so wachstumsfreudig wie die Ursprungsklone und scheinen schneller und intensiver gärfähig zu sein. — Versuche über die Wirkung von Campher bei Blütenpflanzen sind in größerem Umfange im Gange.

Rostock, Botanisches Institut, den 18. Juli 1941.

R. BAUCH.

Schwingungsanalyse von ultravioletten CD- und CH-Banden.

Im Spektrum einer stark kondensierten, mit einer rotierenden Löschfunkenstrecke hochfrequent gemachten Entladung in Heliumgas von einigen Hg-mm Druck, dem noch kleine Dampfmengen von schwerem Paraffin bzw. gewöhnlichem Benzol beigemischt wurde, treten im Spektralgebiet von 2260 bis 2500 Å schwache, rotabschattierte Banden auf, die aus einfachen *P*- und *R*-Zweigen bestehen. Zwei von den Banden, die mit gewöhnlichem Benzol erhalten wurden, sind identisch mit denen, die von McDONALD¹⁾ in einer kurzen Notiz erwähnt wurden.

Die Reinheit des Spektrums von etwaigen Verunreinigungen, die ziemlich breite Rotationsstruktur, ferner der große Isotopieeffekt schließen außer der Zuordnung als CD- bzw. CH-Banden andere Deutungsmöglichkeiten aus.

Es gelang auch Kantenschemata aufzustellen und die erste und zweite Schwingungsdifferenzen stehen in der Tat näherungsweise im richtigen Verhältnis der reduzierten Massen von CD und CH ($e = 0,73420$ und $e^2 = 0,53905$) zueinander.

Da die Schwingungsdifferenzen in diesen Banden von denen der bekannten CD- und CH-Elektronenterme beträchtlich abweichen, müssen als Träger dieser Banden höchstwahrscheinlich die Ionen CD⁺ und CH⁺ angenommen werden, was neben den Anregungsumständen auch durch ihre singulettförmige Struktur gestützt wird.

ν/ν''	0	1	2	3	4	5	6	
0	44187	42794	41440					1092
1			42532	41224				1021 71
2				42245	40979			931 90
3					41910	40687		
4							40318	
		1393	1354	1308	1266	1223		
			39	46	42	43		

ν/ν''	0	1	2	3	
0	44156	42234	40395		
1			41864	40102	1469
		1922	1839	1762	
			83	77	

Budapest, Physikalisches Institut der Königl. Ungarischen Universität für technische und Wirtschaftswissenschaften, den 17. Juni 1941. L. GERÖ, R. SCHMID.

¹⁾ F. C. McDONALD, Physic. Rev. 29, 212 (1927).

Besprechung.

Handbuch der Metallphysik. Herausgeg. von G. MÄSING. Bd. I: Der metallische Zustand der Materie, 2. Teil. Bearb. von C. WAGNER u. W. KUNTZE. Leipzig: Akadem. Verlagsgesellschaft Becker und Erler 1940. VIII u. 352 S., 135 Abb. — III. Thermodynamik metallischer Mehrstoffsysteme. Von C. WAGNER. — IV. Chemische Reaktionen der Metalle. Von C. WAGNER. — V. Mechanische Eigenschaften metallischer Systeme. Von W. KUNTZE. Preis RM 37.—, Lw. RM 39.—.

Im ersten Artikel dieses Bandes behandelt C. WAGNER die Thermodynamik metallischer Systeme. Nach einer Übersicht über das thermodynamische Rüstzeug werden auf Grund von statistischen und modellmäßigen Betrachtungen die Zustandsgleichungen der ungeordneten und geordneten Mischphasen behandelt. Es folgt ein Abschnitt über Meßmethoden, Versuchsergebnisse und ihre Deutung, in dem u. a. die Gleichgewichte zwischen flüssigen Legierungen und Schmelzen von Oxyden, Silikaten, Sulfiden und Halogeniden behandelt werden.

Im zweiten Artikel wird von C. WAGNER ein Bericht über die Reaktionen metallischer Systeme gebracht, der die Frage nach dem Mechanismus des chemischen Geschehens (Elementarvorgänge, Zeitgesetze) in den

Vordergrund stellt. Es werden die Reaktionen der Metalle und Legierungen mit Sauerstoff, Stickstoff, Halogenen und Schwefel sowie mit wässrigen Lösungen besprochen.

Die in diesen beiden Artikeln behandelten Gebiete sind im wesentlichen erst im letzten Jahrzehnt erschlossen worden. Ihre zusammenfassende Darstellung durch einen Forscher, der selbst zu den meisten ihrer Teilfragen bahnbrechende Untersuchungen beigesteuert hat, stößt daher auf stärkstes Interesse und wird die weitere Forschung in hohem Grade befruchten.

Der dritte Artikel von W. KUNTZE bietet einen Überblick über die Festigkeitslehre und ihre stofflichen und mechanischen Grundlagen, die vom Standpunkt des Metallphysikers aus ebenfalls dem neuesten Stande entsprechend behandelt werden.

Alle drei Artikel zeichnen sich durch Verarbeitung einer reichen Literatur aus. So werden in den Beiträgen III und IV über 400, im Beitrag V 667 Literaturstellen angeführt.

Daß die so verschiedenartige Gebiete behandelnden Beiträge von WAGNER und KUNTZE in einem Band vereinigt wurden, werden die meisten Benutzer als nachteilig empfinden.

H. ULICH (Karlsruhe).

Über Eigenschaften, Bildungsweise und Struktur der Heteropolyverbindungen¹⁾.

Von K. F. JAHR, Berlin-Charlottenburg.

Eine der bekanntesten analytischen Operationen ist die Ausfällung der Orthophosphorsäure aus heißer, ammonsalzhaltiger, stark angesauerter Lösung mit Ammoniummolybdat. Es bildet sich ein schwerer gelber Niederschlag, der die komplizierte Zusammensetzung $3(\text{NH}_4)_2\text{O} + \text{P}_2\text{O}_5 + 24\text{MoO}_3 + \text{aq}$ besitzt. Er stellt das Ammoniumsalz einer komplexen Säure, der 1-Phosphor-12-Molybdänsäure, dar. Am Aufbau dieser Verbindung beteiligen sich zwei *verschiedene* Säureanhydride, P_2O_5 und MoO_3 , und es ist auffällig, daß auf *ein* Molekül P_2O_5 sehr *viele*, nämlich 24 Moleküle MoO_3 , entfallen. Komplexe Säuren von der Art der 1-Phosphor-12-Molybdänsäure werden daher als „Heteropolysäuren“ bezeichnet.

Die Heteropolysäuren (1) bilden eine sehr große Klasse anorganischer Komplexverbindungen, deren merkwürdige Eigenschaften immer wieder das Interesse der Chemiker in Anspruch genommen haben. Nachdem insbesondere durch MARIGNAC, LAURENT, SVANBERG, STRUVE, DEBRAY, SCHEIBLER, GIBBS, PARMENTIER, KEHRMANN und FRIEDHEIM eine fast unübersehbare Zahl von Einzeluntersuchungen bekanntgeworden war, fanden die älteren Arbeiten über die Heteropolyverbindungen einen gewissen Abschluß durch die in dem Zeitraum von 1907—1917 erschienenen Veröffentlichungen von A. MIOLATI (2), H. COPAUX (3) und A. ROSENHEIM (4). Sie erklärten die Struktur der Heteropolyverbindungen auf der Grundlage der Koordinationslehre von A. WERNER und erreichten damit eine erste umfassende Systematik dieses bis dahin recht ungeordneten Gebietes.

In neuerer Zeit ist von zwei ganz verschiedenen Seiten die Erforschung der Heteropolysäuren wesentlich gefördert worden.

Da alle diese Verbindungen ausschließlich aus wässriger Lösung gewonnen werden, haben G. JANDER und seine Arbeitskreis (5) etwa seit dem Jahre 1929 systematisch die Reaktionen studiert, die sich in den wässrigen Lösungen im Verlauf der Bildung der Heteropolysäuren abspielen. Diese Arbeiten, die noch heute fortgeführt werden, haben zahlreiche neue Erkenntnisse über die Entstehungsweise und über die Bausteine der Heteropolysäuren erbracht. Sie haben in zahlreichen Fällen die genetischen Zusammenhänge aufgeklärt, die zwischen den einzelnen Verbindungen bestehen und haben schließlich nachgewiesen, daß die von MIOLATI, COPAUX und ROSENHEIM stammende Hypothese über den Bau

der Heteropolysäuren in wesentlichen Teilen nicht richtig ist, sondern durch besser begründete Vorstellungen ersetzt werden muß.

Im letzten Jahrzehnt haben sich schließlich auch namhafte Kristallographen und Röntgenstrukturforscher mit den Heteropolysäuren beschäftigt. Ein erster Strukturvorschlag wurde 1929 von L. PAULING (6) gemacht. Ihm folgten vom Jahre 1934 an Arbeiten von I. L. HOARD, I. F. KEGGIN, R. SIGNER, I. W. ILLINGWORTH, I. A. SANTOS und A. I. BRADLEY (7), die sich mit dem Kristallbau der verschiedenen Heteropolysäuren vom Typus der 1-Phosphor-12-Molybdänsäure und ihrer Salze befaßten. In neuester Zeit verdanken wir O. KRAUS zahlreiche sorgfältige Untersuchungen über die gleiche Klasse von Heteropolyverbindungen.

Im folgenden soll nun der Versuch gemacht werden, einen Überblick über den heutigen Stand der Heteropolysäureforschung zu geben. Dabei wird sich zeigen, daß die Röntgenstrukturuntersuchungen der *festen* Heteropolyverbindungen, soweit sie bisher vorliegen, eine Deutung gefunden haben, die mit den Ergebnissen der Untersuchungen in *wässriger Lösung* zwar weitgehend, aber doch nicht vollständig übereinstimmt. Ein neuer Strukturvorschlag dürfte jedoch geeignet sein, zu einer Synthese der Ergebnisse beider Arbeitsrichtungen zu führen.

I. Charakteristische Eigenschaften der Heteropolyverbindungen.

Als Komponenten von Heteropolysäuren treten immer einerseits eine mehrbasische, sauerstoffhaltige, schwache Metallsäure, andererseits eine ebenfalls mehrbasische, sauerstoffhaltige, schwache bis höchstens mittelstarke Metalloidsäure auf; die letztere pflegt als „Stammsäure“ bezeichnet zu werden. Die bekannteren Heteropolysäuren werden durch die Wolframsäure, Molybdänsäure oder Vanadinsäure als Metallsäuren und durch die Borsäure, Kieselsäure, Phosphorsäure, Arsensäure, Tellursäure oder Perjodsäure als Stammsäuren aufgebaut. In Tabelle 1 ist eine Reihe charakteristischer Heteropolysäuren des Molybdäns und des Wolframs zusammengestellt worden.

1. Bildungsweise und analytische Zusammensetzung der Heteropolyverbindungen.

Alle diese Heteropolysäuren bzw. ihre Salze können nur aus wässrigen Lösungen gewonnen werden, und zwar in grundsätzlich gleichartiger Weise: man säuert nämlich gemischte Lösungen

¹⁾ Aus dem Anorganisch-Chemischen Institut der Technischen Hochschule Berlin.

Tabelle 1. Typische Heteropolysäuren des Molybdäns und des Wolframs.

Verbindungsgruppe	Zusammensetzung und Bezeichnung der Heteropolysäure	Beobachtete Basizität der Säure ¹⁾
I.	1-Arsen-3-Molybdänsäure	1; 2; 3
	1-Phosphor-3-Wolframsäure	3
II.	1-Perjod-6-Molybdänsäure	5
	1-Perjod-6-Wolframsäure	5
	1-Tellur-6-Molybdänsäure	5; 6
	1-Tellur-6-Wolframsäure	6
III.	1-Phosphor-9-Molybdänsäure	2; 3; 6
	1-Phosphor-9-Wolframsäure	1; 3; 5
	1-Arsen-9-Molybdänsäure	1; 2; 3; 6
	1-Arsen-9-Wolframsäure	3; 5
IV.	1-Phosphor-12-Molybdänsäure	2; 3; 7
	1-Phosphor-12-Wolframsäure	1; 2; 3; 7
	1-Arsen-12-Molybdänsäure	3
	1-Arsen-12-Wolframsäure	3
	1-Silico-12-Molybdänsäure	3; 4; 8
	1-Silico-12-Wolframsäure	2; 3; 4; 8
	1-Bor-12-Wolframsäure	5; 6; 9

der Ausgangssalze, z. B. Natriumphosphat und Natriummolybdat oder Natriumsilikat und Natriumwolframat usw., mehr oder weniger stark an und bringt sie durch Einengen, Eindunsten oder Zugabe von Aceton u. dgl. zur Kristallisation. Darüber, welche Verbindung kristallisiert, entscheiden die Versuchsbedingungen, insbesondere die Natur der Stammsäure und der Metallsäure, ihr Konzentrationsverhältnis, die Art und die Konzentration der beteiligten Kationen, die $[H^+]$ und damit die Art und die Menge der zum Ansäuern benutzten Säure, die Konzentration der „Darstellungslösung“ (z. B. ob verdünnt oder hochkonzentriert!), die Temperatur (z. B. ob und wie lange vor Beginn der Kristallisation gekocht wurde!) usw. *Immer haben Wasserstoffionen wesentlichen Anteil an den Reaktionen, die zum Aufbau der Heteropolysäuren führen.* Diese entstehen daher nur in sauren Lösungen und sind, ihrer Bildungsweise entsprechend, auch nur in sauren Lösungen beständig; Hydroxylionen spalten dagegen die Heteropolyverbindungen mehr oder weniger rasch in ihre Komponenten auf.

Die analytische Untersuchung der zahlreichen bisher beschriebenen Heteropolyverbindungen hat eine außerordentliche Mannigfaltigkeit in ihrer Zusammensetzung erkennen lassen. Stets aber hat sich ergeben, daß die Metallsäurekomponente der Stammsäure gegenüber mengenmäßig stark überwiegt: 3, 6, 9 oder gar 12 Moleküle Molybdän- bzw. Wolframsäure sind z. B., wie Tabelle 1 zeigt, an je 1 Molekül der Stammsäure gebunden. Die Heteropolyverbindungen sind also zum Teil recht hochmolekular, eine Tatsache, die sich u. a. darin äußert, daß sie wie andere polymere anorganische Verbindungen, z. B. die Polymetaphosphorsäuren, Eiweiß zu fällen vermögen.

¹⁾ Bezogen auf 1 Molekül der Stammsäure, z. B. H_3AsO_4 .

2. Die Frage der Basizität. Freie Heteropolysäuren.

Alle Heteropolysäuren sind mehrbasisch (vgl. Tabelle 1). Besonders die Verbindungen der 12-Reihe (Tabelle 1, Gruppe IV) zeigen eine auffallend hohe Basizität, wie wohl erstmalig von A. MIOLATI (9) für die 1-Phosphor-12-Molybdänsäure und für die 1-Phosphor-12-Wolframsäure durch Leitfähigkeitsmessungen nachgewiesen wurde. Auch A. ROSENHEIM (10) hat derartige Messungen durchgeführt und darüber hinaus die präparative Darstellung 7basischer Guanidinsalze der genannten 12-Säuren beschrieben. Gelegentlich sind auch sehr basenreiche Silber- und Quecksilber(I)-Salze dargestellt worden. In neuester Zeit haben G. JANDER und F. EXNER (47) durch konduktometrische und potentiometrische Titration konzentrierter Lösungen der 1-Phosphor-12-Wolframsäure deren 7fache Basizität sichergestellt. An der ungewöhnlich hohen Basizität zahlreicher Heteropolysäuren kann daher nicht gezweifelt werden.

Da sich jedoch der Aufbau insbesondere der Heteropolysäuren der 12-Reihe in stärker sauren Lösungen vollzieht, ist es durchaus verständlich, daß im allgemeinen nur saure Salze kristallisieren. H. COPAUX (11) hat daher vorgeschlagen, die Existenz von leicht beweglichen Wasserstoffionen neben solchen, die nur schwer durch Metallionen ersetzbar sind, auch formelmäßig zum Ausdruck zu bringen: die im Höchstfall 7basische, im allgemeinen aber nur 3basisch erscheinende 1-Phosphor-12-Wolframsäure würde also $H_3H_4[PW_{12}O_{42}] + aq$ zu bezeichnen sein.

In neuerer Zeit sind experimentelle Erfahrungen bekannt geworden, die den Vorschlag von H. COPAUX wieder sehr zweckmäßig erscheinen lassen. So fanden A. G. SCROGGIE und G. L. CLARK (12), daß kristallisierte Hydrate der 1-Silico-12-Wolframsäure bis zu einem Wassergehalt entwässert werden können, welcher der Formel $H_4[SiW_{12}O_{40}]$ entspricht; stärkere Entwässerung führt zum Zusammenbruch der Heteropolysäure. M. und E. KAHANE (13) erhielten mit quartären Ammoniumbasen definierte Salze der 1-Phosphor-12-Wolframsäure und der 1-Silico-12-Wolframsäure, die als $(NR'R''R''')_3[PW_{12}O_{40}]$ und als $(NR'R''R''')_4[SiW_{12}O_{40}]$ formuliert werden müssen. Auch gibt es noch andere Salze der 12-Reihe, die vollkommen wasserfrei erhalten wurden und nicht der beobachteten Höchstbasizität entsprechen, z. B. $K_3[PMo_{12}O_{40}]$ und $K_3[PW_{12}O_{40}]$. Das Anion $[XY_{12}O_{40}]^{9-}$ scheint also ganz allgemein die niedrigste Stufe zu sein, die bei der Entwässerung der Verbindungen der 12-Reihe erhalten werden kann. Die Formulierung z. B. der 1-Phosphor-12-Wolframsäure nach COPAUX, $H_3H_4[PW_{12}O_{42}]$, würde also besagen, daß die vier schwerer beweglichen Wasserstoffe in Form von Hydroxylgruppen vorliegen, die bei der Entwässerung als Wassermoleküle abgespalten werden können, ohne daß dabei das Molekül der Heteropolysäure zusammenbricht.

Eine ganze Reihe von Heteropolysäuren sind im freien Zustande darstellbar; dies gilt insbesondere für die Säuren der 9- und der 12-Reihe, aber auch für die 1-Arsen-3-Molybdänsäure. Erstaunlicherweise sind alle diese Verbindungen nicht nur

in Wasser, sondern auch in Alkohol und in anderen sauerstoffhaltigen organischen Lösungsmitteln sehr leicht löslich, während doch Molybdänsäure- und Wolframsäurehydrat in diesen Lösungsmitteln praktisch unlöslich sind.

Sehr wichtig ist die von E. DRECHSEL (14) entdeckte Reaktion einiger Heteropolysäuren mit Äther; sie ermöglicht die Darstellung und Reinigung der freien Säuren. Äther bildet mit ihnen dickflüssig-ölartige Anlagerungsverbindungen, die weder in Wasser noch in Äther merklich löslich sind und nach A. ROSENHEIM und J. JAENICKE (15) als schlecht charakterisierte Oxoniumverbindungen zu gelten haben. Andere Möglichkeiten zur Darstellung der freien Säuren sind die direkte Synthese (z. B. Auflösen von Molybdäntrioxyd in freier Phosphorsäure) und die Behandlung der Bariumsalze mit Schwefelsäure. Trotz ihrer hohen Löslichkeit und ihres hohen Molekulargewichtes haben die freien Heteropolysäuren sowie die meisten ihrer Salze ein ausgezeichnetes Kristallisationsvermögen.

3. Kristallographisches.

Die meisten Heteropolyverbindungen kristallisieren mit sehr viel Kristallwasser und bilden mehrere definierte Hydrate. O. KRAUS (8, 17) beschäftigt sich neuerdings in sorgfältigen Untersuchungen mit der Feststellung der einzelnen Hydratstufen. Tabelle 2 bringt eine Zusammenstellung der von ihm bisher aufgefundenen Hydrate von Säuren der 12-Reihe.

Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf Verbindungen, die bisher nur durch Entwässerung höherer Hydrate erhalten werden konnten. Das 5-Hydrat der 1-Bor-12-Wolframsäure wurde dagegen von O. KRAUS erstmalig direkt aus wässriger Lösung gewonnen.

Die gleichen Hydratstufen der verschiedenen Heteropolysäuren sind häufig miteinander isomorph und bilden lückenlose Reihen von Mischkristallen. Derartige Isomorphiebeziehungen sind schon seit Jahrzehnten immer wieder mitgeteilt worden (18). Seit einigen Jahren werden sie von O. KRAUS mit allen Hilfsmitteln der modernen Forschung sorgfältig nachgeprüft und ergänzt (8). Nach O. KRAUS zeigen z. B. die 14-, die 24- und die 29-Hydrate der in Tabelle 2 genannten Verbindungen Isomorphie. Auch Isotypie zwischen Säure und zugehörigem Salz ist vielfach beobachtet worden, z. B. in folgenden Fällen (19):

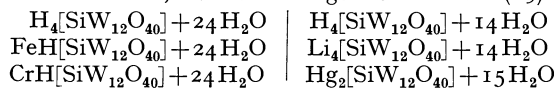


Tabelle 2. Hydratstufen einiger Heteropolysäuren der 12-Reihe.

	I. kubisch	II. triklin	III. rhombisch	IV. trigonal	V. kubisch	VI. tetragonal
$\text{H}_3[\text{PW}_{12}\text{O}_{40}] + n\text{H}_2\text{O}$. .	$n = (5)$	14	21	24	29	—
$\text{H}_3[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}] + n\text{H}_2\text{O}$. .	—	14	—	24	29	—
$\text{H}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] + n\text{H}_2\text{O}$. .	(5)	14	—	24	—	30
$\text{H}_4[\text{SiMo}_{12}\text{O}_{40}] + n\text{H}_2\text{O}$. .	—	14	—	24	—	30
$\text{H}_5[\text{BW}_{12}\text{O}_{40}] + n\text{H}_2\text{O}$. .	5	14	—	—	—	30

Doch sind die auftretenden Isomorphiebeziehungen nicht unbegrenzt; die Zugehörigkeit zu einem bestimmten Gittertyp hängt von der Zahl und der Größe der an die komplexen Anionen gebundenen Kationen ab. Dabei kann in geringem Umfange ein Austausch von H_2O gegen Kationen unter Beibehaltung des ursprünglichen Gittertyps stattfinden; so erklärt sich z. B. die Isotypie der Verbindungen $\text{H}_4[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] + 24 \text{H}_2\text{O}$, $\text{FeH}[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] + 28 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_2[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] + 27 \text{H}_2\text{O}$, $\text{Li}_3\text{H}[\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}] + 26 \text{H}_2\text{O}$. Die Isomorphie von $\text{H}_5[\text{BW}_{12}\text{O}_{40}] + 31 \text{H}_2\text{O}$ mit $(\text{NH}_4)_5[\text{BW}_{12}\text{O}_{40}] + 26 \text{H}_2\text{O}$ wird von O. KRAUS (20) durch die Annahme von Hydroxoniumionen im Gitter der freien Säure erklärt: miteinander isomorph sind dann in Wirklichkeit $(\text{OH}_3)_5[\text{BW}_{12}\text{O}_{40}] + 26 \text{H}_2\text{O}$ und $(\text{NH}_4)_5[\text{BW}_{12}\text{O}_{40}] + 26 \text{H}_2\text{O}$.

Nach O. KRAUS (19) muß einer großen Zahl der 12-Heteropolyverbindungen ein und derselbe Gitterbauplan zugrunde liegen, „in dem sich das komplexe Anion $[\text{XY}_{12}\text{O}_{40}]^{n-}$ und die großen Wasserkationen als fundamentale Baugruppen erweisen. Die geringe Variationsmöglichkeit in der Anordnung dieser ursprünglich kubisch angelegten Gitterkomplexe erklärt die große Einförmigkeit in den Strukturen der 12-Heteropolyverbindungen!“

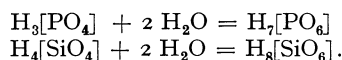
II. Die älteren Vorstellungen über den Bau der Heteropolyverbindungen.

Schon frühzeitig gab die weitgehende Ähnlichkeit vieler Heteropolyverbindungen in ihrem chemischen, physikalischen und kristallographischen Verhalten Veranlassung, sich mit der Frage ihrer Konstitution zu befassen und das ihnen gemeinsame Ordnungsprinzip zu suchen. Doch gelang es erst A. MIOLATI (2), Übersicht und Ordnung in diese umfangreiche Stoffklasse hineinzubringen. Das geschah durch seinen Vorschlag, die Grundsätze der Koordinationslehre von A. WERNER auf die Formulierung der Heteropolysäuren anzuwenden. H. COPAUX (3) und A. ROSENHEIM (4) haben sich dieser Anschauungsweise angeschlossen und viel zu ihrem Ausbau beigetragen.

Für die Reihe der 6-Heteropolysäuren (Tabelle 1, Gruppe II) war die Koordinationshypothese zweifellos recht überzeugend: es wurde angenommen, daß die in der Tellursäure, $\text{H}_6[\text{TeO}_6]$, bzw. in der Perjodsäure, $\text{H}_5[\text{JO}_6]$, um das Zentralion Te^{6+} bzw. J^{7+} herum in den Ecken eines Oktaeders regelmäßig angeordneten 6 Sauerstoffionen durch Molybdat- bzw. Wolframatgruppen vollständig ersetzt sind („gesättigte“ Heteropolyverbindungen). So ergaben sich z. B. für die 1-Perjod-6-Molybdänsäure und für die 1-Tellur-6-Wolframsäure folgende Strukturbilder: $\text{H}_5[\text{J}(\text{MoO}_4)_6]$ und $\text{H}_6[\text{Te}(\text{WO}_4)_6]$. Das Molverhältnis

nis 1:6 der Komponenten dieser Verbindungen ist also nach dieser Hypothese auf die Koordinationszahl 6 des Zentralions der zugrunde liegenden Stammsäure zurückzuführen.

Im Gegensatz zur Tellur- und Perjodsäure hat jedoch die Mehrzahl der am Aufbau von Heteropolysäuren beteiligten Stammsäuren die Koordinationszahl 4: z. B. $H_3[PO_4]$, $H_3[AsO_4]$, $H_4[SiO_4]$. Die Formulierung der 3-Heteropolysäuren (Tabelle 1, Gruppe I) machte der Koordinationshypothese keine Schwierigkeiten: die 1-Arsen-3-Molybdänsäure z. B. wurde als „ungesättigte“ Heteropolyverbindung, $H_3[AsO(MoO_4)_3]$ betrachtet. Die Struktur der zahlreichen und besonders charakteristischen Verbindungen der 12-Reihe (Tabelle 1, Gruppe III) dagegen konnte nur mittels einer Hilfsvorstellung erklärt werden: es wurde angenommen, daß die normalen 4 zähligen Säuren unter Aufnahme von Wasser in Stammsäuren übergehen könnten, deren Zentralion die Koordinationszahl 6 betätigt, z. B.:

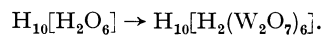


Von diesen hypothetischen Stammsäuren wurden nun die als „Grenzverbindungen“ bezeichneten 12-Heteropolysäuren durch die Annahme abgeleitet, daß die wiederum oktaedrisch um das Zentralion angeordneten 6 Sauerstoffionen durch 6 Dimolybdat- bzw. Diwolframationen ersetzt sein sollten; aus der Stammsäure $H_7[PO_6]$ entsteht so z. B. die 1-Phosphor-12-Wolframsäure mit dem Strukturbild $H_7[P(W_2O_7)_6]$.

Der hauptsächlichste Vorteil der Koordinationshypothese bestand darin, daß sie nicht nur die „gesättigten Grenzverbindungen“, sondern auch Heteropolysäuren geringeren Sättigungsgrades formulieren konnte. So wurde denn von A. MIOLATI, H. COPAUX und A. ROSENHEIM für die so zahlreichen Heteropolyverbindungen erstmalig ein umfassendes System geschaffen, und diese Tatsache führte in Verbindung mit der in den ersten 20 Jahren des Jahrhunderts besonders ausgeprägten Neigung, sich eng an die bewährten Anschauungen ALFRED WERNERS anzulehnen, dazu, daß die Koordinationshypothese allgemein angenommen wurde. So ist es zu erklären, daß einzelne insbesondere von H. COPAUX und A. ROSENHEIM vertretene Auffassungen selbst dort nur wenig Kritik fanden, wo sie — vom heutigen Standpunkt betrachtet — allzu schematisch und allzu gekünstelt erscheinen müssen.

Aus der Beobachtung, daß die freie „Metawolframsäure“, eine typische Isopolysäure, mit verschiedenen Heteropolysäuren der 12-Reihe isomorph kristallisiert, zog H. COPAUX (21) den zweifellos richtigen Schluß, daß die Metawolframsäure eine den 12-Heteropolysäuren analoge Struktur besitzen, also eine Dodekawolframsäure sein müsse. Die weitere Beobachtung aber, daß die Metawolframate beim Erhitzen einen Teil ihres Kristallwassers hartnäckig zurückhalten, führten ihn

und ROSENHEIM (22) zur Aufstellung der merkwürdigen Hypothese, daß die Metawolframsäure nicht eine Iso-, sondern in Wirklichkeit eine Heteropolysäure mit zwei als zentrale Gruppe fungierenden Wasserstoffionen sei, die sich von der hypothetischen „Aquosäure“ $H_{10}[H_2O_6] = 6 H_2O$ in der Weise ableiten sollte, daß die 6 um die zentralen Wasserstoffionen gruppierten Sauerstoffionen durch Diwolframationen ersetzt sind:

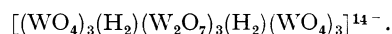


ROSENHEIM (23) hat dann später auch für die „Parawolframate“ (ebenfalls Isopolyverbindungen) eine Heteropolysäurestruktur angenommen und die Isopolyvanadate sogar von einer anderen „Aquosäure“, $H_4[H_2O_3] = 3 H_2O$, abgeleitet.

Hier wurden die wahren Verhältnisse geradezu auf den Kopf gestellt: den weniger komplizierten Isopolysäuren wurde das noch kompliziertere Aufbauprinzip der Heteropolysäuren untergeschoben und dem Wasser eine ganz besonders unwahrscheinliche Rolle zugeschrieben!

So speziell und ins einzelne gehend nun die Strukturformeln sind, die sich aus der von MIOLATI, COPAUX und ROSENHEIM entwickelten Hypothese ergeben, so wenig zureichend erscheint uns heute das zu ihrer Begründung beigebrachte Beweismaterial. Dieses beschränkt sich im wesentlichen auf umfangreiche präparative Untersuchungen, auf den Nachweis der „Höchstbasizität“ durch Messungen der Äquivalentleitfähigkeit und konduktometrisch aufgenommene Neutralisationskurven sowie auf Bestimmungen des „Konstitutionswassers“.

Als solches bezeichnete ROSENHEIM den Teil des in der betrachteten Verbindung analytisch ermittelten Wassers, der am Aufbau des Moleküllkerns beteiligt ist und nach dessen Entfernung die Verbindung zerfallen muß. Durch die Konstitutionswasserbestimmungen sollte vor allem die den Heteropolysäuren analog gedachte Struktur der Isopolyverbindungen, also ihre Formulierung als „Aquate“, gestützt werden. ROSENHEIM nahm an, daß das konstitutiv gebundene Wasser eine größere Bindungsfestigkeit haben müsse als das nur durch „Nebenvalenzen“ gebundene Kristallwasser. Heute erscheint es durchaus zweifelhaft, ob von der verschiedenen großen Haftfestigkeit der Wassermoleküle im Kristallgitter der festen Verbindung überhaupt auf die Konstitution der Komplexionen zurückgeschlossen werden darf. Tatsächlich hat sich gezeigt, daß nur in einigen Fällen, z. B. bei den Metawolframaten, der gefundene Gehalt an „Konstitutionswasser“ mit dem aus der vertretenen Strukturformel zu folgernden übereinstimmt. In vielen anderen Fällen dagegen, z. B. bei manchen „Parawolframaten“ (24), führte das Ergebnis der Konstitutionswasserbestimmungen zur Annahme ganz unwahrscheinlicher „mehrkerniger“ Polykationen, wie z. B.



Die Koordinationsformeln der Hetero- und der Isopolysäuren machen ganz bestimmte Angaben über die Molekulargröße der Verbindungen. Leider aber haben es die Schöpfer der Koordinationshypothese versäumt, durch direkte Ionengewichtsbestimmungen in den wässrigen Lösungen der Heteropolyverbindungen den exakten Nachweis zu führen, daß die diesen Stoffen zugeschriebene Struktur auch bezüglich der Molekulargröße die richtige ist. Ebenso wenig gelang es, die Produkte der sekundären Dissoziation der Heteropolyverbindungen, z. B. die Dimolybdat- und die Diwolframationen in ihren Lösungen wirklich überzeugend nachzuweisen. Dieser Nachweis aber muß als für die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der befürworteten Strukturformeln entscheidend betrachtet werden! Tatsächlich konnte später G. JANDER (5) immer wieder zeigen, daß Diwolfram- und Dimolybdatationen weder in den Lösungen der Iso-, noch in denen der Heteropolyverbindungen existieren und daß auch kristallisierte Diwolframate oder Dimolybdate aus wässrigen Lösungen nicht gewonnen werden können: Pyrowolfram- und Pyromolybdatationen gibt es nicht!

Es ist das Verdienst von G. JANDER, durch eine große Zahl sorgfältiger Untersuchungen die Strukturhypothese von MIOLATI, COPAUX und ROSENHEIM nachgeprüft zu haben. Es ist ihm vollauf gelungen, die wahren Zusammenhänge, die dieses umfangreiche Gebiet beherrschen, aufzuklären und zu einer neuen, wesentlich besser begründeten Gesamtanschauung vom Wesen der Heteropolysäuren zu gelangen. Diese neue Anschauung ist weniger formal und weniger schematisch als die alte, berücksichtigt aber weit gründlicher die Entstehungsweise der Heteropolyverbindungen und die genetischen Beziehungen, durch die sie miteinander und mit ihren Komponenten verknüpft sind. Die Koordinationshypothese von MIOLATI, COPAUX und ROSENHEIM hat sich endgültig als unrichtig erwiesen; es wäre daher zu begrüßen, wenn sie endlich auch aus unseren Hand- und Lehrbüchern verschwinden würde.

III. Bildungsweise und Wesen der Heteropolyverbindungen nach GERHART JANDER.

Der Ausgangspunkt der Experimentalarbeiten von G. JANDER (5) war die bekannte Tatsache, daß die Bildung von Heteropolyverbindungen immer nur dann erfolgt, wenn Lösungen, die zugleich das Salz der Stammsäure und das der Metallsäure enthalten, *angesäuert* werden, d. h. also, wenn beide Salze in wässriger Lösung unter Bedingungen zusammentreffen, die zu ihrer *Hydrolyse* führen. JANDER schloß daraus, daß sich die Heteropolysäuren aus den Hydrolyseprodukten aufbauen müssen, die in den angesäuerten Lösungen der Alkalisalze der Stammsäure und der Metallsäure nachweisbar sind.

Die Hydrolyse der Phosphate, Arsenate, Tellurate usw. führt bekanntlich zu den in wässriger

Lösung monomolekular verteilten freien Säuren; beim Ansäuern von Silikatlösungen (25) entsteht *primär* die einfachmolekulare „Pseudokieselsäure“. Die Hydrolysevorgänge, die sich in den Lösungen der Vanadate, Molybdate und Wolframate abspielen können, waren dagegen noch weitgehend unbekannt. Erst wenn man die in diesen Lösungen bei verschiedener $[H^+]$ beständigen Hydrolyseprodukte kannte, konnte man deren sekundäre Reaktionen, z. B. mit der Phosphorsäure, und damit die Bildung der Heteropolysäuren, verstehen.

Die Hydrolyse der Vanadate, Molybdate und Wolframate führt zu charakteristischen *Isopolysäuren*, d. h. zu Verbindungen vom Typus der Polychromsäuren. Es wurde also zunächst die Bildung der Isopolysäuren (26) studiert. Dies geschah mit Hilfe verschiedenartiger, einander ausgezeichnet ergänzender Methoden.

1. Untersuchungsmethoden (27).

a) Die *präparative* und *analytische* Untersuchung der aus den Alkalisalzlösungen verschiedener $[H^+]$ direkt auskristallisierenden Salze ergab deren genaue Zusammensetzung (Verhältnis von Basenoxyd zu Säureoxyd).

b) Durch *konduktometrische*, *potentiometrische* und *thermometrische Titrationen* der Alkalivanadat-, molybdat- bzw. wolframatlösungen mit Mineralsäure konnte die Anzahl der Wasserstoffionen ermittelt werden, die für den Aufbau der verschiedenen Isopolysäuren nötig sind.

c) Durch *Lichtabsorptionsmessungen* im sichtbaren und ultravioletten Gebiet konnte die Entstehung neuer Polyanionen nachgewiesen werden. Dabei ergab sich, daß sich die Bildung höhermolekularer Polysäuren stets durch eine Verschiebung des Beginns der Lichtabsorption nach der Seite der längeren Wellen hin bemerkbar macht (vgl. Chromat/Bichromat!).

d) Durch *Ionengewichtsbestimmungen* nach der *Diffusionsmethode* (28) ließ sich die Molekulargröße der in den Lösungen bei verschiedener $[H^+]$ existierenden Anionen direkt ermitteln. Die Molekulargewichte M_1 und M_2 zweier gelöster Stoffe sind mit ihren „Diffusionskonstanten“ D_1 und D_2 , die leicht experimentell ermittelt werden können, durch die Beziehung

$$D_1 \cdot \sqrt{M_1} = D_2 \cdot \sqrt{M_2} = \text{konst.}$$

verknüpft; die Molekulargewichte verhalten sich also umgekehrt wie die Quadrate der Diffusionskonstanten:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

Durch den Kunstgriff von ABEGG und BOSE (29), nämlich durch Ausführung der Diffusionsversuche in der etwa 10fach konzentrierten Lösung eines geeigneten Elektrolyten (z. B. $NaNO_3$ oder $NaClO_4$) statt in Wasser, gelingt es, die elektrostatische Verkettung der Anionen und Kationen aufzuheben; dies ermöglicht die direkte Bestimmung von *Ionengewichten*.

e) In neuester Zeit haben G. JANDER und H. SPANAU (30) die von H. BRINTZINGER (31) angegebene *Dialysemethode*, die der Diffusionsmethode nahe verwandt ist, nachgeprüft, verbessert und ebenfalls zur Ionengewichtsbestimmung benutzt. Die Grundlage des Verfahrens ist die Diffusion durch die Poren einer Membran hindurch (Dialyse oder Permeation). Unter der Voraussetzung, daß die Poren weit genug sind, um jede Behinderung der hindurchtretenden Moleküle oder Ionen auszuschließen (dies ist bei „Cellulosefiltern“ mit einem mittleren Porenradius von $\approx 500 \text{ \AA}$ der Fall), sind die leicht zu messenden „Dialysekoeffizienten“ λ_1 und λ_2 mit den Molekulargewichten M_1 und M_2 zweier verschiedener Stoffe durch die gleiche Beziehung miteinander verknüpft wie die Diffusionskonstanten:

$$\lambda_1 \cdot \sqrt{M_1} = \lambda_2 \cdot \sqrt{M_2} = \text{konst. oder } \frac{M_1}{M_2} = \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2}$$

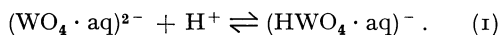
Diffusionskonstante und Dialysekoeffizient sind also einander direkt proportional. Die Dialysemethode ist besonders geeignet zur Molekular- und Ionengewichtsbestimmung in konzentrierteren Lösungen und kommt, da sie weit schneller arbeitet als die Diffusionsmethode, für die Untersuchung leicht zersetzlicher Lösungssysteme ausschließlich in Frage.

Durch Kombination der verschiedenen Versuchsergebnisse gelang es G. JANDER (26), die Hydrolysevorgänge, die sich in den Lösungen der Salze zahlreicher schwacher, mehrbasischer Säuren abspielen, aufzuklären und die im Verlauf dieser Hydrolyseprozesse auftretenden Isopolysäuren zu erfassen. Als charakteristisches Beispiel soll im folgenden das hydrolysierende System der Wolframatlösungen genauer geschildert werden.

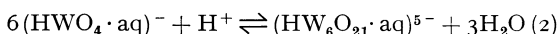
2. Die Hydrolyse der Alkaliwolframatlösungen (33).

In allen alkalischen Lösungen bis zur $[\text{H}^+] \approx 10^{-8} \text{ n}$ existieren praktisch ausschließlich die Ionen der Monowolframsäure, $(\text{WO}_4 \cdot \text{aq})^{2-}$. Der Zusatz „aq“ in dieser und den folgenden Formulierungen soll zum Ausdruck bringen, daß eine zunächst noch unbekannte Menge Wasser zum Aufbau und zur Beständigkeit des Anions unbedingt notwendig ist. Die bei 10° gemessene und mit der relativen Zähigkeit der Lösung z korrigierte Diffusionskonstante der Monowolframationen beträgt $D_{10} \cdot z = 0,53$. Aus allen alkalischen Wolframatlösungen kristallisieren die bekannten Monowolframate, $(\text{Me}_3\text{WO}_4 \cdot \text{aq}) + x \text{H}_2\text{O}$.

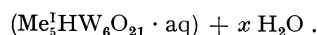
Bei vorsichtigem und langsamem Ansäuern der Monowolframatlösungen entstehen als *primäre* Hydrolyseprodukte die Hydrogenwolframationen:



Diese sind aber *nicht stabil*, sondern treten unter Mitwirkung weiterer Wasserstoffionen und unter Wasserabspaltung (Kondensation) augenblicklich zu den Ionen einer Hexawolframsäure zusammen:



Die Hexawolframationen diffundieren mit der Diffusionskonstante $D_{10} \cdot z = 0,23$. Wie Fig. 1 zeigt, vollzieht sich die reversible Umwandlung der Mono- in die Hexawolframationen in verdünnten Lösungen innerhalb eines Bereiches der $[\text{H}^+]$, der etwa zwischen 10^{-8} n und 10^{-6} n liegt. Aus neutralen und schwach sauren Wolframatlösungen ($[\text{H}^+] \approx 10^{-7} \text{ n}$ bis $\approx 10^{-4} \text{ n}$) kristallisieren die sog. „Parawolframate“, deren sorgfältige Analyse das Verhältnis $\text{Me}_3\text{O} : \text{WO}_3 = 5 : 12$ und nicht, wie früher gelegentlich angenommen wurde, $3 : 7$ ergibt (34). Die Parawolframate sind also Hexawolframate der Zusammensetzung



Parawolframatlösungen zeigen eigenartige Alterungserscheinungen (35). So nimmt z. B. ihre $[\text{H}^+]$ mit der Zeit zu. Auch die Löslichkeitsverhältnisse der

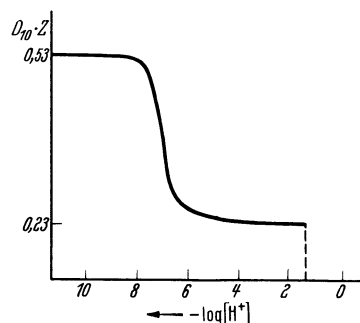
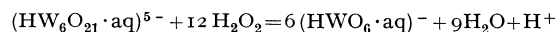


Fig. 1. Diffusion der Wolframsäureionen in 0,1 m Natriumwolframatlösung.

Parawolframate sind kompliziert und deuten auf Umwandlungen hin, die in den Lösungen vor sich gehen. Beobachtungen, die ich neuerdings bei der Einwirkung von Wasserstoffperoxyd auf Parawolframatlösungen machte, sind geeignet, das Wesen dieser Umwandlungen verständlich zu machen: Durch überschüssiges Wasserstoffperoxyd werden die Parawolframationen aufgespalten und in die Ionen der Hydrogen-diperoxy-monowolframsäure übergeführt (36):

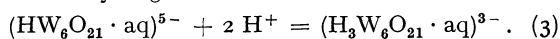


Dabei werden Wasserstoffionen frei. Es läßt sich nun zeigen, daß Parawolframatlösungen, die durch Ansäuern von Monowolframatlösungen *frisch* bereitet wurden, mit verdünntem Wasserstoffperoxyd in wenigen Minuten reagieren; dies läßt sich z. B. durch den Farbumschlag von Methylrot demonstrieren. Gealterte oder gekochte Parawolframatlösungen dagegen reagieren erst nach Stunden oder Tagen bzw. erst nach Zusatz von viel Perhydrol.

Es muß also im Lauf der Zeit das anfangs nur lockere Gefüge der Hexawolframationen fester und gegenüber der Einwirkung von Wasserstoffperoxyd widerstandsfähiger werden, und dieser Vorgang wird durch Temperaturerhöhung begünstigt. Man muß daher annehmen, daß sich zunächst reaktionsfähigere und an Konstitutionswasser (aq) reichere Formen der Hexawolframsäure bilden, die erst im Laufe der Zeit bzw. bei höherer Temperatur unter weiterer Wasserabspaltung in die schließlich *stabile*, stärker komplexe und zugleich stärker dissoziierte Form der Hexawolframsäure übergehen. Diese Deutung erklärt zu-

gleich die Zunahme der $[H^+]$. In ihrer Diffusionskonstante unterscheiden sich die verschiedenen Parawolframationen nicht merklich.

Konduktometrische Titrationsbeweisen, daß die Anionen der Parawolframate bei der $[H^+] \sim 10^{-4}n$ eine weitere Umwandlung erleiden, in deren Verlauf sich jedoch die Diffusionskonstante nicht ändert. Die Hydrogen-hexawolframationen gehen nämlich unter Aufnahme von Wasserstoffionen in die Trihydrogen-hexawolframationen über:



Diese sind nun in verdünnteren Lösungen bis zur $[H^+] \sim 10^{-1.5}n$ herauf allein stabil. Stärker angesäuerte Lösungen aber befinden sich nicht mehr im stabilen Lösungsgleichgewicht; aus ihnen fallen über kolloidale Verteilungszustände hinweg mehr oder weniger rasch Wolframtrioxydhydrate aus.

In verdünnten Wolframatlösungen existieren also nur 3 stabile Anionenarten, die Monowolframat-, die Hydrogen-hexawolframat- (Parawolframat-) und die Trihydrogen-hexawolframationen. Jede dieser Ionenarten ist nur in ganz bestimmten Bereichen der $[H^+]$ existenzfähig. In allen sauren Lösungen aber haben wir es ausschließlich mit den stark komplexen, und wie wir bald sehen werden, als geschlossene Einheit weiter reagierenden Ionen der Hexawolframsäure zu tun. Für die von der Koordinationshypothese geforderte Existenz von Diwolframationen, die den Dichromationen analog wären, sprechen dagegen nicht die leisesten Anzeichen! Sie sind in keinem Bereich der $[H^+]$ beständig.

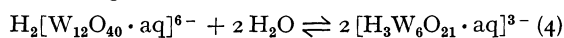
3. Die Metawolframsäure.

Verdünnte Alkaliwolframatlösungen der $[H^+] \sim 10^{-3}n$ enthalten also Trihydrogen-hexawolframationen. Konzentriert man solche Lösungen, so kristallisieren daraus Salze von der Zusammensetzung $3 Me_2O + 12 WO_3 + aq$. Säuert man nach DRECHSEL (14) konzentriertere Lösungen dieser Salze, der „Metawolframate“, in Gegenwart von Äther an, so gelingt es, die einzige frei existenzfähige Isopolywolframsäure, die „Metawolframsäure“, darzustellen. Sie zeigt nicht nur mit ihren Salzen, sondern auch (21), wie bereits oben erwähnt wurde, mit mehreren Heteropolysäuren der 12-Reihe Isomorphie. Die Metawolframsäure und die Metawolframate enthalten also in ihrem komplexen Anion zweifellos gleichfalls 12 Wolframatome. Die Metawolframsäure (Dodekawolframsäure) ist maximal 8basisch (37), bildet aber im allgemeinen nur 6basische Salze. Die Metawolframate sind also am einfachsten als $Me_6H_2(W_{12}O_{40} \cdot aq) + x H_2O$ zu formulieren.

Es erscheint zunächst verwunderlich, daß die Bildung einer Dodekawolframsäure im Diagramm der Diffusionsversuche (Fig. 1) nicht zum Ausdruck kommt; aber tatsächlich existieren in verdünnten Lösungen der Metawolframate praktisch nur die Ionen $(H_3W_6O_{21} \cdot aq)^{3-}$ der Hexawolframsäure. G. JANDER (38) schloß daraus, daß der

Molekularzustand der Metawolframsäure nicht nur von der $[H^+]$, sondern auch von der Eigenkonzentration der Wolframatlösungen abhängt.

Durch Dialyseversuche konnte G. JANDER die Richtigkeit seiner Schlußfolgerung beweisen. In Lösungen, deren Konzentration an WO_3 1,1n und höher war, wurden Dialysekoeffizienten ($\lambda_{23} \cdot z = 0,183$) gemessen, die im Vergleich mit den an 0,1n Lösungen ermittelten Werten ($\lambda_{23} \cdot z = 0,256$) auf eine Verdoppelung des Molekulargewichts der komplexen Anionen schließen lassen: die Quadrate der Dialysekoeffizienten verhalten sich wie 0,334 zu 0,645, also nahezu wie 1:2. Mit zunehmender Verdünnung wurden die Dialysekoeffizienten größer; das beweist die zunehmende Aufspaltung der Dodekawolframationen in die Ionen der Hexawolframsäure. JANDER konnte aber auch zeigen, daß diese Aufspaltung nicht nur einen rückläufigen Assoziationsvorgang, sondern eine echte Hydrolyse darstellt, die von der $[H^+]$ und vom Alter der Lösung abhängt: je älter die Lösung, um so weiter ist die Aufspaltung fortgeschritten und um so geringer ist die $[H^+]$. Absichtliche Verringerung der $[H^+]$ beschleunigt die Hydrolyse, Kochen führt sofort zur Aufspaltung. Alle diese Beobachtungen lassen sich in der folgenden Formulierung zusammenfassen:



Die mit zunehmendem Hydrolysegrad abnehmende $[H^+]$ beweist, daß die stärker komplexe Metawolframsäure, einer allgemeinen Regel folgend, im Vergleich mit der Hexawolframsäure die stärkere Säure ist. Die Umkehrung von Gl. (4) beschreibt den in stärker konzentrierten Lösungen erfolgenden Zusammentritt der Trihydrogen-hexawolframationen zu den Ionen der Dodekawolframsäure.

4. Die Bildungsweise der Phosphorwolframsäuren.

Außerordentlich interessant und bedeutungsvoll ist nun die Frage, wie sich die Kondensation der Wolframationen mit zunehmender $[H^+]$ der Lösung vollziehen wird, wenn eine zur Heteropolysäurebildung befähigte Stammsäure, z. B. Perjodsäure, Tellursäure, Arsensäure oder Phosphorsäure, zugegen ist. Die Untersuchung dieser Frage führte zu ganz besonders aufschlußreichen Ergebnissen (38).

Zunächst konnte gezeigt werden, daß die wolframhaltigen Teilchen, wenn sie überall im Diffusionszylinder überschüssige Perjodsäure oder Arsensäure vorfinden, in saurer Lösung mit der für die Hexawolframsäure charakteristischen Diffusionskonstante $D_{10} \cdot z = 0,23$ wandern. Auch sonst glichen die Diffusionsdiagramme vollkommen demjenigen der Fig. 1. Nur ist der Beständigkeitsbereich der Hexawolframationen bis weit ins stärker saure Gebiet hinein ausgedehnt; denn schon die Gegenwart sehr geringer Mengen einer zur Heteropolysäurebildung befähigten Stammsäure verhindert ja die Ausfällung von Wolframsäurehydrat.

Die hier gewählte Versuchsanordnung, d. h. die Diffusion der Wolframationen in überschüssiger Metalloidsäure, begünstigt die sekundäre Dissoziation der Heteropolysäure in ihre Bausteine; denn diese treffen überall in der Lösung auf die Ionen der Stammsäure, mit denen sie unter Heteropolysäurebildung zusammentreten können. Dies bedeutet aber die Möglichkeit einer unabhängigen Wanderung der als *sekundäre Dissoziationsprodukte* auftretenden wolframhaltigen Teilchen; diese Teilchen sind nun, wie die Versuche beweisen, Hexawolframat- und nicht, wie es die Formeln der Koordinationshypothese fordern, Diwolframationen!

Ganz dasselbe Diffusionsdiagramm (Fig. 2, Kurve I) ergab sich aber auch, wenn phosphatarmen Wolframatlösungen (P:W = 1:6) Gelegenheit gegeben wurde, in eine phosphorsäure-

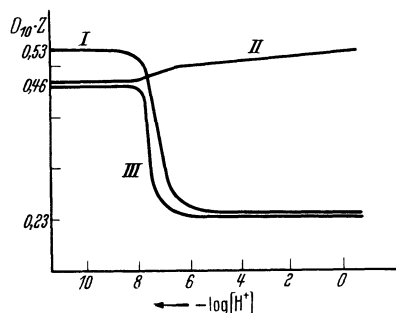


Fig. 2. Diffusion der Wolframsäure (I) und der Phosphorsäure (III) in phosphathaltiger Wolframatlösung. Diffusion der Phosphorsäure (II) in Phosphatlösung.

freie Elektrolytlösung hineinzudiffundieren. Auch hier vollzieht sich also in saurer Lösung die Bildung von Polyanionen, die 6 Wolframatome enthalten: diese Polyanionen sind unter allen Bedingungen die Bausteine der Heteropolywolframsäuren.

Besonders wertvoll aber war eine Versuchsreihe, in der erstmalig das Verhalten der Stammsäure, und zwar der Phosphorsäure, bei dem Vorgang der Heteropolysäurebildung geprüft wurde. Es sollte hierbei ermittelt werden: 1. mit welcher Geschwindigkeit die Phosphationen einer gemischten Lösung von Natriumwolframat und Natriumphosphat in die darüber geschichtete Lösung eines geeigneten Elektrolyten (NaNO_3) hineindiffundieren; 2. ob die Diffusionskonstante der Phosphorsäure durch die gleichzeitig wandernden wolframhaltigen Teilchen beeinflusst wird oder nicht; 3. bei welcher $[\text{H}^+]$ gegebenenfalls eine solche, nur durch *Verbindungsbildung* erklärbare Beeinflussung der Beweglichkeit der Phosphorsäure eintritt.

Kurve II der Fig. 2 gibt zunächst einmal das Diffusionsvermögen der Phosphorsäure (39) allein in alkalischen und sauren Lösungen wieder. Sie zeigt, daß die Phosphorsäure stets einfachmolekular verteilt ist und mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit ($D_{10} \cdot z = 0,46$ im alkalischen Be-

reich!) diffundiert. Die Verschiedenheit der Ladung und Hydratation der in den einzelnen Lösungen jeweils vorherrschenden Teilchen ($(\text{PO}_4 \cdot \text{aq})^{3-}$, $(\text{HPO}_4 \cdot \text{aq})^{2-}$, $(\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot \text{aq})^-$ und $(\text{H}_3\text{PO}_4 \cdot \text{aq})$) kommt darin zum Ausdruck, daß die in Lösungen verschiedener $[\text{H}^+]$ gemessenen Diffusionskonstanten ein wenig voneinander abweichen.

Kurve III der Fig. 2 zeigt, wie die phosphorsäurehaltigen Teilchen bei verschiedener $[\text{H}^+]$ diffundieren, wenn in der Lösung neben 1 Mol Phosphat 12 Mole Wolframat zugegen sind: in allen alkalischen Lösungen, bis zur $[\text{H}^+] \sim 10^{-8}$ n, diffundiert die Phosphorsäure (Kurve III) unabhängig von der Wolframsäure (Kurve I) mit der ihr eigenen Diffusionskonstante; Phosphat- und Wolframationen beeinflussen einander nicht. Sobald aber mit allmählich zunehmender $[\text{H}^+]$ die Diffusionskonstante der wolframhaltigen Teilchen (Kurve I) infolge der fortschreitenden Hexawolframsäurebildung mehr und mehr abnimmt, sinkt auch, und zwar einem sehr steilen Kurvenabschnitt folgend, die Diffusionskonstante der Phosphorsäure, um endlich — und zwar schon in einer Lösung, bei deren $[\text{H}^+]$ erst die Hälfte der überhaupt vorhandenen Wolframsäure zur Hexawolframsäure kondensiert ist — den Wert $D_{10} \cdot z = 0,23$, also die Diffusionskonstante der Hexawolframsäure, zu erreichen. Die Kurven I und III werden also nunmehr identisch, Phosphorsäure und Wolframsäure diffundieren mit gleicher Geschwindigkeit. Das aber kann nur bedeuten, daß die Hexawolframsäure in dem Maße, wie sie sich aus der Monowolframsäure bildet, mit der Phosphorsäure zu einer neuen, offenbar außerordentlich festen und als neue geschlossene Einheit diffundierenden Verbindung, der 1-Phosphor-6-Wolframsäure, zusammentritt!

Aus diesen Versuchen ergeben sich also mit voller Sicherheit die Teilreaktionen, die zum Aufbau der Phosphorwolframsäuren führen:

1. Wie in phosphorsäurefreien Wolframatlösungen treten zunächst die Monowolframationen unter Verbrauch von Wasserstoffionen zu einer Isopolysäure, der Hexawolframsäure, zusammen.

2. Sodann vereinigen sich die Phosphorsäure und die Hexawolframsäure, wieder unter Mitwirkung von Wasserstoffionen, zur 1-Phosphor-6-Wolframsäure, einer neuen einheitlichen Verbindung. Die Neigung dieser Heteropolysäure zur sekundären Dissoziation ist bei dem in den untersuchten Lösungen herrschenden Wolframsäureüberschuß (P:W = 1:12) so klein, daß schon sehr geringe Säurekonzentrationen genügen, um die Bildung bzw. Stabilisierung dieser Verbindung zu erreichen.

3. In verdünnten Lösungen, die Phosphorsäure und Wolframsäure enthalten und deren $[\text{H}^+]$ oberhalb 10^{-7} n liegt, können also je nach den Versuchsbedingungen — $[\text{H}^+]$, Konzentration der Komponenten und deren Konzentrationsverhältnis — folgende 3 Verbindungen vorliegen: die Phosphorsäure, die Hexawolframsäure und die

1-Phosphor-6-Wolframsäure. Sie sind die Bausteine, die in wechselnden, aber einfachen und ganzzahligen Verhältnissen zu den verschiedenen Phosphorwolframsäuren zusammentreten.

Tabelle 3 enthält einige von A. ROSENHEIM und E. BRAUER (16) bei 25° durchgeführte Messungen der [H⁺] 0,005n Lösungen freier Heteropolysäuren der 12-Reihe. Zum Vergleich sind die entsprechenden Zahlenwerte für die Borsäure und die Phosphorsäure angefügt.

Tabelle 3. Wasserstoffionenkonzentration äquivalenter Lösungen von 12-Heteropolysäuren.

Verbindung	pH ⁺	[H ⁺]
1-Silico-12-Molybdänsäure . .	2,27	4,3 · 10 ⁻³ n
1-Silico-12-Wolframsäure . .	2,54	2,9 · 10 ⁻³ n
1-Phosphor-12-Molybdänsäure	2,24	5,8 · 10 ⁻³ n
1-Phosphor-12-Wolframsäure .	2,39	4,1 · 10 ⁻³ n
1-Bor-12-Wolframsäure	2,45	3,5 · 10 ⁻³ n
Phosphorsäure	2,74	1,8 · 10 ⁻³ n
Borsäure	4,98	1,1 · 10 ⁻⁵ n

Wie soeben gezeigt wurde, sind die 12-Heteropolysäuren in so verdünnten Lösungen praktisch vollständig in ihre Hydrolyseprodukte aufgespalten. Die Lösungen enthalten also in äquimolekularer Menge Hexawolfram(molybdän-)säure und 1-Phosphor(Silico-, Bor-)6-Wolfram(Molybdän-)säure. Die [H⁺] aller dieser Lösungen ist nahezu doppelt so groß als die einer äquivalenten Lösung von Phosphorsäure. *Die in den Lösungen vorliegenden 6-Heteropolysäuren sind also nicht nur sehr komplex, sie stellen vielmehr auch verhältnismäßig starke Säuren dar.*

Alle Lösungen haben praktisch die gleiche [H⁺]. Dies muß zum Teil auf die puffernde Wirkung der freien Hexawolfram(molybdän-)säure zurückgeführt werden; andererseits sind die als zweites Hydrolyseprodukt auftretenden 6-Heteropolysäuren offenbar alle sehr gleichartig aufgebaut. Auch scheint die Stärke der Stammsäure die Dissoziationsfähigkeit der 6-Heteropolysäuren nur unwesentlich zu beeinflussen: die [H⁺] der Borsäure und die der Phosphorsäure verhalten sich etwa wie 1:160, die der entsprechenden 6-Heteropolysäuren des Wolframs nur wie 1:1,2.

5. Kristallisierte Phosphorwolframate.

Systematische präparative Untersuchungen (40) bestätigten durchaus, daß die Phosphorsäure und die Hexawolframsäure bzw. die 1-Phosphor-

6-Wolframsäure die einfachen Bausteine sind, aus denen sich alle Phosphorwolframsäuren aufbauen, deren Salze aus wässriger Lösung direkt kristallisieren.

Tabelle 4 gibt eine Zusammenstellung der von G. JANDER erneut dargestellten und kritisch nachgeprüften Phosphorwolframate.

Man erkennt zunächst, daß Phosphorwolframate überhaupt nur aus sauren Lösungen kristallisieren, ferner daß um so wolframsäurereichere Verbindungen erhalten werden, je mehr in der Darstellungslösung das Verhältnis von Phosphat zu Wolframat zugunsten des letzteren verschoben ist. Aber auch steigende Wasserstoffionenkonzentration begünstigt die Kristallisation wolframsäurereicherer Verbindungen. Stets aber tritt als geschlossene Einheit die Hexawolframsäure in die jeweils gebildete Polysäure ein: das Verhältnis von Phosphat zu Hexawolframat ist in den Salzen der Tabelle 4 stets ein ganzzahliges.

Die Art der Verknüpfung der Phosphorsäure mit der Hexawolframsäure ist bei den einzelnen Verbindungen offenbar sehr verschieden. Das beweisen zahlreiche Beobachtungen bei der Darstellung und Analyse der Salze.

Die phosphorsäurereicheren, aus schwächer-sauren Lösungen auskristallisierenden farblosen Verbindungen sind nur schwach komplex. In ihnen liegt die Hexawolframsäure offenbar als konstitutionswasserreiches Parawolframat vor. Dafür spricht insbesondere die Beobachtung, daß solche Verbindungen nur aus Lösungen von Phosphat und Wolframat gewonnen werden können, die *gemeinsam* angesäuert wurden; aus Lösungsgemischen von Phosphat und kristallisiertem Parawolframat konnten dagegen phosphorsäurereichere Phosphorwolframate nicht erhalten werden.

Die aus stärker sauren Lösungen kristallisierenden, an Hexawolframsäure reicheren Verbindungen sind wesentlich stärker komplex. Sie entstehen aus den Trihydrogen-hexawolframationen und der Phosphorsäure unter Mitwirkung von Wasserstoffionen in erneuten Kondensationsvorgängen. Die Art der gegenseitigen Verknüpfung der Komponenten und der Grad der Komplexität ist auch hier wieder verschieden. Die 1-Phosphor-12-Wolframsäure ist farblos; ihre Bausteine sind, wie oben eingehend besprochen, die Hexawolframsäure und

Tabelle 4. Kristallisierte x-Phosphor-y-Hexawolframate.

Mol-Verhältnis von Phosphat zu Wolframat in der Darstellungslösung	Konzentration der Darstellungslösung	pH ⁺ der Mutterlauge	Zusammensetzung der Polyverbindung	Phosphorsäure (x) zu Hexawolframsäure (y)
1:3 bis 1:6	höchst konz.	7,5—5,5	3 Na ₂ O + P ₂ O ₅ + 6 WO ₃ + aq	2:1
1:4 bis 1:6	höchst konz.	4,5—4,0	6 Na ₂ O + 1,5 P ₂ O ₅ + 12 WO ₃ + aq	3:2
4:1	höchst konz.	3 —1	3 (NH ₄) ₂ O + P ₂ O ₅ + 18 WO ₃ + aq	2:3
4:1	höchst konz.	3 —1	Säure: P ₂ O ₅ + 18 WO ₃ + aq	2:3
1:6 bis 1:12	verdünnt	2 —3	10 BaO + 1,5 P ₂ O ₅ + 30 WO ₃ + aq	3:5
1:6 bis 1:12	konzentr.	1 —0	3 Na ₂ O + P ₂ O ₅ + 24 WO ₃ + aq	1:2
1:6 bis 1:12	konzentr.	1 —0	Säure: P ₂ O ₅ + 24 WO ₃ + aq	1:2

eine (farblose) 1-Phosphor-6-Wolframsäure. G. JANDER gelang es neuerdings (47), seine schon früher (37) ausgesprochene Vermutung, daß die 1-Phosphor-12-Wolframsäure genau so wie die mit ihr isomorphe Metawolframsäure in konzentrierterer Lösung nicht mehr hydrolysiert, sondern tatsächlich als Phosphor-Dodekawolframsäure vorliegt, gemeinsam mit F. EXNER durch Dialyseversuche experimentell zu beweisen. Besonders fest gebunden ist die Phosphorsäure in der 2-Phosphor-3-Hexawolframsäure. Schon ihre gelbgrüne Farbe beweist den hohen Kondensationsgrad dieser Verbindung, die sich *langsam* beim Kochen hochkonzentrierter und stark saurer Lösungen bildet. Aber auch diese Säure hydrolysiert in verdünnter Lösung: dabei entsteht, wie in neuester Zeit ebenfalls G. JANDER und F. EXNER zeigen konnten, in Lösungen, die an WO_3 etwa 1,5 bis 2 m sind, zunächst eine 1-Phosphor-9-Wolframsäure; erst bei weiterer Verdünnung treten als Hydrolyseprodukte Hexawolframsäure und eine 1-Phosphor-6-Wolframsäure auf. Doch ändert sich bei der Hydrolyse die Farbe der Lösung nicht: die hier als Baustein beobachtete gelbe 1-Phosphor-6-Wolframsäure ist also stärker kondensiert als die entsprechende farblose Verbindung. Sie ist auch weit stärker komplex, denn nur durch längeres Kochen mit Natronlauge läßt sie sich in Phosphat- und Monowolframationen aufspalten.

Ganz besonders auffallend erscheint die Tatsache, daß weder die farblose noch die gelbe 1-Phosphor-6-Wolframsäure in Form kristallisierter Salze erhalten werden konnte. Die von E. PÉCHARD und H. DUFET (41) beschriebenen farblosen Verbindungen erwiesen sich als nicht reproduzierbar. Trotz ihrer Komplexität scheinen die 1-Phosphor-6-Wolframsäuren nur in Lösung existenzfähig zu sein, nicht aber in ein Kristallgitter eintreten zu können. Aus stärker sauren Lösungen, die Natriumphosphat und Natriumhexawolframat in gleichen Molmengen enthalten, kristallisieren vielmehr stets hexawolframsäurereichere Verbindungen.

6. Das Wesen der Heteropolysäuren.

Die beschriebenen Untersuchungen erlauben, folgende experimentell wohl begründete Aussagen über den Aufbau und das Wesen der Heteropolysäuren zu machen:

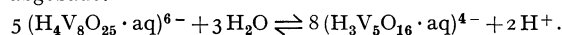
1. Die Heteropolysäuren entstehen durch Zusammenschluß von Isopolyanionen mit der Stammsäure. Stets wirken dabei auch Wasserstoffionen mit, so daß unter Austritt von Wasser stärker kondensierte Verbindungen entstehen. *Die Heteropolysäuren sind also Verbindungen noch höherer Ordnung als die Isopolysäuren.*

Die Heteropolyverbindungen des Wolframs und des Molybdäns enthalten als Bausteine die verschiedenen Formen der Hexawolframsäure bzw. der Hexamolybdänsäure, die Bausteine der Phosphorvanadinsäuren sind die Ionen der Oktovanadinsäure.

2. Die Bindung der Stammsäure an die Isopolysäure erhöht nicht unerheblich deren Stabilität, vor allem gegenüber der Einwirkung von Wasserstoffionen: die Gegenwart von Phosphorsäure z. B. führt zur Bildung der stark komplexen, auch in stärker sauren Lösungen stabilen 1-Phosphor-6-Wolframsäure und verhindert, daß die Hexawolframsäure sich weiter unter Kondensation polymerisiert und als schwer lösliches Wolframsäurehydrat ausfällt.

Aber auch hydrolytische Einwirkungen können unter Umständen durch die Bindung der Isopolysäure an die Stammsäure verhindert werden. Ein gutes Beispiel dafür ist die Bildung der Phosphorvanadinsäuren (42):

In Alkalinanadatlösungen sind mit zunehmender $[\text{H}^+]$ nacheinander Mono-, Di-, Tetra- und Oktovanadinsäureionen nachweisbar. Die letzteren sind allerdings sehr unbeständig. Sie werden durch Wasser zu den sehr stabilen Ionen der Pentavanadinsäure abgebaut:



In Gegenwart von Phosphorsäure aber wird dieser Abbau verhindert bzw. stark verzögert, weil sich beständige x -Phosphor- y -Oktovanadinsäuren bilden. Salze dieser schwach komplexen Heteropolysäuren können aus angesäuerten, phosphathaltigen Vanadatlösungen zur Kristallisation gebracht werden.

Heteropolysäuren sind also gleichsam stabilisierte Isopolysäuren.

3. Die Art der Bindung der Isopolyanionen an die Ionen der Stammsäure kann zweifellos recht verschiedenartig sein. Daher unterscheiden sich die Heteropolyverbindungen auch hinsichtlich der Bindungsfestigkeit ihrer Komponenten sehr stark voneinander.

Eine genauere Vorstellung über den Bau der einzelnen Iso- und Heteropolysäuren läßt sich jedoch aus der Gesamtheit der bisher vorliegenden Untersuchungen über ihr Verhalten in Lösung noch nicht ableiten. Mit Absicht sind daher von G. JANDER und seinem Arbeitskreis bisher nur summarische Formulierungen, nicht aber speziellere Strukturangaben gemacht worden. Dies geschah, um genauestens das auszudrücken, was die experimentellen Erfahrungen mit Sicherheit erkennen lassen, nicht mehr und nicht weniger. *Man darf aber wohl mit Recht erwarten, daß die tatsächlichen Strukturen der Heteropolysäuren ihre enge Verwandtschaft mit den an ihrem Aufbau beteiligten Isopolysäuren erkennen lassen*; man wird also annehmen müssen, daß die Salze der x -Phosphor- y -Oktovanadinsäuren als gesondert erkennbare Bausteine tatsächlich Oktovanadatgruppen enthalten und daß die x -Phosphor- y -Hexawolfram(molybdän-)säuren Strukturen haben, in denen als einheitliche Bauelemente Hexawolfram(molybdän-)säuregruppen auftreten.

In diesem Zusammenhang ist es nun von besonderem Interesse, die bisher vorliegenden Ergebnisse der Röntgenstrukturuntersuchungen zu betrachten, die sich mit dem Bau kristallisierter Heteropolyverbindungen beschäftigt haben.

(Schluß folgt.)

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über eine beachtenswerte Erscheinung bei der enzymatischen d-Peptid-Spaltung.

Zur Frage nach der Ursache der sterischen Steuerung
beim Eiweiß-Ab- und Aufbau.

Für die Feststellung, ob ein Enzympräparat zur Spaltung von d-Peptiden befähigt ist, sollten sich die reine d-Komponente und das Gemisch der d- und l-Komponente, nämlich das d, l-Peptid, gleichermaßen eignen. In dieser Voraussetzung liegt die letzte Begründung, warum in den bisherigen Untersuchungen bald von dem einen, bald von dem anderen Substrat Gebrauch gemacht wurde.

In Wirklichkeit sind die Verhältnisse indes verwickeltere. Im extremsten Fall kann ein Enzympräparat die reine d-Komponente recht gut spalten, im Versuch mit dem d, l-Peptid jedoch ohne jede erkennbare Einwirkung auf die d-Komponente sein: die Spaltung bleibt nach Aufspaltung des l-Anteils, also bei 50%, praktisch stehen. Dieser Fall ist beispielsweise verwirklicht bei Glycerinauszügen aus menschlichen Ovarien^{1, 2)}. Wie die Versuche der Tabelle zeigen, werden unter den dort angegebenen Bedingungen von 2 ccm Glycerinauszug im Fall des d-Peptids bereits in 10 Stunden 60% des Substrats gespalten. Im Parallelversuch mit d, l-Peptid erfolgt zunächst die Spaltung des l-Anteils; sie geht sehr rasch vor sich und ist nach 1 Stunde praktisch vollständig. In den weiteren 9 Stunden, selbst nach 240 Stunden, ist aber kein weiteres Fortschreiten der Hydrolyse feststellbar. Legt man die im d-Peptid-Versuch beobachtete Umsetzungsgeschwindigkeit zugrunde, so sollte im d, l-Peptid-Versuch die völlige Aufspaltung des d-Anteils (und damit die 100proz. Spaltung des d, l-Peptids) nach rund 21 Stunden erreicht sein. Denn es verhält sich die Umsetzungsgeschwindigkeit des d-Peptids zu der des l-Peptids (letztere gemessen im d, l-Peptid-Versuch) wie 1:20.

Tabelle. Vergleich der Spaltung von d-Leucylglycin³⁾ und d, l-Leucylglycin³⁾ durch Glycerinauszug aus menschlichen Ovarien.

(6 g zerriebene Ovarien + 18 g Glycerin 4 Tage bei Zimmertemperatur extrahiert; Versuchs-Ans. von 5 ccm enthält 0,047 g d-Peptid bzw. 0,094 g d, l-Peptid, MnCl₂⁴⁾ in einer Konzentration entsprechend einer 0,001-molaren Lösung und 2 ccm zentrif. Ovarienextraktes; dem Ans. sind 5 Tropfen Toluol zugefügt. $p_H = 7,8$ eingest. mit KOH; Vers. Temp. 37°; Titrationsverfahren nach R. WILLSTÄTTER und E. WALDSCHMIDT-LEITZ; in der Titrationsprobe von 1 ccm zeigt 1,00 ccm verbrauchter n/20-KOH beim d-Peptid-Versuch 100%, beim d, l-Peptid-Versuch 50% Spaltung an. Die geringen Werte der Aciditätszunahme in den Versuchen: Enzym ohne Substrat sind bei den nachstehenden Werten bereits in Abzug gebracht.)

Versuchsdauer Stunden	Aciditätszuwachs (ccm n/20-Lauge) in 1 ccm Untersuchungssprobe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d, l-Leucylglycin	
1/2	0,04	(4%)	0,54	(27%)
10	0,60	(60%)	0,98	(49%)
100	0,96	(96%)	—	—
240	—	—	1,00	(50%)

1) Über d-Peptid-Spaltung durch menschliche und tierische Gewebe, vor allem solche, in denen sich dauernd Zellreifungs- bzw. Regenerationsvorgänge abspielen, und solche, die durch Neubildung unreifer Zellen charakterisiert sind, berichten wir in der Biochem. Z.

2) Für das freundliche Entgegenkommen, das wir bei der Beschaffung von Organen fanden, danken wir dem Direktor des Pathologischen Instituts unserer Universität, Herrn Professor Dr. E. LETTERER, sowie Herrn Dr. W. MASSHOFF bestens.

3) Der Chemischen Fabrik F. Hoffmann-La Roche u. Co. A.-G., Basel, sprechen wir für sehr wertvolle Beihilfe unseren aufrichtigen Dank aus.

4) Über die Mangan-Aktivierung der d, l-Peptid- und d-Peptid-Spaltung siehe E. BAMANN und O. SCHIMKE, Biochem. Z. 308, 130 (1941) — Naturwiss. 29, 365 (1941).

Die Folgerung aus unseren Beobachtungen in praktischer Hinsicht ist die, daß in Versuchen mit d, l-Peptiden die d-Peptid-Spaltung völlig ausbleiben kann, obwohl „d-Peptidase“ vorhanden ist. Nach den bisherigen Erfahrungen ist dies besonders, vielleicht ausschließlich, bei Enzympräparaten tierischer⁵⁾ Herkunft der Fall. Selbst wenn aber diese extreme Auswirkung bei einem Enzympräparat nicht gegeben ist, so ergibt sich doch immer ein falsches Bild von den Reaktionsverhältnissen der l- und d-Peptid-Spaltung. Sowohl quantitative als auch qualitative Aussagen über d-Peptid-Spaltung setzen demnach die Benützung der reinen d-Komponente voraus. Eine Reihe von Aussagen und Folgerungen im bisherigen Schrifttum ist daher zu revidieren.

In dieser Blockierung der Spaltung der d-Komponente darf man wohl auch mit einem Grund sehen erstens für die späte Entdeckung der d-Peptid-Spaltung und zweitens für die „zum Teil sehr widersprechenden Befunde“ auf diesem Gebiete⁶⁾.

Die Ursache der Blockierung ist in den Affinitäts- und Zerfallsverhältnissen zu suchen. Das bei der voraussetzenden Spaltung der l-Komponente im d, l-Peptid-Versuch entstehende Spaltungsprodukt⁷⁾ l-Leucin, das nach Aufspaltung dieser Komponente in 0,05-molarer Lösung vorliegt, macht die Hydrolyse der d-Komponente völlig unmöglich. In Versuchen mit dem d-Peptid unter Zusatz von Glykokoll bzw. l-Leucin bzw. Glykokoll + l-Leucin (jeweils 0,05-molar) bleibt in den beiden letzten Fällen die d-Peptid-Spaltung vollkommen aus, während Glykokollzusatz ohne wesentliche Auswirkung ist. Es ist wahrscheinlich, daß die d-Peptid-Spaltung bereits durch eine geringere Konzentration als 0,05-molar blockiert wird. Das kann man daraus schließen, daß im d, l-Peptid-Versuch die Spaltung meist sehr genau bei 50% stehen bleibt: Die Spaltung der beiden Komponenten verläuft also nicht oder höchstens nur ganz kurze Zeit gemeinsam nebeneinander. Bei der weiteren experimentellen Klärung wird man von den Erfahrungen ausgehen, die sich vor mehreren Jahren bei der Erforschung der Reaktionsverhältnisse im Falle enzymatischer Esterspaltung ergeben haben. Besonders wertvoll können dabei die bei der Aufklärung der Konfigurationsspezifität der Leberesterase des Menschen gewonnenen Erkenntnisse⁸⁾ werden. Danach hat man bei der Analyse der Vorgänge bei der Spaltung von Substrat-

5) Über d-Peptidspaltung durch Enzympräparate pflanzlicher Herkunft siehe E. BAMANN und O. SCHIMKE, Naturwiss. 29, 365 (1941).

6) Hierzu äußern sich H. HERKEN u. H. ERKLEBEN kürzlich folgendermaßen: „Ob die Ungenauigkeit der zum Nachweis der Fermente verwandten Methoden hierfür mit herangezogen werden kann, ist bisher weder sicher bewiesen noch widerlegt. Hoppe-Seylers Z. 269, 47 (1941).“

7) Daß Aminosäuren auf den zeitlichen Verlauf der Peptid-Spaltung einen meist hemmenden Einfluß ausüben, ist vor allem durch Untersuchungen von E. ABDERHALDEN und seinen Mitarbeitern seit längerem bekannt. Siehe dazu: E. ABDERHALDEN, E. RINDTORFF u. A. SCHMITZ, Fermentforsch. 10, 233 (1928); hier sind auch die früheren Arbeiten aufgeführt. — E. ABDERHALDEN u. O. HERRMANN, ebenda 10, 610 (1928). — E. ABDERHALDEN u. G. EFFKEMANN, ebenda 14, 27 (1933). — A. K. BALLS u. F. KÖHLER, Ber. dtsch. chem. Ges. 64, 34, 294 (1931). — H. v. EULER u. Z. J. KERTÉCZ, ebenda 61, 1525 (1928). — H. v. EULER, S. MYRBÄCK u. K. MYRBÄCK, ebenda 62, 2194 (1929). — A. FODOR u. R. COHN, Hoppe-Seylers Z. 176, 17 (1928). — W. GRASSMANN u. H. DYCKERHOFF, ebenda 175, 18 (1928). — W. GRASSMANN u. L. KLENK, ebenda 186, 26 (1930). — W. GRASSMANN, L. KLENK u. T. PETERS-MAYR, Biochem. Z. 280, 307 (1935). — K. LINDERSTRÖM-LANG, Hoppe-Seylers Z. 188, 48 (1930). — H. A. OELKERS, Biochem. Z. 226, 185 (1930). — M. SATO, C. R. Trav. Lab. Carlsberg 19, Nr 1, 4 (1931), u. a.

8) G. M. SCHWAB, E. BAMANN u. P. LAEVERENZ, Hoppe-Seylers Z. 215, 121 (1933) — E. BAMANN, CH. FEICHTNER u. W. SALZER, Biochem. Z. 288, 310 (1936); vgl. auch E. BAMANN u. M. SCHMELLER, Hoppe-Seylers Z. 188, 251 (1930).

gemischen auch die gegenseitige Beeinflussung der Substrate und den Einfluß der Spaltungsprodukte mit in Rechnung zu setzen. Diese Überlegungen haben gleichermaßen Gültigkeit, ob die Peptid-Spaltung durch Enzyme mit absoluter oder relativer Spezifität⁹⁾ verursacht wird.

Unsere Beobachtung hat eine gewisse Parallele in der Literatur. W. GRASSMANN¹⁰⁾ hat vor nunmehr fast fünfzehn Jahren die Entdeckung gemacht, daß die Hydrolyse des Leucyl-diglycyl-glycins recht scharf nach der Auflösung einer Peptidbindung zum Stillstand kommt, wofür die hemmende Wirkung des gebildeten *l*-Leucins als verantwortlich erkannt wurde¹¹⁾. Dieser Befund ergänzte die Erfahrungen von H. H. WEBER und H. GESENIUS¹²⁾, die kurz zuvor über eine fast vollkommene Hemmung der Eiweißhydrolyse durch verhältnismäßig hochmolekulare Spaltungsprodukte berichteten, um ein Beispiel aus dem Gebiet einfacher, niedermolekularer Substanzen. Mit Recht forderten und warnten damals GRASSMANN und DYCKERHOFF: „Man wird bei der Beurteilung der beim fraktionierten enzymatischen Eiweißabbau gefundenen enzymatischen Einzelleistungen sorgfältig zu prüfen haben, wieweit die beobachteten Reaktionsstillstände durch die hemmende Wirkung von Abbauprodukten vorgetäuscht sein können.“ Verviesen sei schließlich auch noch auf eine eindrucksvolle Beobachtung aus jüngster Zeit, daß nämlich die Histidase-Wirkung in Anwesenheit „unnatürlichen“ *d*-Histidins fast bis zum Nullwert gehemmt wird¹³⁾.

Der hier mitgeteilte Befund wirft nicht nur interessante Fragen enzymchemischer und reaktionskinetischer Art auf. Die Erscheinung als solche kann vielmehr — insbesondere wenn sie bei zahlreicheren Substraten auftritt — wohl auch entscheidend für den Verlauf des Stoffwechsels in der tierischen und pflanzlichen Zelle sein und gäbe dementsprechend Raum für Vorstellungen über die wichtigen Vorgänge, an denen Eiweißstoffe und ihre Bausteine beteiligt sind. Man müßte darin dann z. B. einen Faktor sehen, der für die sterische Steuerung des Eiweiß-Auf- und -Abbaues von wesentlicher Bedeutung ist. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß auch ein Schlüssel für die nähere Charakterisierung spezieller, z. B. pathologischer Vorgänge, etwa derjenigen im Carcinomgewebe, sowie der günstigen Beeinflussung des Zustandes Carcinomatöser nach Injektionen von *d*,*l*-Peptiden¹⁴⁾ gegeben wäre. Auch für den Versuch, Unterscheidungsmerkmale des proteolytischen Enzymsystems verschiedenartigen Gewebes aufzudecken, ergeben sich neue Anregungen und Gesichtspunkte.

Tübingen, Pharmazeutische Abteilung des Chemischen Instituts der Universität, den 25. Juni 1941.

E. BAMANN, [†]O. SCHIMKE.

⁹⁾ E. BAMANN u. O. SCHIMKE, Naturwiss. 29, 365 (1941).

¹⁰⁾ W. GRASSMANN, Hoppe-Seylers Z. 167, 202 (1927).

¹¹⁾ W. GRASSMANN u. H. DYCKERHOFF, Hoppe-Seylers Z. 175, 18 (1928).

¹²⁾ Biochem. Z. 187, 410 (1927).

¹³⁾ S. EDLBACHER, H. BAUR u. M. BECKER, Hoppe-Seylers Z. 265, 61 (1940).

¹⁴⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ, K. MAYER u. R. HATSCHKE, Hoppe-Seylers Z. 263, I (1940) — E. WALDSCHMIDT-LEITZ, R. HATSCHKE u. R. HAUSMANN, ebenda 267, 79 (1940) — E. WALDSCHMIDT-LEITZ, Angew. Chem. 54, 292 (1941) — Persönliche Mitteilung; vgl. indes hierzu E. ABDERHALDEN u. R. ABDERHALDEN, Fermentforsch. 16, 339 (1941) — H. BAYERLE, G. BORGER u. F. H. PODLOUCKY, Biochem. Z. 307, 341 (1941). — J. BERGER, M. J. JOHNSON u. C. A. BAUMANN, J. of biol. Chem. 137, 389 (1941). — Ob die Wirkung des *d*,*l*-Peptids, wie von einigen Autoren angenommen wird, darin zu sehen ist, daß es den Organismus zur Bildung von „*d*-Peptidase“ anregt, ist noch umstritten. Unsere Befunde, vor allem die Blockierung der *d*-Peptid-Katalyse durch *l*-Leucin, deuten nach einer anderen Richtung. Es erscheint angebracht, auch die Wirkung der Spaltungsprodukte im Tier- und klinischen Versuch festzustellen. — Wir regen gleichzeitig an, auch die Auswirkung des „*d*-Peptidase“-Aktivators Mangan nach Zufuhr in normales und pathologisches Gewebe zu prüfen.

Eine neue Methode zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten und des Verlustfaktors dielektrischer Stoffe im cm-Wellenbereich.

Die üblichen hochfrequenten Methoden zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten ϵ und des Verlustfaktors $\text{tg } \delta$

dielektrischer Materialien begegnen mit kürzer werdender Wellenlänge wachsenden Schwierigkeiten. Dies gab Veranlassung dazu, im Zentimeterwellenbereich zu optischen Methoden überzugehen. So lassen sich ϵ und $\text{tg } \delta$ aus Absorptions- und Reflexionsmessungen beim Einfall ebener Wellen auf planparallele Platten bestimmen¹⁾. Neuerdings werden auch Hohlleiter mit rechteckigem Querschnitt benutzt, an deren einem Ende eine ebene Platte aus dem Versuchsmaterial nächst der metallischen Abschlußplatte angeordnet ist. Wird der Hohlleiter durch elektromagnetische Wellen erregt, so überlagert sich der einfallenden Welle eine am Abschluß reflektierte Welle. Dabei ist auf die durch das Dielektrikum verursachte Feldverzerrung zu achten, die durch die Forderung der Stetigkeit des elektrischen und magnetischen Feldes an der Grenzfläche des Dielektrikums bedingt ist. Aus der Verteilung des elektrischen Feldes längs der Achse des Hohlleiters, die durch einen Detektor abgegriffen wird, läßt sich ϵ und $\text{tg } \delta$ des Versuchsmaterials ermitteln²⁾.

Im folgenden wird eine Methode angegeben, die von einem kreiszylindrischen elektromagnetischen Hohlraumresonator Gebrauch macht; die Proben besitzen die Form zylindrischer Stäbe, was einfache Herstellung und geringen Materialaufwand bedeutet. Die im Innern des Hohlraumes auftretenden elektromagnetischen Verhältnisse sind genau definiert, nicht durch Randstörungen oder äußere Störwirkungen beeinflusst und einer exakten theoretischen Behandlung zugänglich.

Der Hohlraum wird in der elektrischen Grundschwingung erregt³⁾. Die elektrische Feldstärke besitzt nur eine Komponente E_z parallel zur Zylinderachse, die magnetische Feldstärke eine zirkulare Komponente H_φ . Die Resonanzwelle ist, unabhängig von der Höhe des Zylinders, bestimmt durch $\lambda = 2,61 \cdot R$ (R Radius des kreiszylindrischen Hohlraums). Wird die stabförmige Probe zentrisch in den „leeren“ Hohlraum eingebracht, so bleibt der prinzipielle Charakter des Feldbildes erhalten; die Anwesenheit des Probestabes modifiziert nur den radialen Verlauf des elektrischen und magnetischen Feldes. Die Resonanzwellenlänge λ wird durch das Einbringen der Probe um einen Betrag $\Delta\lambda$ vergrößert; die theoretische Behandlung liefert für dünne Probestäbe die Beziehung:

$$\epsilon - 1 = 0,538 \left(\frac{R}{\varrho} \right)^2 \frac{\Delta\lambda}{\lambda}.$$

(ϱ Radius des Probestabes, R Radius des Hohlraums.) Aus der gemessenen prozentualen Verstimmung $\Delta\lambda/\lambda$ folgt damit in einfacher Weise der Wert von ϵ .

Zur Ermittlung des Verlustfaktors wird die Resonanzkurve des Hohlraums bei unveränderten äußeren Verhältnissen einmal mit und einmal ohne Probe aufgenommen und jeweils die Halbwertsbreite bestimmt. Durch die dielektrischen Verluste in der Probe wird die relative Halbwertsbreite d des leeren Hohlraums auf den Wert d' bei Anwesenheit der Probe erhöht. Der Verlustfaktor der Probe bestimmt sich auf Grund theoretischer Überlegungen für dünne Probestäbe aus der Beziehung:

$$\text{tg } \delta = \frac{0,269}{\epsilon} \left(\frac{R}{\varrho} \right)^2 (d' - d).$$

Für eine Wellenlänge von 14 cm wurden mit dieser Methode die Werte von ϵ und $\text{tg } \delta$ verschiedener Stoffe bei Zimmertemperatur gemessen. Unter anderen wurden folgende Werte erhalten (Mittelwerte):

	ϵ	$10^4 \cdot \text{tg } \delta$
Trolitul	2,32	5,7
Calit.	5,30	19
Preßbernstein. . . .	2,30	70

Eine Anzahl von Kontrollmöglichkeiten läßt die volle Übereinstimmung zwischen Theorie und Experiment erkennen.

Die Fehlergrenze variiert bei den verschiedenen Materialien; die obere Grenze liegt etwa bei 10%.

Die Durchführung der Untersuchung wurde in dankens-

¹⁾ G. BÄZ, Physik. Z. 40, 394 (1939). — W. KEBBEL, Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 53, 81 (1939).

²⁾ S. ROBERTS u. A. v. HIPPEL, Physic. Rev. 57, 1056 (1940). — G. FEJER u. P. SCHERRER, Helvet. Physic. Acta 14, 141 (1941).

³⁾ F. BORGNI, Hochfrequenztechn. u. Elektroak. 54, 121 (1939).

wertiger Weise durch die Unterstützung der JULIUS PINTSCH K. G., Berlin, ermöglicht. Eine ausführliche Besprechung erfolgt demnächst an anderer Stelle.

Graz, I. Physikalisches Institut der Universität, den 16. Juli 1941.
F. BORGNI.

Über die zwischen linearen Kettenmolekülen mit Peptidbindungen wirkenden intermolekularen Kräfte.

Bemerkung zu den Mitteilungen von R. BRILL in Heft 14/15, S. 220 und Heft 22/23, S. 337 Naturwiss. 1941.

In den genannten Mitteilungen äußert sich R. BRILL auf Grund röntgenographischer Untersuchungen an Polyamiden, die durch Kondensation von endständigen Diaminen mit Dicarbonsäuren mit gleicher Anzahl Methylengruppen gewonnen werden, dahingehend, daß bei benachbarten Molekülen jeweils NH- und CO-Gruppen gegenüberliegen und zwischen beiden Gruppen eine intermolekulare Wasserstoffbindung besteht.

In diesem Zusammenhang möchten wir darauf hinweisen, daß sich auch aus Piperacin und Dicarbonsäuren Super-Polyamide mit Nylon ganz ähnlichen Eigenschaften herstellen lassen, bei denen auf Grund der Formel keine derartige Wasserstoffbrücke anzunehmen ist.

Teltow-Seehof b. Berlin, Forschungsinstitut Seehof der Vereinigte Glanzstoff-Fabriken A.G., den 3. Juli 1941.
I. C. FUNCKE.

Bemerkungen zur Verteilung von Pascal.

Für einen Forscher, der eine seltene Erscheinung studieren will, ist es wesentlich zu wissen, wieviele Beobachtungen er ungünstigenfalls anstellen muß, um genau n_1 positive Registrierungen zu erhalten. Wenn die Wahrscheinlichkeit x für das Auftreten der Erscheinung bekannt wäre, lieferte die nach PASCAL benannte Verteilung die Wahrscheinlichkeit dafür, daß für n_1 positive Fälle insgesamt gerade $(n-1)$ Beobachtungen notwendig sind. Die etwas ungewohnte Bezeichnung $(n-1)$ für die Gesamtzahl ist mit Überlegung gewählt worden, weil nur dann eine gewisse Symmetrie klar zutage tritt. Die Verteilung lautet:

$$w_x(n-1; n_1) = \binom{n-2}{n-n_1-1} x^{n_1} (1-x)^{n-n_1-1}, \quad 1 \leq n_1 \leq n-1. \quad (1)$$

Die Potenzen bedürfen keiner Erläuterung, der Zahlfaktor erklärt sich daher, daß von den $(n-1)$ Fällen der letzte bestimmt positiv ist, also nur $(n-2)$ permutiert werden dürfen, unter denen $(n-n_1-1)$ negativ sind.

Obwohl diese Verteilung offenbar in die Frühzeit der Wahrscheinlichkeitstheorie hinaufreicht und in der modernen skandinavischen Literatur als etwas ganz Selbstverständliches aufgeführt wird, ist sie bei uns so wenig bekannt, daß eine ihr speziell gewidmete Dissertation an der Universität München (H. K. HAMMER, Zu einer Theorie der Versuchszahlen. Borna bei Leipzig: Robert Noske 1938) weder die Bezeichnung PASCALSche Verteilung noch irgendwelche auf sie bezügliche Literatur enthält. Unter diesen Umständen ist es wohl angebracht, auf diese fast vergessene, aber praktisch bedeutsame Verteilung aufmerksam zu machen, zumal ich bei ihrem Studium auf zwei beachtliche Eigenschaften gestoßen bin.

Aus (1) ergibt sich für die Wahrscheinlichkeit $W_x(n-1; n_1)$, genau n_1 positive Beobachtungen in höchstens $(n-1)$ Versuchen zu erzielen, der Ausdruck

$$W_x(n-1; n_1) = x^{n_1} \sum_{i=0}^{n-n_1-1} \binom{n-1+i}{i} (1-x)^i. \quad (2)$$

Die Berechnung dieser *Summenfunktion* der PASCALSchen Verteilung läßt sich im Gegensatz zu den Verhältnissen bei der BERNOULLISchen Verteilung oft wesentlich vereinfachen. Es gilt nämlich

$$F(n-1) = W_x(n-1; n_1) + W_{1-x}(n-1; n-n_1) = 1 \quad (3a)$$

$$\text{oder} \quad \left. \begin{aligned} & x^{n_1} \sum_{i=0}^{n-n_1-1} \binom{n-1+i}{i} (1-x)^i \\ & = 1 - (1-x)^{n-n_1} \sum_{k=0}^{n_1-1} \binom{n-n_1-1+k}{k} x^k. \end{aligned} \right\} \quad (3b)$$

Man erkennt zunächst auf Grund der Summenformel für die geometrische Reihe, daß in der Tat $F(n_1) = 1$ ist. Weiter bildet man

$$\begin{aligned} F(n) - F(n-1) &= \\ &= \binom{n-1}{n-n_1} x^{n_1} (1-x)^{n-n_1} + (1-x)^{n-n_1} \sum_{k=0}^{n_1-1} \left[\binom{n-n_1+k}{k} (1-x) - \binom{n-n_1-1+k}{k} \right] x^k \\ &= (1-x)^{n-n_1} \left\{ \sum_{k=0}^{n_1-1} \left[\binom{n-n_1+k-1}{k-1} x^k - \binom{n-n_1+k}{k} x^{k+1} \right] + \binom{n-1}{n_1-1} x^{n_1} \right\} \\ &= (1-x)^{n-n_1} \{f(0) - f(1) + f(1) - f(2) \dots - f(n) + f(n)\} \\ &= (1-x)^{n-n_1} f(0) = 0. \end{aligned}$$

Aus $F(n) = F(n-1) = F(n-2) = \dots = F(n_1) = 1$ folgt die Behauptung. Bei seltenen Erscheinungen ist diese Beziehung wertvoll. *Statt eine Summe von $(n-n_1)$ Summanden zu bilden, hat man nur n_1 Glieder zu addieren.*

Voraussetzung für diese Rechnung ist allerdings die Kenntnis des Wertes der Wahrscheinlichkeit x für das Auftreten der Erscheinung. Diese liegt in der Regel nicht vor, die Größe x muß vielmehr geschätzt werden. Der $(n-1)$ te Versuch möge die n_1 te positive Beobachtung liefern. Man hat also n_1 positive und $(n-n_1-1)$ negative Fälle. Berücksichtigt man die Erfahrung nicht, daß der letzte Versuch positiv ausgefallen ist, so ist der *Rückschluß* aus den Beobachtungen auf die unbekannte Größe x nach einer von mir mitgeteilten Formel [Naturwiss. 25, 699-799 (1937)] vorzunehmen. Will man aber die zusätzliche Kenntnis ausnutzen, so läßt sich der Rückschluß vom Ansatz von PASCAL genau so durchführen, wie ich es für das Schema von BERNOULLI gezeigt habe, ja eine frühere Schwierigkeit kommt sogar in Fortfall. Die gesuchte Wahrscheinlichkeit $w(x; n-1, n_1)$ dafür, daß auf Grund der Beobachtungen die unbekannte wahre Merkmalshäufigkeit gerade den Wert x hat, ergibt sich für $1 \leq n_1 \leq n-1$ aus

$$\left. \begin{aligned} w(x; n-1, n_1) &= \frac{\partial}{\partial x} W_x(n-1; n_1) \\ &= (n-1) \binom{n-2}{n_1-1} x^{n_1-1} (1-x)^{n-n_1-1}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ehe wir dieses Resultat besprechen, sei die partielle Differentiation im einzelnen durchgeführt. Aus (1) folgt unmittelbar

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} W_x(n-1; n_1) \\ &= \sum_{i=0}^{n-n_1-1} \binom{n-1+i}{i} [n_1(1-x) - ix] x^{n_1-1} (1-x)^{i-1}. \end{aligned}$$

Für die eckige Klammer kann man $[(n_1+i)(1-x) - i]$ schreiben, es ergibt sich dann

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} W_x(n-1; n_1) = \\ &= \sum_{i=0}^{n-n_1-1} \left[\frac{(n_1+i)!}{i!(n_1-1)!} x^{n_1-1} (1-x)^i - \frac{(n_1+i-1)!}{(i-1)!(n_1-1)!} x^{n_1-1} (1-x)^{i-1} \right] \\ &= \sum_{i=0}^{n-n_1-1} (g(i) - g(i-1)) = g(n-n_1-1) - g(-1) = g(n-n_1-1) \\ &= (n-1) \binom{n-2}{n_1-1} x^{n_1-1} (1-x)^{n-n_1-1}, \end{aligned}$$

womit die rechte Hälfte von (4) bewiesen ist.

Das Ergebnis ist beachtenswert. Wieder hat sich für die unbekannte wahre Merkmalshäufigkeit x eine Rückschlußverteilung vom speziellen BAYES-Typ ergeben. Es darf nicht erstaunen, daß die Antwort nicht genau so ausgefallen ist wie bei der Schätzung auf Grund des Ansatzes von BERNOULLI. Die Ausgangsdaten sind nicht ganz die gleichen, es handelt sich also eigentlich um zwei Fragen, auf die man füglich auch zwei Antworten erwarten kann. Es ist sehr beruhigend, daß die Unterschiede geringfügig sind, wie sich aus nachstehender Übersicht ergibt.

Beide Lösungen sind, jede in ihrem Sinne, richtig, trotzdem ist es denkbar, daß eine von ihnen praktisch den Vorzug verdient. Man wird die Schätzung mit der kleineren Streuung vorziehen. Eine kleine Rechnung zeigt, daß für $n_1 < \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(n-1)$

Ausgangverteilung	PASCAL	BERNOULLI
Gesamtzahl der Beobachtungen	$n - 1$	$n - 1$
Darunter positive	n_1	n_1
Das Zeichen der letzten Beobachtung ist	positiv	gleichgültig
Erwartungswert von x	$\frac{n_1}{n}$	$\frac{n_1 + \frac{1}{2}}{n}$
Streuung von x	$\frac{n_1(n - n_1)}{n^2(n + 1)}$	$\frac{(n_1 + \frac{1}{2})(n - n_1 - \frac{1}{2})}{n^2(n + 1)}$ $+ \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{n(n + 1)}$

die Streuung in der ersten Spalte geringer ist als in der zweiten. Wenn also die zu untersuchende Erscheinung seltener als in 75% aller Versuche auftritt, bedeutet es einen kleinen Vorteil, vom Ansatz von PASCAL auszugehen. Indem dabei auf das Merkmal des letzten Gliedes geachtet wird, findet ein Übergang zu den tiefer schürfenden Verfahren statt, welche die *Aufeinanderfolge* der einzelnen Merkmale zum Gegenstand einer statistischen Untersuchung machen. Viele Beobachtungen werden in einer wohldefinierten Reihe gewonnen. Es bedeutet einen Verzicht auf einen Teil der Kenntnisse, wenn man die Reihenfolge außer acht läßt, wie es bei der Betrachtungsart von BERNOULLI geschieht. Von diesem Gesichtspunkt aus verdient die Verteilung von PASCAL mehr Beachtung, als ihr bisher gezollt wird. Zur Lösung einer Aufgabe aus der Zwillingsstatistik konnte ich sie mit Erfolg heranziehen [Z. menschl. Vererb.-u. Konstit.lehre 24, 566—570 (1940)].

Berlin-Charlottenburg 2, den 19. Juli 1941.

H. VON SCHELLING.

Über die Fähigkeit des normalen Organismus, d-Peptide zu spalten¹⁾.

So sehr man sich auch seit der von E. WALDSCHMIDT-LEITZ und K. MAYER²⁾ ausgesprochenen Behauptung, die d-Peptid-Spaltung sei nur dem carcinomatösen Organismus eigen, um den Nachweis der Träger dieses Wirkungsvermögens, den sog. d-Peptidasen, bemüht, so bescheiden und widerspruchsvoll sind die experimentellen Ergebnisse bisher geblieben. Auch hält es schwer, den Standpunkt der verschiedenen Autoren zu dieser Frage aus ihren Arbeiten herauszulesen. Nur H. BAYERLE³⁾ gibt eindeutig an, daß ihm bisher der Nachweis von d-Peptidasen im *krebserkrankten* Organismus nicht gelungen ist. Dieser unbefriedigende Zustand rührt allein daher, daß trotz einer für Enzymbestimmungen *ungewöhnlich langen und auch gefährlichen* Versuchsdauer (die bis 8 Tage bei 30° bis 40° beträgt!) die *Spaltungswerte dürftig sind und vielfach innerhalb der Fehlergrenze der Methode liegen*, was merkwürdigerweise oft übersehen wird. Das Bestreben von E. WALDSCHMIDT-LEITZ, R. HATSCHEK und R. HAUSMANN⁴⁾, den Nachweis der d-Peptidasen zu verfeinern und ihr Rückgriff auf *colorimetrische* Methoden, beweisen ohne weiteres die Berechtigung unserer Kritik.

Wir haben Ende des vorigen Jahres an dieser Stelle⁵⁾ anlässlich der Beschreibung der Aktivierung bestimmter Serum-Peptidasen durch Magnesium, Mangan und Kobalt auf den *Nutzen* unserer Befunde auch für den Nachweis von d-Peptidasen hingewiesen und an anderer Stelle⁶⁾ auf die *Notwendigkeit* eines Metall + Cystein- oder eines Metall-Zusatzes bei der *Bestimmung der sog. Di- und Aminopoly-peptidase* aufmerksam gemacht. Wir haben mittlerweile an Hand von Glycerinauszügen aus verschiedenartigem tierischem Material (Leber, Niere, Dünndarmschleimhaut verschiedener Tierarten, Hühnerembryonen, Mäusecarcinom) zeigen können, daß die Leucyl-glycin-Spaltung durch *Mangan*, die Alanyl-glycin-Spaltung durch *Magnesium*, die Glycyl-glycin-Spaltung durch *Kobalt*, die Glycyl-leucin- und Glycyl-alanin-Spaltung durch *Zink am kräftigsten gesteigert wird*⁷⁾.

Daß der Zusatz von Eisen oder Mangan und Cystein bzw. von Mangan, Magnesium, Kobalt oder Zink allein den Nachweis einer d-Peptid-Spaltung *erst ermöglicht*, zeigen u. a. auch die Angaben von E. BAMANN in seiner Mitteilung

„d-Peptid-Spaltung durch Enzympräparate pflanzlicher Herkunft“⁸⁾. Ohne Kenntnis unserer Forschungsergebnisse und der amerikanischen Autoren wäre ihm der Nachweis *nicht* gelungen. Da bei BAMANN jeglicher Hinweis darauf fehlt, wollen wir dies hier nachholen.

Im Rahmen unserer Untersuchungen über Peptidasen bakterieller wie tierischer Herkunft sind wir auf Beobachtungen gestoßen, die es sehr wahrscheinlich machen, daß *jeder normale Organismus die Fähigkeit besitzt, d-Peptide zu spalten*. Wie Tabelle 1 und 2 zeigen, werden Glycyl-d,l-leucin und Glycyl-d,l-alanin in kurzer Zeit durch Glycerinauszüge aus tierischen Organen und Dünndarmschleimhaut in Gegenwart von *Zink* fast 100prozentig aufgespalten. Die dazu notwendige Menge Auszug ist vielfach größer als die für die Spaltung der 1-Komponente benötigte.

Tabelle 1.

Vol. der Ansätze 10 ccm; $p_H = 8$; $t = 40^\circ$. Toluol. Titrationsprobe 2 ccm. Ein Aciditätszuwachs von 2,40 bzw. 4,80 ccm $\frac{n}{20}$ KOH entspricht einer 50- bzw. 100proz. Spaltung.

Glycerinauszüge aus	ccm	Zusatz	Spaltung (ccm $\frac{n}{20}$ KOH) nach 24 Stunden	
			GL.	GA.
Kaninchendünndarmschleimhaut	0,20	—	3,08	3,28
	0,20	Zn $\frac{m}{5000}$	3,91	4,19
Kaninchenniere	0,15	—	3,69	3,89
	0,15	Zn $\frac{m}{5000}$	4,77	4,74
Meerschweinchen-niere	0,15	—	3,34	3,91
	0,15	Zn $\frac{m}{5000}$	4,70	4,78

Tabelle 2.

Vol. der Ansätze 5 ccm; $p_H = 8$; $t = 40^\circ$. Toluol. Probe 1 ccm; 50proz. Spaltung entspricht 1,20, 100proz. 2,40 ccm $\frac{n}{20}$ KOH.

Auszug aus	ccm	Zusatz	GL-Spaltung (ccm $\frac{n}{20}$ KOH) nach Stunden		
			1	2	4
Kaninchenniere	0,50	—	1,33	1,58	1,77
	0,50	Zn $\frac{m}{5000}$	1,61	1,98	2,37

Tabelle 3. d-Leucyl-glycin-Spaltung durch mit Mangan aktivierte Glycerinauszüge aus tierischem Material.

5-ccm-Ansätze; $p_H = 8$; $t = 40^\circ$. Toluol. Probe 1 ccm: eine 100proz. Spaltung entspricht 1,20 ccm $\frac{n}{20}$ KOH.

Auszug aus	ccm	Zusatz	Spaltung (ccm $\frac{n}{20}$ KOH) nach Stunden	
			1	24
Meerschweinchen-leber	0,15	—	0,00	0,07
	0,15	Mn $\frac{m}{1000}$	0,12	1,17
Meerschweinchen-niere	0,15	—	0,03	0,05
	0,15	Mn $\frac{m}{1000}$	0,06	0,57
Hühnerembryonen	1,00	—	0,01	0,06
	1,00	Mn $\frac{m}{1000}$	0,07	0,77
Mäusecarcinom . .	1,00	—	0,00	0,04
	1,00	Mn $\frac{m}{1000}$	0,05	0,81

¹⁾ VI. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen; V. Mitt. Biochem. Z., im Druck.

²⁾ Hoppe-Seylers Z. 262, IV (1939).

³⁾ Biochem. Z. 307, 159 (1940/41).

⁴⁾ Hoppe-Seylers Z. 267, 79 (1940).

⁵⁾ Naturwiss. 28, 765 (1940).

⁶⁾ III. Mitt. Zur Kenntnis der Peptidasen des Blutes. Biochem. Z., im Druck.

⁷⁾ IV. und V. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen. Biochem. Z., im Druck.

⁸⁾ Naturwiss. 29, 365 (1941).

Tabelle 4.
Versuchsbedingungen wie in Tabelle 3.

Auszug aus	ccm	Zusatz	d-LG.-Spaltung (ccm n/20 KOH) nach Stunden		
			1	2	3
Kaninchenniere	0,50	—	0,01	0,03	0,07
	0,50	Mg m/100	0,06	0,11	0,21
	0,50	Mn m/1000	0,46	0,88	1,14

Einso glatt wie die d-Komponenten der beiden Glycylpeptide wird auch d-Leucyl-glycin von einigen unserer Auszüge gespalten, aber *nur*, wie die Tabellen 3 und 4 belegen, *in Gegenwart von Mangan*.

Die weitere Untersuchung muß lehren, ob die Träger des Wirkungsvermögens für die d-Komponenten racemischer Dipeptide bzw. für reine d-Dipeptide „unnatürliche“ oder die „natürlichen“ Dipeptidasen sind.

Wenn H. BAYERLE, G. BORGER und F. H. PODLOUCKY⁹⁾ meinen, daß „am vordringlichsten bleibt . . . nach Zusammenhängen zwischen d-Enzymen und Carcinom zu suchen“, so sind wir der Ansicht, daß die d-Peptid-Spaltung *gar nichts* mit Krebs zu tun hat, sondern eine dem Peptidasensystem normaler Organismen innewohnende und, wenn notwendig, in Funktion tretende Fähigkeit ist.

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 20. Juli 1941.

ERNST MASCHMANN.

⁹⁾ Biochem. Z. 307, 341 (1941).

Besprechung.

Geology of North America. Edited by RUDOLF RUEDEMANN and ROBERT BALK. (Geologie der Erde. Herausg. v. E. KRENKEL.) Vol. I. Berlin: Gebr. Borntraeger 1939. IX, 643 Seiten, 53 Abbildungen und 14 Tafeln. 17 cm × 25 cm. Preis br. RM 13,60, geb. RM 16.—.

Die „Geology of North America“ bildet einen Teil des von E. KRENKEL herausgegebenen großen Sammelwerkes „Geologie der Erde“, von dem die „Geologie Afrikas“ (4 Bände; Bearbeiter KRENKEL) bereits vollständig vorliegt, während von der „Geologie Europas“ (Bearbeiter v. BUBNOFF) und der „Geologie Südamerikas“ (Bearbeiter GERTH) noch die Schlußbände ausstehen und von der „Geologie Asiens“ (Bearbeiter LEUCHS) bisher nur der erste Band erschienen ist. Die Vorbereitung der „Geology of North America“ hat zunächst in den Händen von RUDOLF RUEDEMANN und seit 1936 in denjenigen von ROBERT BALK gelegen. Im Gegensatz zu den übrigen Teilen der „Geologie der Erde“, die von je einem Autor verfaßt sind, sind an der „Geology of North America“ über 30 Mitarbeiter beteiligt. Von ihnen haben 16 am ersten Band mitgewirkt. Im Interesse der Einheitlichkeit und Geschlossenheit wäre es vielleicht besser gewesen, wenn sich auch für die Geologie Nordamerikas jemand gefunden hätte, der die Gesamtarbeit übernahm, und die Herausgeber sind sich auch der Nachteile der Verteilung des Stoffes auf viele Mitarbeiter durchaus bewußt. Aber andererseits erblicken sie einen Vorteil in der Abfassung der einzelnen Kapitel durch solche Persönlichkeiten, die aus eigener Forschertätigkeit heraus mit der jeweiligen Materie besonders vertraut sind. Sie haben, wie im Vorwort gesagt wird, den Mitarbeitern ihre Freiheit hinsichtlich der Art der Darstellung und auch des Textumfanges gelassen. Aber von dieser Freiheit haben einige Mitarbeiter einen etwas weitgehenden Gebrauch gemacht, indem sie z. B. die stratigraphischen Folgen in allen Details, mit langen Fossilisten und überhaupt mit einer Gründlichkeit auführten, die zumeist nur für die Lokalforscher ein wirkliches Interesse hat. In einem Einzelfalle füllt eine Darstellung der Formationsfolgen eines Teilgebietes sogar 150 Seiten, während sich die Strukturverhältnisse des gleichen Raumes, da es sich um ungestörte Schichtserien handelt, mit knapp einer Seite abtun ließen.

Den Spezialschilderungen der Einzelgebiete, die begrifflicher Weise den Hauptteil des Gesamtwerkes einnehmen, gehen einige Kapitel allgemeineren Inhalts voran. So gibt J. H. BRETZ (Universität Chicago) zunächst eine *physiographische Gliederung von Nordamerika* einschließlich des festländischen Mittelamerikas, die eine erfreuliche Unterlage zum Verständnis der

regionalen Geologie Amerikas bildet. BRETZ unterscheidet 10 physiographische „Großgebiete“, deren jedes in eine Anzahl von „Provinzen“ zerfällt. Dabei werden — im Sinne von FENNEMA — zu „Provinzen“ solche Räume zusammengefaßt, die möglichst viel Gemeinsames haben, ohne daß Ausnahmen einzutreten brauchten. Die Einzelprovinzen werden gut charakterisiert, wobei morphologische und tektonische Verhältnisse nebeneinander in Betracht kommen, d. h. also auf Grundlage zum Teil der jüngsten und zum Teil auch der älteren Geschichte. Wer den Hauptwert auf die Morphologie, also die jüngere Erdgeschichte, legt, würde vielleicht hier und da andere Zusammenfassungen geben, wie umgekehrt derjenige, dem die geologisch-historische Entwicklung die Hauptsache ist, hier und da manche Einheiten gern vereinigte. Der Kompromiß zwischen beiden Auffassungen scheint mir im allgemeinen gut gelungen zu sein. An den weiteren einführenden Kapiteln sind zwei hochgeachtete Veteranen der Geologie Nordamerikas, nämlich CH. SCHUCHERT und RUD. RUEDEMANN, besonders beteiligt. RUEDEMANN schildert die *allgemeinen Züge der Geologie Nordamerikas*, wobei stark auf die theoretischen Anschauungen, wie sie sich speziell in Amerika entwickelt haben, eingegangen wird. So bildet die Permanenz des amerikanischen Kontinents, wie sie DANA schon vor vielen Jahrzehnten verkündet hat, das für einen Amerikaner selbstverständliche Fundament der Darlegungen, in denen auch die Planetesimaltheorie von T. C. CHAMBERLIN als ein gutes und in Amerika weitgehend anerkanntes Fundament theoretischer Spekulationen bezeichnet wird. In diesen Diskussionen der theoretischen Vorstellungen über die Entstehung Nordamerikas wird die WEGENERSche Vorstellung des amerikanischen Wanderkontinents scharf abgelehnt. Sie stehe, so wird ausgeführt, mit einer Fülle von Tatsachen von vor allem paläogeographischer Art in Widerspruch, sei deshalb von der Mehrheit der Geologen nicht angenommen und bleibe damit für das vorliegende Werk außerhalb weiterer Betrachtung.

Sodann behandelt CH. SCHUCHERT die großen „Struktureinheiten Nordamerikas“, nämlich die *Geosynklinalen, Borderländer und Geantiklinalen*. Er weist auf die bedeutsame Tatsache, daß eigentlich alle amerikanischen Geosynklinalen schon in die vorkambrischen Zeiten zurückgehen und damals viel ausgedehnter waren als in späteren Zeiten. Diese alten Geosynklinalen sind für ihn die primären („primary geosynclines“), auf deren Boden sich dann die „sequent geosynclines“ entwickelt haben. Dabei sind die Geosynklinalen nur zum Teil „mono“ geosynklinal, d. h. sie bestehen aus einem sinkenden Raume ohne wesentliche Längsgliederung. Vielmehr haben wir es über-

wiegend mit „Poly“geosynklinalen zu tun, die Längsgliederungen in aufsteigende und einsinkende Spezialzonen erkennen lassen. Die Geosynklinalen sollen, wie von SCHUCHERT schon oft ausgeführt ist, *innerhalb* der Kontinente („within the continents“) liegen, indem sie auf der einen Seite von der alten kontinentalen Zentralmasse Nordamerikas und auf der anderen von einem relativ schmalen und gleichfalls als uralt betrachteten „Borderlande“ umgrenzt sind, das die Geosynklinale von dem den Kontinent umsäumenden Weltozean trennt. Ref. hat allerdings durch eingehende Befassung mit den geosynklinalen Systemen unserer Erde und speziell auch denjenigen Amerikas die Vorstellung gewonnen, daß die sog. Borderländer mindestens in ihren klassischen Fällen nichts anderes sind als einstmalige ozeanwärts gelegene randliche Teile größerer Polygeosynklinalen, die eine etwas frühere Faltung erfahren haben, während kontinentalwärts gelegene Teile sich nunmehr als Monogeosynklinalen fortentwickelten.

Dann nimmt RUD. RUEDEMANN wieder das Wort zu einer Schilderung der *allgemeinen Paläogeographie Nordamerikas*. Er legt dar, daß die großen Invasionen, die den Kontinentalbereich vom Arktischen Meere oder vom Atlantik oder vom Pazifik oder vom Golf von Mexiko her überflutet haben, einen gewissen Rhythmus erkennen lassen, wobei innerhalb eines jeden Zyklus der Höhepunkt der Überflutung etwa in der Mitte liegt. Im Höhepunkt pflegt die Ingression von allen Seiten erfolgt zu sein. Diese Meeresoszillationen werden als Folge tektonischer Vorgänge aufgefaßt. Bei dieser Gelegenheit kommt zum Ausdruck, daß RUEDEMANN die Ursache der tektonischen Vorgänge letzten Endes in der Kontraktion des Erdinneren sucht, wobei Unterströmungen mittelbar eine Rolle spielen.

Auch bei der im nächsten Kapitel behandelten *Klimatologie der Vorzeit* ergibt sich für RUEDEMANN ein gewisser Rhythmus, den er in genetische Beziehung zu den Perioden der Hebung und Senkung bringen möchte. Im großen Überblick ist zu sagen, daß am Ende der algonkischen Ära glaziale Bedingungen herrschten und daß in der kambrischen Zeit erst kühles und dann warmes Klima obwaltete. Es wurde gemäßigt bis warm im Ordoviz, dann warm im Silur, gemäßigt und wieder wärmer im Devon, zunächst warm, dann kühler im Karbon, zuerst glazial und dann gemäßigt im Perm, warm und gleichmäßig in der Trias und im Jura, gemäßigt in der Kreide, gemäßigt und dann allmählich wärmer im Eozän, gemäßigt bis warm im Oligozän, gemäßigt im Miozän und dann kühl im Pliozän, bis endlich glaziales Klima im Anfange des Pleistozäns eintrat. Dann folgte das kühle Klima der heutigen Zeit.

In der Darstellung der *Einzelgebiete Nordamerikas* wird der Reigen von C. TEICHERT mit Grönland eröffnet, das man geographisch zwar außerhalb Amerikas zu stellen pflegt, das aber geologisch ein nur durch flache Schelfmeere abgetrennter Teil des großen amerikanischen Kontinentalblockes ist. Über Grönland ist in den letzten Jahrzehnten unter Führung der Dänen (L. KOCH) viel geforscht worden, und die Ergebnisse dieser Forschungen stehen natürlich auch im Mittelpunkt der Darstellungen TEICHERTS. Die Schichtfolgen mit den wichtigsten Leitfossilien und die paläogeographische Entwicklung werden dargelegt. Dem im allgemeinen angenommenen kaledonischen Alter der in den nördlichen Randgebieten Grönlands erkennbaren Faltungen steht TEICHERT im Anschluß an

FREBOLD skeptisch gegenüber, während er für den Nordostrand der großen Insel das Bestehen eines kaledonischen Faltenzuges nicht mehr in Zweifel zieht und dabei die verschiedenen Auffassungen über die Rolle darlegt, die der kristalline Untergrund bei diesen Faltungen gespielt haben soll. E. M. KINDLE behandelt alsdann die amerikanische arktische Inselwelt und den Raum der großen Ebenen Innerkanadas und berührt dabei die Faltungen im Norden von Ellesmere-land, die als die Fortsetzung derjenigen des nördlichsten Grönlands gelten. In bezug auf die arktischen Inseln wird eine Reihe wichtiger neuer stratigraphischer und paläontologischer Mitteilungen gemacht, die zu einem guten Teil von TEICHERT zur Verfügung gestellt worden sind. In der Umrandung der Hudson-Bai sind über den marinen Schichten des Paläozoikums seit etwa 20 Jahren pflanzenführende Schichten von mesozoischem, wahrscheinlich jungjurassisch-urkretazischem Alter bekannt geworden. Manitoba- und Mackenzie-Tiefland reichen bis an das Felsengebirge hinan. In Richtung auf dieses gewinnen die Schichten an Mächtigkeit, und die flache Lagerung geht im Vorlande des Felsengebirges in steilere Schichtstellungen und endlich in die altbekannten Überschiebungsphänomene über. Durch M. E. WILSON findet der Kanadische Schild i. e. S., d. h. das von Präkambrium eingenommene Gebiet des nordöstlichen Nordamerikas, eine Darstellung, die den vielen neuen Ergebnissen der Erforschung des kristallinen Grundgebirges Rechnung trägt. Es fällt auf, daß der Versuch gemacht wird, Neufundland geotektonisch als eine Provinz des Kanadischen Schildes zu betrachten, obwohl andererseits gesagt wird, daß die paläozoischen Formationen noch beträchtlich deformiert seien. Demgegenüber wird Neufundland nach seiner geosynklinalen und orogenen Entwicklung heute im allgemeinen zur großen Faltungszone der Appalachen gestellt. In letzterer Hinsicht kommen Arbeiten von SCHUCHERT in Betracht, die überraschenderweise nicht erwähnt werden, noch nicht einmal im Literaturverzeichnis. C. H. BURTS schildert in großer Gründlichkeit die Schichtfolgen der in den Vereinigten Staaten westlich des appalachischen Gebirgssystems liegende Gebiete über den Mississippi hinaus. Nach Westen schließt sich die Darstellung der Southern Central Lowlands durch PAUL RUEDEMANN an. Bei letzterer wird auch ein Überblick über die variszischen Strukturen gegeben, wie sie sich im Ouachita-gebirge usw. herausgestellt haben. Es folgt die Darstellung der atlantischen und golfischen Küstengebiete durch L. W. STEPHENSON, C. W. COOKE und JULIA GARDNER, wobei es sich in der Hauptsache um die jungen Ablagerungen der Kreide-, Tertiär- und Quartärzeit handelt. Auch hier ist, wie in den vorangegangenen Darstellungen, sehr viel wertvolles Material von stratigraphischer Art zusammengetragen. Ein paar kurze Kapitel, die von verschiedenen Autoren beigebracht sind und die Entwicklung der paläozoischen Zonen Kanadas in den Grenzgebieten der USA. betreffen, beschließen den ersten Band des großen neuen Amerika-werkes.

Alles in allem ist in dem Buche das gesamte Nordamerika mit Ausnahme der großen Faltenzonen des Ostens (Appalachen) und des Westens (Kordilleren) behandelt worden. Diesen Faltungszonen soll der hoffentlich in nicht allzu ferner Zeit erscheinende zweite Band gewidmet sein, während dem dritten Bande die Schilderung Mexikos und Zentralamerikas und die Behandlung einiger allgemeinerer Probleme vorbehalten sind. H. STILLE.

Elektronen-Übermikroskopie lebender Substanz.

VON MANFRED VON ARDENNE, Berlin-Lichterfelde.

Die Untersuchung von Lebensvorgängen bildet ein großes und wichtiges Teilgebiet der Lichtmikroskopie. Mit gutem Recht ist die bisher gegebene Unmöglichkeit der Untersuchung lebender Substanz mit dem Elektronenübermikroskop als ein großer Mangel der elektronenmikroskopischen Methode gewertet worden. Daß dieser Mangel nicht prinzipieller Natur ist, hat der Verfasser in einer etwa vor 2 Jahren erschienenen Arbeit¹⁾ festgestellt. Dort sind auch bereits diejenigen Wege angegeben, die eine Abtötung lebender Substanz durch die zur photographischen Abbildung erforderliche Elektronenstrahlung zu vermeiden gestatten. Die damals für notwendig erkannten Maßnahmen (Objektabschattung während der Mikroskopeinstellung, Erhöhung der Beschleunigungsspannung, Verringerung der Abschwächungseinflüsse für die Stromdichte des Endbildes durch Reduktion der räumlichen Elektronenstreuung der Objektträgerfolie) sind inzwischen in einer neuen Elektronenmikroskopanlage verwirklicht worden, über die der Verfasser an anderem Ort²⁾ ausführlich berichtet hat. Dort ist dargestellt, daß bei höherer Strahlspannung sowohl die zur Plattenschwärzung benötigte Elektronenzahl pro Objektflächeneinheit als auch die Empfindlichkeit der lebenden Substanz gegen durchströmende Elektronen abnimmt. Die Abschätzung ergab, daß die Belastungsverhältnisse lebender Substanz sich mit der 2,5. Potenz der Beschleunigungsspannung des Mikroskops verbessern. Durch Übergang von der bisher durchschnittlich angewendeten 60-kV-Beschleunigungsspannung auf 200 kV bessern sich daher die Belastungsverhältnisse etwa im Verhältnis 1:20. Hinzu kommt, daß bei der höheren Spannung die Objektträgerfolien völlig durchsichtig erscheinen, so daß kein wesentlicher Elektronenverlust eintritt und der früher zur Erfassung der Stromschwächungseinflüsse eingesetzte Sicherheitsfaktor von 0,1 fortfallen kann. Gegenüber den Annahmen der zuerst zitierten Arbeit haben sich daher die Belastungsverhältnisse um etwa 1:200 gebessert. *Hierdurch und durch die Entwicklung einer Objektabschattungsvorrichtung ist mit dem neuen 200 kV-Universal-Elektronenmikroskop zum erstenmal die übermikroskopische Untersuchung von Lebensvorgängen gelungen.* Über praktische Ergebnisse wird die nachfolgende, gemeinsam mit

H. FRIEDRICH-FREKSA verfaßte Mitteilung berichten.

Strahlungsempfindlichkeit lebender Substanz und erreichbares Auflösungsvermögen.

In der oben angeführten ausführlichen Arbeit²⁾ findet sich der folgende Ausdruck für das höchste bei Abbildung lebender Substanz erreichbare Auflösungsvermögen:

$$d_{\min L} = d_p \cdot \sqrt{n \cdot \frac{j_{E(S=0,5)} \cdot t}{j'_{\text{ob}} \cdot t'}}$$

Hierin bedeutet d_p das Auflösungsvermögen der benutzten Photoschicht für Elektronenstrahlung der verwendeten Beschleunigungsspannung. Für Schumann-Platten und 200 kV wird im ungünstigsten Falle $d_p = 10^{-2}$ mm. Weiterhin berücksichtigt n die Zahl photographischer Aufnahmen, die bis zum Eintreten der Abtötung durch Elektronenstrahlung von dem gleichen Objekt durchgeführt werden soll. $j_{E(S=0,5)} \cdot t$ stellt die Zahl Coul/cm² dar, die eine gerade noch ausreichende Plattenschwärzung $S = 0,5$ bewirkt. Für 200 kV und Schumann-Platten mit heraufgesetzter Schichtdicke ist hier ein Wert von $2 \cdot 10^{-12}$ Coul/cm² etwa zutreffend. Bei der gleichen Strahlspannung hat für einfache biologische Systeme (Ascomyeten-Sporen) diejenige Zahl Coul/cm², deren Hindurchströmen durch das Objekt eine Abtötung von 50% der Sporen bewirkt, ungefähr die Größe $j'_{\text{ob}} \cdot t' = 10^{-5}$ Coul/cm².

Unter vorstehenden Annahmen berechnet sich für $n = 2$ (die 50proz. Abtötung erfolgt dann am Ende der Belichtungszeit der 2. Aufnahme) das höchste zur Zeit bei Abbildung lebender Substanz anwendbare Auflösungsvermögen zu:

$$d_{\min L} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ mm.}$$

Dieser Wert ist nur noch wenig größer als das durch die Abbildungsfehler begrenzte Auflösungsvermögen. Durch absichtliche Begrenzung der Mikroskopauflösung auf z. B. $d = 2 \cdot 10^{-5}$ mm ist die Schädigung bei der ersten Aufnahme auf $1/20$ und bei der zweiten Aufnahme auf $1/10$ der Abtötungsdosis leicht zu verringern, so daß man erwarten kann, daß der normale Ablauf des zu untersuchenden Lebensvorganges noch nicht durch die für die erste Aufnahme notwendige Objektbestrahlung gestört wird. Durch Vervollkommnung der Photoschichten und gegebenenfalls durch weitere Steigerung der Beschleunigungsspannung dürften sich in der Zukunft die Belastungsverhältnisse noch erheblich verbessern lassen.

Für die zweite bzw. letzte Aufnahme einer Bildfolge, für die schließlich die Abtötungsdosis

¹⁾ M. VON ARDENNE, Über die Möglichkeit der Untersuchung lebender Substanz mit Elektronenmikroskopen. Z. techn. Physik **20**, 239 (1939).

²⁾ M. VON ARDENNE, Über ein 200 kV-Universal-Elektronenmikroskop mit Objektabschattungsvorrichtung. Z. Physik **117**, 657 (1941).

überschritten werden darf, kann wieder eine höhere elektronenoptische Vergrößerung eingestellt und damit das volle Auflösungsvermögen des Mikroskops ausgenutzt werden.

Methodik der Übermikroskopie lebender Substanz.

Bei den vorstehend gebrachten Abschätzungen zur Elektronen-Übermikroskopie lebender Substanz war Voraussetzung, daß die Objekte nur während der Aufnahme von der Strahlung getroffen werden. Die konstruktiven Einzelheiten der hierfür ausgebildeten Objektabschattungsrichtung sind an anderer Stelle²⁾ ausführlich beschrieben, so daß hier einige kurze Hinweise genügen mögen.

Das *Prinzip der Abschattungsrichtung* besteht darin, daß mit Hilfe einer während des Betriebes verstellbaren Schneide überwiegende Teile der Objektfläche gegen die Elektronenstrahlung abgeschattet werden. Am Anfang und Ende der Aufnahme wird durch Bewegung der Schneide die Abschattung aufgehoben bzw. wieder hergestellt. Durch geeignete Auswahl der beiden Schneidenstellungen läßt sich erreichen, daß auf dem Gesichtsfeld der zweiten Elektronenaufnahme nicht nur zwei, sondern *drei verschiedene Objektbereiche* gegeben sind: Ein Bereich, in dem die Objektteilchen während der ganzen Mikroskop-einstellungs- und Scharfstellungszeit bestrahlt worden sind. (In diesem Bereich ist die lebende Substanz in der Regel abgetötet.) — Ein zweiter Bereich, in dem die Objektteilchen nur mit derjenigen Elektronenbestrahlung belastet werden, die zur Aufnahme unbedingt notwendig ist. —

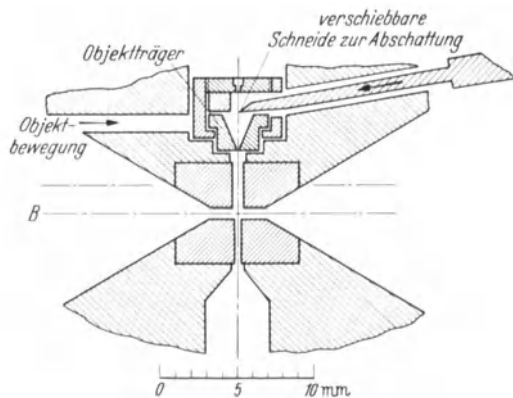


Fig. 1. Schnitt durch das Objektiv mit fein verstellbarer Schneide zur Abschattung eines Teiles der Objektfläche.

Ein dritter Bereich, in dem überhaupt keine Bestrahlung mit Elektronen bei der ersten Aufnahme stattgefunden hat.

Trotz der großen Einfachheit des Prinzips waren außerordentliche Schwierigkeiten bei seiner praktischen Durchführung zu überwinden. Diese werden verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die unter Vakuum und in Bruchteilen einer Sekunde durchzuführenden Verstellungen der

Abschattungsschneide nur wenige μ betragen und daß die verschiedenen gewünschten Schneidenstellungen auf etwa 1μ genau reproduzierbar sein müssen. Eine weitere Klippe lag in der Gefahr der Bildverschlechterung durch mechanische Erschütterung des Objekt-Objektivsystems bei der Bedienung der Schneidenbewegung. Die zunächst genannten Schwierigkeiten wurden durch die aus Fig. 1 ersichtliche Trennung der Schneide von dem Objektsystem, ferner durch Anwendung eines Fettfilmes im Mechanismus der Schneidenbewegung

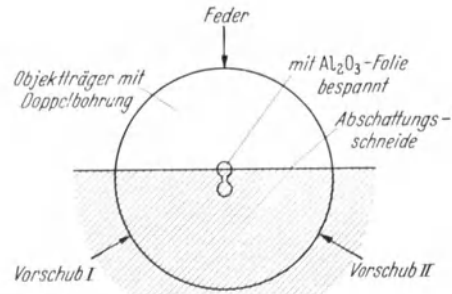


Fig. 2. Zur Technik der elektronenmikroskopischen Untersuchung lebender Substanz.

(Gleit-Mikromanipulator-Prinzip) sowie durch Einführung besonders fein verstellbarer Anschläge überwunden. — Eine kritische Störung war anfänglich durch die kräftige Röntgenstrahlung gegeben, die an den Wänden der inneren Bohrung des Objektträgers durch den beleuchtenden Elektronenstrahl entstand. Diese bei der Untersuchung biologischer Systeme höchst unerwünschte Röntgenstrahlung wurde durch Abschirmung aller zur Abbildung nicht benötigten Strahlungsanteile von dem Objektpatronenraum beseitigt. — Die Vermeidung einer Vorbestrahlung beim Einrücken der jeweils gewünschten Objektlage und das bequeme Wiederfinden des gleichen Objektausschnittes bei der zweiten Aufnahme sind in diesem Zusammenhang als weitere wichtige Forderungen zu nennen.

Im Hinblick auf die zahlreichen Störungsquellen, die im Präparat selbst liegen, mußten die aufgezählten Gefahrenpunkte nahezu vollständig ausgeschaltet und zugleich solche Wege eingeschlagen werden, die die Bedienung des Elektronenmikroskops nicht wesentlich erschwerten. In dieser Hinsicht hat sich die im folgenden kurz angedeutete *Methode der Einrückung des gewünschten Objektausschnittes* vorzüglich bewährt: Gemäß der schematischen Darstellung Fig. 2 wird zunächst die Abschattungsschneide bis etwas über die Objektivachse hinausgeschoben. Die im Objektbewegungssystem des Universal-Elektronenmikroskops vorgesehene Feder bewirkt automatisch, daß die Bohrung des Objektträgers in den von der Schneide abgeschatteten Bereich gedrückt wird. Nach Einschaltung des Mikroskops wird durch Betätigung der beiden Objektbewegungsmechanismen (Vorschub I und II) ein Teil der Objektträger-

bohrung vorsichtig aus dem Elektronenschatten herausgeschoben. Durch Beobachtung auf dem Zwischenbildschirm und später auf dem Endbildschirm läßt sich in wenigen Sekunden die richtige Lage von Objektträger und Abschattungsschneide mit einer Genauigkeit von etwa 1μ herbeiführen.

Um die erforderlichen Einstellungen schnell vornehmen zu können und um mit Sicherheit weite Objektbereiche bis zur Aufnahme unbestrahlt zu erhalten, sind besonders große Bohrungen im Objektträger wünschenswert. Andererseits sind jedoch möglichst kleine Objektträgerbohrungen anzustreben, um die Stabilität der Objektträgerfolien möglichst hoch zu halten. Das letztere ist unbedingt notwendig, da die Folien mit der lebenden Substanz nach der ersten Bestrahlung in Nährflüssigkeiten gebracht, wieder getrocknet und anschließend noch einmal der Belastung im Elektronenmikroskop ausgesetzt werden. Durch Einführung der in Fig. 2 angedeuteten Doppelbohrung und durch Anwendung der besonders stabilen Aluminiumoxyd-Objektträgerfolien nach HASS und KEHLER konnten die zunächst gegebenen experimentellen Schwierigkeiten überwunden werden. Die Stabilität der Folienobjekte erwies sich schließlich als so groß, daß fast stets der ursprünglich eingestellte Objektausschnitt nach dem mehrstündigen Verweilen des Folienpräparates in der Nährflüssigkeit bei einer zweiten oder dritten Aufnahme unzerstört im Elektronenmikroskop wiedergefunden werden konnte.

Ein Elektronenbild, bei dem der Übergang zum abgeschatteten Bereich im oberen Teil des Gesichtsfeldes einer Aufnahme von einige Stunden in Nährflüssigkeit gebrachten Bakteriensporen liegt, zeigt Fig. 4., S. 526, der nachstehenden Arbeit. Wie auch bei allen anderen in dem folgenden Aufsatz wiedergegebenen Bildern mit Abschattung erfolgt der Übergang zum völligen Schatten auf einer Strecke von etwa $0,4 \mu$. Die Grenze des

Schattenbereiches ist durch Pfeile angedeutet. Nur im Schattengebiet finden sich auskeimende Sporen und ausgekeimte Bakterien. Ein Vergleich mit der vorausgegangenen, d. h. vor Einbringen in die Nährflüssigkeit durchgeführten Aufnahme (Fig. 3) zeigt nicht nur die Veränderung einzelner Individuen infolge der Auskeimung, also einen *Lebensvorgang in zwei elektronenmikroskopischen Bildern*, sondern läßt weiter erkennen, daß auf dem zeitlich später liegenden Bilde eine Anzahl im Schattenbereich liegender Sporen nicht mehr aufzufinden ist. Offenbar sind aus diesen Sporen bereits fertige Bakterien entstanden, die infolge ihrer großen Beweglichkeit die Folie verlassen haben.

Die in der nachfolgenden Arbeit beschriebenen Untersuchungen beziehen sich auf ein biologisches Objekt, das im Vakuum des Elektronenmikroskops nicht abgetötet wird. Zur Auskeimung werden die gewählten Bakteriensporen außerhalb des Mikroskops in eine Nährflüssigkeit getan. Neben diesem Vorgehen besteht grundsätzlich die weitere Möglichkeit, die Objekte im Mikroskop selbst in eine Nährflüssigkeit von niedrigem Dampfdruck ganz oder teilweise einzubetten. Durch Einlagerung in eine dünne Objektträgerfolie, die bei der hohen Spannung noch durchsichtig erscheint, dürfte es sogar gelingen, kleine biologische Objekte, die im Vakuum unbeständig sind, zu untersuchen. — Die von dem ausgewählten Objekt und den gleichen Individuen *vor und nach der Auskeimung erhaltenen Elektronenbilder* zeigen, daß auch schon die zunächst eingeschlagene Methodik der Naturforschung ein neues und fruchtbares Gebiet erschließt.

Der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* ist der Verfasser für die Gewährung einer Forschungsbeihilfe zur Entwicklung des 200 kV-Universal-Elektronenmikroskops sehr verpflichtet. Weiterhin hat der Verfasser den Herren Professoren P. THIESSEN und A. BUTENANDT für ihre vertrauensvolle Unterstützung zu danken.

Die Auskeimung der Sporen von *Bacillus vulgatus* nach vorheriger Abbildung im 200-kV-Universal-Elektronenmikroskop¹⁾.

VON M. v. ARDENNE und H. FRIEDRICH-FREKSA.

Objektwahl. Zur experimentellen Prüfung der Frage, ob es möglich sei, irgendein Stadium eines Lebewesens elektronenmikroskopisch zu beobachten und nachträglich daran noch Lebensäußerungen festzustellen, wählten wir als Untersuchungsobjekt die Sporen von *Bacillus vulgatus* Migula (*Kartoffelbacillus*, auch als *Bacillus mesentericus vulgatus* bezeichnet). Die hohe Widerstandsfähigkeit dieser Sporen gegen Austrocknung und Erhitzung ist bekannt, und es war deshalb zu erwarten, daß das Hochvakuum ihre Keimfähigkeit nicht wesentlich herabsetzen würde.

¹⁾ Aus dem Laboratorium von ARDENNE, Berlin-Lichterfelde, und dem Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie, Berlin-Dahlem.

Dadurch erschien dieses Objekt geeignet für die Untersuchung des Einflusses der Strahlenschädigung ohne zu große Beeinträchtigung durch störende Nebenbedingungen.

Nach den Angaben von PRINGSHEIM¹⁾ wurden Kartoffelscheiben mit ihrer Schale einige Sekunden in kochendes Wasser gehalten und dann in Petri-Schalen bebrütet. Von den entstandenen faltigen Bacillenrasen wurde nach 2 Tagen Material mit einer Platinöse entnommen, in Kochsalzlösung kurz aufgekocht und auf Agarplatten ausgestrichen. Die Platten wurden weitere 2 Tage bebrütet und dann bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach

¹⁾ PRINGSHEIM, Zur Verbilligung und Verschärfung der Indolreaktion. Zbl. Bakter. I Orig. 82, 318 (1919).

mehrtägigem Stehen erwiesen sich die Platten als vollständig versport, Bacillen waren nicht mehr aufzufinden.

Versuchsplan. Der Versuchsplan bestand darin, die Sporen des Kartoffelbacillus im 200-kV-Universal-Elektronenmikroskop mit Objektabschattungsvorrichtung¹⁾ zu beobachten und danach festzustellen, ob wenigstens einige von ihnen noch auskeimen vermögen. Dieser Nachweis läßt sich nicht ohne weiteres dadurch führen, daß die zur Beobachtung mit Sporen belegte Folie in einem Kulturmedium auf ihre Keimfähigkeit untersucht wird. Bei der Auftragung geraten Sporen auf Teile der Objektträgerfolie, die nicht bestrahlt worden sind, und diese Sporen keimen in der Nährbouillon aus. Ein strenger Nachweis für die Keimfähigkeit der beobachteten Zelle kann deshalb nur geführt werden, wenn sich beweisen läßt, daß die ausgekeimten Sporen mit den vorher beobachteten identisch sind. Wir faßten deshalb den Plan, den ganzen elektronenmikroskopischen Objektträger in ein geeignetes Keimungsmedium zu bringen und durch spätere Einstellung genau derselben Stelle im Elektronenmikroskop die auskeimenden Sporen zu identifizieren.

Keimungsbedingungen. Dieser Versuchsplan erforderte ein flüssiges Medium zur Keimung. Nach negativen Versuchen mit Glukoselösung und Peptonwasser erwies sich folgendes Medium zur Keimung als geeignet: 1,0 g Liebig's Fleischextrakt, 1,5 g Wittepepton, 100 ccm Aq. dest. und Einstellung der zunächst sauren Lösung mit Soda auf p_H 7,5. In Tropfenkulturen mit dieser Lösung, die auf einem heizbaren Objektisch bei etwa 37° gehalten wurden, konnten die ersten schwärmen-den Bacillen nach 2 $\frac{1}{2}$ –3 Stunden beobachtet werden, nach 5 Stunden schien schätzungsweise die Hälfte der Sporen ausgekeimt zu sein. Weitaus die meisten Bacillen treten als aktiv bewegliche Stäbchen auf, nur wenige keimen im flüssigen Medium zu unbeweglichen Fäden aus. Die Auskeimung erfolgt in flüssigem Medium verhältnismäßig uneinheitlich und mit starker zeitlicher Streuung. Nimmt man die gleiche Bouillon mit Agar als festes Medium, so keimt der größte Teil der Sporen nach 2 $\frac{1}{2}$ –3 Stunden aus. HENNEBERG²⁾ beschreibt für die Sporen äquatoriale Auskeimung und eigentümliche 3-förmige Sporenreste. Letztere konnten wir bei lichtmikroskopischen Untersuchungen nie feststellen, auch fanden wir häufig eine *polare* Auskeimung. Da wir keinen Klon züchteten, kann unser Material ungleichförmig sein, doch zeigt die gleichmäßige Form und Größe der Sporen im elektronenmikroskopischen Bild eine für unsere Zwecke genügende Einheitlichkeit. Größe, Form und Beweglichkeit der auskeimenden Bakterien, Aussehen der Kartoffel- und Agarkultur stimmen mit der Beschreibung für *Bacillus vulgatus* überein.

¹⁾ Vgl. die vorstehende Arbeit von M. VON ARDENNE.

²⁾ W. HENNEBERG, Handb. d. Gärungs bakteriologie Bd. 2. Berlin 1926.

Vorversuche mit Kollodiumfolien. Zunächst belegten wir die in der elektronenmikroskopischen Technik üblichen Kollodiumfolien mit Sporen, nahmen dieses Objekt im Elektronenmikroskop auf und brachten den Objektträger mit der Folie in das Keimungsmedium. Während unbestrahlte Kollodiumfolien diese Behandlung vertragen, zeigte es sich, daß durch die Bestrahlung die Kollodiumfolien so verändert werden, daß sie regelmäßig beim Einbringen in die Flüssigkeit zerreißen. Dadurch wurde eine zweite Aufnahme derselben Stelle mit diesen Folien unmöglich gemacht. Wir mußten deshalb eine andere Folienunterlage wählen.

Herstellung von haltbaren Aluminiumoxydfolien. Zu diesem Zeitpunkt erschien gerade eine Arbeit von HASS und KEHLER¹⁾ über Aluminiumoxydfolien als Trägermaterial für elektronenmikroskopische Untersuchungen. Leider fehlen in dieser Arbeit außer einem Hinweis auf ein Buch von EVANS²⁾, dem wir jedoch in dieser Hinsicht keine uns zusagende Methode entnehmen konnten, nähere Angaben über die Herstellung der Folien, so daß wir gezwungen waren, selbst ein handliches Verfahren zu entwickeln. Die Aluminiumoxydfolie wurde unter Benutzung der Angaben in GMELINS³⁾ Handbuch auf elektrolytischem Wege hergestellt. Ein etwa 1–2 cm breiter und 5 cm langer Streifen einer Aluminiumfolie diente als Anode in 10proz. Schwefelsäure und stand in etwa 2 cm Entfernung einem annähernd gleich großen Platinblech als Kathode gegenüber. Die angelegte Spannung betrug 10 Volt, der anfängliche Stromdurchtritt 0,01 Ampere. Unter diesen Bedingungen bildet sich in 1 $\frac{1}{2}$ Minuten auf dem Aluminium eine unsichtbare Oxydschicht, die gerade noch keine Interferenzfarben zeigt, wie sie bei etwas längerer Elektrolyse auftreten. Die Ablösung der Oxydschicht erfolgte durch Einlegen der oxydierten Aluminiumfolien in gesättigte Sublimatlösung, die in wenigen Minuten die Aluminiumfolie auflöst und nur die Oxydhaut übrigläßt. Die Häutchen sind noch verunreinigt mit Sublimat, das durch alkoholische Jod-Jodkaliumlösung sorgfältig entfernt wird. Nach Auswaschen mit Alkohol wird die Folie aus Wasser auf dem elektronenmikroskopischen Objektträger aufgetragen. Bei den angegebenen Elektrolysezeiten war die Folie im durchfallenden Licht farblos, bei senkrechter Aufsichtbeleuchtung zeigte sie die graue Eigenfarbe des Aluminiumoxyds oder eine einheitliche gelbe Interferenzfarbe. Ihre Dicke läßt sich auf Grund des Stromverbrauchs und der Interferenzfarbe zu 50–150 m μ abschätzen. Derartige Folien sind

¹⁾ G. HASS u. H. KEHLER, Über eine temperaturbeständige und haltbare Trägerschicht für Elektroneninterferenzaufnahmen und übermikroskopische Untersuchungen. Kolloid-Z. 95, H. 1, 26 (1941).

²⁾ U. R. EVANS, Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen. Berlin: Julius Springer 1939.

³⁾ Gmelins Handb. d. anorg. Chemie. 8. Aufl. 1936. Aluminium.

außerordentlich reißfest, schwimmen aber leicht wieder vom Objektträger ab, wenn er wieder in Flüssigkeit gebracht wird. Um diese Störung für unsere Versuche zu vermeiden, führten wir vor dem Auftragen der Sporen auf die Folie eine Art Materialprüfung durch. Die Objektträger mit Folien wurden probeweise in Wasser gebracht und nur dann verwendet, wenn kein Abschwimmen erfolgte, andernfalls neu belegt.

Identifizierung der Sporen. Die Sporen wurden auf eine Aluminiumoxydfolie dicht aufgetragen und im 200-kV-Universal-Elektronenmikroskop mit einer 100fachen Anfangsvergrößerung aufgenommen. Die Verwendung von Schumann-Platten gestattet eine förderliche Nachvergrößerung von 10mal.

ist erstaunlich, wenn man bedenkt, welche starken Wasserbewegungen beim Eintrocknen stattfinden. *Jede Spore der ersten Aufnahme ist in der zweiten Aufnahme wiederzufinden.* Es geht daraus hervor, daß die Sporen an der Aluminiumoxydfolie gut festgehalten werden. Zugleich erweist die vortreffliche Übereinstimmung beider Aufnahmen auch die Reproduzierbarkeit der elektronenoptischen Verhältnisse. Die am Rande gelegenen Sporen sind deutlich etwas weniger scharf als in der Mitte. Durch das ungewöhnlich große für diese Aufnahmen eingestellte Gesichtsfeld tritt die Zunahme des Öffnungsfehlers mit steigendem Abstand von der optischen Achse hier unmittelbar in die Erscheinung. Bemerkenswert ist auch, daß die Sporen deutlich streifenweise angeordnet sind;

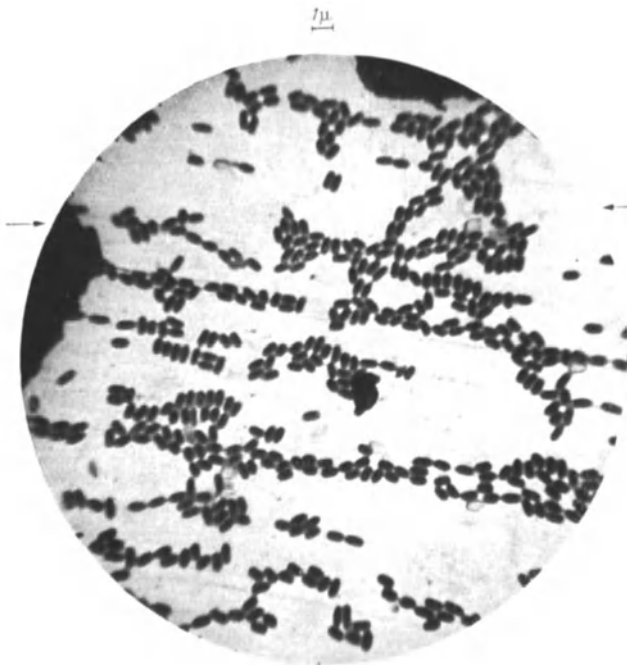


Fig. 1. Sporen des Kartoffelbacillus auf Aluminiumoxydfolie. Der Sektor unterhalb der Pfeile wurde während der Beobachtung abgeschattet und bei der Aufnahme mit etwas über 10^{-5} Coulomb pro cm^2 belastet. Strahlspannung 180 kV.

Fig. 1 zeigt eine Aufnahme bei insgesamt 3300facher Vergrößerung. Der unterhalb der Pfeile gelegene Sektor wurde durch die Objektabschattungsvorrichtung abgedeckt und nur während der Aufnahme für 2 Sekunden belichtet. Der obere Sektor diente zur Einstellung auf dem Leuchtschirm und wurde mehrere Minuten bestrahlt. Darauf wurde der Objektträger 3 Stunden lang bei 34° im Keimungsmedium gehalten und vor Wiederholung der Aufnahme vorsichtig mit destilliertem Wasser gespült, um das Auftreten von Trockenrückständen zu vermeiden. Die wiederholte Aufnahme nach 3 Stunden zeigt Fig. 2. Die Übereinstimmung beider Aufnahmen

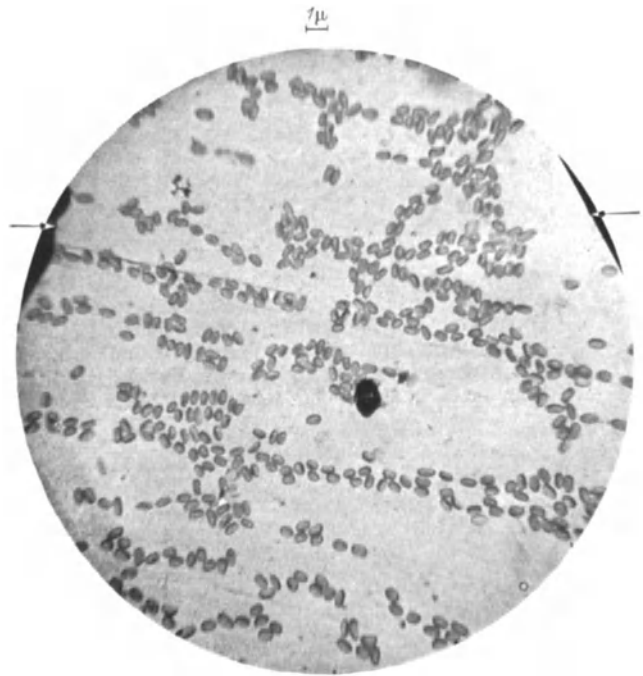


Fig. 2. Derselbe Objektausschnitt wie in Fig. 1 nach $3\frac{1}{2}$ Stunden Verweilen in Nährbouillon. Jede Spore noch an ihrem Platz, kein Auskeimen.

sie legen sich nämlich in Mikrorillen, die von der Walzstruktur der ursprünglichen Aluminiumfolie herrühren.

Von einer Sporenkeimung ist auf der zweiten Aufnahme nichts zu bemerken, es ist nur deutlich, daß sämtliche Sporen auf der zweiten Aufnahme heller erscheinen als auf der ersten. Das beruht zum Teil darauf, daß durch das Spülen mit destilliertem Wasser Salze aus den Sporen gelöst werden. Wir konnten nämlich in einer Kontrollaufnahme nachweisen, daß eine gewisse Aufhellung auch eintritt, wenn die Sporen nur wenige Minuten in destilliertem Wasser liegen. Zum Teil hängt aber die Aufhellung wohl mit einer Quellung der Sporen zusammen, die sich auch darin äußert,

daß viele Sporen eine mehr rundliche Form angenommen haben.

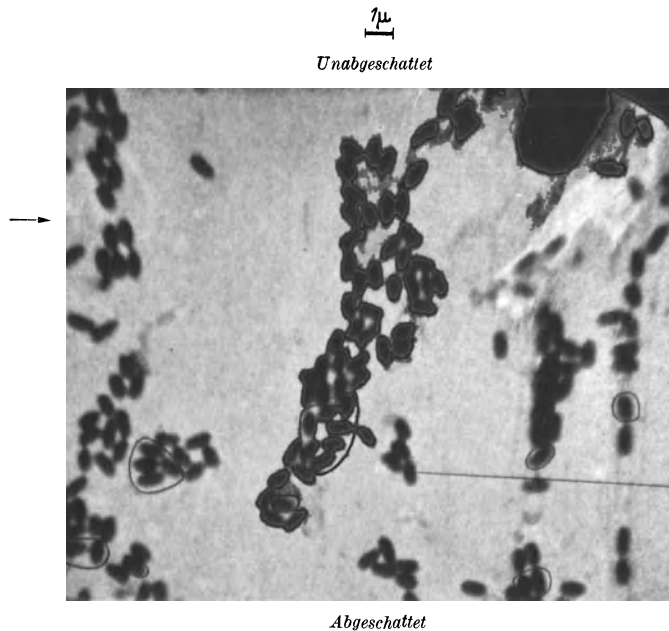


Fig. 3. Erstes elektronenmikroskopisches Bild eines nach der übermikroskopischen Aufnahme lebensfähigen Objektes. (Sporen des Kartoffelbacillus.) Der untere abgeschattete Teil wurde bei der Aufnahme mit ungefähr 10^{-6} Coulomb pro cm^2 belastet. Strahlspannung 180 kV. Die Kreise bezeichnen Stellen, an denen in der nachfolgenden Aufnahme Sporen fehlen.

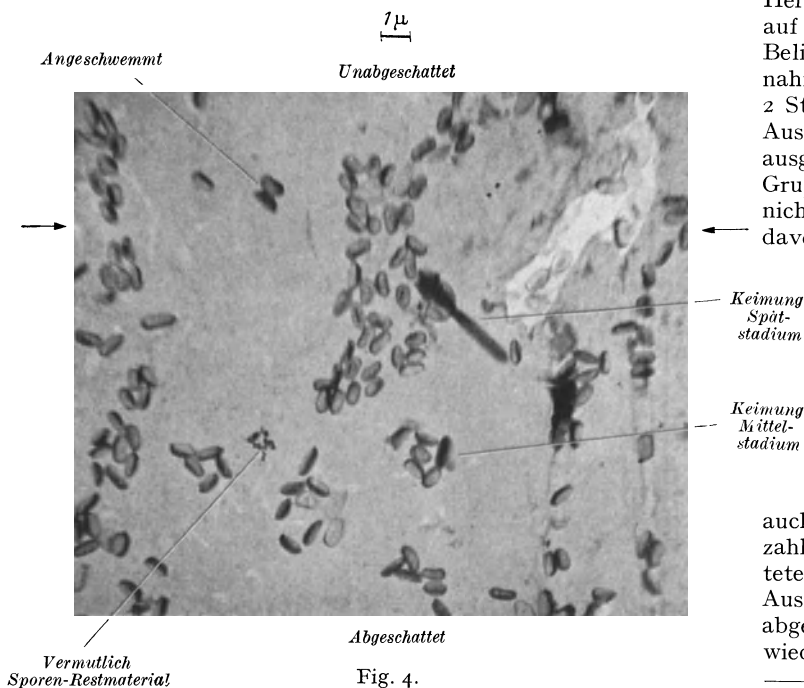


Fig. 4.

Derselbe Objektausschnitt wie in Fig. 3 nach 4stündigem Aufenthalt in Nährbouillon. 2 Keimungsstadien im abgeschatteten Gebiet.

In einer Kontrollaufnahme konnten wir feststellen, daß auf einem in das Hochvakuum eingeschleusten, nichtbestrahlten Objektträger eine nachträgliche Auskeimung der Sporen stattfindet. Demnach war anzunehmen, daß die Strahlungsdosis für dieses Bildpaar noch zu hoch gewählt worden war. Eine Messung der Plattenschwärzung ergab den Wert 1,8, danach ist die Coulombzahl pro Quadratcentimeter bei der hier benutzten Schumann-Platte handelsüblicher Schichtdicke etwa von der Größe 5×10^{-11} (unveröffentlichter Empfindlichkeitsvergleich von V. ARDENNE). Da eine 1000fache lineare Vergrößerung angewandt wurde, so geht daraus hervor, daß die Stromdichte pro Quadratcentimeter des Objektes ungefähr 5×10^{-5} Coulomb beträgt. Das ist aber nach der Extrapolation¹⁾ von Versuchen, die HASKINS an Ascomycetensporen ausgeführt hat, ein Betrag, der die Grenze der letalen Dosierung überschreitet. Danach müßte eine Herabsetzung der Strahlung auf ein Zehntel bereits geeignet sein, um eine Auskeimung zu ermöglichen.

Erstes elektronenmikroskopisches Bildpaar eines Lebensvorgangs. Die Verringerung der Strahlungsdosis wurde auf doppeltem Wege vorgenommen, durch Herabsetzung der Anfangsvergrößerungen auf 500fach und durch Herabsetzung der Belichtungszeit. Den Erfolg dieser Maßnahmen zeigen Fig. 3 und 4. Hier ist an 2 Stellen im abgeschatteten Gebiet eine Auskeimung zu sehen. Das obere, lang ausgewachsene Stäbchen hängt mit einer Gruppe von 3 Sporen zusammen und ist nicht mit Sicherheit auf eine bestimmte davon zu beziehen. Wahrscheinlich handelt es sich um eine äquatoriale Auskeimung aus der obersten der 3 Sporen. Das untere, kurz ausgekeimte Stäbchen ist polar ausgekeimt aus einer genau identifizierbaren Spore. Hierbei ist noch bemerkenswert, daß die Spore bei der Auskeimung eine kleine Drehung gegen ihren Nachbarn vorgenommen hat. Außerdem fehlen aber auch im abgeschatteten Gebiet eine Anzahl Sporen, während im nichtabgeschatteten Gebiet keine einzige fehlt. Eine Auszählung ergab folgendes: Im nicht abgeschatteten Gebiet sind 29 Sporen wieder zu identifizieren, es fehlt im

¹⁾ M. VON ARDENNE, Elektronen-Übermikroskopie. S. 106. Berlin: Julius Springer 1940.

zweiten Bild keine, 2 sind nachträglich hinzugeschwemmt worden. Im abgeschatteten Gebiet sind 111 Sporen zu identifizieren, es fehlen 19, 3 sind hinzugeschwemmt worden. Da die im flüssigen Medium auskeimenden Bacillen dieser Art meistens aktiv beweglich sind, so ist es nicht möglich, sie wieder aufzufinden. Wahrscheinlich sind nicht alle 19 fehlenden Sporen ausgekeimt, es ist vielmehr anzunehmen, daß eine Spore bei der Auskeimung ihre Nachbarsporen in der Lage lockern kann, so daß sie später beim Herausnehmen des Objektträgers abschwimmen. Hierfür spricht, daß am Rande der Gruppe, bei der die meisten Sporen (7) fehlen, eine geringe Verschiebung einer Spore nach unten und einer nach der Seite aufgetreten ist, ferner wird dadurch verständlich, daß bei dem früher gezeigten Bildpaar Fig. 1 und 2 keine angeschwemmten Sporen aufgetreten sind. Da nun an 8 unabhängigen Stellen Sporen fehlen, und 2 während der Auskeimung zu sehen sind, so dürften etwa 10 von 121, also über 8%, gekeimt sein gegenüber 0% im nicht abgeschatteten Gebiet.

Die Plattenschwärzung bei der ersten dieser Aufnahmen betrug 1,3, daraus läßt sich für 500fache Vergrößerung die Objektbelastung etwa zu 4×10^{-6} Coulomb pro cm^2 abschätzen. Die bestrahlte Sporenfläche beträgt ungefähr $0,5 \mu^2$, das ergibt 2×10^{-14} Coulomb pro Spore, d. h. jede Spore wird ungefähr mit 120000 Elektronen durchströmt. Bei dieser Strahlspannung werden aber ungefähr nur 10/100 der durchströmenden Elektronen absorbiert.

Wiederholung des Versuchs und möglicher Einfluß der Röntgenstrahlen. Eine Wiederholung des Versuchs der Fig. 3 und 4 unter annähernd gleichen Bedingungen zeigen Fig. 5 und 6. Hier ist an einer Stelle eine auskeimende Spore klar zu identifizieren, an einer anderen Stelle ist eine etwas fragliche Veränderung vor sich gegangen, die möglicherweise auf einer gleichzeitigen Auskeimung zweier benachbarter Sporen beruht. Es fehlt keine einzige Spore, so daß die Auskeimungsrate im Vergleich zum vorigen Bild vermindert ist. Dieser Umstand ließ uns vermuten, daß noch ein unberücksichtigter Faktor störend in unseren Versuchen wirksam ist. Wahrscheinlich wirkt außer der Elektronenstrahlung auch noch die Röntgenstreustrahlung hemmend auf die Sporen ein. Wie bereits oben angedeutet wurde, hat VON ARDENNE zu diesem Zweck

noch eine Abschirmung zur Minderung der Röntgenstrahlung in Objektnähe bei seinem

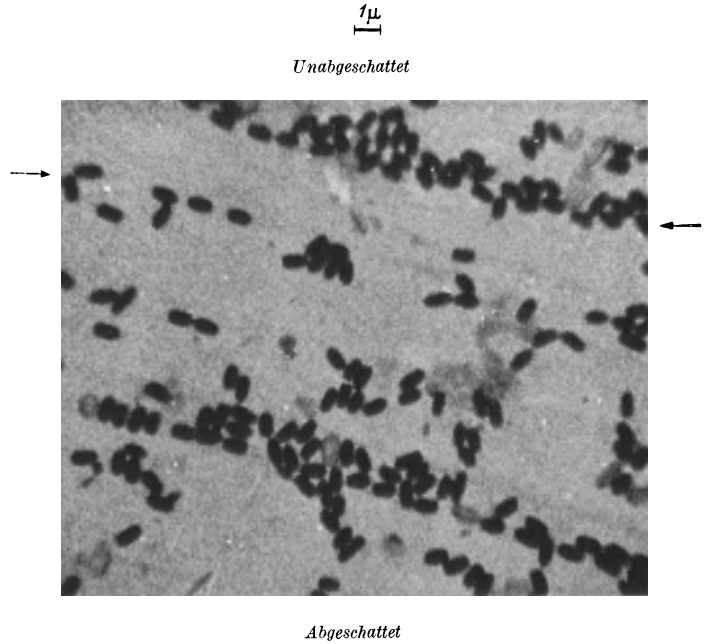


Fig. 5. Sporen des Kartoffelbacillus unter annähernd gleichen Bedingungen aufgenommen wie in Fig. 3.

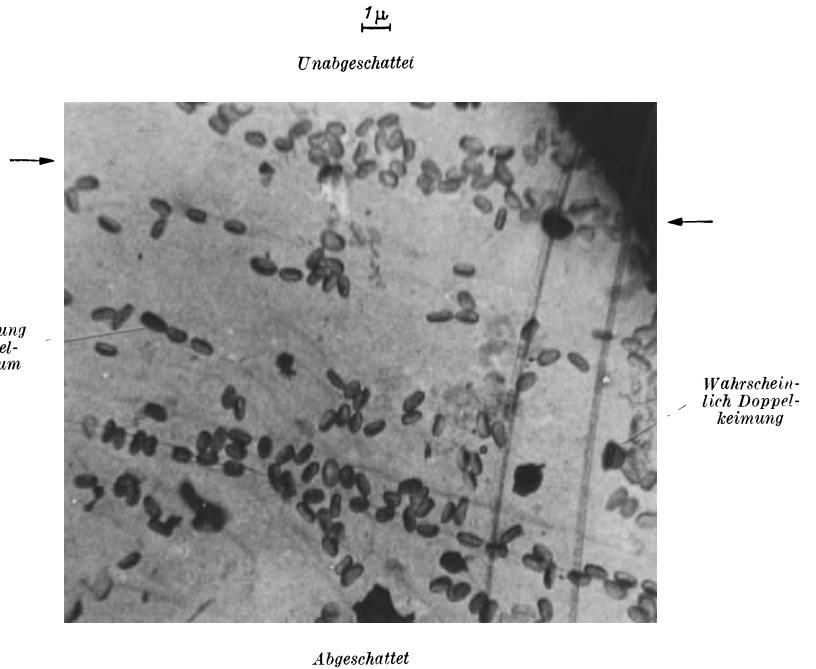


Fig. 6. Derselbe Objektausschnitt wie in Fig. 5 nach 5 Stunden Aufenthalt in Nährbouillon. Ein sicheres, ein fragliches Auskeimungsstadium.

200-kV-Elektronenmikroskop vorgesehen. Unter Benutzung dieser Einrichtung führten wir eine

Reihe neuer Versuche mit längerer Bebrütungszeit aus, die aber bis auf einen wegen Abschwimmens der Folie mißglückten. Auch bei diesem war eine genaue Auswertung nicht möglich, weil die erste Aufnahme einen zu dicht belegten Objektausschnitt erfaßte, doch war der Eindruck nach der Bebrütung ähnlich wie bei einem bebrüteten unbestrahlten Objektträger.

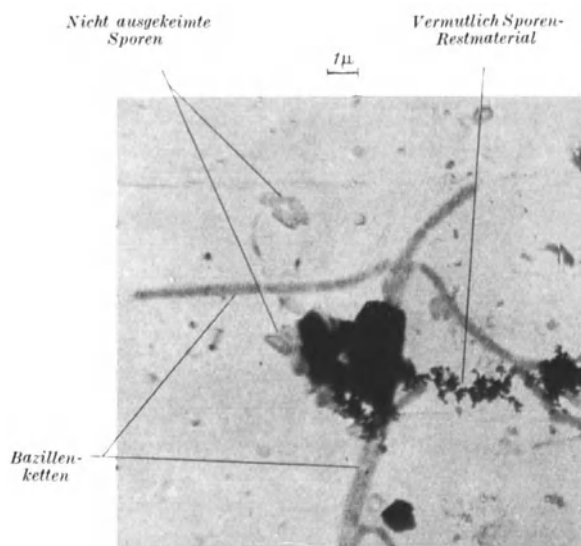


Fig. 7. Veränderungen an unbestrahlten Kartoffelbazillensporen nach 5 Stunden Aufenthalt in Nährbouillon.

Fig. 7 gibt das Bild der Auskeimung auf einem nichtbestrahlten Objektträger. Es sind nur wenig Sporen vorhanden, obwohl vorher ebenso dicht aufgetragen wurde wie bei den früheren Aufnahmen. Es sind Fäden von Bakterien zu sehen

und abgelagerte schwarze Massen. Die fein strukturierten schwarzen Gebilde sind möglicherweise Sporenrestmaterial, denn wir fanden sie immer nur auf Objektträgern, auf denen in größerem Maße eine Auskeimung vor sich gegangen war. Sie sind übrigens auch in Fig. 6 links aufzufinden.

Die Störung durch Abschwimmen der Folie bei längerer Bebrütungszeit konnten wir schließlich durch Festkleben der Folie mit feinen durch Kapillaren aufgetragenen Kautschuktröpfchen überwinden. Hierbei muß darauf geachtet werden, daß die Konsistenz der Kautschuklösung gerade so ist, daß kein Verfließen der Tropfen auf die Objektträgeröffnung stattfindet. Hiermit wurde noch ein Aufnahmepaar mit 7 Stunden Bebrütungszeit erzielt. Bei der ersten Aufnahme sind die Sporen zum Teil verschwommen voneinander abgegrenzt, so daß sich ihre Zahl nur abschätzen ließ. Von ungefähr 30 Sporen im nicht abgeschatteten Gebiet fehlen höchstens 2—3, während im abgeschatteten Gebiet von ungefähr 100 mindestens 30 beweglich geworden sind, außerdem war wieder ein Auskeimungsstadium vorhanden. Damit konnte auch das Auszählungsergebnis von Abb. 3 und 4 in erhöhtem Prozentsatz reproduziert werden.

Für wirksame Unterstützung unserer Arbeit haben wir der *Deutschen Forschungsgemeinschaft* zu danken.

Zusammenfassung: Durch Anwendung von hohen Strahlspannungen (180 kV) und Vermeidung unnötiger Bestrahlung durch eine Abschattungsvorrichtung nach v. ARDENNE lassen sich Sporen des Kartoffelbacillus elektronenmikroskopisch unter Erhaltung ihrer Keimfähigkeit abbilden. Die zur Abtötung einer Spore notwendige Dosis liegt bei der Strahlspannung von 180 kV in der Größenordnung von 10^5 durchströmenden Elektronen pro Spore.

Über Eigenschaften, Bildungsweise und Struktur der Heteropolyverbindungen¹⁾.

Von K. F. JAHR, Berlin-Charlottenburg.

[Schluß*].]

IV. Die Kristallstrukturanalyse einiger Heteropolysäuren und ihr Ergebnis.

Bereits im Jahre 1929 hat L. PAULING (6) Vorstellungen über die Struktur kristallisierter Heteropolyverbindungen der 12- und der 9-Reihe entwickelt. Die von PAULING vorgeschlagene, konstitutionswasserreiche Struktur läßt sich für die 1-Phosphor-12-Wolframsäure formelmäßig folgendermaßen wiedergeben: $H_3[PO_4(W_{12}O_{18})(OH)_{36}]$. Der Vorschlag von PAULING mußte aber schon deshalb verlassen werden, weil er die Existenz wasserarmer oder wasserfreier Verbindungen ausschließen würde; auch konnte I. L. HOARD (7) mit Hilfe von Laueaufnahmen zeigen, daß zwischen

¹⁾ Aus dem Anorganisch-Chemischen Institut der Technischen Hochschule Berlin.

*) Vgl. Heft 34, S. 505.

den beobachteten und den nach dem Vorschlag von PAULING berechneten Intensitäten keine Übereinstimmung besteht.

Das Verdienst, erstmalig eine nach den Röntgenaufnahmen mögliche Struktur für die Heteropolyverbindungen der 12-Reihe aufgestellt zu haben, kommt I. F. KEGGIN (7), einem Mitarbeiter von W. L. BRAGG, zu. Die experimentelle Grundlage waren Pulveraufnahmen an dem 5- und dem 29-Hydrat der 3basischen 1-Phosphor-12-Wolframsäure, $H_3[PW_{12}O_{40}]$. Später konnte von R. SIGNER u. a. (7) gezeigt werden, daß allen kristallisierten 12-Heteropolyverbindungen des Molybdäns und des Wolframs die gleiche Struktur zukommt; dies gilt auch für die mit ihnen isomorphe 12-Isopolysäure $H_8[W_{12}O_{40}]$, die Metawolframsäure.

1. Der Bau der 1-Phosphor-12-Wolframsäure nach I. F. KEGGIN und der Metawolframsäure nach R. SIGNER.

Das einzelne Anion der Verbindung $H_3[PW_{12}O_{40}]$ enthält nach KEGGIN ein zentrales Phosphorion, um das regulär tetraedrisch 4 Sauerstoffionen angeordnet sind. Jedes der 12 Wolframionen sitzt inmitten einer Gruppe von 6 Sauerstoffionen, deren Mittelpunkte die Ecken eines (verzerrten) Oktaeders bilden. Die 12 WO_6 -Oktaeder umgeben gleichsam in Form einer Schale das zentrale PO_4 -Tetraeder; sie sind miteinander und mit dem PO_4 -Tetraeder durch gemeinsame Sauerstoffionen verknüpft, erscheinen aber in 4 Gruppen von je 3 enger zusammengehörenden WO_6 -Oktaedern angeordnet. Die 12 Oktaeder bilden dadurch eine Schale von tetraedrischer Symmetrie.

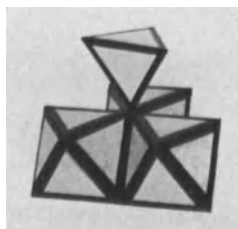


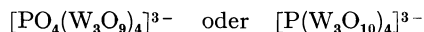
Fig. 3. Verknüpfung der Triwolframatgruppe mit dem Phosphattetraeder im Molekül der 1-Phosphor-12-Wolframsäure nach I. F. KEGGIN.

Jedes der 3 WO_6 -Oktaeder, die besonders fest miteinander verbunden sind, hat mit den beiden benachbarten 2 Kanten gemeinsam. Alle 3 Oktaeder haben miteinander und mit dem PO_4 -Tetraeder ein gemeinsames Sauerstoffion. Die 4 Gruppen zu je 3 WO_6 -Oktaedern sind nach KEGGIN lediglich über gemeinsame Ecken miteinander verbunden; Kantenverknüpfung besteht nur innerhalb der Dreiergruppen.

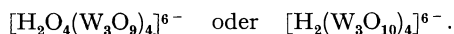
Fig. 3 zeigt die Vereinigung der 3 WO_6 -Oktaeder zur W_3O_{10} -Gruppe und ihre Verbindung durch eine gemeinsame Ecke, d. h. durch ein Sauerstoffion, mit dem zentralen PO_4 -Tetraeder.

Fig. 4 gibt eine Anschauung vom Bau des gesamten Anions. Man erkennt die tetraedrische Anordnung der 4 W_3O_{10} -Gruppen um das zentrale PO_4 -Tetraeder und ihre Verknüpfung durch gemeinsame Ecken. Das in der Figur gezeigte Modell ist idealisiert, da die WO_6 -Oktaeder in Wirklichkeit nicht regulär, sondern durch Kontrapolarisation verzerrt sind.

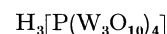
Will man diese Struktur des komplexen Anions $[PW_{12}O_{40}]^{3-}$ formelmäßig wiedergeben, so muß man



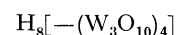
schreiben. Die analoge Struktur der Metawolframsäure wurde von R. SIGNER und H. GROSS (7) in Anlehnung an die Aquattheorie so gedeutet, daß an Stelle der zentralen PO_4 -Gruppe das hypothetische Anion $(H_2O_4)^{6-}$ treten solle. Das Metawolframation ist also folgendermaßen formuliert worden:



Den wahren Verhältnissen dürfte aber wohl die Annahme viel näherkommen, daß die Metawolframsäure im Gegensatz zu den 12-Heteropolysäuren *kein* zentrales Kation (z. B. P^{5+}) besitzt, sondern daß sie lediglich aus der leeren, durch die Metallsäure gebildeten „Schale“ besteht. Der Formel der 1-Phosphor-12-Wolframsäure



würde dann die Formel der Metawolframsäure



entsprechen. Zwar bildet die Metawolframsäure im allgemeinen nur 6 basische Salze, z. B.

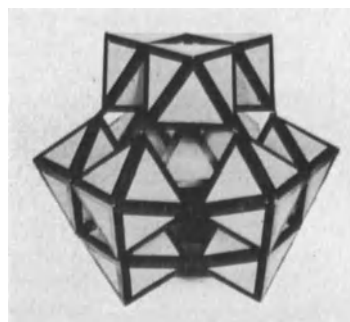


Fig. 4. Bau der 1-Phosphor-12-Wolframsäure nach I. F. KEGGIN.

$Na_6H_2[W_{12}O_{40}]$, doch ist sie, wie bereits oben erwähnt wurde, tatsächlich maximal 8 basisch: H. COPAUX (37) gelang es, ein kristallisiertes Doppelsalz von der Zusammensetzung $Hg_8[W_{12}O_{40}] + HgNO_3 + 14 H_2O$ zu gewinnen.

Strukturen mit vergleichbaren Verhältnissen, d. h. mit nur teilweise besetzten oder völlig leeren Gitterpunkten im Vergleich mit einer ähnlichen Bezugsstruktur, sind seit längerem bekannt (48). So wird z. B. von E. BRANDENBERGER $Ca_3Al_2(OH)_{12} = Ca_3[Al(OH)_6]_2$ mit einer dem Granat ähnlichen Struktur beschrieben, in der die Si-Positionen des Granats $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$ nunmehr vollständig unbesetzt bleiben unter gleichzeitiger Ersetzung von O durch OH. Ferner beschreiben W. BÜSEM und A. EITEL $12 CaO \cdot 7 Al_2O_3$ ebenfalls als eine granatähnliche Struktur, in der, abgesehen von einer Symmetrierniedrigung, nunmehr nur die Hälfte der Si-Positionen durch Al besetzt wird bei einer zwangsläufigen Herabsetzung der am Aufbau des Gitters beteiligten O-Ionen: $(Ca_3Al_2Si_3O_{12}) \cdot 8 = Ca_{24}Al_{16}Si_{24}O_{96} = \text{Granat}$; $(12 CaO \cdot 7 Al_2O_3) \cdot 2 = Ca_{24}Al_{16}O_{66}$.

In beiden Fällen werden also, wie im Fall Metawolframsäure/1-Phosphor-12-Wolframsäure, Gitterpositionen mit tetraedrischer Koordination der O-Ionen unbesetzt belassen. Diese O-Ionen sind, ebenso wie im vorliegenden Falle, auch noch anderen Koordinationspolyedern zugehörig, so daß das zentrale Kation zur Stabilisierung des Komplexes nicht unbedingt notwendig erscheint. Allerdings sollte dann eine genauere Strukturanalyse zeigen, daß die WO_6 -Oktaeder der Metawolframsäure weniger verzerrt sind als die der Heteropolysäuren, da das kontrapolarisierende Zentral-kation fehlt.

2. Kritik der beschriebenen Struktur.

Das von KEGGIN aufgestellte Strukturmodell gibt für die wesentlichen Eigenschaften der 12-Heteropolysäuren und der Metawolframsäure eine durchaus überzeugende Erklärung:

Der regelmäßige, sehr symmetrische Bau des Komplexions macht es verständlich, daß die Heteropolyverbindungen, obwohl sie recht hochmolekular sind, gut kristallisieren. Vor allem wird die Gleichartigkeit des physikalischen und chemischen Verhaltens der verschiedenen Verbindungen der 12-Reihe plausibel; der beobachtete geringe spezifische Einfluß der Stammsäure auf die chemischen Eigenschaften ist auf die ganz gleichartige Anordnung der großen Metallsäureschale zurückzuführen, durch die das zentrale Kation (P^{5+} , Si^{4+} , B^{3+} usw.) völlig eingeschlossen wird; die weitgehenden Isomorphiebeziehungen der 12-Heteropolyverbindungen untereinander und mit der Metawolframsäure sind so ebenfalls zu verstehen. Auch der stabilisierende Einfluß der Stammsäure wird durch das Modell von KEGGIN gut erklärt: ihr Einbau in das Zentrum des Anions verhindert weitergehende Kondensations- und Polymerisationsreaktionen in saurer Lösung; die Metawolframsäure dagegen, die kein zentrales, den Zusammenhalt der Komplexverbindung unterstützendes Kation enthält, neigt besonders in konzentrierter wässriger Lösung stark zur weiteren Kondensation unter Abscheidung von Wolframtrioxydhydrat. Endlich werden die bei der Salzbildung zumeist betätigten Basizitäten durch das Modell richtig wiedergegeben; hier muß jedoch die Einschränkung gemacht werden, daß — zumindest in konzentriert-wässriger Lösung — auch höherbasische, also konstitutionswasserreichere Formen der 12-Heteropolysäuren, z. B. $H_7[PW_{12}O_{42}]$, existieren müssen; dies ist bereits oben ausführlich begründet worden.

Die Eigenschaften und das Verhalten der 12-Heteropolysäuren werden also durch das Strukturmodell von I. F. KEGGIN im allgemeinen richtig wiedergegeben. Trotzdem hat dieses Modell einen nicht wegzuleugnenden Mangel: es ist nicht imstande, die durch zahlreiche Experimente sicher gestellte Beobachtung befriedigend zu erklären, daß die 12-Heteropolysäuren in wässriger Lösung verhältnismäßig leicht hydrolysieren und dabei in Hexawolframat- bzw. Hexamolybdationen auseinanderbrechen. Ein Aufspalten in die Triwolframat- bzw. Trimolybdatgruppen (W_3O_{10})²⁻ bzw. (Mo_3O_{10})²⁻ wäre weit aus verständlicher.

Nun gibt es zwar einige Anzeichen (49) dafür, daß im Verlauf der Kondensation von 6 Monomolybdationen zu einem Anion der Hexamolybdänsäure vorübergehend eine Trimolybdänsäure entsteht; diese ist aber in wässriger Lösung über keinen größeren Bereich der $[H^+]$ beständig (43), sondern aggregiert sofort weiter. Für das intermediäre Auftreten einer Trimolybdänsäure mit dem Anion ($Mo_3O_{11} \cdot aq$)⁴⁻ sprechen potentiometrische und kinetische Untersuchungen von I. SAND und F. EISENLOHR sowie konduktometrische Messungen von G. JANDER, K. F. JAHR und W. HEUKESHOVEN.

Ein neutrales, wasserfreies Lithiumsalz dieses an sich unbeständigen Ionentyps haben F. EPHRAIM und L. BRAND beschrieben. Da der Übergang der Monowolframationen in die Ionen der Hexawolframsäure ein der Entstehung der Hexamolybdänsäure völlig entsprechender Vorgang ist, so ist auch die Annahme einer vorübergehend auftretenden Triwolframsäure nicht unwahrscheinlich. Ein Ammoniumsalz dieser Säure (50) scheint die von M. C. MARIGNAC dargestellte Verbindung $2(NH_4)_2O \cdot 3WO_3 \cdot 3H_2O$ zu sein, die neuerdings von W. DAWIHL reproduziert wurde.

Tatsächlich sind aber eine Triwolframsäure und eine Trimolybdänsäure in keinem Bereich der $[H^+]$ existenzfähig. *Das Auftreten der Hexawolframsäure und der 1-Phosphor-6-Wolframsäure im Verlauf der Hydrolyse der 1-Phosphor-12-Wolframsäure wird durch das von KEGGIN entwickelte Strukturmodell nicht erklärt.*

G. JANDER und K. F. JAHR (44) äußerten sich hierzu im Jahre 1935 u. a. folgendermaßen: „Wir glauben also, daß sich bei stärkerer Berücksichtigung der neueren Erfahrungen und Anschauungen über die Beziehungen der Iso- und Heteropolysäuren zueinander aus den Röntgenaufnahmen der 1-Metalloid-12-Wolframsäure eine Kristallstruktur wird ableiten lassen, die zwar der von KEGGIN angegebenen ähneln, sich aber dennoch durch ein noch stärkeres Hervortreten der engeren Zusammengehörigkeit von Hexawolframatgruppen innerhalb des untersuchten Atomverbandes auszeichnen wird.“ Im folgenden soll gezeigt werden, daß tatsächlich eine — vom Standpunkt des Chemikers betrachtet — nur geringfügig erscheinende Umformung des von KEGGIN befürworteten Strukturmodells geeignet erscheint, eine Vorstellung vom Bau der 12-Heteropolysäuren zu geben, die das Verhalten dieser Verbindungen in wässriger Lösung noch besser als die bisherige verstehen läßt.

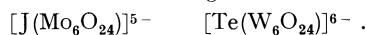
3. Der wahrscheinliche Bau der 6-Heteropolysäuren und der Hexawolframsäure.

Vor der eigentlichen Besprechung des neuen Modells für die Anionen der 12-Heteropolysäuren muß zunächst auf einen Strukturvorschlag aufmerksam gemacht werden, der den Bau der 6-Heteropolysäuren betrifft; er wurde im Jahre 1937 von I. S. ANDERSON (45) bekanntgegeben.

ANDERSON machte darauf aufmerksam, daß sich die kristallisierten Heteropolyverbindungen der 6-Reihe (vgl. Tabelle 1, Gruppe II) ausschließlich von Stammsäuren ableiten, deren zentrales Kation die Koordinationszahl 6 betätigt: $H_5[J_6O_6]$ und $H_6[Te_6O_6]$. Versucht man nun, die 6-Heteropolysäuren nach den gleichen Grundsätzen aufzubauen, die auch KEGGIN bei der Aufstellung des Strukturbildes der 12-Heteropolysäuren leiteten, so erhält man das durch Fig. 5 wiedergegebene Strukturbild.

Die 6 Metallsäureoktaeder sind hier in einem hexagonalen Ring so angeordnet, daß jedes von ihnen mit den beiden benachbarten je eine Kante, d. h. 2 Sauerstoffionen, gemeinsam hat. Im Innern des so entstandenen Ringes — (W_6O_{24})¹²⁻ bzw.

$(\text{Mo}_6\text{O}_{24})^{12-}$ — kann gerade das zentrale Kation einer 6fach koordinierten Stammsäure Platz finden; diese ist derart eingebaut, daß sie ihre sämtlichen 6 Sauerstoffionen mit den WO_6 - bzw. MoO_6 -Oktaedern des herumgruppierten Metallsäurerings gemeinsam hat. Formelmäßig läßt sich die von ANDERSON vorgeschlagene Struktur z. B. folgendermaßen wiedergeben:



Der Vorschlag ist experimentell noch nicht nachgeprüft worden, besitzt aber zweifellos große Wahrscheinlichkeit.

Wenn diese Vorstellungen richtig sind, so stellt zugleich der hexagonale Metallsäurering $(\text{M}_6\text{O}_{24})^{12-}$

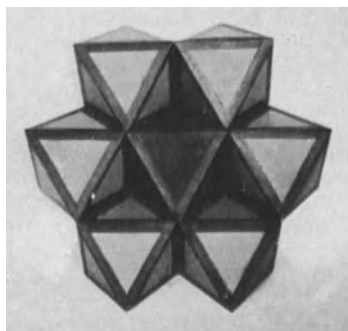
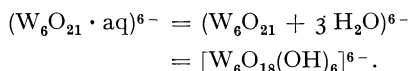


Fig. 5. Strukturvorschlag von I. S. ANDERSON für die 6-Heteropolysäuren, z. B. für die 1-Tellur-6-Wolframsäure.

die Struktur der Hexamolybdänsäure bzw. Hexawolframsäure dar, z. B.:



Ein weiterer Wasseraustritt aus dem kondensierten Anion erscheint nicht möglich, da sonst Gebilde entstehen würden, die der PAULINGSchen Regel widersprechen. Wohl aber sind konstitutionswasserreichere, also lockerer aufgebaute und daher reaktionsfähigere Formen der Hexasäuren denkbar. Der M_6O_{24} -Ring stellt also die *stabile* Form der 6-Isopolysäuren dar, wie sie z. B. in gealterten Parawolframatlösungen vorliegt (s. oben!).

4. Ein neuer Strukturvorschlag für die 12-Heteropolysäuren und die Metawolframsäure.

Durch eine geringfügige gegenseitige Verschiebung der W_3O_{10} - bzw. Mo_3O_{10} -Gruppen innerhalb des KEGGINschen Modells der 12-Heteropolysäuren gelingt es nun, zu einer neuen, noch leistungsfähigeren Vorstellung vom Bau dieser Verbindungen zu gelangen. Fügt man nämlich die von KEGGIN ermittelten 4 M_3O_{10} -Gruppen nicht mit den (nach innen gerichteten) Ecken, sondern mit den *Kanten* aneinander, so erhält man das in Fig. 6 dargestellte Strukturbild, das im Gegensatz zum Modell von KEGGIN (Fig. 4) ohne weiteres das Strukturelement Hexawolfram(-molybdän-)säure erkennen läßt: von allen Seiten sieht man deutlich

den M_6O_{24} -Ring des Modells der 6-Heteropolysäuren von ANDERSON.

Im übrigen ist das neu vorgeschlagene Strukturbild nach völlig den gleichen Gesichtspunkten aufgebaut wie das von KEGGIN: Im Zentrum des weiträumig gebauten Polyanions befindet sich das Tetraederion der Stammsäure. Es ist in tetraedrischer Anordnung umgeben von 4 M_3O_{10} -Gruppen, die je 1 Sauerstoffion mit der Stammsäure gemeinsam haben. Jede der 4 Dreiergruppen hat mit den 3 anderen — wie im Modell von KEGGIN — je 2, also insgesamt 6 Sauerstoffionen gemeinsam. Der einzige Unterschied besteht darin, daß je 2 Dreiergruppen durch eine Oktaederkante, und nicht durch 2 Oktaederecken, miteinander ver-

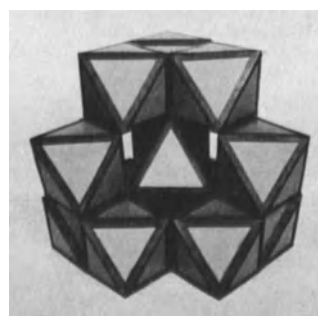
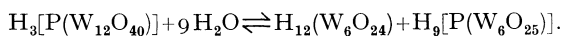


Fig. 6. Strukturvorschlag von K. F. JAHR für die 12-Heteropolysäuren, z. B. für die 1-Phosphor-12-Wolframsäure.

bunden sind. Die Formel des Polyanions — z. B. $[\text{P}(\text{W}_{12}\text{O}_{40})]^{3-}$ — ändert sich durch diesen Umbau nicht.

Die neu vorgeschlagene Struktur bietet für die Erklärung der Eigenschaften der 12-Heteropolysäuren ganz die gleichen Vorteile wie das Modell von KEGGIN. Sie leistet aber erheblich mehr für das Verständnis der durch zahlreiche Beobachtungen genau bekannt gewordenen Hydrolysevorgänge, denen die 12-Polyanionen in wässriger Lösung unterliegen. So macht z. B. das neue Strukturbild die Hydrolyse der 1-Phosphor-12-Wolframsäure in eine Hexawolframsäure und in eine 1-Phosphor-6-Wolframsäure leicht verständlich; man braucht nur den oberen Teil des Modells von dem unten liegenden Hexawolframsäurering abzuheben. Dieser Vorgang läßt sich durch folgende Formulierung schematisch wiedergeben:



Die 1-Phosphor-6-Wolframsäure ist wahrscheinlich infolge der Tetraederform des Phosphations, das die 6 WO_6 -Oktaeder um sich herum gruppiert, ganz andersartig aufgebaut als der hexagonale Ring der Hexawolframsäure; die Tatsache, daß es bisher nicht möglich war, kristallisierte Salze dieser doch stark komplexen Heteropolysäure zu gewinnen, hängt vielleicht mit dem eigenartig unsymmetrischen Aufbau zusammen, der sich aus dem neuen Strukturmodell der 1-Phosphor-12-Wolframsäure für dieses Hydrolyseprodukt zwanglos ergibt.

Die hier neu vorgeschlagene (46) Struktur der 12-Heteropolysäuren und der Metawolframsäure scheint mir geeignet, die Widersprüche zu beseitigen, die immer noch zwischen den Ergebnissen der röntgenographischen Forschung und den gesicherten Erkenntnissen bestehen, die sich aus der chemischen Untersuchung des gesamten Verhaltens der genannten Verbindungen in wässriger Lösung ergeben haben. Doch ist selbstverständlich eine experimentelle Nachprüfung sowohl des Strukturvorschlags von ANDERSON für die 6-Heteropolysäuren wie des neuen Modells der 12-Heteropolysäuren mit den Methoden der Röntgenanalyse unerlässlich.

Literatur.

1. ABEGG, Handbuch der Anorganischen Chemie 4, 1. Abt., 2. Hälfte, S. 977: A. ROSENHEIM, Heteropolysäuren. Leipzig 1921. — A. R. MIDDLETON, J. Chem. Educ. 10, 726 (1933). — G. JANDER u. K. F. JAHR, Kolloid-Beih. 41, 297 (1935). — H. J. EMELÉUS u. J. S. ANDERSON, Ergebnisse und Probleme der modernen Anorganischen Chemie, S. 163. Berlin: Julius Springer 1940. — G. JANDER, Z. physik. Chem. (A) 187, 149 (1940). — 2. A. MIOLATI, J. prakt. Chem. [2] 77, 417, 439 (1907). — 3. H. COPAUX, Ann. Chim. Phys. [8] 17, 251 (1909). — 4. A. ROSENHEIM u. J. JAENICKE, Z. anorg. u. allg. Chem. 100 304 (1917); 101, 215, 235 (1917). — 5. G. JANDER, D. MOJERT u. TH. ADEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 180, 129 (1929). — G. JANDER, K. F. JAHR u. W. HEUKESHOVEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 194, 383, 421 (1930). — G. JANDER u. H. WITZMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 214, 145, 275 (1933); 215, 310 (1933). — G. JANDER, K. F. JAHR u. H. WITZMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 217, 263 (1934). — K. F. JAHR u. G. JANDER, Z. anorg. u. allg. Chem. 220, 73 (1934). — G. JANDER u. H. BANTHIEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 225, 162 (1935); 229, 129 (1936). — G. JANDER u. K. F. JAHR, Kolloid-Beih. 41, 297ff. (1935) — G. JANDER, Z. physik. Chem. (A) 187, 149 (1940). — 6. L. PAULING, J. amer. chem. Soc. 51, 2868 (1929). — 7. J. L. HOARD, Z. Kristallogr. (A) 84, 217 (1933). — I. F. KEGGIN, Nature (Lond.) 132, 351 (1933) — Proc. roy. Soc. Lond. [A] 144, 75 (1934). — R. SIGNER u. H. GROSS, Helvet. chim. Acta 17, 1076 (1934). — I. W. ILLINGWORTH u. I. F. KEGGIN, J. chem. Soc. (Lond.) 1935, 575. — I. A. SANTOS, Proc. roy. Soc. Lond. [A] 150, 309 (1935). — A. I. BRADLEY u. I. W. ILLINGWORTH, Proc. roy. Soc. Lond. [A] 157, 113 (1936). — 8. O. KRAUS, Z. Kristallogr. [A] 91, 402 (1935); 93, 379 (1936); 94, 256 (1936); 96, 330 (1937) — Naturwiss. 25, 250 (1937) — Z. Kristallogr. [A] 100, 394 (1939). — 9. A. MIOLATI, Gazz. chim. ital. 33 II, 335 (1903) — J. prakt. Chem. [2] 77, 434 (1908). — 10. A. ROSENHEIM u. J. JAENICKE, Z. anorg. u. allg. Chem. 100, 317 (1917). — A. ROSENHEIM u. J. PINSKER, Z. anorg. u. allg. Chem. 70, 73 (1911) — Z. Elektrochem. 17, 694 (1911). — 11. H. COPAUX, Z. anorg. u. allg. Chem. 74, 363 (1912) — C. r. Acad. Sci. Paris 156, 71 (1913). — 12. A. G. SCROGGIE u. G. L. CLARK, Proc. nat. Acad. Sci. Wash. 15, 1 (1929). — 13. M. u. E. KAHANE, Bull. Soc. Chim. biol. Paris 49, 557 (1931). — 14. E. DRECHSEL, Ber. dtsh. chem. Ges. 20, 1454 (1887). — 15. A. ROSENHEIM u. J. JAENICKE, Z. anorg. u. allg. Chem. 100, 319 (1917). — 16. A. ROSENHEIM u. E. BRAUER, Z. anorg. u. allg. Chem. 93, 284 (1915). — 17. O. KRAUS, Z. Kristallogr. [A] 100, 404 (1939). — 18. Bezüglich der älteren Arbeiten vgl. A. ROSENHEIM, Heteropolysäuren, in ABEGG, Handbuch der anorganischen Chemie 4, 1. Abt., 2. Hälfte, S. 993. — 19. O. KRAUS, Z. Kristallogr. [A] 94, 273 (1936); 100, 406, 412 (1939). — 20. O. KRAUS, Z. Kristallogr. [A] 91, 407 (1935). — 21. H. COPAUX, C. r. Acad. Sci. Paris 148, 633 (1909) — Ann. Chim. Phys. [8] 17, 217 (1909). — 22. H. COPAUX, bzw. A. ROSENHEIM, Bull. Soc. Chim. biol. Paris 13, 820 (1913) — Z. anorg. u. allg. Chem. 70, 297, 418 (1911); 75, 141 (1912); 77, 246 (1912); 79, 292 (1913). — 23. A. ROSENHEIM, Z. anorg. u. allg. Chem. 96, 139, 166 (1916). — 24. A. ROSENHEIM, l. c. 157, Ann. 23. — 25. F. MYLIUS u. E. GROSCHEFF, Ber. dtsh. chem. Ges. 39, 116 (1906). — R. WILLSTÄTTER, H. KRAUT u. Mitarbeiter, Ber. dtsh. chem. Ges. 58, 2462 (1925); 61, 2280 (1928); 62, 2037 (1929); 64, 1709 (1931). — G. JANDER u. W. HEUKESHOVEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 201, 361 (1931). — 26. G. JANDER u. K. F. JAHR, Kolloid-Beih. 41, 1ff. (1934). — 27. G. JANDER u. K. F. JAHR, l. c. 13, Ann. 26. — 28. E. RIECKE, Z. physik. Chem. 6, 564 (1890). — R. O. HERZOG, Biochem. Z. 11, 177 (1908) — Z. Elektrochem. 16, 1003 (1910). — G. JANDER u. A. WINKEL, Z. physik. Chem. [A] 149, 97 (1930). — 29. R. ABEGG u. A. BOSE, Z. physik. Chem. 30, 545 (1899). — 30. G. JANDER u. H. SPANDAU, Z. physik. Chem. [A] 185, 325 (1939); [A] 187, 13 (1940); [A] 188, 65 (1941). — 31. H. BRINTZINGER u. Mitarbeiter, Z. anorg. u. allg. Chem. 168, 145 (1927); 172, 426 (1928); 184, 98 (1929); 196, 33 (1931); 232, 415 (1937), sowie zahlreiche weitere Arbeiten. — 32. G. JANDER u. TH. ADEN, Z. physik. Chem. [A] 144, 197 (1929). — 33. H. SCHULZ u. G. JANDER, Z. anorg. u. allg. Chem. 162, 141 (1927). — G. JANDER, D. MOJERT u. TH. ADEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 180, 129 (1929). — K. F. JAHR u. H. WITZMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 208, 145 (1932). — G. JANDER, Z. physik. Chem. [A] 187, 149 (1940). — 34. C. FRIEDHEIM u. R. MEYER, Z. anorg. u. allg. Chem. 1, 81 (1892). — E. SCHAEFER, Z. anorg. u. allg. Chem. 38, 174 (1904). — G. JANDER, D. MOJERT u. TH. ADEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 180, 141 (1929). — A. ROSENHEIM u. A. WOLFF, Z. anorg. u. allg. Chem. 193, 50 (1930). — 35. M. C. MARIGNAC, Ann. Chim. Phys. [3] 69, 42 (1863). — G. v. KNORRE, Ber. dtsh. chem. Ges. 18, 2362 (1885). — H. SCHMIDT, Amer. chem. J. 8, 16 (1886). — A. JUNIUS, Z. anorg. u. allg. Chem. 46, 445 (1905). — A. ROSENHEIM u. A. WOLFF, Z. anorg. u. allg. Chem. 193, 491 (1930). — W. DAWIHL, Z. anorg. u. allg. Chem. 244, 1 (1940). — 36. K. F. JAHR u. E. LOTHER, Ber. dtsh. chem. Ges. 71, 1127 (1938). — 37. H. COPAUX, Z. anorg. u. allg. Chem. 74, 358 (1912). — G. JANDER, Z. physik. Chem. [A] 187, 149, 163 (1940) — 38. G. JANDER, D. MOJERT u. TH. ADEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 180, 129 (1929). — G. JANDER u. H. WITZMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 214, 145 (1933). — G. JANDER u. H. BANTHIEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 225, 162 (1935). — 39. G. JANDER u. W. HEUKESHOVEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 201, 364 (1931). — 40. G. JANDER u. H. BANTHIEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 229, 129 (1936). — 41. E. PÉCHARD, Ann. Chim. Phys. [6] 22, 241, 245 (1891). — H. DUFET, Bull. Soc. min. 13, 202 (1890) — Z. Kristallogr. 21, 274 (1893). — 42. G. JANDER, K. F. JAHR u. H. WITZMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 217, 65 (1934). — K. F. JAHR u. H. WITZMANN, Z. physik. Chem. [A] 168, 283 (1934). — 43. Vgl. hierzu G. JANDER u. K. F. JAHR, Kolloid-Beih. 41, 34 (1935). — 44. G. JANDER u. K. F. JAHR, Kolloid-Beih. 41, 353 (1935). — 45. I. S. ANDERSON, Nature (Lond.) 140, 850 (1937). — H. I. EMELÉUS u. I. S. ANDERSON, Ergebnisse und Probleme der modernen Anorganischen Chemie, S. 176. Berlin: Julius Springer 1940. — 46. Der neue Strukturvorschlag für die 12-Heteropoly-

säuren und die Metawolframsäure wurde am 12. XI. 1940 in einem Vortrag im Kolloquium des Anorganisch-Chemischen Instituts der Technischen Hochschule Berlin erstmalig bekanntgegeben. — 47. Diese Versuche werden demnächst veröffentlicht. Ich verdanke ihre Kenntnis einer privaten Mitteilung von Herrn Prof. Dr. G. JANDER, Chemisches Institut der Universität Greifswald. — 48. E. BRANDENBERGER, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13 (1933), vgl. Str. Ber. III. — W. BÜSSEM u. A. EITEL, Z. Kristallogr. (A) 95, 175

(1936), vgl. Str.-Ber. IV. — Ich verdanke diese Hinweise Herrn Dozent Dr. H. O' DANIEL, Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung, Berlin-Dahlem. — 49. I. SAND u. F. EISENLEHR, Z. anorg. u. allg. Chem. 52, 68, 87 (1907). — G. JANDER, K. F. JAHR u. W. HEUKESHOVEN, Z. anorg. u. allg. Chem. 194, 383 (1930). — F. EPHRAIM u. L. BRAND, Z. anorg. u. allg. Chem. 64, 258 (1909). — 50. M. C. MARIGNAC, Ann. Chim. Phys. [3] 69, 23 (1863). — W. DAWIHL, Z. anorg. u. allg. Chem. 244, 1 (1940).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Abreißen adsorbierter Ionen durch hohe elektrische Feldstärken.

Einige Erscheinungen bei Entladungen, wie die Leuchtrauben an der Anode gewisser Glimmentladungen oder auch bestimmte Formen des Hochspannungsdurchbruches im Hochvakuum, erfordern zu ihrem Verständnis die Annahme eines durch Auftreffen von Elektronen bewirkten Austritts von positiven Ionen aus der Anode. Die Abtrennung der

gebunden sind, kann man die erforderliche Feldstärke leicht zu größenordnungsmäßig $10^8 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ abschätzen. Das Auftreten so hoher Feldstärken durch Aufladung isolierender Teilchen erscheint jedenfalls nicht unmöglich. Auch an der „Spritzkathode“ entstehen ja Felder von $3 \cdot 10^7 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$, unter deren Einfluß die Feldelektronenemission stattfindet.

So entstand die Aufgabe, das Abreißen positiver Ionen durch hohe Feldstärken als Elementarvorgang zu untersuchen. Die Erzeugung der Feldstärke durch die oben an-

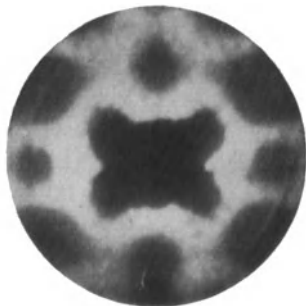


Fig. 1. Wolfram-Einkristallhalbkugel mit Barium bedeckt. Vergrößerung 150000fach.

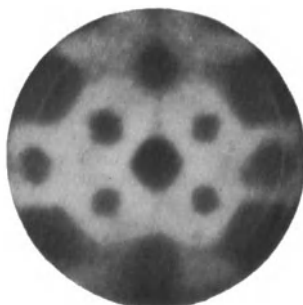


Fig. 2. Barium in der Mitte durch $82 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ abgerissen.

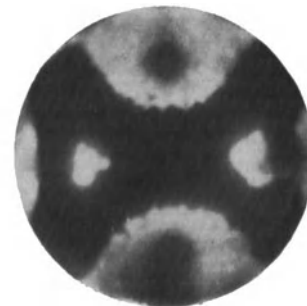


Fig. 3. Einwirkung von $91 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$.

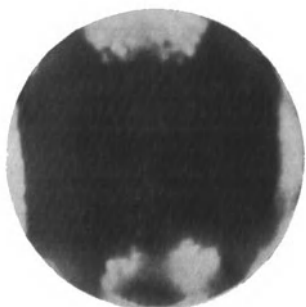


Fig. 4. Einwirkung von $103 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$.

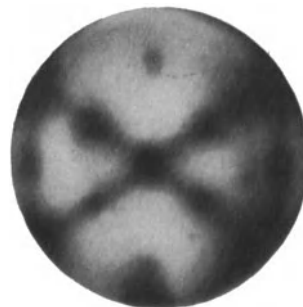


Fig. 5. Reine Wolframoberfläche durch Einwirkung von $120 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Ionen durch Elektronenstoß kommt wegen der geringen Wechselwirkung nicht in Betracht, und eine etwa der Kathodenzerstäubung entsprechende Anodenzerstäubung ist auch nicht bekannt. Es liegt daher nahe, sich die Ablösung der Ionen als eine unmittelbare Wirkung einer hohen elektrischen Feldstärke vorzustellen, die vielleicht in ähnlicher Weise wie bei der bekannten „Spritzentladung“⁽¹⁾ entsteht. Das Vorhandensein von isolierenden Teilchen auf der Anode, wie Staub, Glasteilchen oder Oxyde, ist also vorauszusetzen. Die Aufladung dieser Teilchen durch auftreffende Elektronen müßte dann so weit gehen, daß die entstehende hohe Feldstärke die auf der Anode adsorbierten positiven Ionen abreißt. Da die Ionen im wesentlichen durch die Bildkraft

geführten undefinierten Aufladungen ist jedoch dafür kein geeignetes Verfahren. Daher wurde das Feldelektronenmikroskop⁽²⁾ des Verfassers herangezogen, mit dem nicht nur die erforderlichen Feldstärken erreicht werden können, sondern das zugleich auch das Elektronenbild der untersuchten Elektrode zu beobachten gestattet. Der Umrechnungsfaktor, der die Beziehung zwischen der an der Kathodenspitze angelegten meßbaren Spannung und der dort wirkenden Feldstärke angibt, wird am besten durch Messung der Feldelektronenemission der speziellen Spitze und Vergleich mit den theoretischen Konstanten der Emissionsgleichung⁽³⁾ unter Berücksichtigung der Elektrodenabmessung bestimmt, nachdem die Gültigkeit der wellenmechanischen Theorie der Feldelektronenemission durch R. HAEFFER⁽⁴⁾ experimentell gesichert ist. Für die zur Leuchtschirmbeobachtung übliche Stromstärke von 10^{-6} A sind bei den meist verwendeten Spitzen aus Wolfram etwa 3000 bis 5000 V bzw. etwa $35 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ erforderlich. Dabei können adsorbierte Schichten in ihrer Beziehung zur Kristallstruktur der Spitzenkalotte beobachtet werden. Polt man jetzt das Feldelektronenmikroskop an, so kann bei positiver Spitze die Spannung ohne Schwierigkeit bis zu Feldstärken von einigen $10^8 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ gesteigert werden. Die dadurch bewirkten Änderungen der adsorbierten Schicht sind nach erneutem Umpolen auf dem Leuchtschirm zu beobachten. Übrigens kann das Umpolen auch durch Verwendung einer

Wechselspannung sowie eines den Feldelektronenstrom begrenzenden Widerstandes erreicht werden.

Zur Erzielung übersichtlicher Verhältnisse wurde das gut bekannte Adsorptionssystem Barium auf Wolframunterlage untersucht. Fig. 1 zeigt das Elektronenbild der mit Barium (θ etwa 0,4) bedeckten Wolframeinkristallkalotte. Nachdem die Spitze kurzzeitig einer positiven Feldstärke von $82 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ ausgesetzt war, ergibt sich Fig. 2. Von der in der Mitte liegenden dunklen (110)-Fläche ausgehend ist die Bariumschicht bis zu den vier benachbarten, ebenfalls dunklen (211)-Flächen abgerissen, was an der fehlenden Emission erkenntlich ist. Bei einer Feldstärke von nur $80 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ waren dagegen noch keine Veränderungen gegenüber Fig. 1 zu bemerken. Nach Steigerung der Feldstärke auf $91 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ hält sich das Barium nur noch auf den beiden Inseln der (111)-Flächen und in einem weiteren Gebiet um die (100)-Flächen (Fig. 3). Nach $103 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ schreitet die Ionenablösung weiter fort (Fig. 4). Teile der (100)-Flächen der Spitzenkalotte sind noch mit Barium bedeckt, obwohl an diesen Stellen die Feldstärke nicht geringer ist als auf der Mitte der Spitze. In der Mitte des Bildes wird bei unmittelbarer Beobachtung die reine Wolframoberfläche schwach sichtbar, doch ist eine Wiedergabe wegen des großen Kontrastes schwierig. Endlich zeigt Fig. 5 die durch $120 \cdot 10^6 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}$ vollständig vom Barium befreite Wolframoberfläche.

In der beschriebenen Weise findet das Abreißen des adsorbierten Bariums jedoch nur bei genügend tiefer Temperatur statt, nämlich vor Beginn der durch die Einwirkung des starken Feldes schon bei etwa 500° K einsetzenden Oberflächenwanderung des Bariums. Oberhalb dieser Temperatur reißt bei einer bestimmten Feldstärke sofort der ganze Film ab, sobald an einer Stelle Ionen entfernt werden. In jedem Falle ist die Abreißfeldstärke eine Funktion der Temperatur und der Besetzungsdichte der adsorbierten Ionen.

Unter der Annahme, daß die adsorbierten Ionen doppelt geladen sind und die Bindung allein durch die Bildkraft bewirkt wird, läßt sich die Bindungsenergie der Ionen auf den verschiedenen Kristallflächen in ihrer Abhängigkeit von der Besetzungsdichte durch Messung der Abreißfeldstärke bestimmen. Es ergibt sich volle Übereinstimmung mit den aus Abdampfversuchen bereits bekannten Werten der Verdampfungswärme des auf Wolfram adsorbierten Bariums unter Berücksichtigung der Ionisierungsarbeit.

Die adsorbierten Teilchen brauchen übrigens keineswegs ionisiert zu sein, um durch die genannten Feldstärken abgerissen zu werden. Vielmehr ist die Polarisierung so stark, daß auch neutrale Atome abgetrennt werden. Insbesondere braucht auch nicht angenommen zu werden, daß das Barium auf Wolfram normalerweise, also wenn kein wesentliches Feld einwirkt, doppelt ionisiert gebunden ist. Die Polarisierung durch das starke Feld ist so bedeutend, daß selbst Adsorptionsschichten von Sauerstoff, die ohne Feld nach außen negative Ladungen aufweisen, von der positiven Spitze abgerissen werden können.

Damit ein dauernder Feldionenstrom von einer Anode ausgehen kann, muß für die Nachlieferung der adsorbierten Teilchen gesorgt werden. Dies geschieht meist durch Adsorption neutraler Teilchen aus dem Gasraum, wobei noch eine besondere Zuwanderung zu den Stellen hoher Feldstärke durch die Oberflächendiffusion möglich ist.

Sobald es die Umstände gestatten, hoffen wir in einer weiteren Veröffentlichung die bereits seit längerer Zeit vorliegenden quantitativ ausgewerteten Ergebnisse bekanntgeben zu können, die dann Unterlagen für die Behandlung der eingangs genannten Probleme liefern werden.

Berlin, Laboratorium der Stabilovolt G. m. b. H., den 30. Juni 1941. ERWIN W. MÜLLER.

¹) A. GÜNTHERSCHULZE u. H. FRICKE, Z. Phys. 86, 821 (1933). — H. PAETOW, Z. Phys. 117, 399 (1941).

²) E. W. MÜLLER, Z. Phys. 106, 541 (1937) u. 108, 668 (1938).

³) A. SOMMERFELD u. H. BETHE, Handb. f. Phys. 24 II, S. 441.

⁴) R. HAEFER, Z. Phys. 116, 604 (1940).

Über anormale Viskositätszahlen von Nitrocellulosen aus Holz¹).

Umgefällte Cellulosen lassen sich durch Behandeln mit einem Nitrieremisch aus Phosphorsäure und Salpetersäure polymeranalog nitrieren, d. h. in Nitrate überführen, die den gleichen Polymerisationsgrad besitzen wie die Ausgangscellulosen. Die Umsetzungen lassen sich durch Viskositätsmessungen verfolgen und die Polymerisationsgrade nach der Formel

$$\left[\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} \right] = K_m \cdot P$$

berechnen. $\left[\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} \right]$ ist die Viskositätszahl, K_m eine Konstante, die für Cellulosen in SCHWEIZERS Reagens $5 \cdot 10^{-4}$ für Nitrocellulosen in Aceton $11 \cdot 10^{-4}$ beträgt; P ist der Durchschnittspolymerisationsgrad. Zum Unterschied hiervon haben die Nitrate von vielen Oxycellulosen aus Baumwolle nach Viskositätsmessungen und osmotische Bestimmungen wesentlich höhere Polymerisationsgrade als die Ausgangsprodukte. Diese als Kettenlängendifferenz bezeichnete Erscheinung²) beruht auf dem Vorhandensein von anoxydierten Glucoseresten in der Cellulosekette. Diese „Fehlerstellen“ werden beim Auflösen in SCHWEIZERS Reagens gespalten, so daß durch Viskositätsmessungen in diesem Lösungsmittel nur der Polymerisationsgrad von Bruchstücken des fehlerhaften Cellulosemoleküls bestimmt wird; in den Nitraten ist dagegen die Gesamtkette erhalten.

Wesentlich andere Ergebnisse erhielten wir bei der Untersuchung der Nitrate von vielen Zellstoffen und von Cellulosen, die aus verschiedenen Holzarten durch Aufschluß mit Chlordioxyd³) und Extraktion der Holzpolyosen mit Natronlauge hergestellt waren. Es ergab sich durch vergleichende osmotische und viskosimetrische Untersuchungen, daß die Nitrate dieser Holzcellulosen anormal hohe Viskositätszahlen besitzen, so daß durch Viskositätsmessungen unter Verwendung der K_m -Konstante von $11 \cdot 10^{-4}$ zu hohe Polymerisationsgrade vorgetäuscht werden. Aus den osmotisch bestimmten Polymerisationsgraden und den Viskositätszahlen errechnen sich K_m -Werte zwischen 11,5 und $23 \cdot 10^{-4}$ (vgl. Tabelle 1).

Die anormalen Effekte verschwinden, wenn die Cellulosen vor der Nitrierung aus SCHWEIZERS Reagens umgefällt werden. Die K_m -Werte der Nitrate aus umgefällten Cellulosen liegen zwischen 8,2 und $11,7 \cdot 10^{-4}$, stimmen also annähernd mit den für Baumwollnitrate gefundenen Werten überein⁴) (vgl. Tabelle 1). Die Polymerisationsgrade liegen zwischen 1600 und 450.

Tabelle 1. K_m -Werte von Nitraten aus nativen und umgefällten Holzcellulosen in Aceton.

Holzart	Fraktion	$K_m \cdot 10^4$ vor dem Umfällen	$K_m \cdot 10^4$ nach dem Umfällen
Buchencellulose	II	17,8	8,3
	III	20,6	8,7
Pappelcellulose	I	17,8	11,7
	II	14,0	11,7
Birkencellulose	II	22,0	8,2
	III	17,7	8,7
Fichtencellulose	I	18,1	
	II	11,5	9,5
Kieferncellulose	II	20,3	
	III	23,3	9,5

Die anormalen Viskositätszahlen lassen sich auch durch andersartige Vorbehandlung der Cellulosen zum Verschwinden bringen. So zeigt die Tabelle 2 am Beispiel der Buchencellulose, daß die K_m -Konstanten der Nitrate nach Erhitzen der Cellulose mit Natronlauge im Autoklaven, nach Behandlung mit Diazomethan und schließlich bei technischer Nitrierung zwischen 8,5 und $10,3 \cdot 10^{-4}$ liegen.

Aus der Tatsache, daß trotz der verschiedenartigen Vorbehandlung annähernd übereinstimmende K_m -Konstanten erhalten werden, kann man schließen, daß diese Werte den reinen Cellulosenitraten zukommen. Die anormalen Erscheinungen beruhen darauf, daß die nativen Cellulosen aus ver-

Tabelle 2. K_m -Werte von Nitraten verschieden vorbehandelter Buchencellulosen.

Art der Vorbehandlung	Fraktion	$K_m \cdot 10^4$
Im Autoklaven mit NaOH auf 140° erhitzt	I	8,6
	III	8,5
	II	9,3
Mit Diazomethan behandelt . .	IV	10,3
	II	9,3
Technisch nitriert	III	9,2

holzten Zellen nicht nur aus Glucoserenen aufgebaut sind, sondern noch Fremdgruppen im Molekül enthalten, die mit dem Nitriergemisch reagieren und die hohe Viskositätszahl der Nitrate bedingen, die aber durch alkalische Behandlung entfernt werden.

Die Versuche zeigen also, daß erhebliche Unterschiede zwischen Holzcellulosen⁵⁾ und Fasercellulosen (aus Baumwolle und Ramie) bestehen. Deshalb können mit der oben angegebenen Konstanten $11 \cdot 10^{-4}$ aus den Viskositätszahlen nur die Polymerisationsgrade der Nitrate von reinen Cellulosen bestimmt werden⁶⁾.

Forschungsabteilung für makromolekulare Chemie des Chemischen Laboratoriums der Universität Freiburg i. Br., den 21. Juli 1941. H. STAUDINGER. E. HUSEMANN.

¹⁾ 274. Mitt. über makromolekulare Verbindungen. Zugl. 71. Mitt. über Cellulose; 273. Mitt. J. prakt. Chem. 159 (1941); 70. Mitt. loc. cit.

²⁾ H. STAUDINGER u. A. W. SOHN, Naturwiss. 27, 548 (1939) — J. prakt. Chem. 155, 177 (1940).

³⁾ E. SCHMIDT, Ber. dtsh. chem. Ges. 54, 1860 (1921) — Cellulosechem. 12, 62 (1931).

⁴⁾ H. STAUDINGER u. G. V. SCHULZ, Ber. dtsh. chem. Ges. 68, 2320 (1935). — H. STAUDINGER u. R. MOHR, ebenda 70, 2296 (1937).

⁵⁾ In ähnlicher Weise verhält sich die verholzte Kapok.
⁶⁾ Vgl. die demnächst erscheinende Arbeit im J. prakt. Chem.

Untersuchung von Adsorberoberflächen mit Hilfe von Xenonisotopen.

Die Untersuchung der Trennschärfe verschiedener Sorten von Aktivkohlen und von Silicagelen bei der Desorption von Gasmischen und von Isotopen^{1, 2)} hatte ergeben, daß diese eine individuelle, von der absoluten Stärke der Adsorption weitgehend unabhängige Eigenschaft ist, die dann besonders stark hervortritt, wenn ein Platzwechsel der adsorbierten Moleküle an der Oberfläche des Adsorbers genügend leicht erfolgen kann.

Im Folgenden soll über Versuche berichtet werden, die den Nachweis irreversibel fest bindender Adsorptionsstellen an der Oberfläche gewisser Adsorber zum Ziele hatten; sie wurden schon vor mehr als einem Jahre ausgeführt, und es war die Absicht, eine systematische Untersuchung verschiedener Adsorber vorzunehmen. Da aus äußeren Gründen die speziellen Probleme dieses Arbeitsgebietes nicht weiter verfolgt werden können, sollen die vorläufigen Ergebnisse, die mit Hilfe von verschiedenen, nach dem CLUSIUS-DICKELschen Verfahren angereicherten Isotopengemischen des Xenons³⁾ gewonnen wurden, mitgeteilt werden.

Bei der Analyse von Kohlenwasserstoffgemischen durch Desorption war festgestellt worden, daß 1. die Trennschärfe von Silicagelen in den meisten Fällen beträchtlich größer ist als die von Aktivkohlen, und 2. der Separationsfaktor, d. h. der Bruch der Verhältnisse der bereits desorbierten und der noch adsorbierten Gaskomponenten, sowohl bei Aktivkohle als auch bei Silicagel im Laufe der Desorption abfällt.

Zur Erklärung beider Tatsachen war die Arbeitshypothese aufgestellt worden, daß hohe Trennschärfen, d. h. große Separationsfaktoren, nur dann erreicht werden, wenn die Gasmoleküle an der Oberfläche des adsorbierenden Stoffes Platzwechsel vornehmen können, so daß die stark bindenden Zentren die Moleküle mit größeren Anziehungskräften festzuhalten in der Lage sind. Für die bessere Trennwirkung der Silicagele gegenüber der Aktivkohle ist

im Sinne dieser Theorie — abgesehen von ihrer besseren Wärmeleitfähigkeit in sich, die zu einer schnelleren Gleichgewichtseinstellung bei der Adsorption und bei der Desorption führt — die größere Regelmäßigkeit ihrer Oberfläche und infolgedessen geringere Zahl von irreversibel bindenden Zentren verantwortlich zu machen. Daß dennoch bei den Silicagelen ebenso wie bei der Aktivkohle ein Abfall des Separationsfaktors auftritt, ist dadurch zu erklären, daß in jedem Fall eine gewisse Menge der Moleküle mit geringeren Anziehungskräften so fest gebunden bleibt, daß sie erst gegen Ende der Desorption abgegeben wird.

Zur Erhärtung dieser Vorstellung wurden folgende Versuche ausgeführt:

1. An 25 g Silicagel (Sorte Hermann A) wurden zuerst 6,8 ccm vom Atmosphärendruck eines „schweren“ Xenongemisches adsorbiert, und zwar 1 Stunde lang bei -78°C , wobei der Druck im Adsorptionsgefäß auf etwa 1 mm Hg sank, dann $\frac{1}{2}$ Stunde lang bei -125°C , wobei der Druck auf weniger als 10^{-3} mm Hg fiel. Durch die anfängliche Adsorption bei -78°C sollte erreicht werden, daß das „schwere“ Isotopengemisch auf jeden Fall genügend viele Platzwechsel ausführen kann, um alle fest bindenden Zentren zu besetzen. Dann wurden 8,0 ccm vom Atmosphärendruck eines „leichten“ Isotopengemisches $\frac{1}{2}$ Stunde lang bei -125°C adsorbiert.

Die Desorption erfolgte unter leichtem Temperaturanstieg (siehe Tabelle) in drei Fraktionen, deren Mengen sich wie 1:1,5:1 verhielten. Die Analyse der Isotopengemische erfolgte mit Hilfe der Wärmeleitfähigkeitsmethode (siehe die oben zitierten Arbeiten). In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Widerstände der Wärmeleitfähigkeitszelle und die aus ihnen berechneten mittleren Atomgewichte der Isotopengemische angegeben.

2. Der gleiche Versuch wurde mit 14 g Aktivkohle (DAK 386) ausgeführt, an denen zuerst 9,25 ccm vom Atmosphärendruck eines normalen Isotopengemisches bei -57°C und dann 9,25 ccm vom Atmosphärendruck eines „leichten“ Isotopengemisches adsorbiert wurden. Die Desorptionstemperaturen liegen bei der Aktivkohle infolge der stärkeren Adsorptionskräfte wesentlich höher (siehe Tabelle).

Die Unterschiede der Widerstände der Wärmeleitfähigkeitszelle für die „schweren“ und „leichten“ Isotopengemische vor der Adsorption betragen im Falle des Silicagels 1,93 Ohm, im Falle der Aktivkohle 0,75 Ohm; sie entsprechen Unterschieden in den Atomgewichten von 2,11 bzw. 0,82 Einheiten.

Silicagel.

Adsorbierte Fraktion	Widerstand der Wärmeleitfähigkeitszelle	Atomgewicht
„schwer“	599,18 Ohm	133,04
„leicht“	597,25 „	130,93
Desorbierte Fraktion	Desorptionstemperatur	
I.	-125°C bis -122°C	598,15 „ 131,91
II.	-122°C „ -120°C	598,14 „ 131,90
III.	-120°C „ -110°C	598,14 „ 131,90

Aktivkohle.

Adsorbierte Fraktion	Widerstand der Wärmeleitfähigkeitszelle	Atomgewicht
„normal“	615,05 Ohm	131,31
„leicht“	614,30 „	130,49
Desorbierte Fraktion	Desorptionstemperatur	
I.	$+6^\circ\text{C}$ bis $+10^\circ\text{C}$	614,58 „ 130,80
II.	$+23^\circ\text{C}$	614,69 „ 130,92
III.	$+100^\circ\text{C}$	614,73 „ 130,96

Die Tabelle zeigt, daß im Falle des Silicagels kein Unterschied in der isotopischen Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen festzustellen ist. Hier hat also ein Platzwechsel

von über 99 % aller adsorbierten Atome stattfinden können, so daß auch die zuletzt adsorbierten „leichten“ Atome in gleicher Menge wie die zuerst adsorbierten „schweren“ an den fest adsorbierenden Zentren der Oberfläche gebunden werden konnten. Bei der Aktivkohle dagegen ist deutlich erkennbar, daß in den ersten Fraktionen die später adsorbierten „leichten“ Atome stärker enthalten sind, während die zuerst adsorbierten „schweren“ Atome zu einem merklichen Bruchteil an irreversibel bindenden Zentren der Oberfläche festgehalten wurden und keine Gelegenheit hatten, mit den leichten ihre Plätze zu tauschen. (Daß bei der Desorption unter den angegebenen Bedingungen keine Trennung der Isotope eintritt, hatten schon frühere Messungen von R. EDSE und P. HARTECK am Neon und von W. GROTH am Xenon und am Stickstoff ergeben.)

Angereicherte Isotopengemische erweisen sich somit — analog den radioaktiven Indikatoren — als ideale Hilfsmittel zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von Adsorbieren.

Hamburg, Institut für physikalische Chemie der Hansischen Universität, den 25. Juli 1941.

W. GROTH und P. HARTECK.

- 1) R. EDSE u. P. HARTECK, *Angew. Chem.* **52**, 32 (1939).
 2) R. EDSE u. P. HARTECK, *Angew. Chem.* **53**, 210 (1940).
 3) W. GROTH, *Naturwiss.* **27**, 260 (1939).

Die Isotopenzusammensetzung und das Atomgewicht von Ytterbium.

Die isotopische Konstitution von Ytterbium, wie die der übrigen seltenen Erden, ist von ASTON untersucht worden¹⁾. ASTON hebt indessen selbst hervor, daß die Dispersion seines Massenspektrographen nicht genügte, um eine exakte Photometrierung der Platten zu gestatten. Außer den von ASTON angegebenen fünf Isotopen 171, 172, 173, 174 und 176 hat DEMPSTER mit seiner lichtstarken Apparatur noch zwei weitere Isotopen 168 und 170 gefunden²⁾. Auf Grund des Befundes von DEMPSTER und einer Messung der Hyperfeinstruktur des Yb seitens SCHÜLER, ROIG und KORSCHING³⁾, aus dem das Verhältnis 173 Yb zu 171 Yb = 1,14 gefunden wurde, gegenüber dem Werte 1,9 von ASTON, berechneten HAHN, FLÜGGE und MATTAUCH⁴⁾ die Isotopenzusammensetzung von neuem und hieraus das Atomgewicht des Ytterbiums zu 173,15. Dieser Wert ist immerhin noch recht hoch verglichen mit dem von HÖNIGSCHMIDT und STRIEBEL⁵⁾ zu 173,04 bestimmten Wert. Da bei einer massenspektroskopischen Untersuchung über seltene Erdminerale⁶⁾ vom Verfasser beobachtet wurde, daß die gefundene relative Häufigkeit der Isotopen des Ytterbiums nicht mit der von ASTON angegebenen übereinstimmte, ähnlich wie es der Fall war bei Gadolinium, worüber neulich berichtet wurde⁷⁾, hat der Verfasser eine Neubestimmung der Isotopenzusammensetzung auch des Ytterbiums unternommen.

Da diese Untersuchung des Ytterbiums mit derselben Apparatur und ganz in derselben Art wie die Untersuchung des Gadoliniums geschah, genügt es hier, auf die Gadoliniumarbeit hinzuweisen. Das für die Untersuchung benutzte Ytterbium war ein von der Firma Adam Hilger in London bezogenes, von Professor PRANDTL hergestelltes Präparat von Ytterbiumoxyd (Hilgers Laboratory N: 10375), das sich bei der massenspektroskopischen Untersuchung als sehr rein erwies. Von den von DEMPSTER mit Hilfe von Tesla-Entladung aufgefundenen schwachen Massenlinien 168 und 170, deren Gehalt er zu 0,06 % und 2 % schätzte, war die Massenlinie 170 auf allen Spektren zu sehen, wogegen die Linie 168 auch nicht bei den längsten Expositionszeiten unter den benutzten Bedingungen hervortrat.

In der Tabelle ist als erste Horizontalreihe die Masse der Isotopen angegeben, auf der zweiten Zeile, die aus den massenspektroskopischen Aufnahmen des Verfassers berechneten Werte der Isotopen in Prozenten, auf der dritten Zeile die unkorrigierten ASTONschen Werte, wie er sie selbst angibt, und auf der vierten Zeile die von HAHN, FLÜGGE

und MATTAUCH mit Rücksicht auf die Isotopen 168 und 170 Neuberechneten ASTONschen Werte.

Masse d. Isotopen	168	170	171	172	173	174	176
Wahl	(0,06)	4,21	14,26	21,49	17,02	29,58	13,38
Aston	—	—	9	24	17	38	12
Aston korr.	0,06	2	9	23	17	37	12

DEMPSTER schätzt den Gehalt an 170 zu 2 %, wogegen hier 4,21 % gefunden wurde. Auch für Gadolinium erhielt Verfasser etwa das Doppelte von dem von DEMPSTER für das entsprechende Isotop 154 gefundenen Wert. Die Platten von DEMPSTER sind laut den Abbildungen sehr stark überexponiert, um das Hervortreten der ganz schwachen Linien zu bewirken. Unter solchen Umständen wird aber der Intensitätsvergleich mit den stärkeren Linien sehr unsicher, was wahrscheinlich den Unterschied zwischen den Ergebnissen der Schätzung von DEMPSTER und der Messung des Verfassers erklärlich macht. Das Isotop 168 Yb ist in so geringer Menge vorhanden, daß die mittlere Massenzahl sehr wenig beeinflusst; der gänzliche Fortfall würde die mittlere Massenzahl um nur 0,003 erhöhen. Die hier gefundenen Zahlen unterscheiden sich teilweise recht wesentlich von den von ASTON angegebenen, besonders was die Häufigkeit der Isotopen 171 und 174 betrifft. Sie werden aber durch die gute Übereinstimmung mit dem vom Verfasser früher an den Mineralen beobachteten Isotopenverhältnissen bestätigt. Das hier gefundene Verhältnis des Linienpaares 173/171 = 1,15 stimmt auch gut mit dem von SCHÜLER und Mitarbeitern gefundenen Wert 1,14 überein.

Aus der hier gefundenen isotopischen Konstitution ergibt sich die mittlere Massenzahl des Ytterbiums zu 173,068 ± 0,006.

Laut der Neuberechnung der Packungsteilcurve seitens HAHN, FLÜGGE und MATTAUCH geht die Kurve für 172 Ytterbium durch den Nullwert. Bei der Berechnung des Atomgewichts aus der mittleren Massenzahl braucht also bei Ytterbium keine Korrektur für den Packungsanteil unternommen zu werden. Durch Multiplikation der mittleren Massenzahl mit dem SMYTHESchen Faktor 0,999725 erhält man für das chemische Atomgewicht die Zahl 173,02 ± 0,006.

$$\text{Yb} = 173,02.$$

Der neueste Wert der Intern. Atomgewichts-Kommission⁸⁾ ist nach dem von HÖNIGSCHMIDT und STRIEBEL bestimmten Wert $\text{Yb} = 173,04$.

Chemisches Institut der Universität Helsingfors, den 26. Juli 1941.
 WALTER WAHL.

1) F. W. ASTON, *Proc. roy. Soc. Lond. A* **146**, 46 (1934).

2) A. J. DEMPSTER, *Physic. Rev.* **53**, 727 (1938).

3) H. SCHÜLER, J. ROIG, H. KORSCHING, *Z. Physik* **111**, 165 (1939). — H. SCHÜLER u. J. ROIG, *Naturwiss.* **26**, 495 (1938).

4) O. HAHN, S. FLÜGGE u. J. MATTAUCH, *B. B.* **73**, A 7 (1940).

5) O. HÖNIGSCHMIDT u. STRIEBEL, *Z. anorg. u. allg. Chem.* **212**, 385 (1933).

6) W. WAHL, *Finska Kem. Samf. Meddel.* **49**, 30 (1940).

7) W. WAHL, *Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys.-Math.* **11**, Nr 4 (1941).

8) IV. Bericht Intern. Atomgew.-Komm. *B. B.* **67**, A 62 (1934).

Berichtigung.

In der Kurzen Originalmitteilung von G. A. KAUSCHE „Über Transplantations- und Kreuzungsversuche zur Frage der natürlichen und erworbenen Infektion bei virusinfizierten Tabakpflanzen“ in Heft 27, S. 405 ist ein sinnentstellender Druckfehler unverändert geblieben. Am Schlusse der Mitteilung ist in Zeile 5/6 von unten „Zunahme virusaktivierender Substanzen“ zu ändern in „Zunahme virusinaktivierender Substanzen“.

Aus den Forschungen der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.

Strukturchemie des Glases.

Von A. DIETZEL, Berlin-Dahlem.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung.)

Einleitung.

Das Ziel der *Kristallchemie* ist die Erforschung der Anordnung der Ionen oder Atome in Kristallgittern und die Erkenntnis der Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Kristalle aus diesen ihre Eigenschaften bestimmenden Bausteinen aufgebaut sind. In ganz ähnlicher Weise ist es die Aufgabe der *Konstitutionsforschung des Glases*, brauchbare Vorstellungen von seinem „Molekular-“ bzw. Ionenaufbau zu schaffen, um das Verhalten der Gläser insgesamt zu verstehen und aus solchen

[Solvatationstheorie; W. WEYL (2)]. Je nach der *Feldstärke* von eingelagerten Fremdkationen wird das Bestreben der SiO_2 -Dipole, sich insbesondere bei der Abkühlung aneinanderzulagern, mehr oder weniger gestört, so daß SiO_2 -Molekülkomplexe von verschiedener mittlerer Größe entstehen können. So wurde der Einfluß der verschiedenen Kationen vor allem auf die Zähigkeit und andere physikalische Eigenschaften gedeutet, ferner die Farbänderungen von Gläsern mit Farbionen. Die andere Betrachtungsweise stützte sich zunächst auf die grundsätzliche Analogie des Aufbaues der kristallisierten Silikate und entsprechender Gläser,

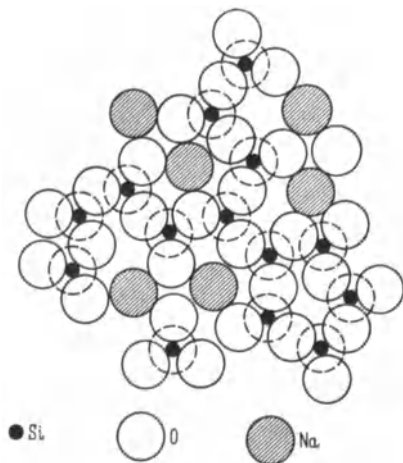


Fig. 1. Schematische Anordnung der Ionen in einem Natrium-Silikatglas. Nach B. E. WARREN und A. D. LORING.

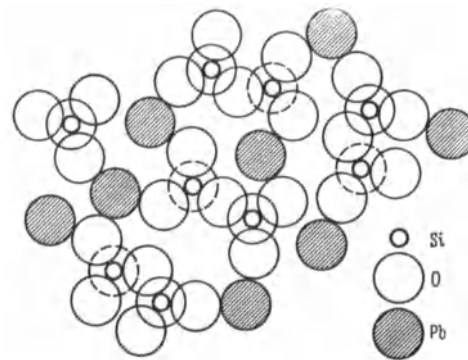


Fig. 2. Schematische Anordnung der Ionen in einem Bleisilikatglas. Nach G. I. BAIR.

Erkenntnissen heraus Voraussagen über zu erwartende Eigenschaften noch unbekannter Gläser machen zu können.

Über Deutungen der Konstitution des Glases wurde in dieser Ztschr. zuletzt von W. BÜSSEM und W. WEYL (1) im Zusammenhang berichtet. Die Glasstruktur wurde dabei von zwei Seiten aus, vom chemischen und vom röntgenographischen Standpunkt, betrachtet. Im ersteren Falle wurde davon ausgegangen, daß die einfachen Glasoxyde (SiO_2 , B_2O_3 usw.) in zusammengesetzten Gläsern eine ähnliche Rolle wie das Wasser in den wässrigen Lösungen spielen, also Lösungsmittel sind; diese Moleküle mit Dipolcharakter oder durch Assoziation entstandene Molekülkomplexe bilden das Glasgerüst und können im nichtassoziierten Zustand, z. B. um die Kationen, *Solvathüllen* bilden

wie dies bereits W. A. ZACHARIASEN (3) vermutet hatte, dann aber auch unmittelbar auf die Röntgenstrukturuntersuchungen an Gläsern; sie führten zu Bildern von der Glasstruktur, wie sie beispielsweise in Fig. 1 [Natron-Silikatglas nach B. E. WARREN und A. D. LORING (4)] und Fig. 2 [Bleisilikatglas nach G. J. BAIR (5)] dargestellt sind.

Demnach hat man sich auch bei den Gläsern als das Bauelement die $[\text{SiO}_4]$ -Gruppen vorzustellen, die entweder unmittelbar oder über ein Kation miteinander verknüpft sind; der Unterschied gegenüber den kristallisierten Silikaten besteht im wesentlichen nur darin, daß die in Kristallen vorhandene *Regelmäßigkeit* der Anordnung im Glas fehlt.

Die beiden Deutungen der „Glaskonstitution“ unterscheiden sich dadurch, daß nach der letzteren Ansicht die zusammenhaltenden Kräfte die *Anziehungskräfte zwischen Ionen* sind; im anderen Falle dagegen wird das Glasgerüst nur durch

Dipolkräfte zusammengehalten. Es darf heute als ziemlich gesichert gelten, daß in glasigen Silikaten im wesentlichen *Ionenbindungen* vorliegen; hierfür sprechen vor allem die Festigkeitseigenschaften sowie die hohe Zähigkeit, z. B. von Kieselglas, auch bei hohen Temperaturen, was auf sehr starke Bindungskräfte der Bausteine hindeutet; und diese sind zweifellos bei der Ionenbindung größer als bei Dipolen.

Durch die bisherigen Strukturuntersuchungen an Gläsern und kristallisierten Silikaten ist die Brücke geschlagen, die diese beiden grundsätzlich ähnlich gebauten Körperklassen miteinander verbindet. Es ist nun die Frage, inwieweit sich einerseits auch allgemeine *kristallchemische* Erfahrungen und Gesetzmäßigkeiten auf Gläser übertragen und andererseits die chemischen und physikalischen Erscheinungen aus einer solchen Anschauung heraus deuten lassen. Eine derartige Synthese der Auffassungen führt zur *Strukturchemie des Glases*. Die folgenden Ausführungen mögen einige Ansatzpunkte in dieser Richtung aufzeigen.

Ordnung der Kationen hinsichtlich ihrer Wirkung auf ein einfaches Glasoxyd.

Betrachten wir zunächst ein einfaches Glasoxyd, etwa SiO_2 . Nach Röntgenstrukturuntersuchungen und der Analogie des Kieselglases zum kristallisierten Cristobalit haben wir bei niedrigen Temperaturen das Kieselglas als unregelmäßiges Netzwerk von $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern aufzufassen. Durch die hohe Ladung und den kleinen Radius des Si^{4+} ist die Bindung $\text{Si}-\text{O}$ sehr fest, außerdem sind die Tetraeder nach vier Richtungen hin mit ihren Nachbarn verknüpft; daher erklärt sich der hohe Schmelzpunkt des Cristobalits und die hohe Zähigkeit des reinen Kieselglases. Wird das Kieselglas erhitzt, so werden durch die zunehmenden Wärmeschwingungen immer häufiger vereinzelte $\text{Si}-\text{O}$ -Bindungen vorübergehend aufreißen; das Glas wird zähflüssig. Das Kristallisationsvermögen einer solchen unterkühlten Schmelze ist gering, da kleine bewegliche Bausteine, die sich in ein Gitter einordnen könnten, fehlen.

Schmilzt man in ein SiO_2 -Glas ein fremdes Oxyd ein, so erhält man unter geeigneten Voraussetzungen ein binäres Glas. Die Frage ist, wie dieses Oxyd bzw. dessen Kation in die Glasstruktur eingebaut wird und welche Wirkung es damit auf die Eigenschaften des Glases ausübt. Schematisch ist die Art des Einbaues in den Fig. 1 und 2 gezeigt: das Fremdkation scheint in den Hohlräumen zwischen den $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern eingelagert zu sein. Diese Ausdrucksweise sagt aber noch zu wenig. Ähnlich wie Si^{4+} die tetraederförmige Baugruppe $[\text{SiO}_4]$ bildet, hat *jedes* eingeführte Kation das *Bestreben*, sich mit einer seinem Radius und seiner Ladung entsprechenden Anzahl von Anionen O^{2-} zu umgeben und eine Baugruppe $[\text{RO}_n]$ zu bilden. Welcher Art diese im Idealfall sein würde, lehrt uns die Kristallchemie. Welche Eigenschaften, insbesondere welche Beständig-

keit diese Gruppe hat, sei im folgenden kurz betrachtet.

Ein Maß für die Beständigkeit einer Baugruppe bzw. eines *Kristalls* mit dieser Baugruppe ist die *Gitterenergie*

$$U = \frac{n-1}{n} \cdot \frac{z_1 \cdot z_2 \cdot e^2}{a} \cdot A \cdot N,$$

wobei n der BORNSCHE Abstoßungskoeffizient, z die Wertigkeiten von Kation und Anion, a deren Abstand, e die Elementarladung, A die MADELUNGSche Konstante für das betreffende Gitter und N die Zahl der Ionen pro Gramm-Molekül ist. Analoge Bindungsenergien müßte man also auch für *Gläser* berechnen, um tieferen Einblick in den Bindungsmechanismus zu erhalten. Freilich fehlen uns hierzu vorläufig noch die „MADELUNGSchen Konstanten“; diese würden bei Gläsern mit ihrer unregelmäßigen Struktur sich wahrscheinlich aus statistischen Mittelwerten für die Lage und Abstände der Ionen errechnen lassen — wenn die Struktur der Gläser genügend bekannt wäre. Im Gegensatz zu den Kristallen müßte dabei für jedes Glas eine andere Konstante ermittelt werden. Solange diese Rechnungen noch nicht durchgeführt sind, lassen sich die Bindungsverhältnisse nur roh überschlagen, am einfachsten dadurch, daß man den Einfluß der Nachbarionen vernachlässigt. So hat W. WEYL die Auswirkung der Kationen auf die Zähigkeit mit der *Feldstärke* in Zusammenhang gebracht, worunter man im allgemeinen den Ausdruck $z \cdot e/r^2$ (z Wertigkeit, e Einheitsladung, r Ionenradius) versteht. K. ENDELL und H. HELLBRÜGGE (6) gingen von derselben Anschauung aus, fanden dann aber geradlinige Beziehungen zwischen $\log \eta$ und $1/r$ für konstante Kationenwertigkeit. B. E. WARREN und A. PINCUS (7) fanden eine Beziehung zwischen Entmischungsneigung und $z \cdot e/r$ für das betreffende Kation. Diese Beziehungen gelten aber nur innerhalb gewisser Grenzen (meist nur für Alkalien und Erdalkalien). Zu einer allgemeiner gültigen Beziehung gelangt man bei Betrachtung der *Feldstärke des Kations im Abstand des Anions* ($z \cdot e/a^2$) oder der *Anziehungskräfte* zwischen Kation und Anion $\left(\frac{z_1 \cdot z_2 \cdot e^2}{a^2}\right)$, zwei Größen, die sich bei Oxyden nur um einen konstanten Faktor $z_2 \cdot e$, d. i. also (wegen des zweiwertigen Sauerstoffs) = $2e$, unterscheiden¹⁾.

Ordnet man die Kationen im Sinne steigender Anziehungskräfte zwischen $\text{R}-\text{O}$ (oder Feldstärke), so erhält man die in Tabelle 1 eingetragenen Werte, wobei der Einfachheit halber der konstante Faktor e (Ladung) weggelassen wurde, so daß also diese Zahlen nur die Bedeutung von Ordnungsnummern haben.

Diese Tabelle gibt einen recht guten Überblick über das Verhalten der Kationen im Glas. Sie beginnt mit den Basenbildnern (Alkalien, Erd-

¹⁾ Daneben spielt die Feldstärke *im Abstand* r bei Betrachtungen der *Polarisation* noch eine Rolle (s. später).

Tabelle 1. Anziehungskräfte z/a^2 zwischen Kationen und Sauerstoffionen, und Feldstärken z/r^2 von Kationen (z = Wertigkeit).

Element	Wertigkeit	Koord. Zahl	Radius r	R-O-Abstand a	Anziehungskräfte	Verbindungen des entspr. Oxyds mit SiO ₂	Feldstärke im Abstand r	Element	Wertigkeit	Koord. Zahl	Radius r	R-O-Abstand a	Anziehungskräfte	Verbindungen des entspr. Oxyds mit SiO ₂	Feldstärke im Abstand r
Cs	1	8	1,71	3,03	0,22		0,34	Be	2	4	0,31	1,63	1,51	I ²⁾	20,8
Rb	1	8	1,55	2,87	0,24		0,42	Zr	4	8	0,95	2,27	1,55	I	4,5
K	1	8	1,39	2,71	0,27	3	0,52	Fe	3	6	0,67	1,99	1,52	o	6,7
Ag	1	8	1,18	2,50	0,32		0,73	Cr	3	4	0,63	1,95	1,57	o	7,5
Na	1	12	1,10	2,42	0,35		0,83	Al	3	6	0,64	1,96	1,6	o	7,3
		6	0,98	2,30	0,38	2, i ¹⁾	1,04		3	6	0,57	1,89	1,69	i	9,2
		4	0,92	2,24	0,40		1,18			4	0,54	1,86	1,74		10,3
Cu	1	6	0,96	2,28	0,38		1,65	Sn	4	6	0,74	2,06	1,89	o	7,3
Li	1	6	0,78	2,10	0,45	1, ii	1,65	Ti	4	6	0,64	1,96	2,08	o	9,8
Ba	2	8	1,49	2,81	0,51	3, i	0,91	U	6	6	0,8	2,15	2,6		9,4
Pb	2	8	1,42	2,74	0,53	2, i	1,0	Sb	5	6	0,62	1,94	2,66		13
Sr	2	8	1,32	2,64	0,58	2	1,15	Ge	4	4	0,42	1,74	2,65		23
Ca	2	8	1,10	2,42	0,69	2, i	1,67	B	3	4	0,18	1,50	2,66		92
Cd	2	6	1,03	2,35	0,73	2	1,89		3	3	0,17	1,36	3,22		104
		4	0,97	2,29	0,77		2,14	V	5	6	0,59	1,91	2,74		15
Mn	2	6	0,91	2,23	0,81	1, ii (?)	2,42	Si	4	4	0,37	1,60	3,14		29
Fe	2	6	0,83	2,15	0,87	I	2,90	Mo	6	6	0,62	1,94	3,2		16
Co	2	6	0,82	2,14	0,88		3,0		4	4	0,59	1,91	3,3		17
		4	0,78	2,10	0,91		3,3	As	5	4	0,44	1,76	3,2		26
Cu	2	6	0,8	2,1	0,91		3,1	P	5	4	0,32	1,54	4,3		49
Zn	2	4	0,78	2,10	0,91	I	3,3	Cr	6	6	0,35	1,61	4,7		49
Ni	2	6	0,78	2,10	0,91		3,3		4	4	0,32	1,53	5,2		59
		4	0,73	2,05	0,95		3,8	S	6	6	0,35	1,45	5,7		49
Mg	2	6	0,78	2,10	0,91	1, i	3,3		4	4	0,32	1,38	6,3		59
		4	0,73	2,05	0,95		3,8								
Ce	3	8	1,22	2,54	0,94		2,0	C	4	3	0,13	1,23	5,3		238
Ce	4	8	1,06	2,38	1,41		3,6	N	5	3	0,10	1,17	7,4		500

Die Ionenradien r sind an Hand der GOLDSCHMIDTSchen Werte unter Berücksichtigung der ZACHARIASENSchen Korrektur bei Änderung der Koordinationszahl berechnet. Die R-O-Abstände bei den Kationen mit hoher Feldstärke sind aus Kristallgittermessungen entnommen bzw. nach ZACHARIASEN aus den univalenten Radien berechnet und daher nicht gleich $r_K + 1,32$ Å. Siehe z. B. O. HASSEL, Kristallchemie, Verlag Th. Steinkopff 1934.

Die kursiv gedruckten edelgasunähnlichen Kationen der Nebenreihen des Periodischen Systems sind hier formal ebenfalls nach ihren z/a^2 -Werten eingereiht; will man sie mit den Kationen der Hauptreihen vergleichen, so müßte man ihnen wegen des höheren Polarisationsvermögens eine etwas höhere Feldstärke zuordnen, als es dem Wert z/a^2 entspricht.

alkalien), es folgen die amphoterer Elemente (etwa ab Co), die als Kationen, aber auch als komplexe Anionen auftreten können (ausgeprägt bei Zn²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Be²⁺); dann reihen sich die schwachen Säurebildner (Zr⁴⁺, Fe³⁺ usw.) an, schließlich die starken Anionenbildner (etwa ab Sb⁵⁺). Die Reihenfolge der Kationen nach Tabelle 1 stimmt auch überein mit der von W. WEYL für die Alkalien und der von ENDELL und HELLBRÜGGE auch für die Erdalkalien angegebenen Reihenfolge im Sinne einer zunehmend verflüssigenden Wirkung auf SiO₂-Glas. Es sei bemerkt, daß sich die Reihenfolge ändern würde, wenn man die Feldstärke $z \cdot e/r^2$ (anstatt $z \cdot e/a^2$) zugrunde legen würde (vgl. letzte Spalte). Auf diese Tabelle werden wir im folgenden wiederholt zurückgreifen.

¹⁾ Nach F. C. KRACEK (8); nach J. LÖFFLER (9) gibt es 4 kongruent schmelzende Verbindungen.

²⁾ Nach F. MACHATSCHKI (10) scheint der Phenakit $2 \text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$ inkongruent zu schmelzen.

Koordinationszahl. Entmischungsneigung.

Wenn eines der obigen Kationen in Form seines Oxyds in SiO₂-Glas eingeschmolzen wird, so haben die beiden Kationen Rⁿ⁺ und Si⁴⁺ das Bestreben, sich mit sinkender Temperatur immer fester mit O²⁻ zu koordinieren. Da im allgemeinen die Anziehungskräfte Si—O stärker sein werden, als die zwischen dem eingeführten Kation R und O, so werden also im wesentlichen die [SiO₄]-Tetraeder die Struktur zu bestimmen suchen. Dies ist um so ausgeprägter, je „schwächer“ das Kation R ist. Die Folge ist, daß die Koordinationszahl von Sauerstoffionen um ein „schwaches“ Kation in weiten Grenzen schwanken kann, während sie bei „starken“ Kationen verhältnismäßig gleich bleibt. Wir können diese Verhältnisse an kristallisierten Verbindungen gut bestätigt finden. So hat z. B. Na⁺ Koordinationszahlen zwischen 4 und 12 (4 in Na₂O, 8 in Analcim, 12 im Carnegieit) oder Ba²⁺ solche zwischen 6 und 12 (6 in BaO, 8 in BaWO₄, 12 in BaTiO₃); Mg²⁺ hat nur noch

4 und 6, Ti^{4+} nur 6¹⁾). Ähnlich haben wir uns vorzustellen, daß auch im *Glas* bei den „schwachen“ Kationen die Koordinationszahl stark schwanken kann und die Sauerstoffionen keineswegs regelmäßig um ein solches Kation angeordnet sein werden (s. Fig. 1 und 2²⁾). Solche Kationen bzw. ihre Oxyde ergeben z. B. mit SiO_2 *homogene* Gläser, die nicht zu einer Entmischung neigen. Dies ist der Fall z. B. bei K^+ , Na^+ , Li^+ , Ba^{++} , Pb^{++} . Die Verhältnisse werden sich ändern beim Übergang zu Kationen mit höheren Bindungskräften: diese Ionen werden bestrebt sein, die Sauerstoffionen in ähnlicher Weise auch im Glas um sich zu gruppieren, wie wir dies von den kristallisierten Verbindungen her kennen. Nun ist es aber dann in der Regel nicht möglich, daß sich die vorhandenen Sauerstoffionen sowohl um Si^{4+} in einer bestimmten Weise koordinieren als auch um das Fremdkation: es kommt dann zunächst zur Entmischung der Schmelze in 2 flüssige Phasen, wie dies bei den Erdalkalien von SrO ab der Fall ist. Bei Kationen mit noch stärkeren Bindungskräften kommt es dann zur Entmischung in die beiden Komponenten; in den betreffenden Systemen liegt gewöhnlich das Eutektikum nahe an der SiO_2 -Seite [Typus Al_2O_3 (6%), TiO_2 (10%) usw.]. Diese Entmischungsneigung können wir in steigendem Maße verfolgen, wenn wir die Kationen in Tabelle 1 im Sinne steigender Bindungskräfte betrachten.

Es gibt jedoch auch Kationen mit starken Bindungskräften, die dem Si^{4+} hinsichtlich Koordinationszahl (3–4) und Wertigkeit (3–5) so weitgehend nahestehen, daß sie das Silicium strukturmäßig ersetzen können; hier bietet es also keine Schwierigkeiten, daß beide „verwandten“ Kationen sich gleichmäßig mit Sauerstoffionen koordinieren. So können also aus SiO_2 und GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 *homogene* Gläser entstehen (nicht aber z. B. mit BeO , SO_3 u. dgl.)³⁾.

Es ist nun interessant, die Silikatsysteme mit den entsprechenden Borat- und Phosphatsystemen zu vergleichen, in denen also die Bindungskräfte B—O bzw. P—O einmal kleiner, zum anderen aber größer sind als die von Si—O. Ein strenger Vergleich ist allerdings wegen des gleichzeitigen Wechsels der Wertigkeit nicht zulässig; immerhin sieht man, daß im B_2O_3 -System die Entmischung bereits bei BaO beginnt, bei P_2O_5 dagegen erst hinter MgO (mit SiO_2 bei SrO). Der relative Unterschied in den Anziehungskräften $2z/a^2$ zwischen B—Ba, Si—Sr und P—Zr ist bemerkenswerterweise größten-

ordnungsmäßig ähnlich. Ein Vergleich von SiO_2 mit GeO_2 würde weitere Aufschlüsse geben.

Auch folgende Erscheinung läßt sich an Hand der Tabelle verstehen. Gibt man z. B. Alkali als dritte Komponente zu einer Schmelze von SiO_2 und RO, so beobachtet man, daß einige Prozent Alkali genügen, um die Mischungslücke bei den „mittleren“ Kationen (Sr bis etwa Mg) zu schließen; es entstehen dann *homogene* Gläser, weil nunmehr die schwachen Alkaliionen den stärkeren Kationen die Koordination ermöglichen. Gehen wir aber zu den Kationen mit noch größeren Bindungskräften über (Ce, Zr, Sn, Ti, Sb), so beobachten wir, daß wenigstens bei niederen Temperaturen und mäßigen Alkalizusätzen (10–15%) nun wieder Entmischungen auftreten: die obigen Elemente bilden deshalb in Form ihrer Oxyde die technischen *Trübungsmittel* für Emails und Glasuren. Aber auch die anderen in Tabelle 1 zwischen obigen Elementen stehenden farbigen Ionen (Fe, Cr, U) zeigen deutliche Entmischungsneigung: besonders in alkaliarmen Gläsern entstehen leicht „schwarze Punkte“ von Cr_2O_3 , ungelöste Uranate dienen als Farbkörper in Glasuren. Fe_2O_3 scheidet sich in der Regel nicht aus, weil es unter Sauerstoffabgabe in Fe^{2+} übergeht; jedoch lassen sich auch mit Fe_2O_3 in alkaliarmen Boratgläsern bei niederen Temperaturen (800–900°) gelbliche, getrübe Schmelzen herstellen. Daß diese Ausscheidungen (Trübungen) insbesondere bei niedrigen Temperaturen auftreten, liegt daran, daß ja mit sinkender Temperatur die Vernetzung der $[SiO_4]$ -Gruppen und damit die Neigung zur Entmischung stetig zunimmt.

Verbindungsbildung.

Die Betrachtungen über die Koordinationsmöglichkeiten und Entmischungsneigung in Gläsern lassen sich erweitern durch Einbeziehung der bis jetzt bekannten *kristallisierten Verbindungen* zwischen SiO_2 und RO. Es leuchtet ein, daß aus obigen Gründen gerade bei den „schwachen“ Kationen ausgesprochene Neigung zur Verbindungsbildung vorliegt; sie muß mit steigenden Bindungskräften ebenso abnehmen wie die Mischbarkeit im Glas. In Tabelle 1 ist die Zahl der bekannten Verbindungen mit SiO_2 eingetragen (*i* bedeutet *eine* inkongruent schmelzende Verbindung). Wie man sieht, stimmen die Tatsachen mit dieser Deutung recht befriedigend überein; die Verbindungsbildung nimmt mit steigenden Bindungskräften R—O im allgemeinen ab.

Zähigkeitserscheinungen.

Die Zähigkeit von Glasschmelzen gibt wertvolle Hinweise auf die Konstitution, im besonderen auf den „Vernetzungsgrad“ der $[SiO_4]$ -Tetraeder¹⁾. In einer systematischen Untersuchung haben

¹⁾ Es sei besonders auf die Arbeit von E. SEDDON [J. Soc. Glass Techn. 23, 36 (1939)] verwiesen, der für zahlreiche einfache und komplexe Silikat- und Boratgläser eine Größe für den Vernetzungsgrad berechnete.

¹⁾ Wenn das Verhältnis der Ionenradien bei einem Oxyd in der Nähe der Grenzwerte für die Koordinationszahlen liegt, so kann natürlich auch bei Kationen mit hoher Feldstärke ein Wechsel der Koordinationszahl vorkommen (Al^{3+} , B^{3+} , S^{6+} , Cr^{6+} usw.), aber dann kennt man auch nur diese beiden Koordinationszahlen.

²⁾ Diese unregelmäßige Anordnung folgerten bereits R. TOMASCHEK u. O. DEUTSCHBEIN [Glastechn. Ber. 16, 155 (1938)] aus Fluoreszenzmessungen an europiumhaltigen Gläsern.

³⁾ Auf Al_2O_3 wird später zurückgegriffen.

K. ENDELL und H. HELLBRÜGGE (6) den Einfluß verschiedener Kationen auf die Zähigkeit einiger Glastypen an Hand des Ionenradius und der Wertigkeit gedeutet. Demnach sinkt die Zähigkeit bei einer bestimmten (hohen) Temperatur 1. mit steigender Zahl an eingeführten Kationen; 2. je kleiner der Radius, 3. je höher die Wertigkeit des Kations, 4. je größer die Wertigkeit des Kations im Anionenkomplex ist. — Die Zahl der Kationen ist maßgebend für die Zahl der *Trennstellen* von Si—O—Si-Bindungen, zwischen die das Fremd-

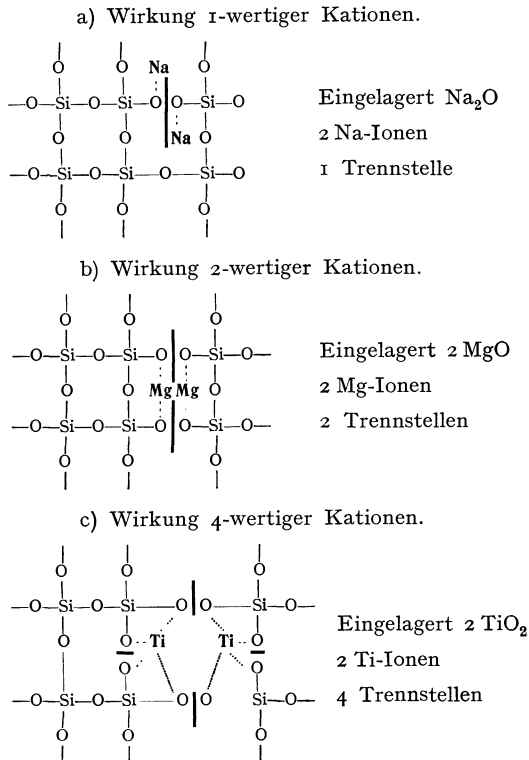


Fig. 3. Wirkung von Oxyden mit Kationen verschiedener Wertigkeit auf die Zähigkeit des Glases. Nach K. ENDELL und H. HELLBRÜGGE. Je höher die Wertigkeit des Kations, um so höher die Trennstellenzahl im SiO_4 -Netzwerk.

kation eingelagert wird; auch die *Wertigkeit* beeinflusst nach einer schematischen Darstellung (Fig. 3) die Trennstellenzahl und damit die Beweglichkeit. Der *Ionenradius* soll sich dadurch auswirken, daß kleine Kationen eine Zwischenstellung zwischen den getrennten Tetraedern einnehmen (Fig. 4), und so (durch ihre Abstoßung) auflockernd wirken, während große Kationen eine seitliche Lage einnehmen und deshalb weniger auflockernd wirken sollen. Nun ist aber eine Lagerung der Kationen nach der Fig. 4a gerade bei Ionen mit kleinem Ionenradius und damit hoher Feldstärke aus elektrostatischen Gründen nicht gut denkbar. An Hand der obigen Vorstellungen sind die Einflüsse von Wertigkeit und Radius eines Kations leichter zu deuten. Ent-

sprechend Tabelle 1 haben wir in den Bindungskräften (oder Feldstärken im Abstand a) ein Maß für die Wirkung eines Kations auf die Zähigkeit,

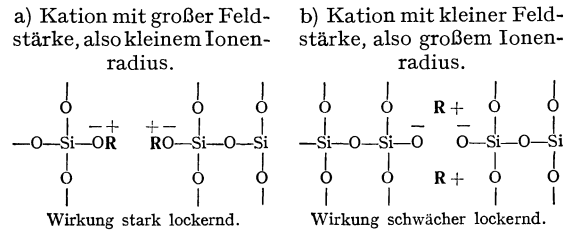


Fig. 4. Einfluß des Ionenradius eines Kations auf die Zähigkeit eines Glases. Nach K. ENDELL und H. HELLBRÜGGE.

das sowohl die Wertigkeit als auch den Radius berücksichtigt. Je stärker diese Kräfte sind, um so höher ist das Bestreben des Kations, sich mit O-Ionen zu koordinieren unter gleichzeitiger Aufspaltung benachbarter Si—O—Si-Bindungen. Diese Wirkung läßt sich auch als *Kontrapolarisation* auffassen: ähnlich wie der $[\text{TiO}_6]$ -Komplex in den kristallisierten Metatitanaten RTiO_3 beim

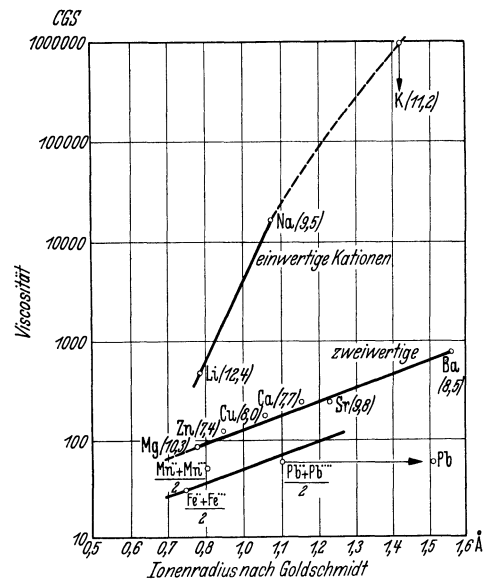


Fig. 5. Zähigkeit von Gläsern der Zusammensetzung $2\text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ bei 1500° und etwa gleicher Ionenkonzentration in Prozent R (in Klammern angegeben). Nach K. ENDELL u. H. HELLBRÜGGE.

Übergang von Ca zu Mg aufgeweitet, ja praktisch gesprengt wird, so findet unter dem Einfluß erhöhter Wärmeschwingungen eine leichtere Aufspaltung der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder und damit des Netzwerkes statt, wenn starke Fremdionen vorhanden sind.

Daß man mit derartigen Überlegungen unter Einbeziehung der *Polarisation* auf dem richtigen Wege ist, zeigt z. B. das Verhalten der *Elemente der Nebengruppen* des Periodischen Systems, die bekanntlich besonders stark polarisierend wirken

ENDELL und HELLBRÜGGE fanden für Fe-, Mn- und Pb-Oxyde eine größere Zähigkeiterniedrigung als für MgO, CaO, BaO (Fig. 5). Sie führten dies darauf zurück, daß jene Oxyde in gewissem Umfang in der höheren Oxydationsstufe vorliegen. Dies ist bei dem gewählten sauren Grundglas $2 \text{RO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4 \text{SiO}_2$ und 1500° für Fe und Mn wenig wahrscheinlich, bei Pb praktisch unmöglich, da sogar in einem hochbleihaltigen Grundglas bei normaler Schmelztemperatur (1400°) nach W. WEYL und H. MÖTTIG (11) nur etwa 6% des PbO in der höheren Oxydationsstufe vorliegen. Wir können aber diese Zähigkeiterniedrigende Wirkung viel zwangloser durch die *besonders stark kontrapolarisierende Wirkung* dieser Kationen auf die O-Ionen der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder erklären; mit anderen Worten, für die Feldstärke dieser Ionen ist ein Wert einzusetzen, der einem kleineren Ionenabstand R—O entspricht, also ein Zwischenwert zwischen $z \cdot e/a^2$ und $z \cdot e/r^2$. Es wäre zu erwarten, daß dies auch für ZnO und CuO gilt; im letzteren Falle könnte ein Gemisch von Cu^+ und Cu^{2+} vorgelegen haben, die Werte für Zn^{2+} wären noch nachzuprüfen.

Das Losreißen von Sauerstoffionen bzw. die Aufspaltung des Glasgerüsts durch den Einfluß der Feldstärke der Kationen konnte elektrochemisch durch Messung der Sauerstoffionenkonzentration verfolgt werden [W. STEGMAIER und A. DIETZEL (12)]. Dieser Vorgang spielt sich, wie erwähnt, nur bei höheren Temperaturen unter der Einwirkung erhöhter Wärmeschwingungen ab. Bei niedrigen Temperaturen wirken naturgemäß die höheren Bindungskräfte *verfestigend*; mit sinkender Temperatur wird also die Zähigkeit bei Anwesenheit solcher Kationen besonders rasch zunehmen. Derartige Gläser nennt der Glas-techniker „kurz“; typisch ist dies z. B. für Gläser mit viel CaO, TiO_2 u. dg^l.

Man müßte nun erwarten, daß ein Alkalisilikatglas, in das man eine bestimmte Molzahl Erdalkali einführt, um so *kürzer* wird, je kleiner der Ionenradius des Kations ($\text{Ba} \rightarrow \text{Sr} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{Mg} \rightarrow \text{Be}$) ist. In der Tat ist ein Kalkglas kürzer als ein entsprechendes Barytglas, beim Magnesium und Beryllium stimmt dies jedoch nicht mehr. Dies dürfte daran liegen, daß Be^{2+} und teilweise offenbar auch Mg^{2+} (bei Anwesenheit von Alkali) im Gegensatz zu Ca^{2+} usw. in *Viererkoordination* vorliegen und (ähnlich wie Al^{3+}) in das Netzwerk einzutreten vermögen. Nur so ist auch die erhöhte Zähigkeit von Gläsern mit 15–20% BeO (trotz der hohen Feldstärke von Be^{2+} !) zu erklären; Mg liegt wahrscheinlich teils als $[\text{MgO}_6]$, teils als $[\text{MgO}_4]$ vor, die Wirkung auf die Zähigkeit steht also zwischen der von Ca und Be. Strukturbestimmungen an kristallisierten Natron-Magnesium-Silikaten könnten hier weitere Klarheit bringen.

Wirkung von B_2O_3 und Al_2O_3 auf die Zähigkeit.

Das verschiedene Verhalten von B_2O_3 und Al_2O_3 ist ebenso auffallend wie eigenartig. B_2O_3 er-

niedrigt, wie bekannt, die Zähigkeit in gewöhnlichen Gläsern stark, während Al_2O_3 sie in der Regel stark erhöht, in gewissen Fällen aber erniedrigt. Auch diese Frage untersuchten ENDELL und HELLBRÜGGE im Rahmen ihrer obengenannten Arbeit. Soweit Tonerde das Glas *zäher* macht, beruht dies darauf, daß die $[\text{AlO}_4]$ -Gruppe (ähnlich wie BeO_4) $[\text{SiO}_4]$ zu ersetzen vermag; Al^{3+} wirkt also nicht wie die anderen Kationen (Na^+ usw.) als Base, sondern geht in den *Anionenkomplex* ein, wo es *verknüpfend*, nicht trennend wirkt. Hinzu kommt, daß wegen der Dreiwertigkeit des Al^{3+} das O/Si- bzw. O/Si+Al-Verhältnis im Netzwerk kleiner wird, während die Basen es vergrößern. Dadurch findet also bei Ersatz von Si durch Al sogar noch eine *Zähigkeitserhöhung* statt. Diese Deutung deckt sich mit obigen Anschauungen. Nun wissen wir aber auch, daß Al_2O_3 in gewissen Schmelzen die Zähigkeit *erniedrigt*. So kann man z. B. eine Schmelze von Mullit ($3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$) gießen, nicht dagegen Quarzglas. Ferner haben K. ENDELL und R. KLEY (13) bzw. G. BRINKMANN (14) beobachtet, daß Al_2O_3 in Schlacken von verschiedenem CaO/SiO₂-Verhältnis teilweise *zähigkeitsvermindernd* wirkt, was von den Verfassern nicht erklärt wird. Hier kann uns die Kristallchemie wiederum wertvolle Hinweise geben. Al^{3+} koordiniert sich in Gegenwart *schwacher* Fremdkationen bevorzugt mit 4 Sauerstoffionen, so im $\text{K}_2\text{Al}_2\text{O}_4$, BaAl_2O_4 , ferner in den Feldspäten. *Stärkere* Kationen weiten durch ihre kontrapolarisierende Wirkung die Sauerstoffhülle zu $[\text{AlO}_6]$ auf, so im $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. CaO steht in seiner Wirkung zwischen BaO und MgO; man weiß, daß im $12 \text{CaO} \cdot 7 \text{Al}_2\text{O}_3$ $[\text{AlO}_4]$ -Gruppen, im $3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{SiO}_2$ $[\text{AlO}_6]$ -Gruppen vorliegen. Gegenüber Si^{4+} tritt Al^{3+} bevorzugt als $[\text{AlO}_6]$ -Gruppe auf, so im Cyanit, teilweise auch im Andalusit, Sillimanit und Mullit. Im Sillimanit liegt gerade die Hälfte als $[\text{AlO}_6]$, die andere als $[\text{AlO}_4]$ vor. Nun hat die Gruppe $[\text{AlO}_6]$ Basen-, das dichter gepackte $[\text{AlO}_4]$ Säurecharakter; Cyanit ist also formal ein Aluminium-Silikat, ein Feldspat ein Alumo-Silikat, Sillimanit gewissermaßen ein Aluminium-Alumo-Silikat. Als Base macht auch Al^{3+} eine Schmelze dünnflüssiger, als Säure dagegen (s. oben) zähflüssiger. Wir können also aus der Wirkung der Tonerde auf die Zähigkeit Rückschlüsse auf die vermutliche mittlere Koordination des Al^{3+} ziehen und umgekehrt. In kalkreichen Schmelzen haben wir entsprechend den oben angeführten Calcium-Aluminaten teils $[\text{AlO}_4]$, teils $[\text{AlO}_6]$, anzunehmen.

Wenn wir nun von Al_2O_3 zu B_2O_3 übergehen, so könnte man voraussetzen, daß auch B_2O_3 in den Anionenkomplex eingeht unter genau denselben Erscheinungen (Zähigkeitserhöhung) wie bei Al_2O_3 . Nun sieht man aber bereits an entsprechenden kristallisierten Verbindungen, daß in den Borsilikaten die Gruppe $[\text{BO}_4]$ das $[\text{SiO}_4]$ nicht so genau zu ersetzen vermag wie $[\text{AlO}_4]$. Zwar ist z. B. der Danburit $\text{Ca}(\text{B}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ formal chemisch gleich zu-

sammengesetzt wie der Anorthit $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$, aber es sind doch kleine strukturelle Unterschiede vorhanden, die eine verschiedene Gittersymmetrie bedingen. Ebenso bestehen Unterschiede im Ultrarotspektrum zwischen der $[\text{SiO}_4]$ - und $[\text{BO}_4]$ -, nicht aber der $[\text{AlO}_4]$ -Gruppe (s. besonders CL. SCHAEFER, F. MATOSI und K. WIRTZ (15)). Al steht dem Si also merklich näher als B.

Um die unterschiedliche Wirkung von B^{3+} gegenüber Al^{3+} besser zu verstehen, sei an folgendes angeknüpft. In Al_2O_3 liegt das Al^{3+} als $[\text{AlO}_6]$ -Gruppe vor; beim Hinzutreten von schwachen Kationen (K^+) entsteht die dichtere $[\text{AlO}_4]$ -Konfiguration. B_2O_3 besteht aus $[\text{BO}_3]$ -Dreiecken, die beim Zutritt von mäßigen Mengen Alkali in $[\text{BO}_4]$ -Tetraeder, also eine lockerere Packung, übergehen (mittlere B—O-Abstände in $[\text{BO}_3]$ 1,36 Å, in $[\text{BO}_4]$ 1,5 Å). B und Al zeigen somit bereits hierin ein entgegengesetztes Verhalten, Al gehorcht den in der Kristallchemie üblichen Gesetzmäßigkeiten, B dagegen verhält sich wie etwa C^{4+} , N^{5+} oder auch As^{3+} oder Sb^{3+} : im Molekülgitter des CO_2 liegt die Gruppe $[\text{CO}_2]$ vor, sie geht bei Einwirkung von basischen Oxyden unter Erhöhung der Koordination in $[\text{CO}_3]$ -Gruppen über. Im As_2O_3 oder As_2S_3 liegen $[\text{AsX}_3]$ -Gruppen vor; sie gehen mit Alkali in $[\text{AsX}_4]$ -Gruppen über. In all diesen Fällen ist die hohe polarisierende Wirkung des Zentralions für diese Erscheinung verantwortlich zu machen. Dadurch wird aber der Abstand R—O zum Teil erheblich kleiner, als man ihn aus den Ionenradien errechnen würde, und außerdem werden die O-Ionen stark deformiert. In solchen extremen Fällen scheint deshalb die Feldstärke der Kationen im Abstand r mehr auszusagen als die im Abstand a . Tabelle 1 zeigt, daß in der Tat die Feldstärke $z \cdot e/r^2$ für B^{3+} unmittelbar hinter C^{4+} folgt; seine Feldstärke und damit sein polarisierender Einfluß auf die O-Ionen ist größer als selbst bei P^{5+} oder S^{6+} ! So gilt hier ähnliches wie oben im Falle des Pb^{2+} besprochen, das ja auch wegen seines hohen Polarisationsvermögens ungewöhnlich verflüssigend wirkt.

Säuren, Basen.

Über den Sinn und die Bedeutung der Begriffe „Säure“ und „Base“ in Glasschmelzen sei auf eine Veröffentlichung von W. STEGMAIER und A. DIETZEL (12) verwiesen. Hier möge die Frage gestellt werden, wie sich saure und basische Oxyde hinsichtlich ihres Einbaues in die Glasstruktur unterscheiden. Aus der Tatsache, daß die typischen Basen homogene Gläser ergeben bzw. zwei flüssige Phasen mit wohlkoordinierten Kationen (s. oben), darf man schließen, daß die basenbildenden Kationen über alle umgebenden O^{2-} -Ionen mit dem $[\text{SiO}_4]$ -Glasgerüst verknüpft sind. Umgekehrt sehen wir bei den typischen sauren Oxyden, daß sie keine Neigung zeigen, sich in das Tetraedergerüst einzubauen; es ist also wohl nicht abwegig, wenn man annimmt, daß solche säurebildenden Ionen sich auch dann nicht in das

$[\text{SiO}_4]$ -Gerüst durch allseitige Verknüpfung einordnen, wenn man sie in Form ihrer Oxyde bei Gegenwart von Alkali in homogene Lösung bringt [Beispiel: Alkali-Zirkon- (oder Zinn-, Titan- usw.)-Silikat-Glas]. Die Neigung zu dieser Verknüpfung wird um so mehr abnehmen, je „stärker“ das Kation im Sinne der Tabelle 1 ist. So wird man also für Kationen mit kleinen Bindungs-

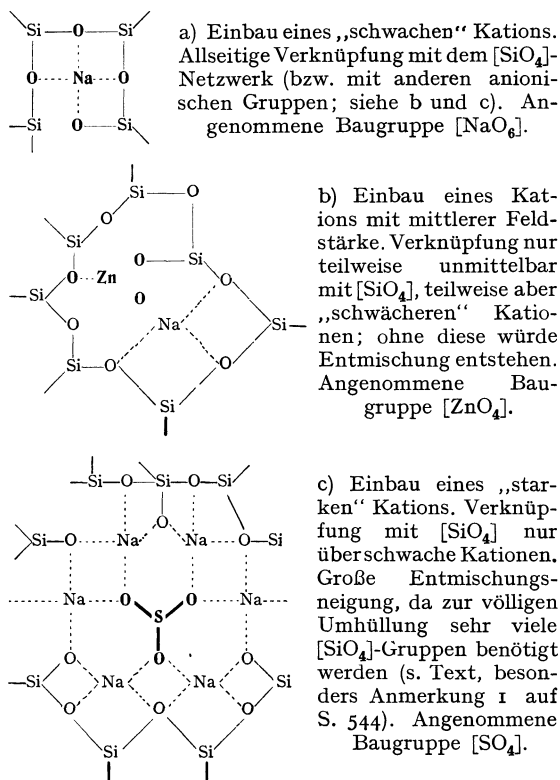


Fig. 6a—c. Schematische Darstellung des Einbaus von Kationen mit verschiedener Feldstärke $z \cdot e/a^2$. Abgebildet sei ein ebener Schnitt aus dem räumlichen Netzwerk. Ausgezeichnete Striche entsprechen schematisch einer starken, punktierte Linien einer schwächeren koordinativen Bindung.

kräften R—O schematisch eine (statisch mittlere) Ionenanordnung entsprechend Fig. 6a annehmen dürfen, für Kationen mit mittleren Anziehungskräften eine solche nach 6b. Beim amphoteren Uran haben wir an Hand von Fluoreszenzbeobachtungen die Möglichkeit, die Uranyl- von der Uranatbildung zu unterscheiden [W. WEYL (16)]; im ersteren Fall wird also offenbar die Mehrzahl der 6 koordinierten O^{2-} -Ionen gleichzeitig $[\text{SiO}_4]$ -Gruppen angehören (dies stimmt mit der Struktur von kristallisiertem Uranylphosphat überein), dagegen nicht bei den Uranaten. Fig. 6c schließlich gilt für „starke“ Kationen. Im letzteren Falle ist also entweder nur noch eine geringe oder gar keine unmittelbare Verknüpfung mehr zwischen einem solchen Ion (z. B. S^{6+}) und $[\text{SiO}_4]$ vorhanden. Diese Darstellung wird der Tatsache gerecht, daß solche stark sauren Oxyde auch bei

Gegenwart von Alkali nur eine beschränkte Löslichkeit im Glas haben; es entstehen leicht Entmischungen (z. B. von Na_2SO_4 bei rund 1 % SO_3)¹⁾.

Daß diese Löslichkeitsgrenze vom Alkaligehalt abhängt [H. JEBSEN-MARWEDEL (17)], ist nach dieser Darstellung ebenfalls verständlich.

Von diesen Betrachtungen sind wiederum diejenigen Kationen auszunehmen, die das Si^{4+} in den $[\text{SiO}_4]$ -Tetraedern des „Glasgerüsts“ ersetzen können, also z. B. Al^{3+} , B^{3+} , P^{5+} usw. Die $[\text{AlO}_4]$ -usw. Koordinationen sind ja einfach als Substituenten für $[\text{SiO}_4]$ aufzufassen.

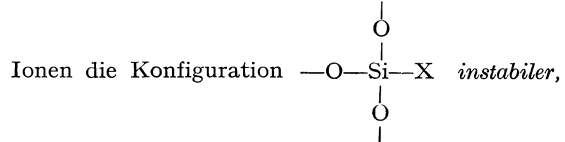
Einbau von Fremdanionen.

Im letzten Abschnitt wurde bereits der Einbau von komplexen oxydischen Anionen (sauren Oxyden) betrachtet; im folgenden seien einfache und komplexe Fremdanionen, wie F^- , S^{2-} usw. besprochen.

Im Gegensatz zum Sulfatanion lassen sich Fluoride und auch Sulfide u. dgl. in etwas größeren Mengen (mehrere Prozente) in ein normales Glas einführen, ohne daß es sogleich zu Entmischungen kommt. Im Sinne obiger Anschauungen könnte man daraus folgern, daß es in diesen Fällen zu einem teilweisen Ersatz von O^{2-} durch z. B. F^- kommt. So kommen z. B. bei einem homogenen Glas, das 10 % NaF enthält, auf je 16 O^{2-} -Ionen 1 F^- , so daß bei Berücksichtigung der Struktur eines Natriumtrisilikatglases in je etwa 6 $[\text{SiO}_4]$ -Gruppen ein O durch ein F, das praktisch denselben Ionenradius hat, ersetzt wäre. Im Sinne der Anschauungen von ENDELL und HELLBRÜGGE bedeutet dies wegen der Einwertigkeit von F^- die Entstehung einer Trennstelle ($-\text{Si}-\text{F}/\text{Na}-\text{O}-\text{Si}-$) und damit die Erniedrigung der Zähigkeit der Glasschmelze

¹⁾ Man kann die Lage der Löslichkeitsgrenze auf folgende Weise rechnerisch überschlagen. Wir nehmen an, daß ein SO_3^{2-} -Ion ebenso wie im kristallisierten Na_2SO_4 von 10 Na^+ umgeben sei; diese liegen im Abstand von rund 3,4 Å vom Zentrum (S^{6+}). In zweiter Sphäre müssen aus elektrostatischen Gründen zwangsweise $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder liegen, die also auf der einen Seite (nach innen) die Na^+ -Ionen der ersten Sphäre und zugleich nach außen die in dritter Sphäre folgenden, zur Bildung etwa eines Trisilikatglases notwendigen Natriumionen mit Sauerstoffionen koordinieren. Man kann nun überschlagen, daß zur vollständigen Umhüllung der SO_3^{2-} - und inneren Na^+ -Konfiguration 80–90 Moleküle SiO_2 und 25–30 Na_2O zur Bildung eines Trisilikatglases notwendig sind. Dies wäre aber zugleich die Mindestmenge zur Unterbringung von 1 SO_3 im Glas; in Oxydprozenten würde eine solche Konfiguration etwa 1,3 % SO_3 enthalten, eine Menge, die trotz der einfachen Annahmen bereits in der Größenordnung der tatsächlich höchsten gefundenen SO_3 -Gehalte in Gläsern liegt. Nun ist aber noch zu bedenken, daß, wenn man nun mehrere solche kugelige Gebilde von SO_3 -Umhüllungen nebeneinanderlegt, dazwischen Hohlräume entstehen, die nun noch durch „Glassubstanz“ aufgefüllt werden müssen. Dadurch erniedrigt sich der SO_3 -Gehalt noch etwas, so daß man tatsächlich in gute Übereinstimmung mit dem Experiment kommt.

ze. Beim Ersatz von F durch Cl oder von O durch S wird wegen des erheblich größeren Radius dieser



mit anderen Worten, die Verweilzeit des Fremdanions X wird kürzer, es muß sich — im wesentlichen getrennt vom $[\text{SiO}_4]$ -Netzwerk — mit anderen Kationen koordinieren, die dem Netzwerkverband dadurch teilweise verloren gehen: es entsteht also aus der Si—X-Anordnung im wesentlichen Si—O—, das sich vernetzen kann; die Zähigkeit muß deshalb größer werden. Gleichzeitig kommt es hier leichter zu Entmischungen, wie stets bei Ionen, die keine Verknüpfung mit dem $[\text{SiO}_4]$ -Gerüst haben (s. oben S^{6+}); dabei können sich je nach den Konzentrationsverhältnissen entweder Fluoride (Chloride) oder aber Kieselsäureentglasungen ausscheiden.

Für die Annahme, daß zumindest ein Teil der S^{2-} -Ionen nicht an Si^{4+} gebunden ist, spricht auch die Beständigkeit von Polysulfiden in Glas [C. NEUMANN und A. DIETZEL (18)]. Diese faßt man als komplexe Anionen mit einem S^{2-} als Zentralion und S-Atomen als koordinierte Partner auf. Ein solches Anion dürfte kaum in das $[\text{SiO}_4]$ -Netzwerk unmittelbar eingebaut sein.

In diesem Zusammenhang sei auch die Rolle des Wasserdampfes im Glas kurz berührt. Unter gewöhnlichen Bedingungen lösen sich etwa 0,1 % H_2O in Glas, das wären bei 600° rund 15 ccm, bei 1400° 30 ccm Dampf auf je 1 ccm Glassubstanz. Da dieser Wasserdampf aber einen Partialdruck von weniger als 1 at im Glas hat [wie P. CSAKI und A. DIETZEL (19) elektrochemisch nachgewiesen haben], kann also nur ein kleiner Bruchteil des Wassers frei im Glas vorhanden sein, die Hauptmenge muß chemisch gebunden sein. H_2O kann sich z. B. mit Na_2O zu NaOH umsetzen, so daß man also bei Einführung von Wasserdampf im wesentlichen das Fremdanion OH^- in das Glas bringt. Seine Wirkung kann man auf zweierlei Weise verstehen. Entweder betrachtet man OH^- — wie dies in der Kristallchemie üblich ist — wegen seines ähnlichen Radius und der gleichen Ladung als Substituenten für F^- ; oder man betrachtet das Kation H^+ im rein oxydischen Glas, also ein Kation mit noch größerer Feldstärke als Li^+ . In beiden Fällen muß man eine starke zähigkeitserniedrigende Wirkung des Wasserdampfes erwarten. Dies ist auch tatsächlich der Fall.

Im Zusammenhang damit stehen Fragen der Glaslöslichkeit in geschmolzenem Glas. Wenn, wie im Falle des Wasserdampfes, die entstehenden Ionen merklich lockerer in das Netzwerk eingebaut sind, so werden sie mit sinkender Temperatur und steigender Vernetzung, besonders stark beim Kristallisieren einer Schmelze, durch die stärkere Si—O—Si-Bindungen verdrängt, mit anderen

Worten, Wasserdampf wird frei. Dies kann man sehr schön an einer rasch kristallisierenden Schmelze verfolgen, wie dies in Fig. 7 wiedergegeben ist. Die Schmelze entsprach der Zusammensetzung $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2 \text{CaO} \cdot 3 \text{SiO}_2$; sie war im Gasofen geschmolzen und nahm dabei genügend Wasserdampf auf, der beim Kristallisieren abgegeben wurde. Der Vorgang war beliebig oft zu wiederholen und ist geradezu geeignet zur Demonstration einer magmatischen Erstarrung unter Gasabgabe.

Nicht unerwähnt bleiben darf die Auswirkung der *Polarisation*. Das beherrschende Anion in den Gläsern ist O^{2-} ; es spielt eine ähnliche Rolle

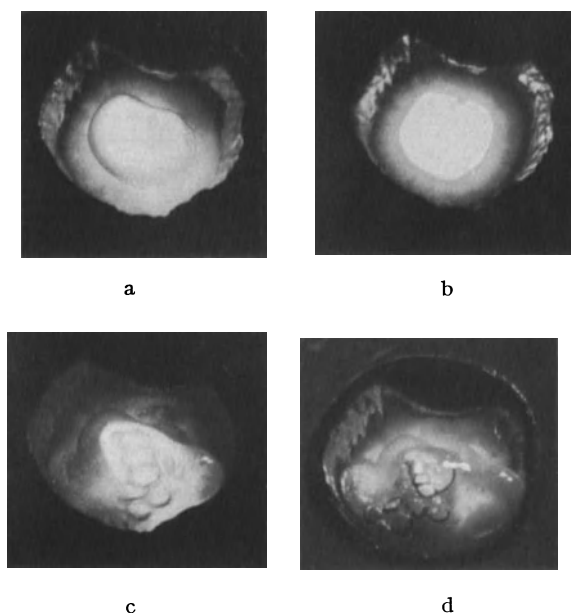


Fig. 7. Gasentbindung aus einer Glasschmelze beim Abkühlen bzw. Kristallisieren. a) Die Entglasung setzt an der Oberfläche vom Rand her ein. b) Gasentbindung aus dem Innern. c) und d) Die blasige Schmelze quillt heraus und erstarrt schließlich.

wie das Wasser in den Lösungen. Hier geben nun die *Kationen der Hauptreihen* (Erdalkalien) mit den Anionen, die *weniger polarisierbar* sind als das Wasser, häufig schwer lösliche Verbindungen (CaF_2 , BaSO_4 , KClO_4); dagegen geben die *Kationen der Nebenreihen* Niederschläge mit Anionen, die *leichter polarisierbar* sind als das Wasser (AgCl , Cu_2S , ZnS , CdS usw.) (20). Analog liegen die Verhältnisse beim Glas, wobei wir die Polarisierbarkeit der Anionen also mit derjenigen der O^{2-} -Ionen zu vergleichen haben; diese fällt im Sinne $\text{S} > \text{O} > \text{F}$. Wir kennen tatsächlich eine *Trübung* durch CaF_2 , NaF , $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$, und demgegenüber durch ZnS , ferner CdS , CdSe usw.

Diesen Zusammenhängen überlagert sich allerdings eine zweite Erscheinung. Das hohe Polarisationsvermögen der Elemente der Nebengruppen,

insbesondere gegenüber dem leicht deformierbaren Sulfidion, fördert die Bildung *komplexer Anionen*, die in *echter Lösung* verbleiben. Voraussetzung dafür ist, wie kürzlich gezeigt werden konnte [A. DIETZEL (21)], die Möglichkeit zur Bildung von Anionen vom Typus $(\text{RX}_4)^{n-}$, was entsprechend den kristallchemischen Regeln vom *Verhältnis der Ionenradien* (R_K/R_A) und von der Stärke der umgebenden Fremdionen, d. h. der *Basizität des Glases* abhängt. So kommen die Sulfide der kleinen Ionen (As^{5+} , As^{3+} , Sb^{5+} , Fe^{3+}) in gewöhnlichen Gläsern nur als *echt gelöste Komplexanionen* vor, die Sulfide der größeren Ionen (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , In^{3+} usw.) dagegen als *Kolloide*, weil hier das Komplexanion unbeständig ist. Analoges gilt für Selenide und Telluride. Am Zinkion kann man schön den Übergang vom wenig beständigen Anion $(\text{ZnS}_4)^{6-}$ zum $(\text{ZnSe}_4)^{-6}$ beobachten, das wegen des größeren Ionenradius von Se^{2-} so beständig ist, daß kein trübendes ZnSe entsteht. Man müßte nun also erwarten, daß umgekehrt beim Übergang vom Selenid zum Sulfid und schließlich zum *Oxyd* das Zinkatanion in steigendem Maße instabil wird, ZnO also besonders stark trübt. Dies ist aber keineswegs der Fall. Wir schließen daraus, daß der Einbau der Sulfide und Selenide anders erfolgt als beim Oxyd; letzteres wird ja, nach unserer Annahme entsprechend Fig. 6b, in die Glasstruktur eingebaut, nicht aber das Sulfid und Selenid (Fremdanionen).

Einteilung der Glasbestandteile nach ihrer „Löslichkeit“.

Bei den Oxyden, die in SiO_2 -Glas in jeder Menge gelöst werden (Alkalien), stellen wir uns vor, daß ihre Kationen R vollkommen mit dem $[\text{SiO}_4]$ -Netzwerk durch $\text{R}-\text{O}-\text{Si}$ -Brücken verbunden sind. Je fester die $\text{R}-\text{O}$ -, je lockerer also die $\text{O}-\text{Si}$ -Bindung, um so größer die Neigung zur Entmischung. Hier sowie bei Einführung von Fremdionen (F, Cl, S usw.) beobachten wir zum mindesten bei der Abkühlung Ausscheidungen (Trüb- oder Kolloidgläser). Man könnte also die erstgenannten Oxyde in eine Gruppe der glasbildenden Oxyde zusammenfassen, die Stoffe mit beschränkter, aber immer noch beachtlicher Löslichkeit (von mehreren Prozenten) in eine zweite Gruppe. Ist das Fremdkation so stark, daß es — wie S^{6+} — sich vom Netzwerk ganz abtrennt und nur über ein anderes Kation (Na^+) Verbindung mit $[\text{SiO}_4]$ hat, so ist seine Löslichkeit sehr beschränkt (um 1%). Solche Stoffe könnte man in eine dritte Gruppe zusammenfassen. Nun gibt es ferner eine vierte Gruppe von Stoffen, deren Löslichkeitsgrenze noch 1–2 Größenordnungen geringer ist (elementares Se, S). Bei ihnen kann also auch die letzte Art der Bindung nicht mehr in Frage kommen, wie dies ja bei ungeladenem Se oder S ohnedies gegeben ist. Zur Deutung könnte man sich folgendes vorstellen: Ein Natrium-Silikatglas besteht aus Na^+

und $[\text{SiO}_4]$ -Gruppen, jedoch, wie schon Fig. 1 andeutet, nicht etwa in *homogener* Verteilung; man wird, ähnlich wie bei der Mischung von roten und weißen Billardkugeln, Bezirke finden, in denen z. B. eine Anhäufung von Na^+ -Ionen stattfindet. Solche Bezirke könnten die Voraussetzung schaffen für das Festhalten von Stoffen wie Se, S usw. Die Zahl der Bezirke in der Raumeinheit wird sehr klein sein und deshalb auch die mögliche Konzentration an diesen Stoffen.

Es ist selbstverständlich, daß diese 4 Gruppen, wenigstens die ersten 3, nicht scharf voneinander zu trennen sind, sondern alle möglichen Übergänge zeigen können.

Kristallchemische Deutung von Glasfärbungen.

Besonders fruchtbar erweist sich die sinngemäße Übertragung der kristallchemischen Erfahrungen und speziellen Kristallstrukturen auf Farbgläser. Hierüber wurde an Hand einiger Beispiele vor kurzem bereits berichtet [A. DIETZEL (22)]. Da sich entsprechend den Vorstellungen G. SCHEIBES (23) eine *Lockerung* (Aufweitung) der Hülle von koordinierten Sauerstoffionen um ein zentrales Farbion im Absorptionsspektrum in der Verschiebung der Absorptionskante bzw. des Maximums nach *längeren* Wellenlängen, eine *Verdichtung* der O^{2-} -Hülle infolge Zunahme des negativen Feldes um das Zentralion eine Verschiebung nach *kürzeren* Wellenlängen bedingt, so läßt sich daraus auf die Vorgänge in der Glasstruktur schließen. So sieht man, daß die Gruppe $[\text{CuO}_6]$ in kristallisierten Verbindungen stets *blau* färbt, die aufgelockerte

Gruppe $\begin{array}{c} \text{O} \\ | \\ \text{O}-\text{Cu}-\text{O} \\ | \\ \text{O} \end{array}$ *grün*, während $[\text{CuO}_4]$ *gelbbraun* ist

(z. B. im CuO). Eine analoge Koordination (als statistischen mittleren Zustand) darf man demnach auch in Gläsern annehmen. Die gewöhnlichen Alkali-Silikatgläser werden durch CuO *blau* gefärbt. Durch die Alkaliionen ist hier das $[\text{SiO}_4]$ -Netzwerk genügend oft unterbrochen, so daß sich das Cu^{2+} ziemlich vollkommen koordinieren kann. Führt man in ein solches Glas bei gleichzeitiger Erniedrigung des Alkaligehaltes Borsäure ein, so geht die Farbe in *Grün* über: durch den Ersatz von Alkali durch B_2O_3 steigt die Vernetzung des „Glasgerüsts“, wodurch gleichzeitig die Koordinationsmöglichkeit für Cu^{2+} abnimmt; hinzu kommt das *hohe Polarisationsvermögen* von B^{3+} , das also auf die $[\text{CuO}_6]$ -Gruppe stark *kontrapolarisierend* wirkt.

Das voll koordinierte Bleiion ($[\text{PbO}_6]$ bis $[\text{PbO}_{12}]$) färbt im sichtbaren Gebiet nicht, besitzt aber im nahen UV eine Absorptionskante. Dagegen färbt das niedriger koordinierte Bleiion gelb bis rot (z. B. im PbO). Alkali-Silikatgläser mit niedrigem Bleigehalt enthalten (ähnlich wie beim Cu^{2+}) voll koordinierte Pb^{2+} -Ionen und sind deshalb farblos. Steigert man aber den Bleigehalt erheblich (unter gleichzeitiger Ermäßigung des Alkaligehaltes), so tritt etwas Ähnliches ein, wie

oben bei der Wirkung von B_2O_3 auf $[\text{CuO}_6]$ besprochen; durch die kontrapolarisierende Wirkung von Pb^{2+} auf benachbarte $[\text{PbO}_6]$ -Gruppen wird deren durchschnittliche Koordination mit steigendem Bleigehalt stetig verringert zu $[\text{PbO}_6]$ oder gar $[\text{PbO}_4]$ unter Verschiebung der Absorptionskante in das sichtbare Gebiet; die hochbleihaltigen Gläser sind somit mehr oder weniger stark *gelb*. So läßt sich die zunehmende Gelbfärbung von Gläsern mit steigendem Bleigehalt verstehen, ohne daß es notwendig wäre, *freies*, hochdisperses PbO in diesen Gläsern anzunehmen, wie dies H. MÖHL und H. LEHMANN (24) taten; das Fehlen einer Fluoreszenz dieser gelben Gläser spricht ebenfalls für eine echte Lösung von Pb^{2+} im Glas.

Grundsätzlich dasselbe gilt für *Cadmiumgläser*, die bei höherem CdO-Gehalt ebenfalls gelb werden.

Es leuchtet nach obigem ohne weiteres ein, daß CuO in hochbleihaltigen Gläsern *grün* und nicht blau färbt, und dasselbe ist bei Gläsern mit hohem CdO-Gehalt zu erwarten.

Schließlich sei noch die Färbung des Glases durch *dreiwertiges Eisen* erwähnt. Die Eisenfärbung ist im allgemeinen mehr oder weniger stark gelb, besonders stark in Lithium- und Bleigläsern; dagegen sind Kaligläser nicht nur wesentlich heller, sondern auch *gelbgrün* gefärbt. Wir deuteten dies anfangs durch die Annahme eines Gemisches von Fe^{3+} (gelb) und Fe^{+2} (blau), dessen Bildung allerdings mit Rücksicht auf die hohe Basizität des Glases unverständlich war. Die Strukturen einiger kristallisierter Eisenverbindungen weisen uns hier den Weg. Lithiumferrit LiFeO_2 ist gelbbraun und enthält nach E. POSNJAK und T. F. W. BARTH (25) die Baugruppe $[\text{FeO}_6]$ [wahrscheinlich auch Natriumferrit NaFeO_2]). Das Eisenion ist hier wohl vergleichbar mit dem rosa färbenden Co^{2+} -Ion, das nach G. FEITKNECHT (28) in reiner Ionenbindung in Sechserkoordination vorliegt. Das Kobaltion kann nun unter Wechsel der Koordinationszahl *und der Bindungsart* in einen blauen $[\text{CoO}_4]$ -Komplex mit ganz andersartiger Absorption übergehen²⁾. Ähnlich vermag das dreiwertige Eisen in Kaliumferrit $\text{K}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$ nach T. F. W. BARTH (29) eine *hellgrün* färbende $[\text{FeO}_4]$ -Gruppe zu bilden. Wir dürfen annehmen, daß wegen der andersartigen Absorption auch hier, ähnlich wie beim Kobalt, andere Bindungsverhältnisse (kovalente Bindung) vorliegen als im Lithiumferrit. Hierfür spricht auch der beachtliche Unterschied in dem Fe—O-Abstand: während dieser im Lithiumferrit etwa 1,99 Å

¹⁾ Beim Natriumferrit NaFeO_2 sind die Verhältnisse nicht so eindeutig; teils werden die Natriumferrite als grün, teils als gelb beschrieben (nach GMELIN „Eisen“ Teil B 1932, 875—877). Die Struktur wurde von S. GOLDSZTAUB (26) bestimmt und soll $[\text{FeO}_6]$ -Gruppen enthalten; die Parameterangaben wurden jedoch neuerdings von N. A. TOROPOW u. N. A. SHISHAKOW (27) angezweifelt.

²⁾ Der Übergang von $[\text{CoO}_6]$ in $[\text{CoO}_4]$ allein würde die andersartige Absorption des letzteren nicht erklären.

(beim Natriumferrit $1,97 \text{ \AA}$) beträgt, ist er im Kaliumferrit nur $1,73 \text{ \AA}$. Entsprechend diesen Erfahrungen an kristallisierten Verbindungen dürfen wir also auch bei *Gläsern* folgern, daß mit größter Wahrscheinlichkeit in den *rein gelben* Schmelzen das dreiwertige Eisen hauptsächlich als $[\text{FeO}_6]$ -Gruppe vorhanden ist; die Farbtiefe läßt sich bei Anwesenheit von stark kontrapolarisierenden Fremdionen (Pb^{2+} , B^{3+} !) verstärken, bei deren Abwesenheit abschwächen. Färbt aber das dreiwertige Eisen *hellgrün*, so wird es als $[\text{FeO}_4]$ -Gruppe vorliegen; das wird immer dann der Fall sein, wenn genügend schwachpolarisierende Kationen vorhanden sind. Wie man an den Alkaliferriten sieht, ist hierfür das Kalium typisch. So erklärt sich, daß das Eisenoxyd in Kaligläsern schwächer (und grünlich) färbt als in Natron- oder Lithiumgläsern, und daß man allgemein für hochwertiges Kristallglas die Kaligläser den reinen Natrongläsern bevorzugt.

Es gibt neben dem Übergang der gelben $[\text{FeO}_6]$ - in die grüne $[\text{FeO}_4]$ -Gruppe mit offensichtlich geänderten Bindungsverhältnissen aber auch noch einen solchen in eine tetraedrische $[\text{FeO}_4]$ -Gruppe wahrscheinlich *ohne* grundsätzliche Änderung der reinen Ionenbindung. Durch die dichtere O^{2-} -Packung im Tetraeder gegenüber dem Oktaeder nimmt das negative Feld um Fe^{3+} zu, und die Absorptionskante wandert in das nahe Ultraviolett. So ist zu erklären, daß das kristallisierte FePO_4 (mit $[\text{FeO}_4]$ - und $[\text{PO}_4]$ -Gruppen) farblos ist, ebenso eisenhaltige Phosphatgläser und sogar wässrige Eisenlösungen mit Phosphorsäurezusatz.

Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, daß die Kristallchemie in weitem Umfange Beobachtungen an Gläsern zu deuten und unsere Kenntnisse über die Struktur des Glases zu vertiefen vermag. Dies gilt in besonderem Maße für die sinngemäße Übertragung der Strukturen von kristallisierten Silikaten, Boraten usw. auf entsprechende Gläser, darüber hinaus läßt sich

aber auch der Einbau gelöster Fremdstoffe, wie Farboxyde, Sulfate, Wasserdampf usf. in die Glasstruktur verständlich machen. Fortschritte der Kristallchemie und der Kristallstrukturfor- schung haben somit unmittelbarste Bedeutung auch für die Glasforschung.

Schrifttum.

- (1) W. BÜSSEM u. W. WEYL, Naturwiss. **24**, 324 (1936). — (2) W. WEYL, Glastechn. Ber. **10**, 541 (1932) — (3) W. A. ZACHARIASEN, J. amer. chem. Soc. **54**, 3841 (1932) — J. chem. Phys. **3**, 162 (1935) — Glastechn. Ber. **11**, 120 (1933); **13**, 171 (1935). — (4) B. E. WARREN u. A. D. LORING, J. amer. ceram. Soc. **18**, 269 (1935). — (5) G. J. BAIR, J. amer. ceram. Soc. **19**, 339 (1936). — (6) K. ENDELL u. H. HELLBRÜGGE, Beih. Nr 38, Z. VDCh. **1940**, siehe ferner Archiv für das Eisenhüttenwesen **14**, 307 (1941). — (7) B. E. WARREN u. A. G. PINCUS, J. amer. ceram. Soc. **23**, 301 (1940). — (8) F. C. KRACEK, J. chem. Phys. **34**, 1583 (1933). — (9) Diss. Univ. Berlin 1930. — J. D'ANS u. J. LÖFFLER, Z. anorg. u. allg. Chem. **191**, 1 (1930). — (10) F. MACHATSCHKI, Z. phys. Chem. **133**, 253 (1928). — (11) W. WEYL u. H. MÖTTIG, Glastechn. Ber. **11**, 67 (1933). — (12) W. STEGMAIER u. A. DIETZEL, Glastechn. Ber. **18**, 297 u. 353 (1940). — (13) K. ENDELL u. R. KLEY, Stahl u. Eisen **59**, 677 (1939). — (14) K. ENDELL u. G. BRINKMANN, Stahl u. Eisen **59**, 1319 (1939). — (15) CL. SCHAEFER, F. MATOSI u. K. WIRTZ, Z. Physik **89**, 210 (1934). — (16) W. WEYL, Sprechsaal **67**, 95 (1934). — (17) H. JEBSEN-MARWEDEL, Glastechn. Ber. **17**, 325 (1939). — (18) C. NEUMANN u. A. DIETZEL, Glastechn. Ber. **18**, 267 (1940). — (19) P. CSAKI u. A. DIETZEL, Glastechn. Ber. **18**, 33 u. 65 (1940). — (20) S. hierüber bei A. E. v. ARKEL u. J. H. DE BOER, Chem. Bindung als elektrostat. Erscheinung. Leipzig: S. Hirzel 1931. S. 225. — (21) A. DIETZEL, Glastechn. Ber. **19**, 4 (1941). — (22) A. DIETZEL Naturwiss. **29**, 81 (1941). — (23) G. SCHEIBE, Ber. dtsh. chem. Ges. **58**, 586 (1925). — (24) H. MÖHL u. H. LEHMANN, Sprechsaal **63**, 463 (1929). — (25) E. POSNJAK u. T. F. W. BARTH, Physic. Rev. **38**, 2234 (1931). — (26) S. GOLDSZTAUB, Bull. Soc. franç. Minéral **58**, 6 (1935). — (27) N. A. TOROPOW u. N. A. SHISHACOW, Acta physicochim. (Moskva) **11**, 277 (1939), ref. Strukturber. **7**, 61. — (28) G. FEITKNECHT, Helvet. chim. Acta **20**, 659 (1937). — (29) T. F. W. BARTH, J. chem. Phys. **3**, 323 (1935).

Der Fließvorgang im Stahl bei Raumtemperatur unter ruhender Belastung.

Von ALFRED KRISCH, Düsseldorf.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung.)

Während bei Zerreißversuchen an Stahl und anderen Werkstoffen bei Raumtemperatur im allgemeinen die Wahl der angewandten Dehngeschwindigkeit auf das Ergebnis des Zugversuchs keinen großen Einfluß hat, erwies es sich bei der Ausführung solcher Versuche bei Temperaturen von etwa $300\text{--}400^\circ$ als notwendig, genaue Vorschriften über die Versuchsgeschwindigkeit und Art der Durchführung zu erlassen, wenn man wiederholbare Ergebnisse erhalten wollte^{1, 2}). Dar-

über hinaus zeigte sich bei Temperaturen von etwa $450\text{--}500^\circ$, daß auch ein nach diesen Vorschriften ausgeführter Zerreißversuch nur eine geringe Bedeutung für die Beurteilung von Werkstoffen bei diesen Temperaturen hat. Läßt man nämlich eine Zerreißprobe bei diesen oder höheren Temperaturen längere Zeit (z. B. 3 Stunden) unter einer Belastung stehen, die unterhalb der Zugfestigkeit, oft auch unterhalb der Fließgrenze für diese Temperatur liegt, so kommt die Verformung der Probe nicht zum Stillstand, sondern schreitet mit der Zeit fort¹). Man erhält dann Zeit-Dehnungs-

¹) F. KÖRBER u. A. POMP, Zur Bestimmung der Warmstreckgrenze von Stahl. Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. **12**, 165/69 (1930).

²) DIN-Vornorm DVM-Prüfverfahren A 112. Dezember 1935.

¹) A. POMP, Zugversuche bei hohen Temperaturen. Handbuch der Werkstoffprüfung, hrsg. von E. SIEBEL, Bd. **2**, S. 232/310. Berlin: Julius Springer, 1939.

Linien, wie sie in Fig. 1 grundsätzlich dargestellt sind. Während man bei den Kurven 1–4 annehmen kann, daß die Dehnung nach kürzerer oder längerer Zeit infolge der Verfestigung schließlich zum Stillstand kommt, ist bei einer Zeit-Dehnungs-Linie nach Kurve 5 oder gar 6 mit einer andauernden Verformung („Kriechen“) des Stabes bis zum Bruch zu rechnen. Die Grenzbelastung, bei der ein solcher Bruch noch nicht eintritt, ist die Dauerstandfestigkeit.

Um einen Überblick über die Größenordnung der auftretenden Dehnungen und Dehngeschwindigkeiten zu gewinnen, sei hier angeführt, daß man

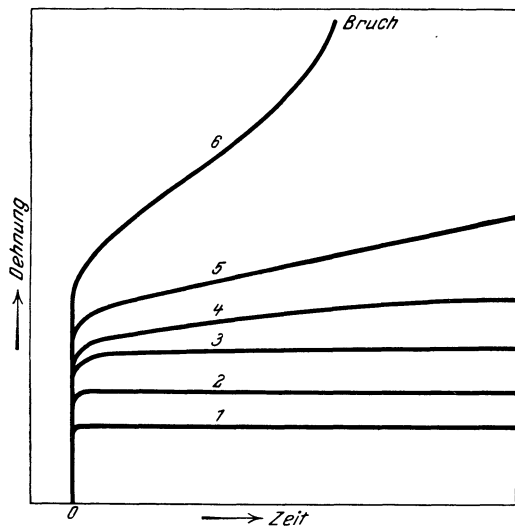


Fig. 1. Grundsätzliches Aussehen der Zeit-Dehnungs-Linien für unveränderte Zugbelastung. (Nach POMP und DAHMEN.)

im allgemeinen bei höheren Dehngeschwindigkeiten als $10 \cdot 10^{-4} \%$ /h in der 25. bis 35. Stunde nach Aufbringen der Belastung oder bei größeren bleibenden Dehnungen als 0,2 % nach 45stündiger Belastung mit einer Überschreitung der Dauerstandfestigkeit, also mit späteren Brüchen, rechnet¹⁾. Bleibt die Dehngeschwindigkeit unter diesem Betrag, so wird man auch bei einem 1000stündigen Versuch oft noch meßbare Dehngeschwindigkeiten feststellen können. Man muß

¹⁾ DIN-Vornorm DVM-Prüfverfahren A 117. September 1937.

also bei Festigkeitsprüfungen in der Wärme auch sehr kleine Verformungsgeschwindigkeiten beachten; um die Notwendigkeit hiervon zu erläutern, sei noch hinzugefügt, daß $1 \cdot 10^{-4} \%$ /h etwa 1%/Jahr entspricht, also einer Verformung, die für viele Geräte unzulässig groß ist.

Der Begriff der „Dauerstandfestigkeit“ wird nun fast nur auf die Prüfung von Werkstoffen bei höheren Temperaturen angewandt, und ebenso werden Messungen der Dehngeschwindigkeit über längere Belastungszeiten auf diese Temperaturen beschränkt. Die „Nachwirkungserscheinungen“, die auch für Raumtemperatur bei Stahl bekannt sind, wurden bisher meist nur im elastischen Gebiet untersucht, während z. B. MARTENS die Zeitabhängigkeit der Spannungs-Dehnungs-Linie für gering erklärt¹⁾. Bei Dauerbelastungsversuchen bei Raumtemperatur an mehreren Stählen ergab sich nun, daß für diese „Nachwirkungen“ ein ganz unterschiedliches Verhalten beobachtet werden konnte.

Von den vier Stählen, deren chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften in Zahlentafel 1 angegeben sind, ist Stahl 1 ein unlegierter Thomasstahl, Stahl 2 ein unlegierter Siemens-Martinstahl von etwa gleicher Festigkeit und nicht wesentlich anderer Zusammensetzung. Der Stahl 3 ist ein niedrig legierter vergüteter Chrom-Molybdän-Stahl von rund 100 kg/mm² Zugfestigkeit, während der Stahl 4 ein rostfreier austenitischer Chrom-Nickel-Stahl ist.

Während die in Zahlentafel 1 angegebene Zugfestigkeit in einer 10-t-Zerreißmaschine üblicher Bauart ermittelt wurde, in der die Probe einer steigenden Verformung unterworfen und die dazu benötigte Kraft gemessen wurde, wurden die folgenden Versuche in Dauerstandmaschinen ausgeführt, bei denen die Belastung über einen Hebel aufgebracht wurde und dann für die Dauer des Versuches auf der Probe blieb, während die dadurch hervorgerufene Dehnung mit Meßuhren und MARTENSschen Spiegelgeräten (Vergrößerung 1 zu 1000 gemessen wurde²⁾). Die Zeit-Dehnungs-

¹⁾ A. MARTENS, Handbuch der Materialkunde für den Maschinenbau, S. 197. Berlin: Julius Springer 1898.

²⁾ Näheres über diese Einrichtungen s. A. POMP u. W. ENDERS, Zur Bestimmung der Dauerstandfestigkeit im Abkürzungsverfahren. Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. 12, 127/47 (1930).

Zahlentafel 1.

Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften der untersuchten Werkstoffe.

Bezeichnung	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Sonstiges	Streckgrenze kg/mm ²	Zugfestigkeit kg/mm ²	Streckgrenzenverhältnis %	Einschnürung %
1	0,13	0,04	0,42	0,020	0,020					25,9	42,2	61	72
2	0,23	0,018	0,73	0,028	0,040					29,8	47,8	62	67
3	0,40	0,23	0,69	0,013	0,010	1,02	0,04	0,19		87,2	99,3	88	66
4	0,11	0,56	0,62	0,011	0,025	17,72	8,48	0,20	1,03 % W 0,23 % Cu 0,22 % Ti	62,0	78,3	78	68

Kurven wurden photographisch aufgezeichnet. Die Versuche wurden derart ausgeführt, daß die Proben mit 40—97% ihrer Zugfestigkeit, also größtenteils über der Streckgrenze, belastet wurden und diese Belastung dann für längere Zeiträume (bis zu 480 h) auf der Probe gelassen wurde.

In den Fig. 2—5 sind die an den vier Werkstoffen gefundenen Zeit-Dehnungs-Linien wiedergegeben, wobei die während der Laststeigerung auftretende Dehnung ϵ (Belastungsdehnung) nicht berücksichtigt wurde; diese ist vielmehr in die Bilder in Klammern eingetragen. Die Bilder zeigen, daß zwischen den vier Stählen grundsätzliche Unterschiede bestehen. Der Thomasstahl 1 (Fig. 2) zeigt in der kürzesten Zeit einen Stillstand der Dehnung, wobei natürlich die Fest-

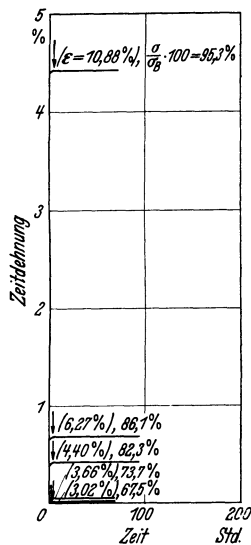


Fig. 2. Zeitdehnungslinien von Stahl 1.

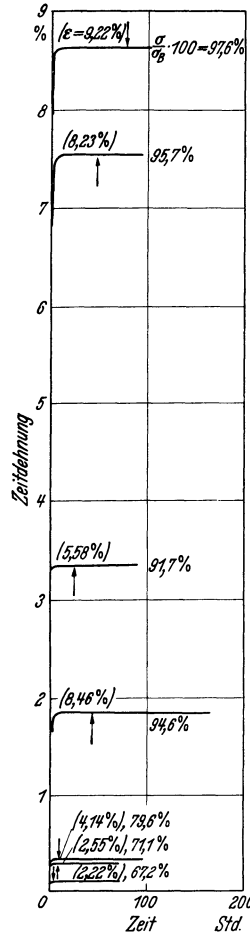


Fig. 3. Zeitdehnungslinien von Stahl 2.

Bei 67% der Höchstlast ($\epsilon = 2,2\%$) tritt der Dehnungsstillstand nach 3 h ein, also etwa in der gleichen Größenordnung wie bei dem Thomasstahl. Bei 92% ($\epsilon = 5,6\%$) wurde ein Fließen über 24 h beobachtet, und bei 97,6% ($\epsilon = 9,2\%$) lief die Dehnungskurve erst nach 81 h Belastungszeit parallel zur Zeitachse. Für den Siemens-Martin-Stahl 2 kann man also mit etwa den 5- bis 10fachen Zeiten wie bei dem Thomasstahl 1

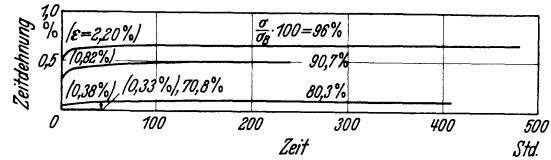


Fig. 4. Zeitdehnungslinien von Stahl 3.

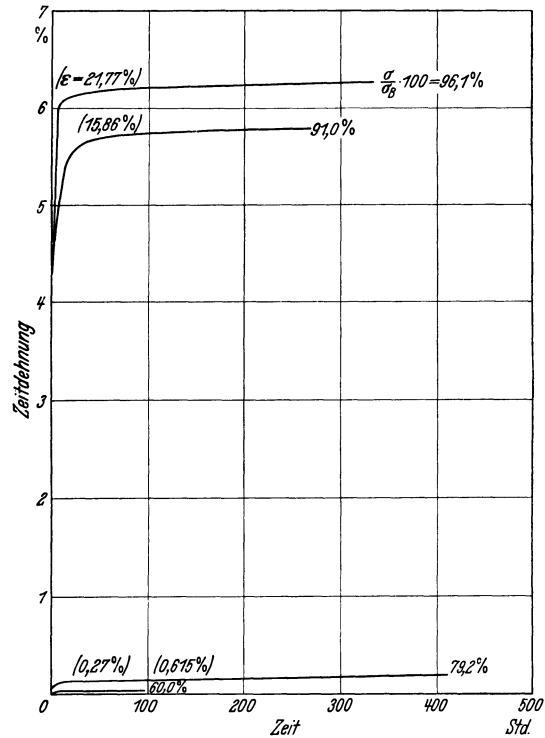


Fig. 5. Zeitdehnungslinien von Stahl 4.

stellung des „Stillstandes“ von der angewandten Meßgenauigkeit des MARTENSschen Spiegelgerätes abhängt. Als Zeit des Stillstandes wurde der Punkt angenommen, von dem ab die photographisch aufgenommene Zeitdehnungslinie horizontal lief; dieser Punkt ist bei den geringen Krümmungen der Kurve aber nur angenähert festzulegen und in den Bildern durch einen Pfeil hervorgehoben. Bei dem Thomasstahl 1 wurde bei einer Belastung von 68% der Höchstlast (Belastungsdehnung $\epsilon = 3\%$) der Stillstand nach $1\frac{1}{4}$ h, bei 95% der Höchstlast ($\epsilon = 10,9\%$) nach 4 h erreicht.

Bei dem Siemens-Martin-Stahl 2 (Fig. 3) erstreckt sich der Dehnvorgang über längere Zeiten.

rechnen. Die hier zu beobachtende Streuung in der Zeitdehnung ist mit der schwierigen Trennung von Belastungs- und Zeitdehnung zu erklären.

Ein ganz anderes Bild ergeben jedoch die legierten Stähle 3 und 4. Bei den höheren Belastungen von 80, 91 und 96% der Höchstlast ($\epsilon = 0,4, 0,8$ und $2,2\%$) konnte für den Chrom-Molybdän-Stahl 3 (Fig. 4) kein Stillstand der Dehnung beobachtet werden, obwohl die Versuche bis 409, 238 und 480 h ausgedehnt wurden. Dabei waren die Belastungs- und Zeitdehnungen viel kleiner als bei den Stählen 1 und 2. Die Dehngeschwindigkeiten am Ende der Versuche betragen $0,1, 1,7$ und $0,2 \cdot 10^{-4} \%$ /h, liegen also schon dicht

an der Grenze der Meßgenauigkeit. Besonders bei dem Versuch mit 96 % der Höchstlast ist zu bemerken, daß die Dehngeschwindigkeit während des ganzen Versuches stetig abnahm, so daß an sich auch hier ein Stillstand zu erwarten ist, der vielleicht bei 1000 h eintreten wird. Die Dehngeschwindigkeiten in der 24. bis 48. Stunde sind dabei von ähnlicher Größe, wie sie bei Versuchen in der Wärme in der Nähe der Dauerstandfestigkeit gefunden werden; das Abklingen der Dehngeschwindigkeit erfolgt jedoch schneller, als es in der Wärme meist der Fall ist. Der Ausfall dieser Versuche gab Anlaß, noch niedrigere Belastungen als bei den unlegierten Stählen zu untersuchen. Während bei 66 und 71 % Belastung ($\epsilon = 0,3\%$) noch 25 und 40 h bis zum Stillstand vergingen, wurde bei 56 und 61 % der Höchstlast ($\epsilon = 0,2\%$)

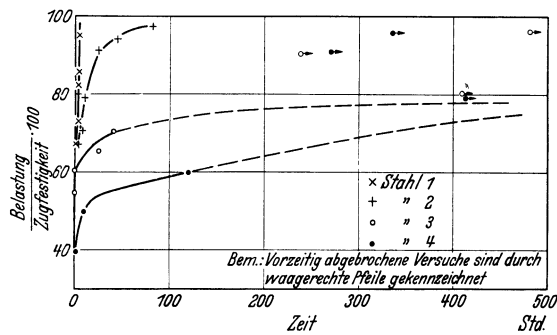


Fig. 6. Zeiten bis zum Stillstand der Dehnung in Abhängigkeit von der Belastung für die Stähle 1 bis 4.

kein Kriechvorgang mehr beobachtet, d. h. die Spannungs-Dehnungs-Linie erwies sich für diese Belastungen als fast zeitunabhängig. Es wurden also auch unterhalb der 0,2-Grenze noch Kriecherscheinungen festgestellt.

Bei dem austenitischen Stahl 4 ergibt sich wie bei dem Chrom-Molybdän-Stahl 3, daß für Versuche mit 80—96 % der Höchstlast ($\epsilon = 0,6$ bis 21,8 %) innerhalb 300—400 Versuchsstunden kein Stillstand der Dehnung beobachtet werden konnte (Fig. 5). Die Zeitdehnung erreicht hier wieder die gleiche Höhe wie die der Kohlenstoffstähle. Gegen Versuchsende wurden Dehngeschwindigkeiten bis $0,6 \cdot 10^{-4} \%$ /h beobachtet. Im ersten Teil des Versuches wurden bei den Versuchen unter Belastungen von 91 und 96 % der Höchstlast Dehngeschwindigkeiten gemessen, die bei Versuchen

in der Wärme einen baldigen Bruch hätten vermuten lassen. Ebenso wie bei dem Stahl 3 ist jedoch das Abklingen der Dehngeschwindigkeit weit stärker als bei erhöhten Temperaturen, so daß auch hier ein Stillstand der Dehnung nach vielleicht 1000 h vermutet werden kann. Während die Versuche an Stahl 3 für 60 % der Höchstlast kein Kriechen mehr zeigten, wurde bei Stahl 4 für diese Belastung bei $\epsilon = 0,3\%$ noch eine Zunahme der Verformung bis zu 120 h gefunden. Bei 50 % Belastung ($\epsilon = 0,2\%$) trat dieser Stillstand nach 9, bei 40 % ($\epsilon = 0,16\%$) nach 1—2 Stunden ein.

In Fig. 6 sind die gefundenen Zeiten bis zum Stillstand der Dehnung für die vier Werkstoffe zusammengestellt. Die Versuche, die vor Erreichen des Dehnungsstillstandes abgebrochen wurden, sind dabei durch waagerechte Pfeile gekennzeichnet. Die Fig. zeigt den grundsätzlichen Unterschied zwischen dem Thomasstahl 1 und den legierten Stählen 3 und 4. Der unlegierte Siemens-Martin-Stahl 2 nimmt eine Zwischenstellung ein. Aus der Fig. 6 erkennt man weiter, daß bei den Stählen 3 und 4 infolge des vorzeitigen Abbruchs der Versuche die Kurven nur ungefähr angegeben werden konnten. Gerade bei diesen Stählen gewinnt daher die Frage Bedeutung, ob es etwa für Stahl auch bei Raumtemperatur eine von der Zugfestigkeit abweichende Dauerstandfestigkeit gibt. Einige wenige Versuche lassen darauf schließen, daß dies nicht ausgeschlossen ist. Wenn auch dieser Frage keine große praktische Bedeutung zukommt, da nur sehr hohe Belastungen hierfür in Frage kommen, so wird sie doch weiter überprüft werden müssen.

Zusammenfassung.

Fließvorgänge über lange Zeiten bei ruhenden Belastungen, wie sie an Stahl bisher nur bei Temperaturen von etwa 300° und darüber bekannt waren, wurden an vier Stählen bei Raumtemperatur hauptsächlich oberhalb der Streckgrenze beobachtet und in Abhängigkeit von der Belastung untersucht. Während bei einem unlegierten Thomasstahl diese Fließvorgänge in Zeiten bis zu 5 h abgeschlossen waren (im Rahmen der Meßgenauigkeit), erstreckten sie sich bei einem unlegierten Siemens-Martin-Stahl über fast 100 h. Bei einem niedrig legierten und einem austenitischen Stahl war das Fließen dagegen selbst nach 400 h noch nicht beendet.

Zur Frage des Erstarrens von Stahl in Gußblöcken.

Von PETER BARDENHEUER und RICHARD BLECKMANN, Düsseldorf.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung.)

Das bei der primären Kristallisation entstehende Gefüge ist bei Stahl auch dann von Bedeutung, wenn die eigentlichen Primärkristallite durch allotrope Umwandlungen zum Verschwinden gebracht werden, da die primär entstandenen Kristallseigerungen sowie die Verteilung der nicht-

metallischen Verunreinigungen meist erhalten bleiben. Beide, Kristallseigerungen wie Verunreinigungen, können den Anlaß zu einer Reihe von Werkstoff-Fehlern geben. Dabei ist es besonders gefährlich, wenn die einzelnen Primärkristallite grobstengelig und zueinander parallel angeordnet

sind, da dann ein kleiner Anriß leicht vergrößert wird. Eine derartige ungünstige Ausbildung der Primärkristallite ist bei Gußblöcken in einer bestimmten Zone, der Transkristallisationszone, vorhanden. Bei hochlegierten Stählen kann eine starke Transkristallisation die Warmverformung der Blöcke unmöglich machen.

Die Frage, welche Einflüsse die Dicke der transkristallisierten Zone bestimmen, beschäftigt den Metallurgen schon seit langer Zeit. Bekannt ist, daß sie von den Gießbedingungen abhängt und mit steigender Gießtemperatur zunimmt. Unter günstigen Bedingungen, deren Kenntnis und Einhaltung zur Kunst des erfahrenen Stahlwerkers gehört, lassen sich Blöcke ohne Transkristallisation herstellen.

Da G. TAMMANN aus der Beobachtung niedrig schmelzender organischer Stoffe die bekannte Abhängigkeit der Keimzahl und Kristallisationsgeschwindigkeit von der Unterkühlung gefunden hatte, hat man versucht, die Entstehung der Transkristallisation mit der Unterkühlung in Zusammenhang zu bringen. So heißt es z. B. in einem Lehrbuch der Metallkunde¹⁾: „Die Stengelschicht kommt durch Abklingen der Unterkühlung . . . zustande.“ Für die Annahme einer Unterkühlung spricht außerdem die jedem Stahlwerker bekannte Beobachtung, daß sorgfältig erschmolzener Stahl sich bei besonders tiefen Temperaturen, gemessen mit dem Glühfadenpyrometer, vergießen läßt und dann in der Blockform ohne Transkristallisation erstarrt.

Da Unterlagen über das Ausmaß der Unterkühlung von Stahl vollkommen fehlten, hatten die Verfasser in einer ersten Arbeit²⁾ Untersuchungen angestellt, wieweit unter günstigsten Bedingungen Stahl unterkühlbar ist. Die Versuche, die im Tammann-Ofen in einem Tiegel aus Klebsand bei einem Schmelzgewicht von 150 g durchgeführt worden waren, hatten ergeben, daß kohlenstoffarmer Stahl sehr stark, etwa 250° unter die Schmelztemperatur, unterkühlt werden kann, daß jedoch die Voraussetzung hierfür die lückenlose Umhüllung des Stahles mit flüssiger Schlacke ist. In Fig. 1 ist der Verlauf einer derartigen Versuchsschmelze wiedergegeben. Sobald die Kristallisation einsetzt, springt durch die plötzlich freiwerdende Kristallisationswärme die Temperatur schlagartig in die Höhe. Dabei ist deutlich ein Knacks zu hören, der Rückschlüsse auf die Größe der Kristallisationsgeschwindigkeit zuläßt. Der unterkühlte Zustand ist durch eine außerordentliche Labilität gekennzeichnet. Hält man z. B. die Schmelzen auf geringerer Unterkühlung, dann setzt nach einer gewissen Zeit, in Fig. 1 bei 170° nach 10 min, die Kristallisation plötzlich ein. Schwaches Rühren der Schmelze mit dem Quarzschutzrohr

des Thermoelementes hat eine Verringerung der Unterkühlung von 250 auf etwa 150° zur Folge. Fehlt die Schlackenhülle auch nur an einer kleinen Stelle, so daß das Eisen unmittelbar mit der Tiegelwand in Berührung steht, dann sinkt die erreichbare Unterkühlung bei erschütterungsfreier Abkühlung auf etwa 150°, bei Rühren mit dem Schutzrohr sogar auf nur etwa 20°. Obwohl die Tiegelwand glatt gebrannt war, scheint sie die Kristallisation anzuregen. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Unterkühlbarkeit ab; so wurde sie z. B. bei einem Stahl mit 0,4 % C, 0,6 % Si zu rd. 200° gefunden.

Wie die Verfasser bereits dargelegt hatten²⁾, bestehen zwischen dem Erstarren eines Stoffes im Schmelztiegel bei verhältnismäßig schwachen Temperaturunterschieden innerhalb der Schmelze und dem Erstarren nach Vergießen in eine kalte Kokille, mit einem ausgeprägten Wärmegefälle in dem erstarrenden Stoff, grundsätzliche Unterschiede.

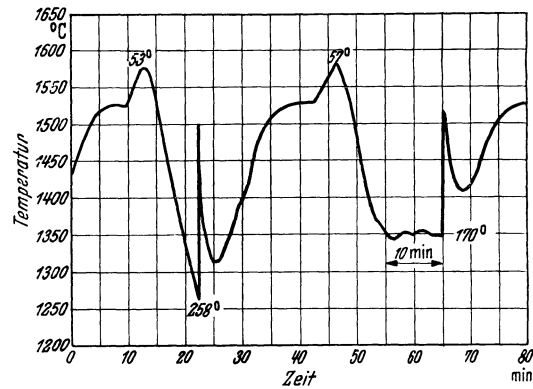


Fig. 1. Unterkühlung von Armcoeisen.

Während beim Erstarren im Tiegel die Schmelze unterkühlen muß, um spontan Kristallisationskerne zu bilden — vorausgesetzt, daß sie frei von Fremdkeimen ist und die Kristallisation durch die Tiegelwand nicht angeregt wird — erstarrt beim Vergießen durch die Abschreckwirkung sofort die mit der kalten Kokille in Berührung kommende Schicht des Metalls, die für die weitere Kristallisation als „Keimschicht“ wirkt. Eine Unterkühlung des Blockinnern wäre daher nur denkbar, wenn — von Seigerungen im Block abgesehen — die von der Wärmeabfuhr nach außen abhängige Erstarrungsgeschwindigkeit größer als der Höchstwert der spezifischen KG. des Metalles ist. Wenn es auch unwahrscheinlich ist, daß dem Stahl eine so kleine max. KG. eigen ist und die Unterkühlungsversuche im Tammann-Ofen auf eine hohe max. KG. deuten, so konnte eine endgültige Aussage, ob im Innern eines Gußblockes Unterkühlungen auftreten, erst durch Messungen des Temperaturverlaufes im erstarrenden Block gemacht werden.

Um ähnliche Verhältnisse zu prüfen, wie sie bei der Stahlerzeugung in der Praxis vorliegen,

¹⁾ E. PIWOWARSKY, Allgemeine Metallkunde. Berlin: Gebr. Borntraeger 1934 (vgl. S. 17).

²⁾ P. BARDENHEUER u. R. BLECKMANN, Mitt. K. Wilh.-Inst. Eisenforsch. 21, 201/212 (1939) — Stahl u. Eisen 61, 49/53 (1941).

wurde eine Kokille von etwa 250 mm Viereck und 435 mm Höhe verwendet. Nach einer Anzahl von Vorversuchen wurden, wie in Fig. 2 skizziert ist, Quarzrohre, die allein beständig gegen Tempe-

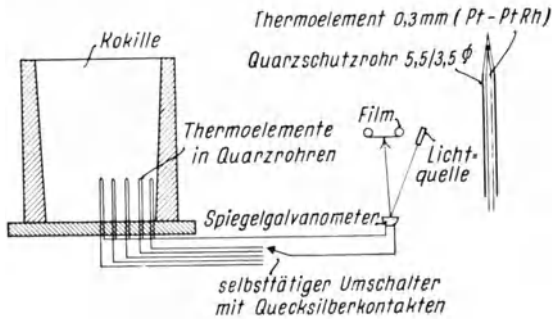


Fig. 2. Anordnung zur Messung des Temperaturverlaufes im Block.

raturwechsel sind, stehend in einem Boden aus Schamottemörtel eingestampft. Damit war erreicht, daß sie senkrecht zum Wärmefluß liegen, vom hochsteigenden Stahl vorgewärmt werden und ein die Temperaturanzeige fälschender Wärmeabfluß von der Schweißstelle durch die Drähte des

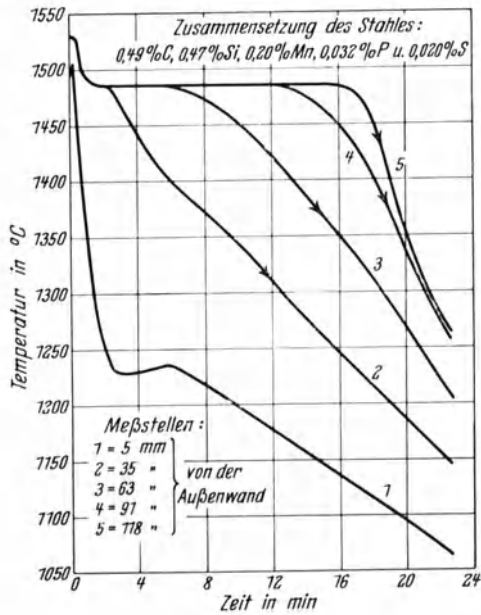


Fig. 3. Temperaturverlauf beim Erstarren eines Stahlblockes.

Elementes (0,3 mm Platin-Platinrhodium) weitgehend vermieden wird. Um eine möglichst gute Wärmeübertragung auf die Schweißstelle zu erzielen, ist das obere Ende des Quarzrohres ganz dünn konisch ausgezogen worden, wie es in Fig. 2 rechts oben dargestellt ist. Die Thermospannungen gelangen über eine Kaltlötlötstelle zu einem elektrisch betriebenen Umschalter, dessen Kontakte durch Quecksilberschaltröhren gebildet werden und der

jeweils die Thermospannung einer Meßstelle an das schnell schwingende Mikrospiegelgalvanometer legt.

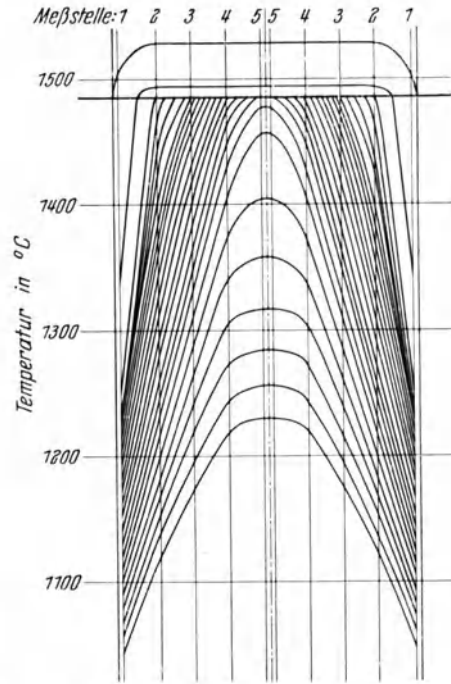


Fig. 4. Räumliche Abkühlung eines erstarrenden Viereckblockes.

Der Lichtstrahl wird auf einem bewegten Filmstreifen aufgezeichnet.

Mit dieser Anordnung sind bisher eine Reihe von Messungen durchgeführt worden. Fig. 3 zeigt als Beispiel den Temperaturverlauf bei der Erstarrung eines Stahles mit 0,49% C, 0,47% Si und 0,20% Mn. Der Stahl war im sauren Hoch-

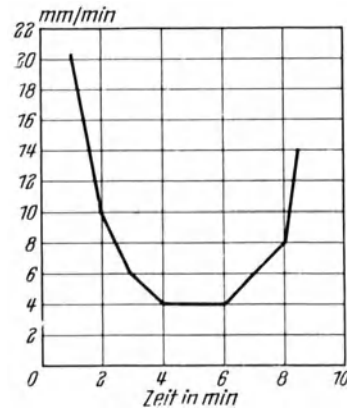


Fig. 5. Durchschnittliche Erstarrungsgeschwindigkeit in einem Viereckblock.

frequenzöfen unter reduzierenden Bedingungen erschmolzen worden. Nach den Versuchen im Tammann-Ofen mußte ein derartiger Stahl beim Erstarren im Schmelztiegel etwa 200° unterkühlbar sein.

Kurve 1 zeigt den Temperaturverlauf 5 mm von der Außenwand des Blockes; das Primärgefüge ist hier, wie die Oberhoffer-Ätzung zeigte, fein globular. Die Kurve fällt durch den starken Wärmeentzug sehr steil ab, um bei 1230° plötzlich wieder schwach anzusteigen. Dies dürfte der Zeitpunkt des Abhebens des Blockes von der Kokillwand sein. Bei den 4 Meßstellen weiter innen im Block fallen die Kurvenzüge bis zum Haltepunkt zusammen. Der Abfall der jeweiligen Kurve vom Haltepunkt zeigt an, daß die Kristallisation eben bis zu dieser Meßstelle fortgeschritten ist. Dabei liegt die Meßstelle 2 in der Transkristallisationszone, während das Gefüge um die Meßstellen 3, 4 und 5 globular ist.

In Fig. 4 ist die Verteilung der Meßstellen über dem Blockquerschnitt maßstabrichtig eingezeichnet. Die Kurven sind Isohoren mit einem Zeitunterschied von jeweils 1 min. Wie man sieht, ist im Innern des flüssigen Kernes kein Temperaturgefälle vorhanden, was wohl auf die gute Durchwirbelung durch den Gießstrahl zurückzuführen ist, da die Blöcke aus einer Stopfenpfanne fallend

gegossen wurden. Bereits nach weniger als 2 min ist der ganze Kern auf einer Temperatur, auf der er verbleibt, bis die Kristallisation im Blockquerschnitt bis zu der jeweiligen Meßstelle fortgeschritten ist.

Aus Fig. 4 läßt sich nun auch durch Abgreifen der Kurvenabstände an der Haltepunktstemperatur die durchschnittliche Erstarrungsgeschwindigkeit in der 1., 2., 3. usw. Minute ermitteln. In Fig. 5 ist diese aufgetragen. Sie fällt von einem hohen Anfangswert auf einen Tiefstwert, um zum Schluß wieder stark anzusteigen.

Als Ergebnis der bisherigen Messungen ergibt sich somit, daß Unterkühlungen im Blockinnern nicht auftreten, daß vielmehr der flüssige Kern rasch eine Haltepunktstemperatur erreicht, auf der er verbleibt, bis die Kristallisation eingesetzt hat. Die Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmung mit den auf andere Weise versuchsmäßig gefundenen von MATUSCHKA³⁾.

³⁾ B. MATUSCHKA, Arch. Eisenhüttenw. 6, 1/12 (1932/33) (vgl. Bild 8, Kurve e—u).

Der Einfluß von Nahrungs- und Genußmitteln auf die Leistung.

Von G. LEHMANN, Dortmund.

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie.)

Vor 10 und mehr Jahren spielte in der arbeitswissenschaftlichen Literatur das Problem der Ermüdungsmessung eine außerordentlich große Rolle. Man schuf den Begriff der körperlichen Ermüdung, dem man die geistige Ermüdung gegenüberstellte; man sprach von allgemeiner Ermüdung und von Organermüdung und suchte nach Methoden, um die Ermüdung schlechthin oder auch einzelne der genannten Ermüdungsformen messen zu können. Der Erfolg dieser methodischen Bestrebungen war außerordentlich gering. Wir kennen auch heute noch keine Methoden, die eine derartige Messung mit einiger Sicherheit und mit Anspruch auf Allgemeingültigkeit durchzuführen erlauben.

Wir kommen zwar auch heute noch nicht ohne die Begriffe der einzelnen Ermüdungsformen aus, haben uns aber im allgemeinen daran gewöhnt, weniger die negative Seite der Ermüdung zu betrachten, als umgekehrt die positive Seite der Leistung und Leistungsfähigkeit. Wir sprechen also heute viel weniger von zunehmender Ermüdung als von abnehmender Leistungsfähigkeit, und wir suchen nicht nach Mitteln und Verfahren, um die Ermüdung zu beseitigen, sondern wir bemühen uns um Wege zur Steigerung der Leistungsfähigkeit. Das hat zur Folge, daß wir die unfruchtbare Suche nach Methoden zur Messung der Ermüdung aufgegeben haben und uns bemühen, Methoden zur Messung der Leistungsfähigkeit zu schaffen. Die Tatsache, daß diese Umkehr der Blickrichtung von der negativen Seite der Ermüdung auf die positive der Leistungsfähigkeit Anlaß gegeben hat zur Entwicklung neuer Methoden

und zur Eröffnung neuer aussichtsreicherer Wege, zeigt, daß es sich hier nicht nur um eine Änderung des Ausdrucks handelt, wie man vielleicht zunächst annehmen könnte, sondern daß diese veränderte Blickrichtung von großer praktischer Tragweite gewesen ist.

Wenn jemand den Auftrag erhält, eine bestimmte Arbeit auszuführen, so hängt die Größe seiner Leistung, d. h. die Menge der in der Zeiteinheit ausgeführten Arbeit, ab von der Leistungsbereitschaft des betreffenden Menschen. Diese wiederum besteht wesentlich aus 2 Elementen, nämlich der Leistungsfähigkeit und dem Leistungswillen. Die Leistungsfähigkeit ist dabei definiert als das Maximum dessen, was der betreffende Organismus überhaupt an Leistung herzugeben vermag. Der Leistungswillen aber bestimmt, wieviel von dieser Gesamtkapazität im einzelnen Fall realisiert wird. Es ist klar, daß eine Ausschöpfung der gesamten Leistungsfähigkeit nur in den allerseltensten Fällen, etwa bei einer Anstrengung im Moment der höchsten Lebensgefahr, stattfindet. Eine volle Ausschöpfung im täglichen Leben ist also weder erwünscht noch überhaupt möglich. Am nächsten kommt ihr der Sportsmann bei gewissen, z. B. leichtathletischen Übungen. Der Leistungswillen ist nicht gleichzusetzen mit dem, was man landläufig als „guten Willen“ bezeichnet, wenngleich er diesen Begriff mitumfaßt. Er hat zahlreiche bis ins Unterbewußtsein reichende Wurzeln und ist dem bewußten Einfluß des Individuums nur zum Teil unterworfen. Der Leistungswillen ist zu beeinflussen durch psychologische Maßnahmen, durch

den Arbeitslohn, durch Begleitumstände, die eine Arbeit mehr oder weniger angenehm erscheinen lassen. Er ist aber andererseits auch konstitutionell bedingt und von der momentanen Disposition des betreffenden Menschen stark abhängig. Er bestimmt, wie weit unter den gegebenen Umständen eine Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit erfolgt, und übt damit eine wichtige Schutzfunktion insofern aus, als er einen übermäßigen Einsatz verhindert, der sich auf die Dauer für das Individuum schädlich auswirken würde.

Diese Dinge müssen wir im Auge behalten, wenn wir die Wirkung von Stoffen beurteilen wollen, die wir als Nahrungs- und Genußmittel aufnehmen, und von denen wir eine spezifische Wirkung im Sinne einer Beeinflussung der Leistungsfähigkeit erwarten. Wenn unter der Einwirkung eines Mittels unter sonst konstanten Verhältnissen die Arbeitsleistung steigt, dabei auch subjektiv das Gefühl einer gesteigerten Arbeitsfähigkeit und eines erhöhten Lebensgefühls vorhanden ist, so beweist das noch keineswegs, daß das Mittel wirklich eine Steigerung der Leistungsfähigkeit hervorgebracht hat. Es kann durchaus sein, daß durch das Mittel lediglich eine Steigerung dessen bewirkt wurde, was wir als Leistungswillen bezeichnet haben. Es ist zu einer Verschiebung der Grenzen gekommen, die unter den gegebenen Verhältnissen den Grad der Inanspruchnahme der Leistungsfähigkeit bestimmen. Unter der Einwirkung eines solchen Mittels kommt es also zu einer Steigerung der Leistung, nicht aber zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit, sondern zu einer erhöhten Inanspruchnahme derselben.

Ein Mittel, das ausgesprochen in diesem Sinne wirkt, ist das neuerdings bekanntgewordene Pervitin. Obwohl es bei mäßigem Gebrauch unmittelbare schädliche Wirkungen nicht zu haben scheint, ist vor seiner kritiklosen Anwendung dringend zu warnen, weil es das normale Gefühl für die zulässige Beanspruchung nimmt und so zu Überanstrengung mit ihren nachteiligen Folgen führen kann. Die Gefahr, die im Gebrauch von Pervitin und ähnlichen Mitteln liegt, ist um so größer, als gerade Leute, die solche Mittel am allerwenigsten nötig haben, weil sie sich geistig und körperlich besonders stark einsetzen, am meisten dazu neigen, zu ihnen zu greifen. Zu vertreten ist die Anwendung durch den Arzt in dem Falle eines durch Konstitution oder Stimmung darniederliegenden Leistungswillens.

Ähnlich wie die Wirkung des Pervitins und einiger ihm chemisch nahestehender Körper ist in mancher Beziehung auch die Wirkung von Genußgiften. So ist z. B. die aufmunternde Wirkung von Coffein, auf die zu verzichten heute manchem schwerfällt, ähnlich. Auch das Coffein wirkt, abgesehen von der bei großen Dosen und empfindlichen Menschen möglichen Herz- und Gefäßwirkung, wie ein Dopingmittel oder eine Peitsche; es führt zu einer Verschiebung der Leistungsgrenze bei unveränderter Leistungsfähigkeit. Die Mehr-

leistung geht also auf Kosten der natürlichen Reserven. Das harmloseste, weil schwächste Mittel dieser Art, das, soweit bisher bekannt, frei von schädlichen Nebenwirkungen ist, ist Cola, während Cocain, das in kleinen Dosen eine ähnliche Wirkung entfaltet, vielleicht als das gefährlichste dieser Mittel bezeichnet werden kann. Die Wirkung von Alkohol ist eine doppelte. Durch das Beseitigen von Hemmungen kann unter der momentanen Einwirkung kleiner Mengen zunächst ebenfalls eine Verschiebung der Leistungsgrenzen in Richtung auf eine vollständigere Ausschöpfung eintreten, während im nächsten Stadium es nicht nur zu einer Verminderung des Leistungswillens, sondern auch der Leistungsfähigkeit kommt. Noch nicht völlig geklärt ist die Rolle des Nicotins. Die Erfahrungen im pharmakologischen Laboratorium lassen nur negative Wirkungen erkennen; im täglichen Leben aber ist die belebende Wirkung der in einer Arbeitspause nach einer anstrengenden Tätigkeit gerauchten Zigarette bei vielen Menschen nicht zu verkennen. Wenn die rein psychische Wirkung hierbei auch eine große Rolle spielen mag, so ist es doch zweifelhaft, ob es berechtigt ist, die genannte Wirkung nur auf Suggestion zurückzuführen.

Die bisher besprochenen Mittel und Genußgifte verschieben die Grenze der Ausschöpfung, ohne die Leistungsfähigkeit als solche zu beeinflussen. Wir erkennen das daran, daß im Stoffwechsel keine Veränderungen erkennbar sind, die für einen ökonomischeren Ablauf der Muskelarbeit sprechen. Das Stoffwechselgeschehen läuft bei rein zentral angreifenden Mitteln genau so ab, wie ohne diese Mittel. Der höheren erreichten Leistung entspricht eine höhere Beanspruchung der Reserven.

Es fragt sich nun, ob es nicht auch Mittel gibt, die unmittelbar die Leistungsfähigkeit beeinflussen. Eine erhöhte Leistungsfähigkeit wird ebenfalls dazu führen, daß bei konstanten sonstigen Bedingungen eine erhöhte Leistung erzielt wird. Diese wird aber jetzt auch erreicht bei unverändertem Leistungswillen und führt daher nicht zu einer erhöhten Ausschöpfung. Die Beobachtung von Kreislauf und Stoffwechsel ermöglicht es uns, festzustellen, ob eine solche Wirkung vorhanden ist oder nicht.

Wohl die bekannteste Wirkung dieser Art ist die des Traubenzuckers. Gibt man im Zustand fortgeschrittener körperlicher Ermüdung Traubenzucker, so wird nicht nur das subjektive Arbeitsvermögen gesteigert; wir sehen auch objektiv eine wesentlich vergrößerte Arbeitsleistung, ohne daß es zu den Zeichen einer weitergehenden Ausschöpfung kommt. In neuerer Zeit wird gegen die Verwendung von Traubenzucker oft geltend gemacht, daß es sich hierbei um ein Präparat handelt, das frei ist von Vitaminen und eventuellen anderen, in der natürlichen Nahrung vorkommenden, im einzelnen noch unbekanntem Wirkstoffen. Dieser Einwand wäre berechtigt, wenn der Traubenzucker alleiniges oder auch nur hauptsächlichstes

Nahrungsmittel bilden würde. Da er jedoch stets eine auch calorisch kaum ins Gewicht fallende Zugabe sein wird, brauchen wir uns deswegen keine Sorgen zu machen. Die Wirkung des Traubenzuckers beruht darauf, daß er sehr schnell resorbiert wird und in den Muskelstoffwechsel eingeht. So einfach, wie man sich das früher vorstellte, daß der Traubenzucker direkt im Muskel oxydiert wird, liegen die Verhältnisse allerdings nicht.

Enge Beziehungen bestehen zwischen dem Zuckerstoffwechsel und dem Vitamin B₁-Haushalt. Es gibt Menschen, bei denen die Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Traubenzucker fehlt oder nur gering ist. Es hat sich herausgestellt, daß das Menschen sind, die nicht über die genügenden Vorräte an Vitamin B₁ verfügen. Sie können zwar in ihrem Blut noch B₁-Mengen haben, die man als normal oder an der unteren Grenze der Norm liegend ansieht; sie verfügen aber offenbar nicht mehr über die zur Bewältigung einer plötzlichen Kohlehydratzufuhr notwendige B₁-Menge. Die Traubenzuckerwirkung ist bei diesen Leuten sofort wieder da, wenn man gleichzeitig mit diesem die notwendige B₁-Menge zuführt. Auch Vitamin B₁ kann daher zu den Stoffen gerechnet werden, mit denen man eine Hebung der körperlichen Leistungsfähigkeit erzielen kann. Allerdings sehen wir diese Wirkung nur bei Personen, die einen gewissen Mangel an B₁ aufweisen, wenn dieser auch mit unseren gebräuchlichen chemischen Methoden noch nicht ohne weiteres nachweisbar zu sein braucht.

Die Hebung der Leistungsfähigkeit durch Vitamin C ist in ihrer Wirkungsweise noch nicht so klar zu übersehen wie die B₁-Wirkung. Da die C-Wirkung sich auch auf die geistige Frische und Regsamkeit bezieht, so ist die Hebung der Leistungsbereitschaft bei diesem Vitamin besonders deutlich.

Beziehungen bestehen zwischen dem Zuckerstoffwechsel und dem Stoffwechsel der anorganischen Salze, besonders der Phosphate. Phosphate als Mittel zur Hebung der Leistungsfähigkeit sind in den letzten Jahren eingehend untersucht worden. Man kann durch längere Zeit fortgesetzte Phosphatgaben eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit bei vielen Menschen erzielen, während bei anderen das Mittel versagt. Es ist wahrscheinlich, daß wir einen Erfolg dann sehen, wenn die Nahrung als solche phosphatarm ist, und die Reserven des Körpers zusammengeschmolzen sind. Der Weg vom Traubenzucker zur Energielieferung im Muskel führt über eine Verbindung mit Phosphorsäure. Genügende Kohlehydratzufuhr während oder nach einer körperlichen Anstrengung vermag die sonst eintretende Ausscheidung von Phosphorsäure zu verhindern. Traubenzucker wirkt also phosphat-sparend, wie umgekehrt ein genügender Phosphat-

bestand notwendig ist, um die Traubenzuckerwirkung entstehen zu lassen.

Schon länger bekannt sind die engen Beziehungen zwischen Phosphat- und Kalkumsatz. Der phosphorsaure Kalk des Knochens ist keineswegs ein totes Material, das außerhalb des Stoffwechsels liegt; vielmehr findet auch hier ein dauernder Auf- und Abbau statt, der bei der Bedeutung der Phosphorsäure für den Muskelstoffwechsel allein schon die Bedeutung auch des Calciums für den letzteren verstehen läßt.

Daß sich die Wirkung der Phosphorsäure in den bisher genannten Beziehungen nicht erschöpft, zeigt die Tatsache, daß Phosphorsäure in Form von Phosphatiden, z. B. in Form von Lecithin, gegeben, eine wesentlich stärkere günstige Wirkung auf die Leistungsfähigkeit ausübt, als wenn man nur anorganische oder andere organische Phosphorsäureverbindungen anwendet. Lecithin ist bekanntlich nicht nur ein Medikament, sondern auch ein Nahrungsbestandteil, der im Eidotter und im Gehirn in beträchtlichen, in anderen Nahrungsmitteln in geringeren Mengen vorkommt.

Die Bedeutung der Fette liegt einmal in ihrer Eigenschaft, Träger der fettlöslichen Vitamine zu sein, zum anderen darin, daß sie bei kleinem Volumen große Calorienmengen enthalten. Eine günstige Wirkung auf die Leistungsfähigkeit haben sie nicht; im Gegenteil wird durch reine Fettkost im Vergleich zu reiner Kohlehydratkost die körperliche Leistungsfähigkeit sogar deutlich herabgesetzt.

Eine ausreichende Eiweißversorgung ist sicher eine Vorbedingung für eine normale Leistungsfähigkeit. Die Ansichten über die Größe der minimal notwendigen Eiweißmengen haben sich aber im Laufe der letzten 50 Jahre weitgehend gewandelt. Während man ursprünglich 100 oder sogar 120 g Eiweiß pro Tag für notwendig hielt, weiß man heute, daß etwa die Hälfte dieser Menge bereits genügt, um den Körper vor Eiweißverlusten zu schützen. Eiweiß ist keine einheitliche Substanz. Je nach seiner Herkunft ist seine Zusammensetzung aus einzelnen Aminosäuren eine andere. Je nach dieser Zusammensetzung schwankt daher seine Wertigkeit. Die große Unsicherheit der Angaben über die minimal notwendige Eiweißmenge beruht zum großen Teil auf dieser Tatsache, zum anderen aber auch auf der Tatsache, daß die erforderlichen Mengen auch von der Natur der gleichzeitig genossenen Nahrungsmittel bis zu einem gewissen Grade abhängen. Wenn die Eiweißmengen, die wir heute mit den rationierten und freien Nahrungsmitteln zu uns nehmen, auch geringer sein mögen, als sie mancher früher gewöhnt war, so liegen sie doch für den Normalverbraucher und erst recht für den Schwer- und Schwerstarbeiter noch weit über dem notwendigen Minimum.

Eine parthenogenetische Chironomide als Wasserleitungsschädling.

VON FRIEDRICH KRÜGER, Plön i. Holst.

(Aus der Hydrobiologischen Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.)

Während die Zuckmückenlarven als ein äußerst positiver und wertvoller Wirtschaftsfaktor, vor allem in der Fischerei, geschätzt werden, ist weniger bekannt, daß sie andererseits der Wirtschaft als Schädlinge gelegentlich recht erhebliche Unkosten verursachen können. Schädlingsbekämpfung ist häufig recht schwierig, da vielfach hierfür Grundlagen (vor allem über die Lebensweise der Schädlinge) fehlen. Wie sehr manchmal unscheinbare theoretische Vorarbeiten für die Praxis brauchbar sein können, mag der folgende Fall zeigen:

Nur kurz möge hier darauf hingewiesen werden, daß die Zuckmückenlarven zum größten Teil von einer unglaublichen Lebensfähigkeit sind, daß sie mit einfachsten Ernährungsbedingungen vorliebnehmen (sie sind zumeist Detritusfresser und so die erste Umsatzstufe pflanzlichen Stoffes für karnivore Tiere, vor allem für die Fische). An den Sauerstoffgehalt ihrer Lebensräume stellen sie allerdings verschiedene hohe Ansprüche. Ihre Entwicklung findet im Wasser statt, und so kann es nicht verwunderlich sein, daß sie gelegentlich auch in Wasserwerksanlagen zu finden sind. Hier sind sie dann natürlich Schädlinge. Wenn auch die Öffentlichkeit von ihrem derartigen Auftreten wegen der Harmlosigkeit in hygienischer Beziehung kaum jemals erfährt und noch weniger mit ihnen in direkte Berührung kommt, höchstens einmal in Hallenschwimmbädern, so haben doch die Wasserwerkstechniker oft einen recht hartnäckigen Kampf gegen Zuckmücken zu führen. Riesel-, Block- und Kläranlagen, die offen im freien Gelände stehen, bilden ideale Brutplätze für die Mücken. Filteranlagen und mückensicher abgedeckte Reinwasserkammern aber lassen die Schädlinge nicht zum Verbraucher gelangen. Über diese allgemeine Lage in Wasserwerksbetrieben weit hinaus reicht nun unser Fall.

Weibliche Mücken hatten Gelegenheit gehabt, durch Undichtigkeiten im Wasserturm ihre Eiablage im Hochbehälter zu vollziehen. Das wird vielleicht auch sonst einmal vorkommen, jedoch kaum zu einer Plage führen, weil nach Entwicklung der Eigelege die Larven wohl leben können, aber mit dem Wasserstrom weggespült werden, oder, wenn das nicht geschieht, doch nicht ihre vollständige Entwicklung bis zur Mücke durchmachen können, weil der Mücke zum Schlüpfen und weiter zur Kopulation keine Lufträume in den Wasserleitungsröhren zur Verfügung stehen; Lufträume aber müssen für die Imagines und deren Fortpflanzung normalerweise vorausgesetzt werden.

Wenn nun in der Wasserleitung der befallenen Stadt die Larven einer Zuckmückenart kontinuierlich aufgefunden wurden, so mußten, wenn sie an sich schon unter recht ungewöhnlichen Milieuverhältnissen lebten, die Entwicklungsstände

nach obigen Voraussetzungen noch eigentümlicher sein. Eine gründliche Reinigung und eine monatelange Austrocknung des Hochbehälters half dem Übel nicht ab. Die Entwicklung mußte anscheinend im Rohrnetz weitergehen können. Dann aber konnten nur Tiere vorhanden sein, welche die Fähigkeit hatten, die Kopulation im Imaginalzustand auszuschalten. Es mußten also parthenogenetische Mücken sein. Diese Ansicht hatte sich nach der Art des Auftretens der Plage bald bei der zuerst herangezogenen Untersuchungsbehörde als zum mindesten in Betracht kommend, dann als allein möglich herausgebildet.

Es wäre naheliegend, an pädogenetische Fortpflanzung zu denken. Jedoch liegt in der Tat einfache Parthenogenese vor. Nach der Beobachtung der Eiablage einer parthenogenetischen Chironomidenpuppe (*Chironomus grimmii*, ebenfalls eine *Stylotanytarsus*!) durch *Grimm* (1870) trat die Streitfrage auf, ob die Puppe Eier legen kann, d. h. ob man diese Chironomide als pädogenetisch bezeichnen darf. Das ist bestritten worden, weil ja die Puppe wegen der geschlossen umhüllenden Puppenhaut keine Öffnungen besitzt, um ihre Geschlechtsprodukte nach außenhin abzustößen. Andererseits ist beobachtet worden, daß sich die ganze embryonale Entwicklung im Puppenkörper vollzogen hat (ZAVŘEL). In den Zuchten bei unserer als Schädling auftretenden Art *Stylotanytarsus inquilinus* war es das übliche, daß die Mücken ausschlüpften und dann meist sofort darauf zur Eiablage kamen. Gelegentlich traten sog. „schlüpftote“ Puppen auf. Bei diesen war noch die Rückennaht geplatzt, der Thoraxrücken war etwas vorgedrängt worden, und in den freien Anateil der Puppenexuvie hinein waren dann von der *Imago* die Eier abgelegt worden. Es kam auch vor, daß bei völlig geschlossener Puppe die Eier zwischen Abdomen und Exuvie lagen und dann bei ihrer Entwicklung und der dadurch bedingten Vergrößerung ihres Volumens die Exuvie sprengten. Die Umwandlung von Larve zur Mücke geht so schnell vonstatten, das Puppenstadium ist von so kurzer und gleitender Dauer, und die Eier werden erst am Ende des Puppenstadiums abgelegt, in dem ja schon ein völlig entwickeltes Insekt, eine Mücke, vorhanden ist, so daß die Pädogenese überhaupt nur eine scheinbare ist. Demnach ist *Stylotanytarsus* nicht als pädogenetisch, sondern als parthenogenetisch anzusehen.

Die Bestätigung der Vermutung, daß Parthenogenese im Spiele sei, konnten wir erteilen, als wir nach den ersten von uns durchgeführten Zuchten in der ersten Puppenhaut die Zugehörigkeit der Tiere zur Gattung *Stylotanytarsus* als sicher festlegen konnten. Diese Gattung der *Paratanytarsus*-gruppe innerhalb der Sectio *Tanytarsus genuinus*

(*Chironomidae*) ist als parthenogenetisch bekannt. Das natürliche Wohngebiet der *Stylotanytarsus*-Larven scheint in flachen, kleinen Wasseransammlungen zu liegen. Die Tiere sind, wie allgemein die Tanytarsiinen, sauerstoffliebend. Ihr bescheidenes Nahrungsbedürfnis und der gute Sauerstoffgehalt des Wassers hatte die Tiere zufällig in der Wasserleitung ein günstiges Milieu finden lassen, in dem die Entwicklung üppig vorwärtsgetrieben werden konnte. Die durchschnittliche Larvenmenge betrug etwa wöchentlich 5—6 Stück, die an mit Leinenläppchen umwickelten Zapfhähnen gefangen wurden. Ganz ungewöhnlich stark war die Rohrleitung mit Larven besetzt Ende Juli 1939, als 50—60 Larven pro Liter Wasser festgestellt wurden. Hierbei ist jedoch zu bedenken, daß diese Zahlen in hohem Maße Zufallsergebnisse darstellen; denn erstens werden nicht alle Wasserleitungsrohre gleichmäßig besetzt gewesen sein (wie auch Ausschnittproben ergaben), und zweitens (das ist viel wichtiger!) bauen sich die Larven Wohnröhren, in denen sie einen so geringen Druckstrom, wie er üblicherweise in einer Wasserleitung herrscht, sehr wohl aushalten können, ohne mitgerissen zu werden. Demnach muß also der wahre Befall viel stärker gewesen sein, als es die Proben zeigten. In unseren Zuchten konnten wir im Laufe eines Jahres bis zu 8 Generationen parthenogenetischer Mücken züchten. Männchen traten während der 3jährigen Versuchsdauer nicht auf. Wenn also jedes schlüpfende Tier ein Weibchen ist und im Durchschnitt nur etwa 40 Eier (wie hier festgestellt) ablegt, so ergibt das innerhalb weniger Generationen eine Larvenmenge, die in kurzer Zeit zu einer ernsthaften Bedrohung einer Trinkwasserleitung werden kann. Nicht in gesundheitlicher Beziehung für die Verbraucher, obwohl eine Erhöhung der Keimzahl des Wassers in solchen Fällen, jedoch nicht an *Bacterium coli*, stattfindet; aber man kann aus ästhetischen Gründen den Haushaltungen nicht ein durch darin herumschwimmende Mückenlarven verunreinigtes Brauchwasser vorsetzen!

Eine Bekämpfung war also dringend geboten! In ähnlichen Fällen wird üblicherweise eine Aufschwemmung von Pyrethrum-Insektenspulver angewendet, das in die befallenen Rohrleitungen hineingedrückt wird. Nach Füllung der Leitungen werden dann durch das möglichst gleichzeitige Öffnen aller Entnahmestellen sämtliche Leitungswege unter Desinfektion gestellt. Nach einer Einwirkungsdauer von etwa einem Tag ist gewöhnlich mit Sicherheit auf Erfolg zu rechnen. Nichts davon hier in unserem Falle! Im Laufe zweier Jahre waren 8 Spülungen, mehrere davon mit 48stündiger Dauer, notwendig, um die Plage wenigstens in Schranken zu halten.

Wir überprüften alle Ernährungs-, chemischen und physikalischen Bedingungen, die das Leben der Larven beeinflussen konnten, um zu versuchen, daraus rasch wirkende Bekämpfungsmaßnahmen vorzuschlagen — jedoch ohne Erfolg. Die Larven sind von einer geradezu ungeheuren Genügsam-

keit. In der Wasserleitung leben sie von Eisenbakterien in dem wenigen Eisenhydroxydschlamm, aus dem sie auch ihre Wohnröhren bauen. Ein wirksames Unterdrücken der Eisenbakterien soweit, daß die Larven keine Nahrung mehr fänden, ist nicht möglich. (In Zuchten mit Hungerkuren lebten unter stark eingeschränkten Raum- und Entwicklungsbedingungen z. B. von 22 Larven nach 9 Monaten noch 7 Stück, also 32%.) Auch eine Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes in der Trinkwasserleitung ist nicht zugänglich, obwohl das theoretisch das wirksamste Mittel gegen *Tanytarsus*-Larven sein könnte. Bekannt ist uns das verschiedene Einwirken von Licht und Dunkelheit auf die Entwicklung von *Chironominae* der *thummi*-Gruppe. Larven schlüpfen nicht, wenn die Eischnüre in völliger Dunkelheit gehalten werden. Diesen Einfluß auf die ersten Entwicklungszustände hatte die Dunkelheit in den Leitungsröhren offenbar nicht. Temperaturversuche mit Larven wurden angesetzt, um vielleicht dadurch ein Zurückspringen in normalen Fortpflanzungsgang und damit das Auftreten von Männchen zu erreichen. Solche Versuche zeigten aber nur, daß unter günstigen wie ungünstigen Temperaturbedingungen die Parthenogenese nicht zu beeinflussen ist.

Als die Parthenogenese dieser Schädlinge bekannt wurde, glaubte man sie damit erklären zu können, daß die Tiere unter den außergewöhnlichen Umständen, unter denen sie in der Wasserleitung leben müssen, vor allem wegen der besonderen Druckverhältnisse — es herrscht in der Wasserleitung ein Überdruck von 1,5 Atmosphären —, parthenogenetisch geworden sein könnten. Wir konnten aber sogleich auf Grund unserer Kenntnis der parthenogenetischen Gattung *Stylotanytarsus* eindringlich darauf hinweisen, daß die Parthenogenese nicht neu erworben, sondern obligatorisch sei. Der physikalische Grund, die geringe Druckerrhöhung, kann keine Rolle im Leben der Chironomiden spielen, da dies für sie nichts anderes bedeutet als ein Aufenthalt in 15 m Wassertiefe. Die Substanz der Wassertiere ist außerordentlich wasserhaltig, dazu gerade diejenige der Chironomidenlarven besonders (83—87%). Nach den Gesetzen der Hydrostatik wird der Druck im Wasser gleichmäßig fortgeleitet. Anpassungen der Tiere an die Wirkungen des Druckes sind daher weniger nötig, und demnach ist es auch nicht denkbar, hieraus einen spontanen Übergang zur Parthenogenese zu begründen. Es wäre sicherlich sehr bequem gewesen, durch Herabsetzung des Druckes in der Wasserleitung die Tiere auf normale Fortpflanzung zu bringen. Dann hätten sie nicht für alle Stadien das für ihre Existenz erforderliche Medium gefunden: der Luftraum für die Imagines hätte gefehlt, und man wäre leicht der Plage enthoben worden.

Natürlich hatte man anfangs wegen der ganz ungewöhnlichen Mißerfolge in der Bekämpfung immer wieder die Befürchtung, es könne sich irgend-

wo eine nicht auffindbare dauernde Quelle neuer Zufuhr befinden. Ein weiteres oder erneutes Eindringen von Tieren von außenher lehnten wir auf Grund der vorgenommenen Abschirmungen immer wieder ab, fanden vielmehr von vornherein die Quelle neuer Zufuhr in der Parthenogenese der Tiere. Die Parthenogenese ist es ja gerade, welche die Bekämpfung der Schädlinge so erschwerte; denn wenn trotz aller Maßnahmen (Trockenlegen des Hochbehälters, Spülungen der Leitungen) auch nur ein kurzes Rohrstück der Wasserleitung nicht von der Spülflüssigkeit durchströmt wurde, so konnten die dort ungehindert lebenden Larven nach nicht langer Zeit wieder eine neue Plage heraufbeschwören. Nach 2 Jahren erst waren die Schädlinge ausgerottet. Wir mußten mehrmals vorschlagen: Eine heilsame Bekämpfung scheint nur dadurch gegeben zu sein, daß die Vernichtungsmaßnahmen von Zeit zu Zeit wiederholt werden. So konnten wir auf Grund theoretischen Wissens von der Lebens- und Fortpflanzungsweise des Schädlings, wenn auch nicht direkt für die Praxis helfend eingreifen, doch aber auf Schwierigkeiten, die bei der Bekämpfung in Betracht gezogen werden mußten, beratend hinweisen.

Die Veranlassung, uns zu diesem Chironomiden-schädlingsfall heranzuziehen, war, wie so häufig, eigentlich eine klaffende Lücke in der Insektenliteratur! Denn: wer als Hydrobiologe oder Entomologe, sei es für theoretische Forschungen

oder für den praktischen Bedarf engere Bekanntheit mit Chironomiden gemacht hat und in die Lage gekommen ist, Larven oder Puppen dieser Dipteren bestimmen zu müssen, wird immer wieder ein zusammenfassendes Bestimmungswerk über Chironomidenlarven und -puppen vermissen. Vorarbeiten für ein solches Werk sind seit langen Jahren in Gang. Das dauernde Hinzukommen neuer Arten und neuer Metamorphosereihen aus verschiedensten Biotopen und verschiedensten geographischen Regionen läßt einmal ein umfassendes Chironomidenwerk erhoffen, an dem die Hydrobiologische Anstalt in Plön ausschlaggebenden Anteil haben wird.

Literatur.

H. M. JETTMAR, Insekten und andere Kleinlebewesen in Wasserwerken. Z. österr. Ver. Gas- u. Wasserfachmänner 76, 1—10 (1936). — FR. KRÜGER, Parthenogenetische Stylotanytarsuslarven als Bewohner einer Trinkwasserleitung. Arch. f. Hydrobiol. 38, 214 bis 253 (1941). — F. PEUS, Zuckmückenplage in Hallen- und Sommerbädern. Kl. Mitt. Ver. f. Wasser-, Boden-, Lufthygiene 7, 277—279 (1931). — P. PHILLIPP, Parthenogenese, Geschlechterverhältnis und Gynandromorphismus bei Chironomiden. Entomol. Rdsch. 54, 45—50 (1936). — A. THIENEMANN, Die Chironomidenforschung in ihrer Bedeutung für Limnologie und Biologie. Biol. Jaarboek Koninkl. Natuurwet. Gen. Dodonaea 6, 107—154 (1939). — J. WILHELMI, Mücken als Schädlinge einer Trinkwasserversorgungsanlage. Z. Desinf. 20, 82—85 (1928).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Zur Frage nach der Identität oder Verschiedenheit des die l-Peptid- und d-Peptid-Spaltung verursachenden Enzyms.

Trennung der beiden Wirkungen.

Setzt man Glycerinauszüge aus menschlichen Organen, die l-Leucylglycin und d-Leucylglycin gut zu spalten vermögen¹⁾, bei ungünstiger Wasserstoffionenkonzentration höherer Temperatur aus, so verändert sich ihr Spaltungsvermögen gegenüber der l- und d-Komponente, und zwar zu ungunsten der d-Komponente, bis schließlich nur noch Wirksamkeit gegenüber der l-Komponente vorhanden ist.

Die gleiche Erscheinung kann beobachtet werden, wenn man wäßrige Auszüge aus Keimpflanzen²⁾ einer Dialyse gegen destilliertes Wasser unterwirft. Bei genügend langer Dialyse resultieren Dialysate, die das Spaltungsvermögen gegenüber der d-Komponente (auch bei Zusatz der nach außen dialysierten Stoffe) praktisch vollständig verloren haben.

Damit ist zum erstenmal eine Trennung der beiden Wirkungen durchgeführt. Dieses Trennungsverfahren gehört nicht zu den elegantesten Verfahren, über die die moderne enzymchemische Methodik verfügt. Das Ergebnis regt aber zu Versuchen mit anderen Trennungsmethoden an und ermöglicht außerdem eine Stellungnahme zu einer bisher völlig offenen Frage auf dem Spezifitätsgebiet.

Es ist unentschieden, ob die Spaltung der beiden optischen Antipoden durch ein und dasselbe Enzym herbeigeführt wird oder ob dafür verschiedene, spezifische Enzyme verantwortlich zu machen sind. Bei dieser grundlegenden Frage sollen von vornherein einige feinere Möglichkeiten mitberücksichtigt werden: Für den Fall, daß ein und dasselbe Enzym wirksam ist, also relative Spezifität vorliegt, kann ein und dieselbe aktive Gruppe die Katalyse bewirken. Es ist aber auch möglich, daß an ein und demselben Träger verschiedene

aktive Gruppen sitzen, die sich den Substrat-Antipoden gegenüber ungleich verhalten, ohne daß es durch die üblichen schonenden Vornahmen gelingt, sie zu trennen. Ein Vorbild dafür haben wir in der Leberesterase des Menschen³⁾. Und die dritte Untermöglichkeit bestände darin, daß die Fähigkeit für die d-Peptid-Spaltung dann auftritt, wenn gewisse Begleitstoffe eine Spezifitäts-Abwandlung oder -Erweiterung bewirken. Auch hierfür gibt es ein Vorbild: Die Änderung der optischen Spezifität verschiedener Esterasen bei Zusatz gewisser Substanzen^{3, 4, 5)}, z. B. Alkohol, Strychnin usw. Kommen aber verschiedene, spezifische Enzyme für die Antipoden-Spaltung in Betracht, so ist eine Entscheidung unter folgenden zwei Möglichkeiten zu treffen: Entweder ist die d-Peptid-Spaltung durch „d-Peptidasen“ im strengsten Sinne des Wortes, also durch Enzyme mit absoluter optischer Spezifität, bedingt, oder es macht — was wir allerdings nicht annehmen möchten — eine Racemase die d-Peptide der Spaltung durch die bekannten l-Peptidasen erst zugänglich.

In den meisten bisherigen Untersuchungen über d-Peptid-Spaltung ist von „d-Peptidasen“ die Rede. Auf ihre Existenz schloß man aus der „Analogie zu den bisher bekannten l-Peptidasen“. Dieser Schluß ist voreilig und unbegründet; es kann bisher nicht als bewiesen gelten, daß die l-Peptid-Spaltung durch Enzyme mit absoluter Spezifität verursacht wird. Neuere Beobachtungen, nämlich die Entdeckung gerade der d-Peptid-Spaltung sowie der Blockierung der d-Peptid-Spaltung im d,l-Peptid-Versuch⁶⁾, veranlassen eine kritische Stellungnahme zu der bisherigen Annahme einer absoluten Spezifität der Peptidasen. Auf dem Boden der neuen Erkenntnisse müssen neue experimentelle Grundlagen für diese Voraussetzungen geschaffen werden. Auch die von uns kürzlich mitgeteilte Tatsache²⁾: „in Versuchen mit Manganzusatz geht die d-Peptid-Spaltung je nach Herkunft und Gewinnung des Enzyms 35 bis 70mal langsamer

vor sich“, beweist noch nicht das Vorliegen eines von Fall zu Fall variierenden Gemisches von l- und d-Peptidasen.

Wenn man zunächst von der Erörterung der Verhältnisse absieht, die durch Dissoziation von Holoenzym in Apoenzym und Koenzym gegeben sein könnten, so ist es naheliegend, die *Trennung der beiden Wirkungen als Trennung zweier Enzym-Individuen durch selektive Zerstörung zu deuten*. Eine weitere Förderung der Frage darf man durch Anwendung *schonenderer* Verfahren erwarten, die es zugleich erlauben, beide Wirkungen getrennt voneinander zur Entfaltung zu bringen.

Experimentelle Belege.

1. *Der Versuchsansatz.* Der Versuchsansatz beträgt 10 ccm; er enthält 0,188 g d,l-Leucylglycin (= 5 ccm einer Stammlösung, die in 100 ccm 3,76 g Dipeptid und 6 ccm $\frac{1}{2}$ -Kalilauge enthält; p_H der Lösung ist 7,8) bzw. 0,094 g d-Leucylglycin. Die Reaktionslösung ist also hinsichtlich *jeder* optischen Komponente 0,05 molar. An Enzymlösung wurden jeweils 4 ccm und an Manganochloridlösung so viel zugegeben, daß das $MnCl_2$ in 0,001 molarer Lösung vorliegt. Der fertige Versuchsansatz wurde noch mit 10 Tropfen Toluol versetzt. Die Versuchstemperatur betrug 37° C. In der Untersuchungssprobe von 1,0 ccm zeigt bei Anwendung des Titationsverfahrens von R. WILLSTÄTTER und E. WALDSCHMIDT-LEITZ 1,00 ccm $\frac{1}{20}$ alkoholischer Lauge beim d-Peptid-Versuch 100 %, beim d,l-Peptid-Versuch 50 % Spaltung an.

Die Werte der Aciditätszunahme in den Versuchen: Enzymlösung ohne Substrat bzw. Enzymlösung + Zusätze ohne Substrat sind in den nachfolgend angeführten Werten bereits in Abzug gebracht.

Für den Enzym-Mengen-Vergleich benutzen wir im Falle des *tierischen* Enzyms (siehe III. Mitteilung zur Kenntnis der Peptidasen, Biochem. Z., im Druck) d- und l-Leucylglycin-Peptidase-Einheiten (d-L-P-E und l-L-P-E); ist die Bestimmung in Anwesenheit von Mangan durchgeführt, so erhalten die Einheitenbezeichnungen noch ein + -Zeichen, z. B. d-L-P-E+.

2. *Beispiel für ein tierisches Enzympräparat.* Ein Glycerinauszug aus Carcinomgewebe der menschlichen Brustdrüse (1 Gew.-T. frisches, fein zerriebenes Gewebe + 3 Gew.-T. 86proz. Glycerin, 4 Tage bei Zimmertemperatur extrahiert) zeigt unter unseren Versuchsbedingungen gegenüber d-Leucylglycin und l-Leucylglycin folgende Wirkung:

Versuchsdauer in Stunden	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Unters.-Probe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d,l-Leucylglycin	
1/4	—	—	0,70	(35 %)
4	0,51	(51 %)	—	—
7	0,73	(73 %)	—	—

Derselbe Glycerinauszug, mit einigen Tropfen $\frac{1}{1}$ -Ammoniaklösung auf p_H = etwa 8,5 gebracht und 10 Minuten bei 70° C gehalten:

Versuchsdauer in Stunden	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Unters.-Probe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d,l-Leucylglycin	
1/4	—	—	0,40	(20 %)
4	0,02	(2 %)	—	—
23	0,11	(11 %)	—	—

Eine andere Probe desselben Glycerinauszugs, mit einigen Tropfen 2n-Essigsäurelösung auf p_H = etwa 4,5 gebracht und 10 Minuten bei 70° C gehalten:

Versuchsdauer in Stunden	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Unters.-Probe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d,l-Leucylglycin	
1/4	—	—	0,08	(4 %)
1	—	—	0,28	(14 %)
23	0,00	(0 %)	—	—
46	0,00	(0 %)	—	—

Durch *Darstellung der Wirksamkeit mit Hilfe von Enzym-Einheiten* wird das Ergebnis noch übersichtlicher:

Es enthalten 4 ccm Glycerinauszug (d. i. die im 10 ccm Vers.-Ans. vorhandene Menge):

vor der selektiven Zerstörung:

5,3 d-L-P-E+ und 116,7 l-L-P-E+

nach der selektiven Zerstörung bei p_H = 8,5:

0,2 d-L-P-E+ und 66,7 l-L-P-E+

nach der selektiven Zerstörung bei p_H = 4,5:

0,0 d-L-P-E+ und 13,3 l-L-P-E+

3. *Beispiel für ein pflanzliches Enzympräparat.* Enzymlösung: Wäßriger Auszug aus Keimlingen und Primordialwurzeln der Gerste (1 Gew.-T. luftgetr. Präp. + 10 Gew.-T. dest. Wasser, 2 Stunden bei Zimmertemperatur extrahiert):

Nach einer Kurzdialyse ergaben sich folgende Wirksamkeiten:

Versuchsdauer in Stunden	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Unters.-Probe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d,l-Leucylglycin	
1/2	—	—	0,46	(23 %)
3/4	—	—	0,70	(35 %)
8	0,10	(10 %)	1,28	(64 %)
72	0,86	(86 %)	1,86	(93 %)

Nach etwa 18stündiger Dialyse waren die Wirksamkeiten:

Versuchsdauer in Stunden	Aciditätszuwachs (ccm $\frac{1}{20}$ -Lauge) in 1 ccm Unters.-Probe (Prozent Spaltung)			
	d-Leucylglycin		d,l-Leucylglycin	
1/2	—	—	0,30	(15 %)
96	0,10	(10 %)	1,10	(55 %)
192	0,14	(14 %)	1,16	(58 %)

Während die Wirksamkeit gegenüber der l-Komponente nach 18stündiger Dialyse noch etwa $\frac{2}{3}$ der Aktivität des Kurzdialysates betrug, sank sie hinsichtlich der d-Komponente auf etwa $\frac{1}{12}$. In Versuchen unter Zugabe der im Vakuum eingedampften Außenflüssigkeit der Dialyse ergab sich praktisch das gleiche Bild.

Es ist bemerkenswert, daß bei der Aufbewahrung von wäßrigen Auszügen aus Keimpflanzen bei verhältnismäßig *günstigen* p_H - und Temperaturbedingungen die Abnahme der Wirksamkeit gegenüber *beiden* optischen Antipoden eine ziemlich *gleichmäßige* ist. So ging die Wirksamkeit eines Auszuges aus Keimpflanzen der Gerste bei 3 tägiger Aufbewahrung bei p_H = 6 (ursprüngliches p_H des Auszuges) und 37° C gleichmäßig auf etwa die Hälfte und bei 3 tägiger Aufbewahrung eines anderen Anteils bei p_H = etwa 7,8 und 37° C gleichmäßig auf etwa $\frac{1}{5}$ zurück.

Tübingen, Pharmazeutische Abteilung des Chemischen Instituts der Universität, den 3. August 1941.

E. BAMANN. O. SCHIMKE.

1) Über d-Peptid-Spaltung durch *menschliche Gewebe*, vor allem solche, in denen sich *dauernd Zellreifungs-* bzw. *Regenerationsvorgänge* abspielen, und solche, die durch *Neubildung unreifer Zellen* charakterisiert sind, berichten wir in der III. Mitteilung zur Kenntnis der Peptidasen, Biochem. Z., im Druck.

2) E. BAMANN u. O. SCHIMKE, Naturwiss. 29, 365 (1941). — II. Mitteilung zur Kenntnis der Peptidasen. Biochem. Z., im Druck.

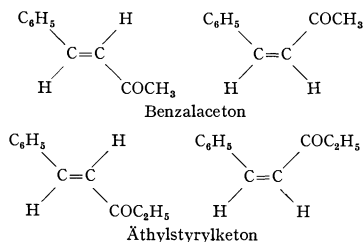
3) G. M. SCHWAB, E. BAMANN u. P. LAEVERENZ, Hoppe-Seyler's Z. 215, 121 (1933).

4) E. BAMANN u. P. LAEVERENZ, Ber. dtsch. chem. Ges. 63, 394 (1930).

5) E. BAMANN u. P. LAEVERENZ, Ber. dtsch. chem. Ges. 64, 897 (1931).

6) E. BAMANN u. O. SCHIMKE, Naturwiss. 29, 515 (1941).

Experimenteller Nachweis der cis-trans-Isomerie bei Benzalacetone und Äthylstyrylketone.



Bei der Darstellung beider Substanzen aus Benzaldehyd und dem entsprechenden Keton in alkalischer Lösung erhält man zunächst keine reinen farblosen Produkte mit scharfem Schmelzpunkt, sondern gelbe, klebrige Kristalle¹). Bei der fraktionierten Destillation erhält man außer der noch schwach gelben Hauptfraktion einen stark gelb ge-

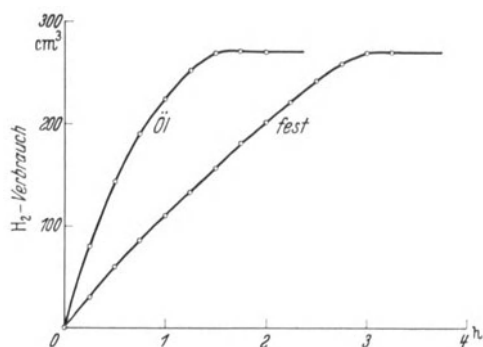


Fig. 1.

färbten, nur teilweise kristallisierbaren Vorlauf, der um etwa 5° tiefer übergeht. (Fp. der reinen Substanzen: Benzalacetone 41°, Äthylstyrylketone 38,5°.) Vermutlich erhält man also bei der Darstellung ein Gemisch beider Isomeren. Ältere Präparate zeigen außerdem, wohl unter Einwirkung des Lichtes, Gelbfärbung unter teilweiser Verflüssigung. Auch konnte GETMAN nach Belichtung eine Änderung des Brechungsindex feststellen²).

Bei unseren Versuchen gingen wir von schmelzpunktreinem, farblosem Benzalacetone bzw. Äthylstyrylketone aus. Bei Bestrahlung mit einer Quecksilberlampe zeigte sich schon nach kurzer Zeit Gelbfärbung. Die Bestrahlung wurde bis 150 Stunden ausgedehnt. Bei fraktionierter Destillation erhält man außer dem als Hauptfraktion übergehenden unveränderten Ausgangsprodukt als Vorlauf ein gelbes Öl. Während beim Benzalacetone nach einiger Zeit wieder Kristalle des Ausgangsproduktes auftreten, erhielten wir beim Äthylstyrylketone ein zeitlich unveränderliches Produkt, mit dem die folgenden Untersuchungen durchgeführt wurden.

Elementaranalyse und ebullioskopische Molekulargewichtsbestimmung (in Benzol) gaben die für Äthylstyrylketone zu erwartenden Werte.

Molekulargewicht: ber. 160 Elementaranalyse³) ber. C 82,5%
 gefunden Öl 160 H 7,5
 fest 159 gefunden Öl C 82,4
 H 7,64
 fest C 82,4
 H 7,57

Die Molrefraktion ergab für das Öl 51,73 ccm gegenüber 53,04 ccm für das feste Äthylstyrylketone (für die Na-D-Linie).

Die Hydrierungsgeschwindigkeit mit Pd auf BaSO₄ als Katalysator in Äthanol als Lösungsmittel war für das Öl rund doppelt so groß wie für das feste Äthylstyrylketone, wobei beide Präparate schließlich genau gleiche Mengen Wasserstoff aufnahmen (vgl. die Fig.).

Das gewonnene Öl dürfte demnach ein Gemisch der cis-trans-Isomeren darstellen.

Wien, I. Chemisches Institut der Universität, im August 1941.
 E. BARONI. H. SEIFERT.

¹) H. ALGEYER, Diss. I. chem. Inst. d. Univ. Wien 1939.
 — E. SCHMITZ, Diplomarbeit I. chem. Inst. d. Univ. Wien 1940.

²) F. H. GETMAN, J. amer. chem. Soc. 45, 539.

³) Ausführung: Mikrolabor Dr. K. Horeyschy, Wien IX, Währinger Str. 42.

Reindarstellung des Isotops ⁸⁶Kr im Trennrohr.

Vor einigen Monaten teilten wir mit, daß wir uns mit der Abspaltung reiner Kryptonisotope aus dem natürlichen Elementgemisch befassen¹). Dabei konnten wir zunächst 800 ccm eines Gemisches von 78% ⁸⁶Kr, 22% ⁸⁴Kr und etwa 0,2% ⁸³Kr gewinnen (s. Fig. 1, Aufnahme 2). Dieses Gasgemisch wurde auf 1200 ccm vermehrt und in der 27 m langen Trennrohranlage des Instituts weiter verarbeitet. Es wurden insgesamt 500 ccm eines Gases abgetrennt, das nach dem Massenspektrogramm aus ⁸⁶Kr mit einer Reinheit von 99,5% besteht (Aufnahme 3). An dem leichten Ende erhielten wir eine Gasprobe von etwa 150 ccm, in der vorzüglich das Isotop ⁸⁴Kr angereichert ist (s. Aufnahme 4).

Wie man auf der Originalplatte erkennt, enthält dieses Gas noch merkliche Mengen (~2%) ⁸³Kr, die wegen des geringen Massenunterschiedes gegenüber ⁸⁴Kr nur schwierig abzutrennen sind. Prinzipiell muß sich aber auch dieses Isotop auf folgendem Wege rein darstellen lassen:

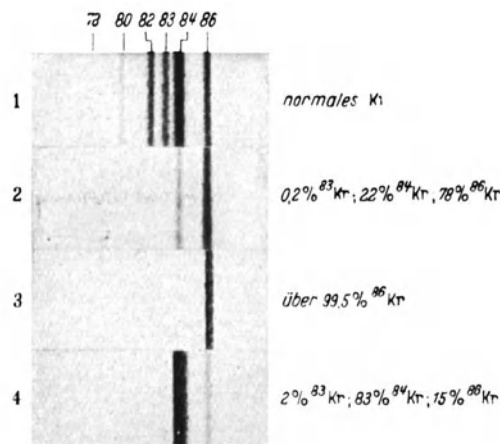


Fig. 1. Massenspektrogramme verschiedener Kryptonproben; aufgenommen von R. HERZOG und A. BÖNISCH.

1. Man spaltet aus gewöhnlichem Krypton am leichten Ende möglichst die Isotope ⁷⁸Kr, ⁸⁰Kr, ⁸²Kr und die Hauptmenge von ⁸³Kr ab.

2. Aus dem verbleibenden Rest gewinnt man auf der schweren Seite ein Gemisch von ⁸⁴Kr und ⁸⁶Kr, das kein ⁸³Kr mehr enthält.

3. Dieses rein binäre Gemisch wird dazu verwendet, um nun wieder auf der leichten Seite in einem Trennrohr reines ⁸⁴Kr abzutrennen.

Die Kontrolle der bisherigen Trennversuche geschah mit der Gaswaage; die Bestätigung der Reindarstellung des ⁸⁶Kr verdanken wir aber ausschließlich Herrn Dozenten Dr. R. HERZOG und seinem Mitarbeiter Dr. A. BÖNISCH in Wien. Beiden Herren sind wir für die Erlaubnis der Wiedergabe ihrer Aufnahmen und für ihre monatelange, uneigennützigste Mitarbeit zu größtem Dank verpflichtet.

München, Physikalisch-Chemisches Institut der Universität, den 16. Juli 1941.
 K. CLUSIUS. G. DICKEL.

¹) K. CLUSIUS u. G. DICKEL, Naturwiss. 28, 711 (1940).

Karl Escherich zum siebzigsten Geburtstage

am 18. September.

Von KARL VON FRISCH, München.

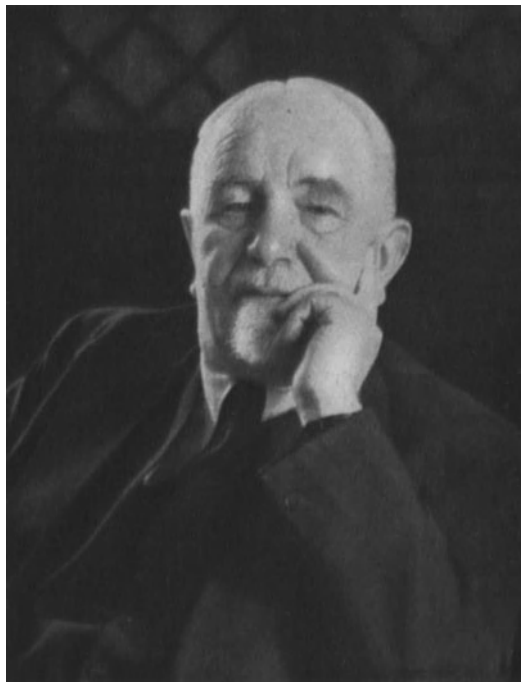
Die Natur bietet in ihrer unerschöpflichen Formenfülle den Zoologen ein weites Betätigungsfeld. Die vielgestaltigste Tiergruppe hat sie in den Insekten geschaffen. Kein Wunder, daß deren Farbenpracht und Formenreichtum, daß die Geheimnisse ihrer Lebensweise manche Naturforscher für das ganze Leben in ihren Bann zogen und so die Insektenkunde oder „Entomologie“ als ein eigener Wissenschaftszweig aus dem Mutterfach herausgewachsen ist. Niemand kam je auf den Gedanken, in der wissenschaftlichen Erforschung der Insekten gegenüber der Verfolgung anderer biologischer Aufgaben eine minderwertige Betätigung zu erblicken. Dagegen hat man bei uns zu Lande die sog. „angewandte Entomologie“ noch vor 30–40 Jahren etwas über die Achsel angesehen. Aus den Forschungsergebnissen praktische Nutzenanwendungen zu ziehen, oder das Leben von Schadinsekten zu ergründen, um Wege zu ihrer Bekämpfung zu finden, erschien vielen gegenüber der freien, ungebundenen Forschung als eine Tätigkeit zweiten Ranges. Hierin Wandel geschaffen zu haben, ist das Verdienst eines Mannes: KARL ESCHERICH. Seinen Arbeiten, seinem wirtschaftlichen Weitblick und seiner Organisationsgabe verdankt die angewandte Entomologie in Deutschland ihre heutige Geltung als vollwertige Wissenschaft und ihre auf manchen Gebieten führend gewordene Stellung in der internationalen Zusammenarbeit.

Entomologen werden zu ihrem Beruf geboren. Wer nicht schon als Kind am Sammeln, am Betrachten, am Beobachten der Insekten seine Freude hat, wird es auf diesem Gebiet selten zu etwas Rechtem bringen. So ist auch am 18. September 1871 zu Schwandorf in Bayern ein vor-

bestimmter Entomologe geboren worden. Die Käfer vor allem waren es, die frühzeitig ESCHERICH'S Begeisterung erweckten. Als Gymnasiast hatte er es schon zu einer umfangreichen Sammlung gebracht und führte einen gelehrten Briefwechsel mit den hervorragendsten Insektenkennern jener Zeit. Mit 17 Jahren veröffentlichte er seine

Erstlingsarbeit: „Über einige europäische *Meloë*-Arten“, und viele Jahre galt dieser schwierigen und biologisch interessanten Käfergruppe seine besondere Arbeitsfreude. Es entsprach aber seinem aufs Allgemeine gerichteten Geist, daß er sich aus der Enge des Spezialistentums befreite. Mit jenem sichereren Instinkt, der auch seine späteren Handlungen leitete, wählte er sich als Studierender und später als junger Gelehrter zu seiner wissenschaftlichen Fortbildung die besten Meister: BOVERI in Würzburg, HERTWIG in München, LEUCKART in Leipzig, BÜTSCHLI in Heidelberg, NÜSSLIN in Karlsruhe — Vertreter von fünf verschiedenen Arbeitsrichtungen, die ihm reiche Anregung brachten. Anatomische, biologische und entwicklungsgeschichtliche Arbeiten an Insekten sind neben zahlreichen systematischen und faunistischen Untersuchungen die

Früchte dieser ersten Periode seiner wissenschaftlichen Tätigkeit. Merkwürdige Käferformen, die als „Gäste“ in Ameisennestern leben, veranlaßten ihn zu Forschungsreisen nach Kleinasien und Abessinien, um sie in ihrer Heimat zu studieren. Sein Interesse wandte sich von den Gästen den Wirten zu und bescherte uns schöne Untersuchungen und allgemeinverständliche Schriften über das Leben der Ameisen und später auch der Termiten, derentwegen er nach Ceylon fuhr. Auch nach Tunis, Palästina, Brasilien und in manches andere Land



K. Escherich

führte ihn seine nie erloschene Reiselust. Vielleicht wäre er ein Forschungsreisender und Entomologe alten Stiles geworden, wenn ihn nicht im Jahre 1907 die Berufung an die Forstakademie Tharandt vor andere große Aufgaben gestellt hätte.

„Aus den sonnigen Höhen rein wissenschaftlicher Tätigkeit herausgerissen“ sah er die Not der deutschen Forstwirtschaft, sah den unermesslichen Schaden, den manche Insekten ständig oder durch gelegentliches Massenaufreten unseren Wäldern zufügen, und er sah auch die Ohnmacht der Forstleute, denen für eine erfolgreiche Bekämpfung der Schädlinge die Grundlagen fehlten. Mit der ihm eigenen Begeisterungsfähigkeit machte er sich ans Werk. Bald kam eine glückliche Fügung hinzu — wie denn persönliche Tüchtigkeit oft anziehend auf glückliche Zufälle zu wirken scheint —: L. O. HOWARD, der führende Vertreter der angewandten Entomologie in Amerika, besuchte Tharandt. Eine Aussprache von wenigen Stunden knüpfte zwischen beiden Männern eine Freundschaft fürs Leben und brachte ESCHERICH die Einladung zu einer Studienreise nach Amerika, die ihn in Begleitung HOWARDS kreuz und quer durch die Vereinigten Staaten führte. Er lernte die Einrichtungen kennen, die der praktische Sinn der Amerikaner geschaffen hatte, und erfaßte nun erst die Rückständigkeit des Vaterlandes auf diesem Gebiete in ihrer vollen Größe. Nach seiner Rückkehr in die Heimat folgte Schlag auf Schlag: Er begründete die „Deutsche Gesellschaft für angewandte Entomologie“, die 1913 ihre erste Tagung abhielt, und faßte in ihr die verzettelten Kräfte zu gemeinsamer, zielbewußter Arbeit zusammen. Durch die Propagandaschrift: „Die angewandte Entomologie in den Vereinigten Staaten“ rüttelte er die Fachgenossen und die berufenen staatlichen Stellen wach. In der von ihm geschaffenen „Zeitschrift für angewandte Entomologie“ vereinigten sich von nun ab die einschlägigen, bisher ganz zersplitterten Veröffentlichungen. Ein Jahr später erschien der erste Band der „Forstinsekten Mitteleuropas“, eines Lehr- und Handbuchs, das ESCHERICH trotz der Vielseitigkeit des Stoffes allein bearbeitet und dessen 4. und 5. Band gegenwärtig im Erscheinen sind. Und als er 1914 als ordentlicher Professor für angewandte Zoologie nach München berufen wurde, machte er das ihm anvertraute Institut binnen kurzem zum Zentrum der Forstentomologie in Europa, an dem er begeistert und seine Schüler begeisternd wirkte und heute noch wirkt.

Um den Sinn und die Bedeutung solcher Arbeit zu erfassen, muß man sich darüber klar werden, was es bei der Schädlingsbekämpfung eigentlich zu erforschen gilt. Ein Beispiel mag das anschaulich machen. Nicht selten werden ausgedehnte Nadelwaldbestände durch die Raupen der Nonne oder auch der Forleule derart kahlgefressen, daß die Bäume absterben. Eine ungewöhnlich starke Vermehrung dieser Schmetterlinge ist die Ursache solcher Katastrophen. Es ist klar, daß für den

Forstmann, der Gegenmaßnahmen treffen will, eine genaue Kenntnis des Schädlings und seiner Lebensweise von großem Wert ist. Es handelt sich dabei nicht nur darum, Bau und Entwicklung des Tieres zu studieren, sondern auch um das Erkennen der zahllosen Fäden, durch die es mit seiner Umwelt verknüpft ist. Allein das Klima mit seinen mannigfachen schwankenden Faktoren und sein Einfluß auf den Schmetterling in dessen verschiedenen Entwicklungsstadien gab Stoff zu zahlreichen experimentellen Arbeiten, deren Ergebnisse zwar nicht zu einem Heilmittel, aber zur Möglichkeit einer zuverlässigen Prognose führten. Man kennt die Bedingungen, unter denen eine katastrophale Vermehrung der Raupen drohend wird, und kann rechtzeitig Gegenmaßnahmen vorbereiten. Die Häufung von klimatischen Zufälligkeiten, welche die Entwicklung des Schädlings begünstigen, ist aber nicht die einzige Ursache für ein Massenaufreten. Ein solches kann auch gefördert werden durch eine Abnahme seiner natürlichen Feinde. Unter diesen spielen die Schlupfwespen die wichtigste Rolle. Sie stechen die jungen Raupen an, behaften sie mit ihren Eiern, und die Larven, die aus diesen hervorgehen, fressen die Raupen bei lebendigem Leibe innerlich aus und vernichten sie. Die Erforschung der Raupenfeinde und ihrer Lebensweise hat merkwürdige Zusammenhänge aufgedeckt. So haben manche Schlupfwespen eine kürzere Entwicklungszeit als die schädlichen Raupen, in denen sie parasitieren, und bringen es auf 2—3 Generationsfolgen im Jahr, der Schmetterling aber hat nur eine. Die überzähligen Generationen der Schlupfwespen kommen zu einer Jahreszeit, wo sie keine jungen Schädlingsraupen mehr vorfinden und sind daher auf andere — für den Forstmann an sich ganz harmlose — Raupenarten angewiesen, die nicht an Nadelholz, sondern an irgendwelchen Laubbäumen leben. Als im vorigen Jahrhundert die Gewohnheit aufkam, auf weite Strecken hin reine Föhren- oder Fichtenbestände aufzuforsten, hat man in solchen Wäldern jene anderen Raupen um ihre Futterpflanzen gebracht, damit aber auch die Schlupfwespen vertrieben, welche die Schädlinge im Zaum gehalten hatten. Das ist einer der Gründe, warum man heute wieder zum Mischwald zurückkehrt. — Noch verwickelter werden die Beziehungen dadurch, daß auch die Parasiten selbst wieder von Schmarotzern geplagt werden. Auch diese zu erforschen, ist von großer Wichtigkeit. Denn je mehr solche Parasiten zweiten Grades gedeihen, desto mehr von den Parasiten ersten Grades werden vernichtet und desto üppiger entwickelt sich der Schädling. Bedenkt man, daß das Netzwerk verwickelter Beziehungen zwischen einem Waldbewohner und seiner Umwelt hier nur angedeutet wurde, und daß es ja nicht nur Nonne und Forleule, sondern ein unübersehbares Heer von Schadinsekten gibt, die unsere Forst- und Landwirtschaft bedrohen, so wird man die Aufgaben ermessen können, die hier zu bewältigen sind.

Auf solchen Grundlagen arbeitet die „Biologische Bekämpfungsmethode“. Sie sucht der Schädlinge Herr zu werden durch Förderung ihrer natürlichen Feinde. Sie hat große Erfolge erzielt, aber auch manche Enttäuschung gebracht. ESCHERICH hat nie einseitig einer bestimmten Methode das Wort geredet. Er tritt als eifriger Verfechter einer einfachen mechanischen Bekämpfungsweise auf, etwa die Maikäfer von den Bäumen zu schütteln, solange ein wirksameres und feineres Verfahren nicht gefunden ist. Seinem Sinn für praktische Wirklichkeit und seinem Scharfblick für die wirtschaftlichen Bedürfnisse ist es aber auch zu danken, daß technische Bekämpfungsmethoden großen Stiles, die in Amerika erdacht oder dort zuerst durchgeführt worden waren, bei uns Eingang fanden und noch wesentlich verbessert wurden: die Vernichtung von Schädlingen in Mühlen, Magazinen u. dgl. durch Behandlung der ganzen Gebäude mit Blausäure oder anderen Giftgasen und die Befreiung großer Waldbereiche von Forstschädlingen durch Bestäuben mit Giftstoffen vom Flugzeug aus. Die letztere Methode ist teuer, aber sie lohnt sich bei einem Massenaufreten der Schädlinge und hat schon hunderttausende Hektar deutschen Waldes vor der Vernichtung bewahrt. Gegenüber den biologischen Methoden hat solche technische Bekämpfung bei richtiger Anwendung den Vorzug einer radikalen Wirkung, aber den Nachteil, daß mit den Schädlingen auch ihre

wichtigsten natürlichen Feinde getötet werden; ja darüber hinaus auch Lebewesen aus völlig anderem Bereich. Die Bestäubung der Wälder mit Arsenpulver hat den Imkern manch schweren Schaden zugefügt, da es unvermeidlich ist, daß der Arsenstaub auch auf allerlei Unkräuter und andere Gewächse fällt und da von höselnden Bienen aufgesammelt wird. Kostspielige, für die Imker des Bestäubungsgebietes recht umständliche Maßnahmen waren nötig, um solche Folgen zu verhüten. Abermals ist es dem Betreiben und den Anregungen ESCHERICHs zu danken, wenn es in jüngster Zeit mehr und mehr gelingt, die gemeingefährlichen Fraßgifte durch andere zu ersetzen, die als „Kontaktgifte“ durch die Haut wirken und für die harmlose Mitwelt weit weniger bedenklich sind.

Die letzten Ziele sind noch weiter gesteckt. So wie die Ärzte und Hygieniker nicht nur Mittel suchen, die Seuchen zu heilen, sondern bestrebt sind, ihr Auftreten zu verhindern, so sieht ESCHERICH das Ziel der Forstentomologie in einer richtigen Hygiene des Waldes, die es zu einem Überhandnehmen der Forstschädlinge gar nicht kommen läßt. Viel bleibt noch zu tun, bis es so weit sein wird. Aber der Weg ist beschritten. Daß unser Jubilar als rüstiger und erfolgreicher Weggenosse seine Schüler und Freunde noch lange Jahre begleite, ist unser Wunsch zu seinem Festtage.

Magnetische Dipolstrahlung und Kernmomente.

VON HANS KOPFERMANN, Kiel.

1. Problemstellung.

Jeder Energiezustand eines Atoms mit dem elektronischen Drehimpuls \vec{J} spaltet bekanntlich unter der Einwirkung eines magnetischen Kernmomentes mit dem Drehimpuls \vec{I} in ein Hyperfeinstrukturtermmultiplett auf, das ebenso viele Terme aufweist, als es erlaubte Einstellungen zwischen den beiden Drehimpulsvektoren gibt¹⁾. Beispielsweise wird ein ${}^2S_{1/2}$ -Term, wie ihn etwa die Alkaliatome als Grundzustand haben, zu einem Dublett, da in diesem Falle der Drehimpuls der Elektronenhülle mit dem Betrag $J = \frac{1}{2}$ sich nur parallel oder antiparallel zum Kerndrehimpuls I einstellen kann (s. Termschema Fig. 1). Der obere dieser beiden Zustände (Gesamtdrehimpulsquantenzahl $F = I + \frac{1}{2}$) ist metastabil; ein spontaner Übergang in den unteren Zustand (Gesamtdrehimpulsquantenzahl $F = I - \frac{1}{2}$) ist „verboten“. Dieses Verbot bezieht sich allerdings nur auf die Emission von elektrischer Dipolstrahlung und ist

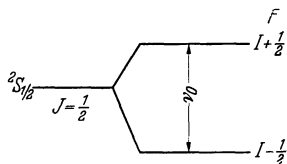


Fig. 1. Hfs.-Aufspaltung eines ${}^2S_{1/2}$ -Terms.

deshalb nicht streng. Immerhin verlängert es die Lebensdauer des oberen Zustandes um eine Reihe von Zehnerpotenzen. Lange genug sich selbst überlassen, müssen aber auch solche Zustände, falls sie nicht durch Wand- oder Gasstöße vorher zerstört werden, unter Aussendung der Hfs.¹⁾-Aufspaltungsfrequenz ν_0 spontan zerfallen, wobei die emittierte Strahlung den Charakter einer magnetischen Dipol-Strahlung besitzt.

Die Schwingungszahlen dieser sehr schwachen langwelligsten Atomspktrallinien ergeben sich z. B. für den Grundzustand des K^{41} -Atoms zu $\nu_0 = 0,0085 \text{ cm}^{-1} \approx 2,5 \cdot 10^8 \text{ sec}^{-1}$ ($\lambda \approx 100 \text{ cm}$) und für das Cs^{133} -Atom zu $\nu_0 = 0,3066 \text{ cm}^{-1} \approx 9 \cdot 10^9 \text{ sec}^{-1}$ ($\lambda \approx 3 \text{ cm}$). Man hat es also mit Frequenzen des Radiokurzwellengebietes zu tun, weshalb solche Spektrallinien auch „Radiofrequenzlinien“ genannt werden.

Diese bisher nicht genügend beachteten Tatsachen ermöglichen eine Bestimmung der Hfs.-Aufspaltung der Atomgrundzustände und gestatten sogar, die magnetischen Kernmomente, die bisher nur aus den Hfs.-Aufspaltungen berechnet werden konnten, direkt zu messen. Allerdings erscheint es hoffnungslos, die Radiofrequenzspektren in Emission zu beobachten, da sie sich infolge ihrer

¹⁾ Hfs. wird im folgenden stets als Abkürzung für Hyperfeinstruktur benutzt.

¹⁾ Siehe z. B. Naturwiss. 24, 501 (1936).

geringen Intensität der Beobachtung entziehen. Es steht jedoch nichts im Wege, an Stelle der spontanen Emission die Absorption, bzw. die induzierte Emission des betreffenden Überganges durch sehr intensive Einstrahlung magnetischer Dipolstrahlung zu erzwingen. Aber auch dann dürften die gewöhnlichen Mittel der Hochfrequenztechnik kaum ausreichen, um etwa die Absorption solcher magnetischer Dipolstrahlung nachzuweisen.

Im folgenden wird eine von RABI angegebene Methode beschrieben und in ihren Ergebnissen diskutiert, die es erlaubt, neben dem Kerndrehimpuls die Hfs.-Aufspaltung mit einer bisher nicht erreichten Genauigkeit durch einfache Frequenzmessung zu bestimmen und darüber hinaus das magnetische Kernmoment unmittelbar der Messung zugänglich zu machen¹⁾. Dadurch lassen sich einige wichtige Fragen der Kernmomentenforschung, die bisher offengeblieben waren, beantworten, nämlich

1. die Frage nach der Genauigkeit des Rechenverfahrens zur Ermittlung der magnetischen Kernmomente,
2. die Frage, ob die Wechselwirkung zwischen Kern und Elektronenhülle, welche die Hfs.-Aufspaltung der Atome erzeugt, rein magnetischer Natur ist oder ob daneben vielleicht spezifische Kernkräfte in merklichem Ausmaß wirksam sind.

Ehe auf die angegebenen Versuche und ihre Ausdeutung näher eingegangen wird, sollen zum besseren Verständnis der Grundlagen der Arbeitsweise einige Tatsachen über magnetische Dipolstrahlung — speziell auf die nachfolgenden Anwendungen zugeschnitten — kurz zusammengefaßt werden.

2. Über magnetische Dipolstrahlung²⁾.

Es genügt zunächst, die magnetische Dipolstrahlung nach der klassischen Strahlungstheorie zu behandeln, da diese alle charakteristischen Züge der quantenmechanischen Theorie trägt. Die Übersetzung der klassischen Größen in die quantentheoretischen läßt sich dann in sehr einfacher Weise vornehmen.

Das elektromagnetische Feld eines sich periodisch bewegenden Elektrons leitet man bekanntlich nach der MAXWELLSchen Theorie am besten aus den retardierten elektromagnetischen Potentialen Φ und \mathfrak{A} ab. Es gelten die Beziehungen für die elektrische Feldstärke \mathfrak{E} und die magnetische Feldstärke \mathfrak{H} :

$$\mathfrak{E} = -\text{grad}\Phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathfrak{A}}{\partial t} \quad \text{und} \quad \mathfrak{H} = \text{rot}\mathfrak{A}, \quad (1)$$

¹⁾ Der vorliegende Bericht strebt an, diese Versuche mit Hilfe des Begriffes der magnetischen Dipolstrahlung, von dem nur in wenigen der einschlägigen Arbeiten — und auch dort nur andeutungsweise — Gebrauch gemacht wird, einheitlich darzustellen.

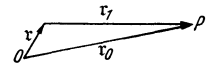
²⁾ Siehe z. B. A. RUBINOWICZ u. J. BLATON, Erg. exakt. Naturwiss. **11**, 176 (1932).

wobei Φ , das skalare Potential, und \mathfrak{A} , das Vektorpotential, die Form haben:

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= \left(\frac{-e}{r_1 \left(1 - \frac{v r_1}{c r_1} \right)} \right)_{t - \frac{r_1}{c}}, \\ \mathfrak{A} &= \left(\frac{-ev}{c r_1 \left(1 - \frac{v r_1}{c r_1} \right)} \right)_{t - \frac{r_1}{c}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Fig. 2 erläutert die in (2) auftretenden Größen: r charakterisiert den augenblicklichen Ort, O die Ruhelage des Elektrons; r_0 bedeutet den Vektor

Fig. 2. Zur Ableitung der Feldgrößen der magnetischen Dipolstrahlung.



von der Ruhelage O zum Aufpunkt P , r_1 den Vektor von der Momentanlage zum Aufpunkt. Φ , \mathfrak{A} , \mathfrak{E} und \mathfrak{H} gelten am Aufpunkt. $\tau = t - \frac{r_1}{c}$ ist die Latenzzeit, c die Lichtgeschwindigkeit und e die elektrische Elementarladung.

In einfachster Näherung nimmt man zur Berechnung von \mathfrak{E} und \mathfrak{H} eine so kleine Amplitude der Elektronenschwingung an, daß der zeitlich veränderliche Vektor r_1 durch den konstanten Vektor r_0 ersetzt werden kann. Setzt man außerdem die Geschwindigkeit v so klein voraus, daß Glieder der Form $(v/c)^2$ vernachlässigt werden können, und beschränkt man sich auf das Gebiet der sog. Wellenzone, indem man alle Glieder, die stärker als $1/r_1$ gegen Null gehen, vernachlässigt, so erhält man aus (2) durch Anwendung von (1) die bekannte „HERTZsche Lösung“ für \mathfrak{E} und \mathfrak{H} , welche die „elektrische Dipolstrahlung“ (charakterisiert durch den Index E.D.) beschreibt:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{E}_{\text{E.D.}} &= \frac{e}{c^2 r_0} \ddot{r}_{\perp} = -\frac{1}{c^2 r_0} \ddot{p}_{\perp}, \\ \mathfrak{H}_{\text{E.D.}} &= [\bar{r}_0, \mathfrak{E}]; \quad |\mathfrak{E}| = |\mathfrak{H}| \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Der Index \perp soll anzeigen, daß die Komponente von \ddot{r} in der Ebene durch O senkrecht zu r_0 zu nehmen ist. — er ist das elektrische Dipolmoment p des Elektrons; \bar{r}_0 bedeutet den Einheitsvektor in der Richtung von r_0 .

In zweiter Näherung hat man $r_1 = r_0 - \frac{1}{r_0} (r r_0)$ in (2) einzusetzen. Dann erhält man sowohl für \mathfrak{E} als auch für \mathfrak{H} außer dem schon besprochenen Glied der elektrischen Dipolstrahlung zwei weitere Glieder, von denen das eine die elektrische Quadrupolstrahlung, das andere die magnetische Dipolstrahlung beschreibt. Für das Nachfolgende interessiert nur dieses letzte Glied. Es hat die Form:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{E}_{\text{M.D.}} &= -\frac{e}{2 c^3 r_0} \frac{d^2}{d\tau^2} [r_0 [r \dot{r}]], \\ \mathfrak{H}_{\text{M.D.}} &= \frac{e}{2 c^3 r_0} \frac{d^2}{d\tau^2} [r \dot{v}]_{\perp} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Führt man, um eine physikalische Interpretation dieser Ausdrücke zu erhalten, das magnetische

Moment $m = -\frac{e}{2c} [rv]$ ein, welches durch die Elektronenbewegung bedingt ist, so vereinfacht sich (4) in folgender Weise:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{M}_{\text{M.D.}} &= -\frac{I}{c^2 r_0} \ddot{m}_{\perp}, \\ -\mathfrak{E}_{\text{M.D.}} &= [r_0, \mathfrak{M}]; \quad |\mathfrak{E}| = |\mathfrak{M}|. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Das Elektron sendet also neben der elektrischen Dipol- und Quadrupolstrahlung elektromagnetische Wellen aus, deren Feldgrößen ganz analog zu denen der elektrischen Dipolstrahlung gebaut sind, wenn man dort \mathfrak{E} , \mathfrak{M} und p durch \mathfrak{M} , $-\mathfrak{E}$ und m ersetzt. Voraussetzung für diese „magnetische Dipolstrahlung“ ist allerdings, daß das magnetische Moment m der Elektronenbewegung zeitlich veränderlich ist¹⁾. Ein auf einer Kreisbahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit umlaufendes Elektron z. B. würde demnach zwar eine elektrische, aber keine magnetische Dipolstrahlung emittieren. Bringt man dagegen dieses Gebilde in ein homogenes äußeres Magnetfeld, in dem der Impulsmomentvektor, welcher der Elektronenbewegung zugehört, um die Feldlinien präzessioniert, so wird das magnetische Moment zwar nicht seinem Betrag, wohl aber seiner Richtung nach zeitlich variabel, und es wird eine magnetische Dipolstrahlung mit der Frequenz der Larmorpräzession ausgesandt.

Aus dieser einfachen Überlegung heraus erkennt man, daß von einem Atom ohne äußeres präzessionerzeugendes Feld keine magnetische Dipolstrahlung emittiert werden könnte, wenn die Elementarteilchen zu ihrem Eigendrehimpuls (Spin) nicht ein anomal großes magnetisches Eigenmoment besäßen. Dies soll am Vektormodell eines Atoms mit Kerndrehimpuls erläutert werden (s. Fig. 3). Der Drehimpuls \vec{J} der Elektronenhülle setze sich vektoriell aus dem resultierenden Bahndrehimpuls \vec{L} und dem resultierenden Elektroneneigendrehimpuls \vec{S} zusammen²⁾. Das entsprechende magnetische Moment $\vec{\mu}_L$ ist \vec{L} gleichgerichtet, gerade so wie $\vec{\mu}_S$ die Richtung von \vec{S} hat. Besäßen die Elektronen normales magnetisches Moment, so läge die Resultierende $\vec{\mu}_J$ von $\vec{\mu}_L$ und $\vec{\mu}_S$ in der Richtung von \vec{J} , und trotz der Präzession von \vec{L} und \vec{S} um \vec{J} bliebe $\vec{\mu}_J$ zeitlich konstant, wenn \vec{J} raumfest ist. Durch den doppelten Magnetismus des Elektronenspins (g -Faktor des Elektrons = 2) fällt aber $\vec{\mu}_J$, wie aus Fig. 3 hervorgeht, nicht in die Richtung von \vec{J} . Ebensozliches gilt für den Kerndrehimpuls \vec{I} , bei dem $\vec{\mu}_I$ im

allgemeinen wegen der von I verschiedenen g -Faktoren von Proton und Neutron und damit des Gesamt- g -Faktors des Kerns nicht in die Richtung von \vec{I} fällt. Somit ist auch die Richtung der Resultierenden \vec{F} von \vec{I} und \vec{J} , die ohne äußeres Feld im Raume feststeht, verschieden von der des magnetischen Gesamtmomentes $\vec{\mu}_F$ des Atoms, der Resultierenden aus $\vec{\mu}_I$ und $\vec{\mu}_J$. Mit \vec{I} und \vec{J} präzessioniert auch $\vec{\mu}_F$ um \vec{F} ¹⁾. Es existiert also auf Grund der von I verschiedenen g -Faktoren der Atombausteine²⁾ ein zeitlich veränderliches

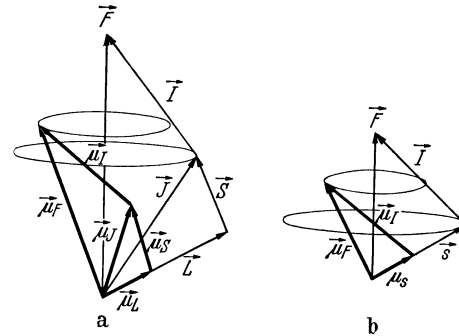


Fig. 3. Vektormodell eines Atoms mit Kernmoment. a) bei mehreren Elektronen in der äußersten Schale, b) bei einem einzigen s -Elektron in der äußersten Schale. (μ_I ist hier absichtlich viel zu groß eingezeichnet; in Wirklichkeit ist es so klein, daß $\vec{\mu}_F$ fast mit $\vec{\mu}_J$ bzw. $\vec{\mu}_S$ zusammenfällt).

magnetisches Gesamtmoment des Atoms, das Anlaß zu einer magnetischen Dipolstrahlung gibt, vorausgesetzt, daß die Eigenmomente der Einzelteilchen sich nicht alle gegenseitig absättigen (Singulettzustände der Atomhülle bzw. des Kerns).

Für das obengewählte Beispiel des $^2S_{1/2}$ -Zustandes erhält man dann das einfachere Vektorgestalt der Fig. 3 b. Die Präzessionsfrequenz von $\vec{\mu}_F$ um \vec{F} ist in diesem Falle nichts anderes als das klassische Analogon zur Hfs.-Aufspaltungsfre-

¹⁾ In speziellen Fällen, z. B. bei einem unabgesättigten Proton ohne Bahndrehimpuls, hat zwar μ_I die Richtung von \vec{I} , wegen der Anomalie des Protonen- g -Faktors erhält man aber bei der Zusammensetzung von \vec{I} mit \vec{J} ebenfalls eine Präzession von μ_F um \vec{F} .

²⁾ Das magnetische Moment des Elektrons hat den Wert $\mu_0 = \frac{e\hbar}{4\pi mc} = \frac{e}{2mc} \frac{\hbar}{2} \cdot 2 = \mu_0 g_s$, wenn $s = \frac{1}{2}$ die Spinquantenzahl, $g_s = 2$ den g -Faktor und m die Masse des Elektrons bedeuten. Entsprechend hat man z. B. für das Proton: $\mu_p = \frac{e}{2Mc} \frac{\hbar}{2} g_p = \frac{\mu_0}{1836} I_p g_p$ (M = Protonenmasse, I_p und g_p = Spinquantenzahl und g -Faktor des Protons) und allgemein für einen Kern mit der Spinquantenzahl I und dem Faktor g_I : $\mu_I = \frac{\mu_0}{1836} I g_I$. Bezeichnet man — wie üblich — $\frac{\mu_0}{1836}$ als ein Kernmagneton (K.M.), so gilt: $\mu_I = I \cdot g_I$ K.M.

¹⁾ Gerade so, wie für die Emission elektrischer Dipolstrahlung die zeitliche Veränderlichkeit des elektrischen Dipolmoments notwendig ist.

²⁾ Der Einfachheit halber ist RUSSELL-SAUNDERS Kopplung angenommen.

quenz ν_0 , deren Charakter als rein magnetische Dipolstrahlungsfrequenz somit dargetan ist.

Die bisher erörterte klassische Beschreibung der magnetischen Dipolstrahlung läßt sich ohne Schwierigkeiten in die Sprache der Quantentheorie übersetzen. Ebensovienig wie die stationären Bahnen eines Atoms eine elektrische Dipolstrahlung emittieren, wird von ihnen eine magnetische Dipolstrahlung ausgesandt. Erst dem Übergang zwischen 2 Atomzuständen (Index k und j) kann ein zeitlich veränderliches elektrisches oder magnetisches Dipolmoment zugeordnet werden, das im Sinne der klassischen Strahlungstheorie für die Aussendung elektromagnetischer Wellen verantwortlich zu machen ist. Das Schema der Matrixelemente des elektrischen bzw. magnetischen Dipolmoments enthält also außer den — zeitlich konstanten — Diagonalgliedern $p_{k,k}$ und $m_{k,k}$ im allgemeinen auch zeitlich variable Nichtdiagonalglieder $p_{k,j}$ und $m_{k,j}$ ($k \neq j$), die den möglichen Atomübergängen entsprechen. Im Gegensatz zu der elektrischen Dipolstrahlung ist aber für die magnetische Dipolstrahlung das Auftreten von Nichtdiagonalgliedern an das Vorhandensein von unabgesättigten Eigendrehimpulsen von Elementarteilchen geknüpft, da infolge der magnetischen Anomalie des Spins zwar noch immer der Drehimpuls des Atoms, nicht aber das zugehörige magnetische Moment eine Bewegungskonstante ist.

Für die pro Atom und pro Sekunde über die Raumkugel ausgesandte elektrische Dipolstrahlung der Frequenz ν_0 gelten bekanntlich, wenn $A_{k,j}^{E.D.}$ die spontane Übergangswahrscheinlichkeit der elektrischen Dipolstrahlung bezeichnet, die Beziehungen:

$$\text{Int}_{E.D.} = \frac{64\pi^4\nu_0^4}{3c^3} |p_{k,j}|^2 = \hbar\nu_0 A_{k,j}^{E.D.} \quad (6)$$

und somit

$$A_{k,j}^{E.D.} = \frac{64\pi^4\nu_0^3}{3\hbar c^3} |p_{k,j}|^2. \quad (6a)$$

Wegen des analogen Baues von (3) und (5) erhält man eine völlig entsprechende Form für die spontane Übergangswahrscheinlichkeit $A_{k,j}^{M.D.}$ der magnetischen Dipolstrahlung, in der an Stelle der $p_{k,j}$ die $m_{k,j}$ stehen.

Wenn man wiederum Atomzustände betrachtet, die eine Hfs.-Aufspaltung besitzen, so gilt für die Quantenzahl F der einzelnen Hfs.-Terme bei magnetischer Dipolstrahlung die gleiche Auswahlregel $\Delta F = 0, \pm 1$, die auch die Übergänge bei elektrischer Dipolstrahlung regelt; während aber bei dieser die Zusatzbedingung gilt, daß nur gerade mit ungeraden Termen kombinieren, lautet bei jener die Zusatzbedingung: es kombinieren gerade mit geraden und ungerade mit ungeraden Termen¹⁾.

Es läßt sich abschätzen, daß das Verhältnis $\frac{\text{Int}_{M.D.}}{\text{Int}_{E.D.}} \sim 10^{-5}$ für sichtbares Licht wird. Die

¹⁾ Gerade Terme sind solche, bei denen $\sum i l_i$ der Bahndrehimpulse der einzelnen Elektronen eine gerade Zahl ist; bei ungeraden Termen ist $\sum i l_i$ eine ungerade Zahl.

Intensität der magnetischen Dipolstrahlung ist also gegenüber der im allgemeinen nur betrachteten elektrischen Dipolstrahlung äußerst gering.

Auf unser Problem angewandt, ist der eingangs betrachtete Hfs.-Übergang zwischen $F = I + \frac{1}{2}$ und $F = I - \frac{1}{2}$ ein Übergang, der den Auswahlregeln für magnetische Dipolstrahlung gehorcht ($\Delta F = +1$, Kombination gerader \rightarrow gerader Term).

Wenn auch die g -Faktoren letzte Ursache der magnetischen Dipolstrahlung sind, so kann doch die Beobachtung der Hfs.-Aufspaltungsfrequenz ν_0 keine direkte Auskunft über den Kern- g -Faktor geben, da diese ja vom Gesamt- g -Faktor des Atoms herrührt. Erst ein äußeres magnetisches Feld, das genügend stark ist, um den Kerndrehimpuls vom Drehimpuls der Elektronenhülle abzukoppeln, so daß jeder für sich um die Feldlinien präzessiert, schafft eine magnetische Dipolstrahlung, aus deren Frequenzen man eine unmittelbare Aussage über g_I (und g_J) machen kann. Es wird also wichtig sein, auch die Emission magnetischer Dipolstrahlung zu betrachten, während sich das Atom im äußeren homogenen Magnetfeld befindet. Für diesen Zeeman-Effekt der magnetischen Dipolstrahlung gelten je nach der Stärke des äußeren Magnetfeldes verschiedenartige Auswahlregeln, die sich in entscheidenden Punkten von denen der elektrischen Dipolstrahlung unterscheiden. Wir betrachten 2 Grenzfälle:

a) *Schwaches Feld.* Schwaches Feld soll bedeuten, daß \vec{I} und \vec{J} noch fest gekoppelt sind. Es stellt sich dann \vec{F} als Ganzes ins äußere Feld ein; die Komponente von \vec{F} in der Feldrichtung sei m_F . Dann gilt: $\Delta m_F = 0, \pm 1$. Dementspre-

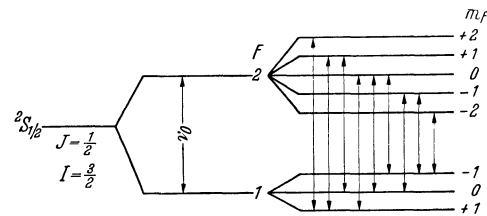


Fig. 4. ${}^2S_{1/2}$ -Term im schwachen äußeren Magnetfeld und die magnetischen Dipolstrahlungsübergänge $\Delta F = +1$, $m_F = \pm 1, 0$.

chend sind für einen ${}^2S_{1/2}$ -Term alle Übergänge möglich, die im Termschema der Fig. 4, in dem $I = \frac{3}{2}$ angenommen ist, angegeben sind.

b) *Starkes Feld.* Das Feld soll so stark sein, daß es \vec{I} und \vec{J} völlig entkoppelt hat. Dann stellt sich jeder der beiden Drehimpulsvektoren unabhängig vom anderen zur Feldrichtung ein; es existiert ein m_I und ein m_J ($m_I + m_J = m_F$). Für den gleichen Term erhält man bei $I = \frac{3}{2}$ die Termelage der Fig. 5. Es gelten die Auswahlregeln $\Delta m_I = \pm 1$, $\Delta m_J = 0$ und $\Delta m_I = 0$, $\Delta m_J = \pm 1$. Da im allgemeinen nur die Übergänge $\Delta m_I = \pm 1$, $\Delta m_J = 0$

im technisch erreichbaren Kurzwellengebiet liegen, also für die hier verwendete Methode allein interessieren, so sind in Fig. 5 auch nur diese eingezeichnet.

Schließlich folgt aus der Übereinkunft, daß der \mathcal{E} -Vektor für die Lage der Polarisationssebene ver-

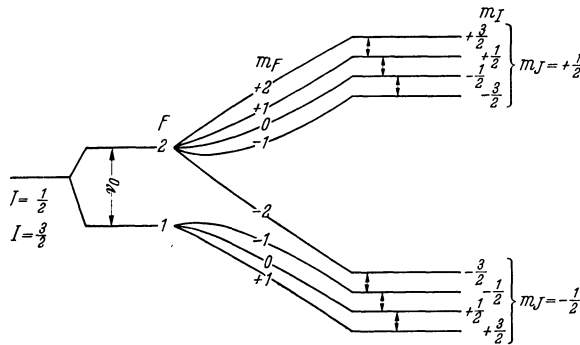


Fig. 5. $^2S_{1/2}$ -Term im starken äußeren Magnetfeld und die magnetischen Dipolstrahlungsübergänge $\Delta m_I = \pm 1$, $\Delta m_J = 0$.

antwortlich gemacht wird, für die *Polarisation der magnetischen Dipolstrahlung im äußeren Magnetfeld H_0* : die $\Delta m = 0$ -Komponenten, welche Schwingungen des magnetischen Momentes in der Feldrichtung \vec{H}_0 entsprechen, sind im Quereffekt, der im folgenden ausschließlich betrachtet wird, senkrecht polarisiert (σ -Komponenten) die $\Delta m = \pm 1$ -Komponenten, welche zirkularen Schwingungen des magnetischen Momentes senkrecht zur Feldrichtung entsprechen, sind im Quereffekt parallel polarisiert (π -Komponenten)¹⁾.

3. Das Prinzip der magnetischen Molekularstrahl-Resonanzmethode.

Läßt man einen Atomstrahl aus einem Ofen heraus in einen hochevakuierten Raum laufen, so

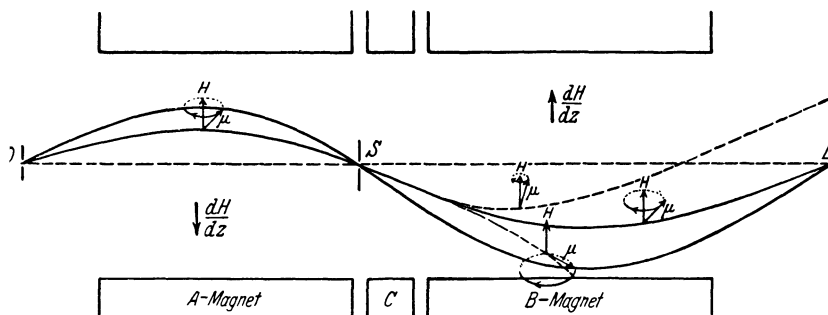


Fig. 6. Schema der magnetischen Atomstrahl-Resonanzmethode. A- und B-Magnet = Ablenkmagnete, C = H_0 -Magnet.

erhalten sich die Besetzungszahlen der Hfs.-Terme des Atomgrundzustandes entsprechend dem thermischen Gleichgewicht im Ofen, da 1. im Strahl

¹⁾ Die Bezeichnungweise ist hier gerade umgekehrt wie beim Zeeman-Effekt der elektrischen Dipolstrahlung.

praktisch keine Störungen durch Zusammenstöße stattfinden und 2. ein spontaner Zerfall der metastabilen Zustände wegen der Kleinheit der $A_{k,j}^{M.D.}$ zu selten ist. In dem Maße aber, in dem man die Strahlteilchen auf ihrem Wege einer magnetischen Dipolstrahlung geeigneter Frequenz aussetzt, wird man, falls die Zeit, während deren die Atome bestrahlt werden, nur lange genug ist (im Versuch etwa $5 \cdot 10^{-4}$ sec), eine genügende Zahl von Übergängen zwischen den verschiedenen Hfs.-Termen erzwingen. Man hat es ja in der Hand, die Intensität der eingestrahnten magnetischen Dipolstrahlung sehr groß zu machen, wesentlich größer auf alle Fälle als etwa die der elektrischen Dipolstrahlung bei den üblichen Absorptionsversuchen im optischen Gebiet, da die Intensität einer gewöhnlichen Lichtwelle um Größenordnungen geringer ist als die normalerweise erzeugbare Intensität eines magnetischen Senders der hier verwendeten Frequenz.

Zum Nachweis der Absorptions- bzw. induzierten Emissionsfrequenzen bedient man sich der folgenden Anordnung¹⁾ (s. Fig. 6). Die aus dem Ofen O in einen bestimmten Winkelbereich fliegenden Strahlteilchen werden durch ein inhomogenes Magnetfeld hinreichender Stärke entsprechend ihrem μ_{eff} und ihrer Geschwindigkeit v so abgelenkt, daß sie den Spalt S durchsetzen²⁾. Nach dem Durchgang durch S sorgt ein zweites entsprechend gebautes Magnetfeld, dessen Inhomogenität in entgegengesetzter Richtung wirkt wie die des ersten Ablenkfeldes, daß die Strahlteilchen auf einen Auffänger D konzentriert werden, der mit O und S auf einer Geraden liegt. Hinter dem Spalt S ist ein homogenes Magnetfeld H_0 angebracht, dessen Feldrichtung derjenigen der beiden

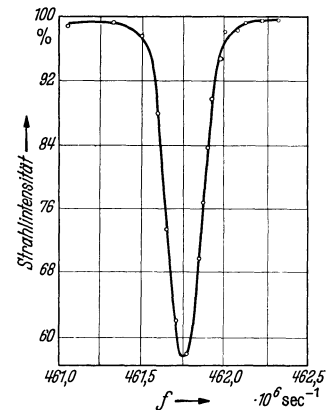


Fig. 7. Beispiel eines Resonanzminimums nach KUSCH, MILLMAN und RABI.

Ablenkfelder parallel gerichtet ist und in dem der Gesamtdrehimpulsvektor (bzw. bei starkem Feld H_0

¹⁾ I. RABI, S. MILLMAN, P. KUSCH u. I. ZACHARIAS, Physic. Rev. 55, 526 (1939).

²⁾ Die Bedingung dafür ist: $\mu_{\text{eff}}/v^2 = \text{const.}$ wenn μ_{eff} die Komponente von μ in Feldrichtung ist.

die Drehimpulsvektoren von Elektronenhülle und Kern) der einzelnen Teilchen in wohldefinierten Stellungen um die Feldlinien präzisiert. Während der Lauzeit durch H_0 wirkt ein magnetischer Sender, dessen magnetische Feldstärke H_1 senkrecht zu H_0 steht, auf die richtungsgequantelten Teilchen ein. Ist die Frequenz f dieses Senders so gewählt, daß sie mit einer der magnetischen Dipolstrahlungsfrequenzen der Atome im Feld übereinstimmt, so erfolgen Übergänge zwischen den entsprechenden Zeeman-Termen nach Maßgabe der anfangs diskutierten Auswahlregeln (wegen $\vec{H}_1 \perp \vec{H}_0$ nur $\Delta m_F = \pm 1$ bzw. $\Delta m_I = \pm 1$). Teilchen, bei denen durch die Einstrahlung Übergänge in andere gequantelte Stellungen stattgefunden haben, besitzen eine andere Komponente ihres magnetischen Gesamtmomentes in Richtung von H und werden daher im nachfolgenden Ablenkefeld anders — stärker oder schwächer — abgelenkt. Sie treffen nicht mehr auf den Auffänger und verringern deshalb der ohne Einstrahlung vorhandenen Teilchen-

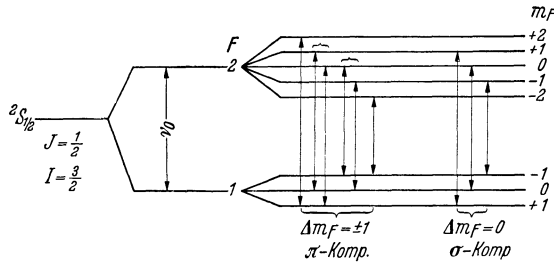


Fig. 8. π - und σ -Übergänge der magnetischen Dipolstrahlung im schwachen äußeren Magnetfeld bei einem ${}^2S_{1/2}$ -Term und $I = 3/2$.

strom auf D . Nimmt man daher diesen Teilchenstrom bei festgehaltenem Feld H_0 in Abhängigkeit von der Frequenz f des magnetischen Senders auf, so wird für eine Frequenz, die mit einer Übergangsfrequenz der Strahlotope im Feld H_0 übereinstimmt, die den Auffänger treffende Teilchenzahl geringer. Es entsteht ein „Resonanzminimum“, wie es etwa in Fig. 7 gezeigt wird. Die Schärfe dieser Minima erlaubt allein aus der Frequenzmessung von Radiofrequenzen — die genaue Bestimmung von H_0 spielt keine Rolle; H_0 muß nur genügend konstant gehalten werden — den Zeeman-Effekt der Radiofrequenzspektren der Atome im Feld H_0 mit sehr großer Genauigkeit zu bestimmen. Aus Zahl und Lage dieser Frequenzen lassen sich dann in eindeutiger und einfacher Weise die Kerndrehimpulsquantenzahl I und die Hfs.-Aufspaltung ν_0 angeben, was am Beispiel eines ${}^2S_{1/2}$ -Terms mit $I = 3/2$ gezeigt werden soll.

In Fig. 8 ist noch einmal das Termschema der Fig. 4 im schwachen Feld gezeichnet, und zwar mit Übergängen, die nach $\Delta m_F = \pm 1$ und $\Delta m_F = 0$ geordnet sind.

Es entstehen 6 Zeeman-Frequenzen $\Delta m_F = \pm 1$, π -Komponenten, von denen in der hier betrachteten Anordnung (H_0 sehr klein) die Übergänge

$I \rightarrow 0$, $0 \rightarrow 1$ und $0 \rightarrow -1$, $-1 \rightarrow 0$ paarweise zusammenfallen.

Die Energie eines Terms der Quantenzahl F im äußeren Feld H_0 beträgt nämlich:

$$W_{H_0} = W_0 + \mu_0 g_F m_F H_0 \quad (7)$$

mit

$$g_F = g_J \frac{F(F+1) + J(J+1) - I(I+1)}{2F(F+1)} + \frac{g_I}{1836} \frac{F(F+1) + I(I+1) - J(J+1)}{2F(F+1)} \quad (7a)$$

(W_0 = Energie des ungestörten Terms, $\mu_0 g_F m_F H_0$ = Einstellungsenergie des magnetischen Gesamtmomentes des Atoms mit dem Drehimpuls F im Feld H_0 , μ_0 = BOHRSCHEs MAGNETON).

Bei Vernachlässigung des zweiten Gliedes in (7a) gegen das erste wegen des Faktors $\frac{1}{1836}$ wird für den Fall des betrachteten ${}^2S_{1/2}$ -Terms:

$$g_{I+\frac{1}{2}} = \frac{g_J}{2I+1} \quad \text{und} \quad g_{I-\frac{1}{2}} = -\frac{g_J}{2I+1} \quad (7b)$$

Die Aufspaltungsintervalle des oberen und unteren Zeeman-Termmultipletts sind also gleich, die Reihenfolge der Terme oben und unten ist entgegengesetzt.

Somit erhält man das Aufspaltungsbild der Fig. 9, bei dem im oberen Teil die Zeeman-Fre-

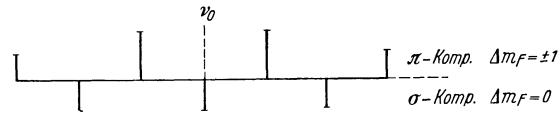


Fig. 9. Zeemankomponenten der magnetischen Dipolstrahlung bei einem ${}^2S_{1/2}$ -Term und $I = 3/2$ im schwachen äußeren Magnetfeld.

quenzen $\Delta m_F = \pm 1$ (π -Komponenten) im unteren Teil die mit $\Delta m_F = 0$ (σ -Komponenten) gezeichnet sind. Die beiden mittleren Frequenzen $\Delta m_F = \pm 1$ haben, da sie je aus zwei zusammenfallenden Übergängen bestehen, doppelte Intensität. Die Gesamtstruktur liegt symmetrisch zu ν_0 . Bei stärker werdendem Feld H_0 zieht sich das ganze Bild auseinander, ohne zunächst die symmetrische Lage zu ν_0 zu verändern. Die Bestimmung dieser Struktur bei beliebiger Feldstärke H_0 liefert also, falls H_0 nur im obigen Sinne „klein“ bleibt, unmittelbar die Hfs.-Aufspaltungsfrequenz ν_0 . Andererseits gibt die Zahl der auftretenden Komponenten eindeutig den Wert von I . Bei $I = 1$ z. B. würde man 3 Komponenten $\Delta m_F = \pm 1$ und 2 Komponenten $\Delta m_F = 0$ erhalten. Es genügt natürlich, π - oder σ -Komponenten zu beobachten.

Der Abstand der Komponenten läßt sich leicht abschätzen. Es gilt

$$\Delta \nu \sim \frac{\mu_0 H_0}{h} \sim \frac{10^{-20} \cdot 0,1}{10^{-26}} \sim 10^5 \text{ sec}^{-1},$$

eine Größenordnung, die mit der Methode noch gut aufzulösen ist.

Verwendet man an Stelle des schwachen Feldes ein *starkes* Feld, so hat die Energie eines Zeeman-Terms die Form:

$$W = W_s + \mu_0 g_J m_J H_0 + \left. \begin{aligned} &+ \frac{\mu_0}{1836} g_I m_I H_0 + A m_I m_J \\ &\left(\text{mit } A = \frac{h \nu_0}{I + \frac{1}{2}} \text{ f\"ur } {}^2S_{1/2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Dabei ist W_s die Energie des Schwerpunktes des Termmultipletts ohne Feld, das zweite Glied bedeutet die Einstellungsenergie der Elektronenhülle gegen das äußere Feld H_0 , das dritte Glied stellt die Einstellungsenergie des Kernmagneten gegen das äußere Feld H_0 dar und das letzte die mittlere Wechselwirkung zwischen Kern und Elektron¹⁾.

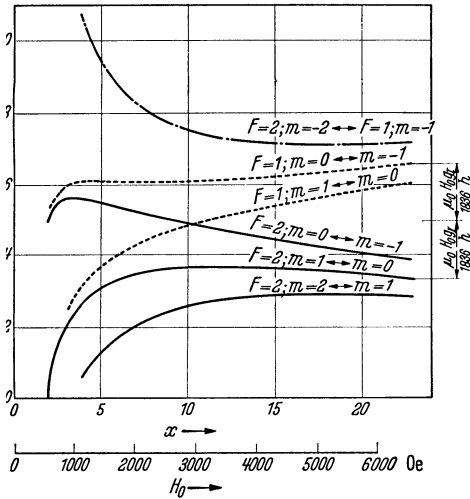


Fig. 10. Zeemankomponenten der magnetischen Dipolstrahlung bei einem ${}^2S_{1/2}$ -Term und $I = \frac{3}{2}$ im „fast starken“ äußeren Magnetfeld in Abhängigkeit von der Feldstärke H_0 .

Für die Übergänge $\Delta m_J = 0$ erhält man die Zeeman-Frequenzen:

$$\nu = \frac{\nu_0}{I + \frac{1}{2}} m_J \Delta m_I + \frac{\mu_0}{1836} \frac{H_0 g_I \Delta m_I}{h}, \quad (9)$$

was für $\Delta m_I = \pm 1$ und $m_J = \pm \frac{1}{2}$ übergeht in²⁾:

$$\nu = \frac{\nu_0}{2I + 1} \pm \frac{\mu_0}{1836} \frac{H_0 g_I}{h}. \quad (9a)$$

¹⁾ Daß dieses Glied noch auftritt, obwohl \vec{I} und \vec{J} völlig entkoppelt sind, erklärt sich daraus, daß bei der voneinander unabhängigen Präzession beider Vektoren um die H_0 -Richtung immerhin im Mittel noch eine magnetische Wechselwirkung zwischen Kern und Elektron besteht, die durch den gemittelten Cosinus zwischen \vec{I} und \vec{J} ausgedrückt wird ($A I J \cos(I, J) = A m_I m_J$).

²⁾ Zu $m_J = +\frac{1}{2}$ gehört der Übergang $\Delta m_I = +1$, zu $m_J = -\frac{1}{2}$ der Übergang $\Delta m_I = -1$; siehe z. B. Fig. 5.

Im Gegensatz zum schwachen Feld spielt hier, falls H_0 genügend groß ist, das Wechselwirkungsglied zwischen Kernmagnet und äußerem Feld eine wenn auch nicht entscheidende Rolle. Bei $H_0 = 6000$ Oersted und $g_I = 2$ z. B. hat das Glied $\frac{\mu_0}{1836} \frac{H_0 g_I}{h}$ den Wert $\infty 1 \cdot 10^7 \text{ sec}^{-1}$, während $\frac{\nu_0}{2I + 1}$ für $I = \frac{3}{2} \infty 20 \cdot 10^7 \text{ sec}^{-1}$ beträgt.

Formel (9a) sagt also aus, daß die Übergangsfrequenzen $\Delta m_J = 0$, $\Delta m_I = \pm 1$ im starken Feld gruppenweise gegen 2 Werte konvergieren, die sich um $\frac{2\mu_0}{1836} \frac{H_0 g_I}{h}$ unterscheiden, wie dies in Fig. 10 für $g_I = 2,18$ und $I = \frac{3}{2}$ (Fall des Li^7) angedeutet ist. Der Mittelwert aller auftretenden Frequenzen liefert daher unabhängig vom (star-

Tabelle 1.

Übergang	Übergangsfrequenz ν im mittleren Feld für ${}^2S_{1/2}$ und $I = \frac{3}{2}$
$2, 2 \rightarrow 2, 1$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1+x) - (1+x+x^2)^{1/2}] + \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$
$2, 1 \rightarrow 2, 0$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1+x+x^2)^{1/2} - (1+x^2)^{1/2}] + \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$
$1, 1 \rightarrow 1, 0$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1+x+x^2)^{1/2} - (1+x^2)^{1/2}] - \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$
$2, 0 \rightarrow 2, -1$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1+x^2)^{1/2} - (1-x+x^2)^{1/2}] + \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$
$1, 0 \rightarrow 1, -1$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1+x^2)^{1/2} - (1-x+x^2)^{1/2}] - \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$
$2, -2 \rightarrow 1, -1$	$\frac{1}{2} \nu_0 [(1-x+x^2)^{1/2} + (1-x)] - \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$

ken) Felde H_0 die Frequenz $\frac{\nu_0}{2I + 1}$, aus der sich bei bekanntem I die Hfs.-Aufspaltungsfrequenz ν_0 eindeutig ergibt. Des weiteren erhält man aber auch den Wert des Gliedes $\frac{\mu_0}{1836} \frac{H_0 g_I}{h}$, das die hier vor allem interessierende Größe g_I enthält.

Das zuletzt beschriebene Verfahren leistet also, wie eingangs schon qualitativ erkannt wurde, mehr als die Untersuchung im schwachen Feld: neben der Bestimmung der Hfs.-Aufspaltungsfrequenz ν_0 erhält man gleichzeitig den Wert des Kern- g -Faktors und somit bei Kenntnis von I eine direkte Messung des magnetischen Kernmomentes. Allerdings wird vorausgesetzt, daß die Entkopplung von \vec{I} und \vec{J} bereits vollständig ist. Falls diese Bedingung noch nicht genügend erfüllt ist, muß mit den Formeln bei „mittleren Feldern“ gerechnet werden, bei denen die Auswertung unständlicher, aber ohne besondere Schwierigkeiten durchgeführt werden kann und zu demselben Ziele führt.

Bei mittleren Feldern läßt sich die Lage der Zeeman-Niveaus und somit die Frequenz der Übergänge $\Delta m_I = \pm 1$, $\Delta m_J = 0$ am übersichtlichsten als Funktion der Größe $x = \frac{g_I \mu_0 H_0}{h \nu_0}$, d. h. des Verhältnisses von Einstellungsenergie im Feld H_0 zur Hfs.-Aufspaltungsenergie, darstellen. So erhält man z. B. für einen ${}^2S_{1/2}$ -Term und $I = \frac{3}{2}$ die sechs Übergänge, die in Tabelle 1 angeführt sind.

Für $H_0 = 0$ gehen alle Frequenzen außer der letzten, die den Wert ν_0 annimmt, gegen Null, was man unmittelbar anschaulich auch der Abb. 5 entnimmt. Bis zu Feldern von etwa 1000 Oersted, bis zu denen jeweils das Glied $\frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$ gegen das erste Glied vernachlässigt werden kann, treten nur vier Frequenzen auf, da in dieser Näherung die zusammengeklammerten Übergänge von Tabelle 1 gleiche Werte annehmen. Durch die Wirkung des letzten Gliedes bei noch höheren Feldern entfalten sich dann alle sechs Frequenzen, um schließlich bei starkem Feld H_0 (d. h. für $x^2 \gg 1$) in Übereinstimmung mit (9a) tripelweise gegen die Wertepaare $\nu_1 = \frac{\nu_0}{4} + \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$ und $\nu_2 = \frac{\nu_0}{4} - \frac{g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$ zu konvergieren, da die ersten Glieder nun alle feldunabhängig und gleich $\nu_0/4$ werden.

Aus den Frequenzformeln der Tabelle 1 liest man eine für die Bestimmung von ν_0 wichtige Beziehung ab. Faßt man nämlich jeweils die zusammengeklammerten Frequenzen durch Mittelwertbildung zusammen und addiert zu diesen beiden Mittelwerten die restlichen beiden Frequenzen, so erhält man für jeden Wert von H_0 als Summe die Hfs.-Übergangsfrequenz ν_0 . Es ist also nicht nötig, für die Bestimmung von ν_0 die Feldstärke H_0 so hoch zu wählen, daß endgültige Entkopplung stattfindet (was in der Mehrzahl der Fälle

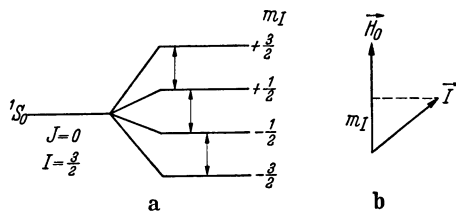


Fig. 11. a) 1S_0 -Term mit $I = \frac{3}{2}$ im äußeren Magnetfeld H_0 mit den möglichen magnetischen Dipolstrahlungsübergängen $\Delta m_I = \pm 1$. b) Einstellung von \vec{I} im äußeren Magnetfeld \vec{H}_0 .

experimentell kaum zu erreichen ist); es genügt vielmehr, die meßbare Entfaltung aller sechs Zeeman-Frequenzen $\Delta m_I = \pm 1$, $\Delta m_J = 0$ zu bewirken. Andererseits liefert die Differenz jedes Paares der zusammengeklammerten Frequenzen den Betrag $\frac{2g_I}{1836} \mu_0 \frac{H_0}{h}$ und somit den g -Faktor des Kerns, falls H_0 genügend genau gemessen ist.

Ganz Entsprechendes gilt für andere Werte von I .

Schließlich sei noch kurz das Auflösungsvermögen der Anordnung diskutiert. Die Halbwertsbreite $\Delta \nu$ der einzelnen Resonanzkurven ist theoretisch durch die HEISENBERGSche Ungenauigkeitsrelation festgelegt:

$$\Delta \nu \Delta \tau \sim 1, \quad (10)$$

wenn $\Delta \tau$ die Zeit darstellt, während deren die Atomstrahlteilchen der Strahlung des magnetischen Senders ausgesetzt sind. Rechnet man mit einer mittleren Strahlgeschwindigkeit von $5 \cdot 10^4$ cm/sec und einem Weg von 10 cm, so beträgt $\Delta \tau = 2 \cdot 10^{-4}$ sec, und es wird demnach:

$$\Delta \nu \sim \frac{1}{\Delta \tau} = 5 \cdot 10^3 \text{ sec}^{-1}.$$

Man sollte also damit rechnen können, daß 2 Resonanzkurven mit gleich tiefen Minima, die um einige 10^4 sec^{-1} nebeneinanderliegen, sicher getrennt werden können. Dadurch wird eine Genauigkeit erzielt, welche die Wirkungsweise der optischen Hfs.-Bestimmung um 2 Zehnerpotenzen übertrifft.

Die bei starken Feldern mögliche direkte Bestimmung des magnetischen Dipolmomentes des Kerns wird, was ihre Genauigkeit anbelangt, noch übertroffen durch eine Abart des hier besprochenen Verfahrens.

Wenn man nämlich an Stelle von Atomen mit einem elektronischen Drehimpuls Atome benutzt, deren Elektronenhülle kein mechanisches Moment \vec{J} besitzt (1S_0 -Term), bei denen also der gesamte Magnetismus allein von dem schwachen magnetischen Kernmoment herrührt, so stellt sich die beschriebene Methode der magnetischen Resonanz — wenigstens theoretisch — als besonders einfach heraus. Man denke sich ein solches Atom in ein äußeres homogenes Magnetfeld H_0 gebracht; dann kann sich der allein vorhandene Kerndrehimpuls \vec{I} in $2I + 1$ mögliche Lagen zu H_0 einstellen. Das Termschema dieses Gebildes im Feld H_0 ist also denkbar einfach, wie aus Fig. 11 hervorgeht, in der als Beispiel wiederum $I = \frac{3}{2}$ angenommen ist. Die $2I + 1$ äquidistanten Terme ändern ihre Abstände linear mit H_0 ; ein Unterschied zwischen schwachem und starkem Feld besteht nicht. Die Übergänge zwischen den einzelnen Zeeman-Niveaus sind Prototypen magnetischer Dipolstrahlung (Präzession des allein vorhandenen $\vec{\mu}_I$ um \vec{H}_0). Hier gilt die einfache Auswahlregel $\Delta m_I = \pm 1$. Die Energie eines solchen Zeeman-Terms hat die Form:

$$W = \mu_I H_0 \cos(\vec{I}, \vec{H}) = \mu_I H_0 \frac{m_I}{I} \quad (\text{s. Fig. 11b}). \quad (11)$$

Wegen $\Delta m_I = \pm 1$ wird die Übergangsfrequenz:

$$\nu = \frac{\mu_I H_0}{h I} = \frac{g_I H_0}{h}. \quad (12)$$

Das ist aber — klassisch gesprochen — gerade die für alle \vec{I} -Stellungen gleiche Larmor-Frequenz ν_L im Feld H_0 . Um hier einen magnetischen Übergang zu induzieren, bedarf es wegen $\Delta m_I = \pm 1$ eines senkrecht zu H_0 stehenden magnetischen Wechselfeldes, also des gleichen Senders, der auch für die vorher beschriebene Anordnung verwendet wird.

Man kann sich den Übergangsmechanismus von einer Stellung von \vec{I} in die andere klassisch am einfachsten so klarmachen: ein senkrecht zu \vec{H}_0 wirksames magnetisches Feld \vec{H}_1 bewirkt eine Larmorpräzession von \vec{I} um die H_1 -Richtung, übt also auf \vec{I} ein Drehmoment aus, das den Kernmagneten aus seiner vorgegebenen Richtung um \vec{H}_0 in eine andere überzuführen sucht. Im allgemeinen, d. h. bei beliebiger Frequenz f des H_1 -Feldes, wird sich diese Wirkung herausmitteln, da sie sich je nach Stellung von \vec{H}_1 zu \vec{I} bald in der einen, bald in der anderen Richtung bemerkbar macht. Nur wenn $f \approx \nu_L$, der Larmorfrequenz im Felde H_0 wird, findet ein merkliches „Umklappen“ statt.

Die Größenordnung der Übergangsfrequenz ν läßt sich leicht abschätzen: μ_I hat die Größenordnung eines Kernmagnetonen. Setzt man $H_0 \approx 1000$ Oersted und $I = 1$, so erhält man: $\nu \approx 10^6 \text{ sec}^{-1}$; dem entspricht eine Wellenlänge $\lambda \approx 10^4 \text{ cm}$.

Durch Feststellung der Resonanzfrequenz $f = \nu$ bei festgehaltenem H_0 gewinnt man also unmittelbar das Verhältnis μ_I/I , d. h. den g -Faktor des Kerns. Im Gegensatz zur Bestimmungsmethode

der Hfs.-Aufspaltungsfrequenz, bei der H_0 nur festzuhalten ist, ohne daß man den Wert genau zu kennen braucht, muß hier zur Feststellung von g , der Wert von H_0 möglichst exakt gemessen werden.

Da es nur wenige Elemente gibt, deren Grundzustand ein 1S_0 -Term ist, und da bei diesen meist nur Isotope mit gerader Massenzahl vorkommen, die kein magnetisches Moment besitzen, so ist es, um eine größere Zahl von Objekten der Methode zugänglich zu machen, vorteilhaft, Moleküle zu benutzen, deren Elektronengrundzustand ein $^1\Sigma_0$ -Term ist. Dann wird der Gesamtmagnetismus des Moleküls allein durch die magnetischen Momente der beteiligten Kerne und durch die Rotation der Kerne um ihren gemeinsamen Schwerpunkt gegeben. Benutzt man lediglich den rotationslosen Molekülzustand, der ja im allgemeinen am stärksten besetzt ist, so erhält man z. B. für ein NaCl-Molekül je eine Resonanzfrequenz für die Larmorpräzession des Na- bzw. Cl-Kernmomentes um die H_0 -Richtung. Man gewinnt dadurch sowohl das magnetische Moment des Na- als auch des Cl-Kerns. (Die Einzelheiten dieses Prozesses sollen bei den Anwendungen besprochen werden.)

(Schluß folgt.)

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Optische Temperaturbestimmungen an der hochfrequenten Fackelentladung.

Das Beobachtungsmaterial über die Entladungsvorgänge bei der hochfrequenten Fackelentladung ist bis heute recht spärlich. Während MOTSCHALOW¹⁾ und SSEREBRJAOKOW²⁾ sich mehr dem Problem der NO-Bildung zuwandten, beschränkten sich ASAMI und HORR³⁾ auf spektroskopische Beobachtungen.

Besonders auffällig sind bei dieser Entladungsform die für eine bei normalem Luftdruck brennende Entladung ungewöhnlich kleine Brennspannung von wenigen 1000 Volt, die hohen Frequenzen von 10^7 – 10^8 Hertz, die ihr Auftreten bedingen, sowie die anscheinend hohe Temperatur des Gases in der „Flamme“.

Die Entladung brannte, um definierte Feldverteilung und Stabilität der Flamme zu erhalten, zwischen den Platten des im Schwingungskreis eines Gegentaktsenders befindlichen Kondensators. Auf die untere Platte war ein Aluminium- oder Messingkonus mit Platinspitze aufgesetzt, von dem die Entladung ausging und wo sie durch Berührung mit einem isolierten, metallischen Gegenstand gezündet wurde. Die Primärleistung im Sender betrug bei brennender Entladung 650 Watt, die Leerleistung 470 Watt.

Die Temperatur wurde aus der Intensitätsverteilung der Rotationslinien von Molekülbanden bestimmt. Für die an der Metallspitze liegende Glimmhaut wählten wir die kräftig auftretende N_2 -Bande 3371 Å, für die „Flamme“ die OH-Bande 3064 Å, die unter allen anderen Banden am stärksten hervortrat. Die Ergebnisse sind in Fig. 1 eingetragen. Die uneingeklammerten bzw. eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf die bei $6,25$ bzw. $8,45 \cdot 10^7$ Hertz betriebene Entladung. Zur Sicherstellung dieser Meßergebnisse wurde noch die Temperatur der mit Na gefärbten Flamme an denselben Aufpunkten, wo sie bei $6,25 \cdot 10^7$ Hertz 3600° bzw. 3000° K beträgt, auch durch Linienumkehr gemessen und etwas tiefer, doch innerhalb der Meßfehler von etwa $\pm 100^\circ$ liegende Werte gefunden.

Aus den gemessenen Temperaturen ergeben sich für die „Flamme“ Ionisationsgrade, die zum Transport der auftretenden Ströme ausreichen und für diesen Teil der Entladung die Wiederzündung nach dem kurzen Richtungswechsel der Spannung zwanglos erklären. In der Glimmhaut,

wo die Stromdichte bedeutend größer ist, sind die aus der SAHA-Gleichung berechneten Trägerkonzentrationen vollkommen unzureichend. Das Auftreten der N_2^- und N_2^+ -Banden hoher Anregungsspannung sowie die scharfe Be-

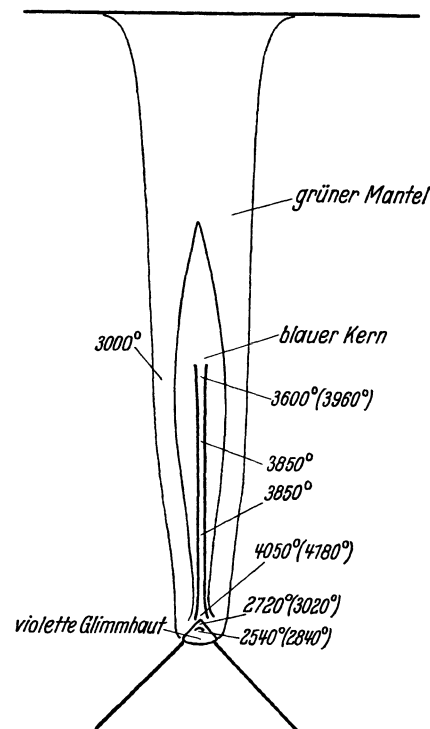


Fig. 1. Temperaturverteilung in der hochfrequenten Fackelentladung.

grenzung der Glimmhaut deuten auf die Existenz schneller Elektronen hin, die in den durch die geometrische Anordnung sowie durch Raumladungen verursachten starken Feldern beschleunigt werden.

Bukarest, Laboratorium für Molekularphysik, Akustik und Optik der Universität, den 7. Juli 1941.

G. CRISTESCU. R. GRIGOROVICI.

¹⁾ K. N. MOTSCHALOW, C. r. Moskau **18**, 329 (1938); **20**, 297 (1938) — J. phys. Chem. (russ.) **13**, 1224 (1939).

²⁾ P. A. SSEREBRJAOKW, J. phys. Chem. (russ.) **14**, 175 (1940).

³⁾ YOSHIRO ASAMI u. TAKEO HORI, Nature (Lond.) **144**, 981 (1939).

Enzymatische Hydrolyse von Heroin.

Bei Versuchen über Spezifität, Hemmungs- und Aktivierungserscheinungen bei Esterasen konnten wir bestätigen, daß Heroin durch Pferdeserum enzymatisch verändert wird. Bringt man Pferdeserum in ein Warburggefäß, das von reinem CO₂ durchströmt wird, und fügt Heroin zu, so kann man feststellen, daß eine bestimmte Quantität eines Gases ausgetrieben wird. Dieses Gas kann nur CO₂ sein, das einem sauren Hydrolyseprodukt (Essigsäure) des Heroins entstammt. Heroin ist bekanntlich Diacetylmorphin; die alkoholische und die phenolische OH-Gruppe des Morphins sind mit Essigsäure verestert. Die Hydrolyse des Heroins ergibt also entweder 1 Molekül Essigsäure und 1 Molekül Monoacetylmorphin oder 2 Moleküle Essigsäure und 1 Molekül Morphin.

Daß hier eine enzymatische Hydrolyse in Frage kommt, wird durch die folgenden drei Tatsachen bewiesen:

1. Wir konnten niemals eine Gasentwicklung feststellen, wenn das Pferdeserum durch eine 0,2proz. Bicarbonatlösung ersetzt wurde, obwohl Temperatur und p_H nicht abgeändert wurden.

2. Wenn das Serum 1 Stunde bei 60° aufbewahrt wird, so ist die Aktivität stark abgeschwächt.

3. NaF $M/50$ hemmt die Wirkung völlig.

Die Vermutung liegt nahe, daß es sich um eine Esterasewirkung handelt, umso mehr, da NaF so stark hemmt. Wir betonten schon früher¹⁾ die Bedeutung der NaF-Hemmung für die Esterasen und sprachen die Meinung aus²⁾, diese Hemmung sei der Beseitigung eines für die Fermentaktivität notwendigen Metallions zuzuschreiben.

Weitere Versuche haben gezeigt, daß auch Eserin eine Hemmung ausübt und daß die Aktivität des Serums von verschiedenen Pferden ziemlich stark schwankt.

Die pharmakologische Bedeutung, der Nachweis der Endprodukte, die Verbreitung und die Natur des Ferments sind die nächsten Aufgaben unserer Arbeiten.

Hier folgt ein Versuchsprotokoll:

Inhalt der Warburggefäße	cmm CO ₂ pro Stunde
I Hauptgefäß 2 ccm Serum	157
Seitengefäß 0,3 ccm Heroin	
II Hauptgefäß 2 ccm Serum mit NaF $M/50$	11
Seitengefäß 0,3 ccm Heroin	
III Hauptgefäß 2 ccm Serum (1 Std. auf 60°)	50
Seitengefäß 0,3 ccm Heroin	
Gasatmosphäre CO ₂ — Temperatur 38°.	

Heroin wurde als Heroinchlorhydrat verwendet; 100 mg des Produktes wurden in 5 cmm NaHCO₃ 0,2% gelöst.

Gent (Belgien), Physiologisch-Chemisches Laboratorium der tierärztlichen Schule der Universität Gent, den 12. August 1941.
L. MASSART. R. DUFAIT.

¹⁾ L. MASSART u. R. DUFAIT, Enzymologia (Haag) **6**, 282 (1939).

²⁾ R. DUFAIT u. L. MASSART, Enzymologia (Haag) **7**, 337 (1939).

Über das amphotere Verhalten des Bleiselenids als Halbleiter.

K. BAUER¹⁾ hatte gezeigt, daß PbSe ein amphoterer Halbleiter²⁾ ist, d. h. daß die Leitfähigkeit sowohl durch Pb-Mangel wie durch Se-Mangel gegenüber der stöchi-

metrischen Zusammensetzung verbessert wird; das Vorzeichen der Thermospannung³⁾ und das der Hallkonstanten ist in beiden Fällen gleichsinnig. Bei Proben mit Se-Mangel wurden Leitfähigkeiten zwischen $10^3 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ und $10 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ beobachtet; die Hallkonstante war negativ, die Thermospannung hatte gleiches Vorzeichen und Werte von $-30 \dots -240 \mu\text{V/Grad}$ (gegen Bi). Bei Pb-Mangel wurden Leitfähigkeiten von $2,5 \cdot 10^3 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ bis herunter zu $10 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ gemessen; die Hallkonstante war

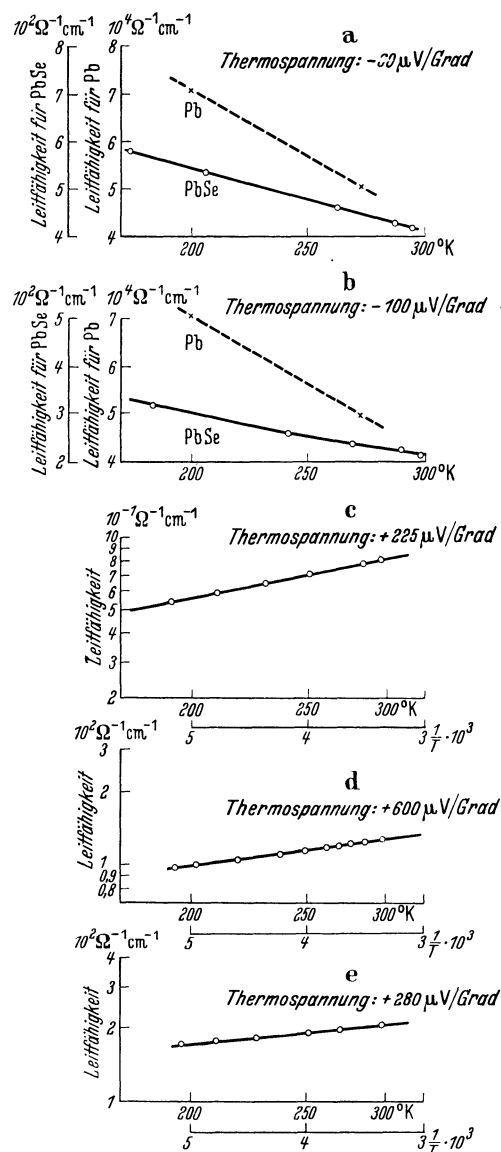


Fig. 1. Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit für verschieden behandelte Bleiselenid-Proben. (Man beachte die verschiedenen Maßstäbe in a und b einerseits und c, d, e andererseits.)

positiv, die Thermospannung hatte Werte von $+150 \dots 320 \mu\text{V/Grad}$ (gegen Bi). Bei stöchiometrischer Zusammensetzung wechseln Hallkonstante und Thermospannung das Vorzeichen und erreichen gleichzeitig Höchstwerte.

Entsprechende Verhältnisse liegen bei PbS vor; an kompakten Proben wurden sie in reiner Form nicht gefunden⁴⁾, weil offenbar eine Homogenisierung bei den angewandten Temperaturen und Zeiten nicht erreicht wurde. Dagegen

hat HINTENBERGER⁵⁾ an dünnen aufgedampften Schichten ein dem PbSe grundsätzlich gleiches Verhalten nachgewiesen.

Wir haben gleichfalls Leitfähigkeitsmessungen an etwa 1 m μ dicken PbSe-Schichten ausgeführt, die durch Selenierung aufgedampfter Pb-Schichten auf Glas gewonnen waren. Hier ist zwar ein Pb- oder Se-Mangel leichter zu erhalten, aber derartige aus zahlreichen Mikrokriställchen (Kantenlänge etwa 0,1 m μ) bestehende Schichten haben den Nachteil, daß Angaben über spez. Leitfähigkeit nur mit Vorbehalt gemacht werden können; der Einfluß von Siebwiderständen ist schwer abzuschätzen.

Mit dieser Einschränkung können wir folgendes sagen:

Kleinste bei Raumtemperatur erreichte Leitfähigkeit: $8 \cdot 10^{-1} \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (bei K. BAUER: $10 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Größte erreichte Leitfähigkeit bei Se-Mangel: $4 \cdot 10^2 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ und bei Pb-Mangel: $2 \cdot 10^2 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (bei BAUER: etwa $10^3 \text{ Ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

Bemerkenswert war die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit:

Während BAUER angibt, daß an seinen gut leitenden — also nicht stöchiometrisch zusammengesetzten — kompakten Proben der Widerstand mit steigender Temperatur wächst, zum Teil sogar noch stärker als bei Fe (!), und nur nahe der stöchiometrischen Zusammensetzung die Halbleitertemperaturabhängigkeit zeigt, beobachten wir im Temperaturbereich zwischen 170 und 300° abs. nur im Falle von Se-Mangel Leitfähigkeitsabnahme mit steigender Temperatur (Fig. 1a—b). Bei Pb-Mangel dagegen nimmt die Leitfähigkeit mit steigender Temperatur zu, allerdings um so schwächer, je größer der Pb-Mangel ist (Fig. 1c—e).

Wenn dieser Befund nicht durch eine Temperaturabhängigkeit von Siebwiderständen bedingt wird, läßt er wichtige Schlüsse auf die Überschuß- bzw. Mangelleitung im PbSe und damit auf die energetische Lage der Störstellen zu. Sind aber BAUERS Befunde an kompakten Proben zutreffend und in unserem Falle Übergangswiderstände an den Korngrenzen wesentlich beteiligt, so erhellt erneut⁶⁾, daß Schlüsse aus Messungen an dünnen Schichten und gepreßten Pulvern nur mit größter Vorsicht gezogen werden dürfen.

Wir werden in einer ausführlichen Arbeit demnächst über diese Fragen berichten.

Prag, Physikalisches Institut der Deutschen Karls-Universität und Technischen Hochschule, den 25. Juli 1941.

F. ECKART und K. RAITHEL.

¹⁾ K. BAUER, Ann. d. Phys. 38, 121 (1940).

²⁾ W. SCHOTTKY, Z. Elektrochem. 45, 53 (1939).

³⁾ Das Vorzeichen der Thermospannung wird als positiv angenommen, wenn an der heißen Stelle Elektronen vom Halbleiter zur Bezugssubstanz fließen.

⁴⁾ L. EISENMANN, Ann. d. Phys. 38, 79 (1940).

⁵⁾ H. HINTENBERGER, Naturwiss. 29, 79 (1941).

⁶⁾ B. GUDDEN, Erg. exakt. Naturwiss. 23, 223 (1934).

Beobachtungen über Schall- und Ultraschalleinwirkungen am Protein des Tabakmosaikvirus.

Zwei der Hauptprobleme beim phytopathogenen Virusprotein sind die der elementaren Infektionseinheit und der Instabilität der biologischen Eigenschaften einer Viruslösung. Wenn man auch heute schon plausible Anhaltspunkte dafür hat, die Proteinstäbchen von etwa 300 bzw. 150 m μ als dimere oder monomere „Moleküle“ des Tabakmosaikvirusproteines anzusehen, so erhebt sich doch die Frage, ob in diesem Falle der chemische Molekülbegriff in seiner strengen Fassung, bzw. im erweiterten Sinne sich mit der biologischen Elementareinheit, d. h. der kleinsten Infektionseinheit, deckt. Denn erst in diesem Falle der völligen Kongruenz von chemischer Konstitution und biologischer Wirkung kann sich der Wirkungsmechanismus aus dem Virusmolekül ableiten lassen.

Anknüpfend an Untersuchungen von STANLEY (1934)¹⁾ und TAKAHASHI und CHRISTENSEN (1934)²⁾ haben wir zunächst versucht, im Vibrationsapparat mit einer Frequenz von etwa 100 Hz die Eigenschaften des Virusproteins zu beeinflussen. Variationsstatistisch ausgewertet entstand für $n = 186$ eine breite Kurve ohne betontes Maximum (Fig. 1a), die biologische Aktivität blieb dabei unverändert.

Beschallt man Virusproteinlösungen in einer mit Magnetostruktion arbeitenden Apparatur (7500 Hz) zwei, drei und zehn Minuten lang bei einer Konzentration von 0,05

bzw. 5 mg Virusprotein pro Kubikzentimeter, dann läßt sich die Tendenz feststellen, daß mit zunehmender Viruskonzentration

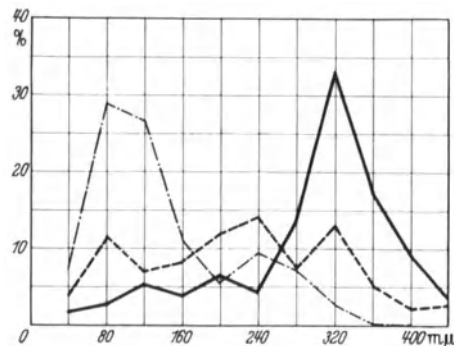


Fig. 1. Längenverteilungskurven von Tabakmosaikvirusprotein (TM). Abszisse: Länge der Stäbchen in m μ , in Bereiche von 40 m μ zusammengefaßt. Ordinate: Anzahl der Stäbchen, ausgedrückt in Proz. der Gesamtzahl n der vermessenen Stäbchen. a) — — — TM-Virusproteinlösung geschüttelt (100 Hz) 40 Min. $n = 186$; b) — · — · — beschallt (7500 Hz) 3 Min. $n = 232$; c) — — — unbehandelte Kontrolle $n = 310$.



Fig. 2. 673/41. Tabakmosaikvirusprotein, 3 Min. beschallt 7500 Hz elektronenoptisch: 14 000:1, Abbildung: 23 000:1.



Fig. 3. 7352/41. Tabakmosaikvirusprotein, unbehandelte Kontrolle, elektronenoptisch: 23 000:1.

tration und zunehmender Beschallungsdauer ein steigender Anteil der 320 m μ langen Moleküle zerschlagen wird. Diese Zerstörung läßt sich übermikroskopisch nachweisen und variationsstatistisch auswerten. Die häufigste Länge verschiebt sich unter dem Einfluß der Beschallung von 320 m μ über 120 m μ , 80 m μ nach 40 m μ . Es besteht indessen noch kein sicherer Zusammenhang zwischen dem Zerschlagungsgrad der Tabakmosaikmoleküle und der biologischen Aktivität. Das ist zunächst auch nicht zu erwarten; denn, wie auch übermikroskopisch sichtbar wird, ist das Resultat der Beschallung ein Gemisch von verschiedenen Stäbchenlängen, deren Aktivitätsgrad naturgemäß nicht bekannt ist (Fig. 1b).

In einer Versuchsserie ist bei kurzer Beschallung und sofortiger übermikroskopischer Untersuchung eine einheitliche Stäbchenlänge des Tabakmosaikvirus von 160 m μ (Fig. 2), also genau der Hälfte des sonst normal mit 320 m μ (Fig. 3) nachweisbaren Moleküls entstanden. Nach fünf-stündigem Stehen bei Zimmertemperatur wurde übermikroskopisch aus derselben Lösung ein Maximum der Häufigkeit bei 280 m μ gemessen. Die Aktivität betrug etwa 60% des Ausgangstiters.

Wir sehen also übermikroskopisch bei kurzer Beschallung ein Zerbrechen der Tabakmosaikstäbchen auf die Hälfte und nach Stehenlassen der Lösung in der Zimmerwärme eine Reaggregation auf beinahe den Ausgangswert.

Weitere Untersuchungen mit Ultraschall von 330 000 Hz an einer Piezoquarzapparatur zeigten übermikroskopisch die Verschiebung des Maximums von 320 m μ auf 40 m μ an. Indessen sind diese Versuche noch nicht abgeschlossen. Desgleichen ist die Frage, woher der nach der Beschallung nachweisbare hohe Anteil nicht sedimentierbaren Eiweißes stammt, noch nicht beantwortet.

STANLEY hat (1934) bei der Nachprüfung der Versuche von TAKAHASHI und CHRISTENSEN (1934) diese im Prinzip bei sehr langer Beschallungsdauer bestätigt mit der Einschränkung, daß in gasfreien Viruslösungen keine Aktivitätsverluste eintreten. Er führte diesen Umstand auf das Ausbleiben von Kavitationseffekten zurück. Vorläufig neigen wir zu der Ansicht, daß das Zerbrechen der Stäbchenmoleküle nicht allein die Ursache der sicher festzustellenden Inaktivierung des Virus ist. Die Beobachtung von Kavitationen im evakuierten Röhrchen (10 mm Hg) wird leider durch die Herabsetzung des Siedepunktes des Wassers gestört. So bleibt zunächst nur festzustellen, daß die 320 m μ langen Tabakmosaik-Virusmoleküle allmählich auf die Hälfte bzw. entsprechend der Wahl unserer Bereiche von 40 m μ Abstand auf 120 bis 80 und 40 m μ zerbrochen werden und dabei eine scharfe Aktivitätseinbuße erleiden. Beim Stehenlassen können die Bruchstücke reaggregieren, ohne indessen die volle Aktivität zurückzuerlangen. Der mechanische Anteil an diesen Vorgängen ist übermikroskopisch gut zu verfolgen.

Die Arbeiten werden fortgeführt. Der I.G. Farbenindustrie, Herrn Prof. Dr. HÖRLEIN, Elberfeld, haben wir für die Förderung der Arbeiten zu danken.

Berlin-Dahlem, Dienststelle für Virusforschung der Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft, und Berlin-Siemensstadt, Laboratorium für Übermikroskopie der Siemens & Halske A.G., den 30. Juli 1941.

G. A. KAUSCHE, E. PFANKUCH und H. RUSKA.

¹⁾ W. M. STANLEY, Science (N. Y.) 80, 339 (1934).

²⁾ W. N. TAKAHASHI u. R. J. CHRISTENSEN, Science (N. Y.) 79, 415 (1934).

Zur Frage der Viskosität hochverdünnter Essigsäure.

Die Zähigkeit η der wässrigen Lösung eines starken Elektrolyten ist im Gebiete sehr hoher Verdünnungen stets größer als die Zähigkeit η_0 des reinen Lösungsmittels. Die relative Viskosität einer solchen Lösung läßt sich, wie als erste JONES, DOLE und TALLEY gezeigt haben, als Funktion der molekularen Konzentration c durch die Gleichung darstellen:

$$\eta/\eta_0 = 1 + A\sqrt{c} + Bc + Dc^2. \quad (1)$$

A , B und D sind hierbei Konstanten, von denen bis jetzt nur der Wert A nach der FALKENHAGENSchen Theorie der Zähigkeit von Lösungen starker Elektrolyte berechenbar ist. Für einen binären ein-einwertigen Elektrolyten ist A nach FALKENHAGEN gegeben durch den Ausdruck

$$A = \frac{0,257}{\eta_0 \cdot \sqrt{\epsilon_0 T} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot (A_1 + A_2)} \cdot [(A_1 + A_2)^2 - 0,684(A_1 - A_2)^2]. \quad (2)$$

($\epsilon_0 =$ DK. des Lösungsmittels, $T =$ absolute Temperatur, A_1 und $A_2 =$ Ionenäquivalentleitfähigkeiten). Die experimentelle Prüfung der FALKENHAGENSchen Theorie geschieht dadurch, daß man aus den gemessenen Werten η/η_0 die Funktion $\psi = \frac{\eta/\eta_0 - 1}{\sqrt{c}}$ bildet und diese neuen Werte gegen \sqrt{c} aufträgt. $A = \lim_{c \rightarrow 0} \psi$ ergibt sich dann als Schnittpunkt

der Kurve $\psi = \psi(\sqrt{c})$ mit der Ordinatenachse. Durch zahlreiche Versuche geprüft¹⁾ erwies sich die FALKENHAGENSche Theorie als quantitativ richtig.

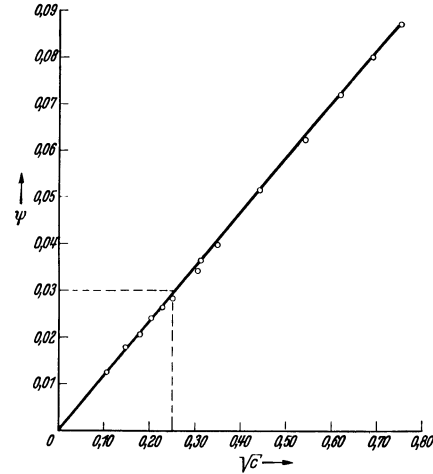


Fig. 1. Verlauf der Funktion $\psi = \psi(\sqrt{c})$ für Essigsäure nach LAURENCE und WOLFENDEN. Das gestrichelt begrenzte Gebiet ist das Gebiet der in Fig. 2 wiedergegebenen Meßergebnisse.

Während nun die Zahl der Versuche an starken Elektrolyten groß ist, fehlen Versuche an schwachen Elektrolyten im Gebiete hoher Verdünnungen fast gänzlich; vielleicht deswegen, weil die FALKENHAGENSche Theorie als für starke Elektrolyte geltend bezeichnet ist.

LAURENCE und WOLFENDEN²⁾ haben vor einigen Jahren eine Messung an verdünnter Essigsäure durchgeführt. Sie

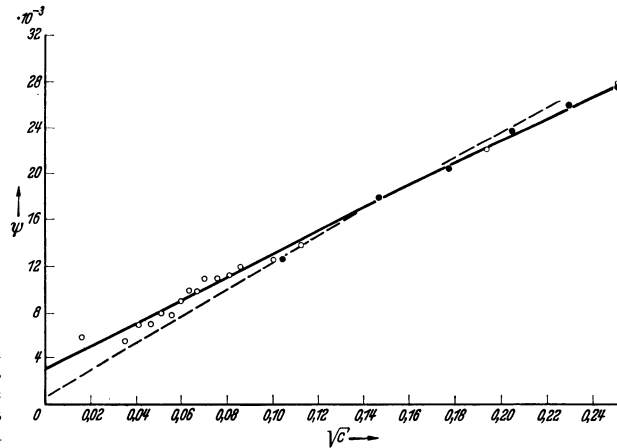


Fig. 2. Verlauf der Funktion $\psi = \psi(\sqrt{c})$ für Essigsäure im Gebiete hoher Verdünnung. Die gestrichelt eingezeichnete Gerade stellt die Extrapolation von LAURENCE und WOLFENDEN dar; Meßpunkte von L. und W.

finden auf Grund ihrer in Fig. 1 wiedergegebenen Meßwerte, daß auch bei der Essigsäure, die als typisch schwacher Elektrolyt gelten kann, die Gleichung (1) (allerdings nach Ansicht der Verfasser ohne das quadratische Glied Dc^2)

erfüllt ist. Durch Extrapolation ihrer als gerade Linie angesehenen Kurve $\psi = \psi(\sqrt{c})$ finden die Verfasser $A = 0,0006$ und $B = 0,117$ bei 25°C . Wenn die FALKENHAGENSche theoretische Gleichung (2) auch auf den schwachen Elektrolyt Essigsäure anwendbar wäre, müßte sich für A mit $A_H = 350$ und $A_{Ac} = 39$ der Wert $0,0030$, also fünfmal größer als der gefundene, ergeben.

Da das durch den Koeffizienten A charakterisierte Wurzelglied als Folge der Ionenwolke auftritt, ist A bei nichtelektrolytischen Lösungen gleich Null. Die Tatsache, daß LAURENCE und WOLFENDEN bei der Essigsäure A_{exp} als zwischen den Werten Null und $0,0030$ liegend finden, führen die Verfasser auf die geringe Dissoziationskonstante der Essigsäure zurück.

Nun gilt die FALKENHAGENSche Theorie zwar nur für starke Elektrolyte, d. h. es wird angenommen, daß der Elektrolyt bei den Versuchen vollständig dissoziiert ist, sie ist aber auch gleichzeitig nur ein Grenzesetz für unendlich hohe Verdünnung und erfaßt nur den auf der elektrostatistischen Wechselwirkung der Ionen beruhenden Teileffekt. Sie ist streng richtig nur für einen einzigen Punkt der Kurve $\psi = \psi(\sqrt{c})$, nämlich für den Schnittpunkt mit der Ordinate. Im gedachten Grenzfall der unendlich hohen Verdünnung ist aber auch der schwache Elektrolyt Essigsäure vollständig in seine Ionen dissoziiert und daher scheint uns die von LAURENCE und WOLFENDEN aus ihren Versuchen gezogene Schlußfolgerung nicht stichhaltig zu sein. Wir erwarten vielmehr, daß auch der A -Koeffizient eines schwachen Elektrolyten sich nach der FALKENHAGENSchen Theorie berechnen lassen müßte.

Um diese Annahme zu prüfen, begannen wir unsere Untersuchungen über die Viskosität hochverdünnter wässriger Lösungen schwacher Elektrolyte. Leider mußten die Versuche wegen der Einberufung des einen von uns zum Heeresdienst unterbrochen werden, so daß wir als vorläufiges Ergebnis nur die Messungen an Essigsäure veröffentlichen können. Unsere Messungen erstrecken sich wesentlich weiter in das Gebiet hoher Verdünnungen als diejenigen von LAURENCE und WOLFENDEN. Sie zeigen, daß die Kurve $\psi = \psi(\sqrt{c})$ der englischen Autoren keine Gerade ist, sondern eine schwache Krümmung nach oben aufweist. Die Extrapolation der als Gerade aufgefaßten Kurve führt daher zu einem zu niedrigen Werte für A . Unsere im Gebiete hoher Verdünnung gemessenen Werte hingegen führen ohne Zwang zu dem FALKENHAGENSchen Werte, wie leicht der Fig. 2 entnommen werden kann.

Marburg/Lahn, Physik.-chemisches Institut der Universität, den 30. Juli 1941. E. ASMUS. S. ECKHARD.

¹⁾ Vgl. E. ASMUS, Ann. d. Phys. 35, 1 (1939).

²⁾ V. D. LAURENCE u. J. H. WOLFENDEN, J. chem. Soc. (Lond.) 1934, 1144.

Zur Kenntnis des Sperrschicht-Photoeffektes.

Unsere Kenntnisse über Sperrschicht-Photoeffekte sind fast ausschließlich an Kupferoxydul- und Selenphotoelementen gewonnen worden, die bei grundsätzlich gleichem Aufbau auch eine richtungs- und spannungsabhängige Kennlinie haben. Erst 1939 ist im Thallosulfid-Photoelement¹⁾ ein neuer Stoff hinzugetreten; die Beobachter deuten die Erscheinungen auf Grund der spektralen Verteilung als Hinterwandeffekt; dann ist allen drei Photoelementen gemeinsam, daß bei Belichtung Elektronen aus dem Halbleiter in die wirksame Metallelektrode treten. Abweichend vom Fall des Kupferoxyduls und Selens wird bei der Zusammenstellung Pt-Tl₂S-Tl keine hochohmige Grenzschicht beobachtet²⁾.

Zur Deutung der Belichtungsspannung und des Photostromes ohne Hilfsfeld sind verschiedene Vorstellungen³⁾ entwickelt worden. Gemeinsam ist ihnen die Annahme, daß Elektronen aus dem Halbleiter in die bei Belichtung wirksame Metallelektrode (Vorder- oder Hinterwand) treten. Dabei ist von verschiedener Seite eine überthermische Geschwindigkeit der Photoelektronen (entsprechend $U_e = h\nu - h\nu_0$) und Erhaltung dieser zusätzlichen Energie über Tausende von freien Weglängen als wesentlich angenommen worden⁴⁾.

Nun haben wir bei CdS und CdSe Belichtungsspannungen und Photoströme beobachtet, bei denen Elektronen aus der belichteten Elektrode in den Halbleiter übergehen (die Versuchsanordnung schließt jeden Hinterwandeffekt aus). Dieser Richtungssinn scheint uns mit den obengenannten Vorstellungen unvereinbar zu sein, dagegen für die aus der Randschichttheorie der Kristallgleichrichter⁵⁾ abzuleitenden Vorstellungen zu sprechen.

Selen⁶⁾ und Kupferoxydul⁷⁾ (bei Raumtemperatur) sind Defekthalbleiter — der Leitungscharakter des Tl₂S erscheint nicht geklärt⁸⁾ —, CdS und CdSe sind dagegen nach unseren Untersuchungen Überschußhalbleiter; das Potentialgefälle in der an ein Metall grenzenden Randschicht, das auch für die Belichtungsströme verantwortlich sein soll, ist also in CdS und CdSe gegenüber dem in Selen und Kupferoxydul entgegengesetzt gerichtet: die Bewegungsrichtung der vom Licht in der Randschicht gebildeten Elektronenpaare⁹⁾ (Elektron und Defektelektron) ist vertauscht.

Die Angabe, daß beim Tl₂S keinerlei Gleichrichtung beobachtbar war — auch bei einigen Cu₂O-Photoelementen ist Gleiches berichtet —, macht allerdings noch gewisse Schwierigkeiten¹⁰⁾.

Wir werden demnächst an anderer Stelle ausführlich auf diese Fragen zurückkommen.

Prag, Physikalisches Institut der Deutschen Karls-Universität und Technischen Hochschule, den 31. Juli 1941.

F. ECKART. B. GUDDEN.

¹⁾ C. NIX FOSTER and ARNOLD W. TREPTOW, J. Opt. Soc. Amer. 29, 457 (1939).

²⁾ Die Beobachter stellen ausdrücklich fest, daß keine Andeutung einer Gleichrichtung besteht.

³⁾ Beispielsweise B. LANGE, Die Photoelemente und ihre Anwendung. Leipzig: J. A. Barth 1940.

⁴⁾ G. LIANDRAT, Ann. d. Phys. (11) 6, 391 (1936). — R. H. VARIAN, Physic. Rev. 46, 1051 (1934). — B. GUDDEN, Verh. dtsh. phys. Ges. (3) 19, 78 (1938).

⁵⁾ W. SCHOTTKY, Z. Physik 113, 367 (1939). — W. SCHOTTKY u. E. SPENKE, Wiss. Veröff. Siemens-Werk. 18, 225 (1939). — W. SCHOTTKY, Schweiz. Arch. ang. Wiss. u. Techn. H. 1 u. 2 (1941).

⁶⁾ F. ECKART u. A. KITTEL, Naturwiss. 29, 371 (1941).

⁷⁾ O. FRITSCH, Ann. d. Phys. 22, 375 (1935).

⁸⁾ HOCHBERG u. SOMINSKI, Phys. Z. Sowjet-Union 13, 203 (1938).

⁹⁾ Lichtelektrische Wirkung ist auch in Gebieten starker Eigenabsorption festgestellt: G. FALTZ, Ann. d. Phys. 30, 193 (1937). — FR. FISCHER, B. GUDDEN u. M. TREU, Phys. Z. 39, 127 (1938). — A. SCHRÖPPEL, Erlanger Ber. 70, 87 (1938).

¹⁰⁾ Vgl. dazu N. F. MOTT, Proc. roy. Soc. Lond. (A) 171, 281 (1939).

Anmerkung bei der Korrektur: Leider hatten wir eine Mitteilung von KOLOMIEZ übersehen, der schon 1938 sagt, das Vorzeichen des Sperrschichteffektes an Tl₂S ist umgekehrt, wenn das Tl₂S an Stelle seiner normalen Defektleitung Überschußleitung zeigt. [C. R. Acad. Sciences URSS 19, 383 (1938).]

Besprechungen.

Klima — Wetter — Mensch. Bearbeitet von E. BREZINA, W. HELLPACH, R. HESSE, E. MARTINI, B. DE RUDDER, A. SCHITTENHELM, A. SEYBOLD, L. WEICKMANN. Hrsg. v. HEINZ WOLTERECK. Leipzig: Quelle u. Meyer 1938. VIII, 446 S. u. zahlreiche

Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM. 16,50, geb. RM. 18.—.

Das vorliegende Werk ist eine Gemeinschaftsarbeit einer Reihe von bekannten Fachgelehrten, die es sich zum Ziel setzten, jeder in seiner eigenen Domäne einen

Beitrag zu dem weitgespannten Problem „Klima, Wetter, Mensch“ zu liefern. Daß dieses durch drei Worte ausgedrückte Thema einen gewaltigen Inhalt und Umfang besitzt, dürfte jedem verständlich sein, der sich über die verwickelten Zusammenhänge der Wettervorgänge für sich und der biologischen Erscheinungswelt für sich im klaren ist. Wie schwierig gestaltet sich nun erst die Erkenntnis der gegenseitigen Beeinflussung beider Komplexe.

Bei dem Ineinandergreifen der verschiedensten Wissensgebiete war es gar nicht möglich, die Einheitlichkeit der Darstellung bis ins letzte zu wahren. Der Zweck dieses Buches ist auch ein anderer, nämlich: durch zusammenfassende Darstellungen aller hierher gehörenden Fragenkomplexe eine Gesamtschau des ganzen Gebietes zu vermitteln, und zwar in einer Form, daß auch die Interessenten aus den weiter entfernten Randgebieten und Nachbarwissenschaften gern immer wieder zu diesem Buch greifen, ohne sich erst in die in jüngster Zeit stark angeschwollene, weit verstreute und nicht immer leicht lesbare Literatur einarbeiten zu müssen.

Die von Professor WEICKMANN geschriebene *Einführung* läßt schon in vollem Umfange das Reizvolle der nachfolgenden Gesamtdarstellungen unmittelbar erkennen. In sehr einprägsamer Weise werden hier dem Leser die im deutschen Wortschatz zum Ausdruck kommenden, vom einzelnen ständig in ihrer Wichtigkeit erfüllten Zusammenhänge zwischen den biologischen Vorgängen einerseits, den klimatischen und meteorologischen andererseits an zahlreichen Beispielen vor Augen geführt. Für das medizinische Blickfeld wesentlichler als die *normale* Abhängigkeit des Menschen und seines Befindens vom Wetter ist aber die *anomale*, die pathologische, deren Untersuchungsfeld die Meteoropathologie in neuerer Zeit geworden ist. Gerade dem auf dem ganzen Gebiet noch nicht sehr Bewanderten muß diese Einführung zur Lektüre besonders empfohlen werden.

Der erste fachliche Beitrag: *Grundlagen der Klima- und Wetterkunde* stammt gleichfalls von Professor WEICKMANN. Er enthält einen Überblick über die gesamte allgemeine Meteorologie, nur freilich nicht so, wie man sie aus den Vorlesungen kennt, sondern mit Rücksicht auf die besondere Aufgabe in einer Darstellung, welche die für die Bioklimatik wesentlichen Gesichtspunkte stark in den Vordergrund rückt und andere wieder, welche, vom rein meteorologischen Gesichtspunkt betrachtet, eine außerordentliche Rolle spielen, zurückdrängt. Insbesondere finden zahlreiche teilweise noch wenig bekannte Untersuchungen über das Mikroklima hier eine Aufnahme. Aus den eben angeführten Gründen wurde dem Kapitel „Strahlungsvorgänge“ ein weiter Raum eingeräumt, wohingegen die Wetterdynamik nur soweit zur Darstellung herangezogen wird, als es für das Verständnis unbedingt erforderlich ist. Mit diesem sehr wichtigen und äußerst anregend geschriebenen Abschnitt wird das Tor zum besseren Verständnis der weiteren geöffnet.

Der zweite Abschnitt, von Professor DE RUDDER verfaßt, beschäftigt sich mit den *Grundzügen der Bioklimatik des Menschen*. Auch hier wieder sehr wichtig die Einführung, welche die Schwierigkeit des Problems von allen Seiten her beleuchtet. Das Stoffgebiet selbst wird in drei Hauptteile aufgeteilt. Im ersten Teil (Bioklimatik einzelner Klimaelemente) werden die Heilfaktoren der Strahlung, z. B. bei der Rachitis,

dann alle zum Wärmehaushalt des Menschen gehörenden Fragen, im Zusammenhang mit dem Luftdruck als Klimaelement die Höhenkrankheit usw. untersucht. Der zweite Hauptteil (Klimatobiologie) enthält die eingehende Beschreibung der Einwirkung der verschiedenen Klimate auf den menschlichen Organismus und der dritte (Meteorobiologie) die bisher vorliegenden Ergebnisse des Einflusses der periodischen und unperiodischen (Wetter) Schwankungen des Klimas auf den Organismus des Menschen.

Es folgen nun einzelne Abschnitte über die *Heilfaktoren des Klimas* (Professor SCHITTENHELM), über *Klima und Krankheitserreger* (Professor MARTINI), über den *Menschen im künstlichen Klima* (Professor BREZINA), über *Pflanze, Klima und Wetter* (Professor SEYBOLD), über *das Tier und das Klima* (Professor HESSE) und über *Klima und Kultur* (Professor HELLPACH).

Der Leser wird aus diesen Abschnitten das für ihn Nutzbringende herauszusuchen wissen. Besonders wichtig mit Bezug auf die gegenwärtig im Brennpunkt des Interesses stehenden Kolonialfragen erscheint dem Referenten der Abschnitt über *Klima und Krankheitserreger*, der eine sehr eingehende Darstellung des Einflusses der Klimawirkungen auf die Seuchenverbreitung enthält. Anregend sind auch die nachfolgenden Untersuchungen über das *künstliche Klima*, die heute im Zeitalter der Industrialisierung, des immer stärker hervortretenden Gegensatzes zwischen dem Stadt- und Landklima und mit Rücksicht auf die gerade heute stark geförderten arbeitshygienischen Bestrebungen besondere Bedeutung gewinnen. — Mit der aus anderen Veröffentlichungen des Verf. hinreichend bekannten klaren und einprägsamen Darstellungsweise ist auch hier wieder ein Beitrag von Professor HELLPACH im letzten Abschnitt des Buches gegeben worden.

Man kann dem Werk, weil es sich an den Fachgelehrten wie an den fachlich interessierten Laien wendet und hierbei die rechte Mitte einzuhalten versteht, und weil es die erste zusammenfassende Darstellung auf diesem mitten in aufstrebender Entwicklung stehenden Gebiete der Bioklimatologie genannt zu werden verdient, weiteste Verbreitung wünschen.

H. PHILIPPS.

MÜLLER, BRUNO. *Erdgeschichte und Bau des Sudetenlandes*. (Deutscher Boden, Bd. IX.) Berlin: Gebr. Borntraeger 1939. 160 S. u. 62 Abbild. Preis geb. RM. 4.80.

Allgemein verständliche Darstellung des Baues und der geologischen Entwicklung des zum Reiche zurückgekehrten Sudetengaus, die den neueren Ergebnissen der Forschung gerecht wird. Auch die Bodenschätze — Erz, Braunkohle, Rohstoffe der Ton- und Glasindustrie, Bausteine, die wichtigsten Mineralquellen — erfahren eine kurze Würdigung. Das wichtigste Schrifttum ist in guter Vollständigkeit angeführt.

HANS STILLE, Berlin.

Berichtigung.

In dem Aufsatz von E. SCHRÖER und H. J. SCHUMACHER „Betrachtungen zur Katalyse“ in Heft 28 sind zwei Druckfehler zu verbessern. Auf S. 516 muß in Fußnote ¹⁾ zu VI, Zeile 4, das Wort „Partialvalenz“ ersetzt werden durch „Partialreaktionen“ und in Zeile 7 „Teilakten“ an die Stelle von „Teilreaktionen“ treten.

Die Entstehung Nord-Frieslands.

Von K. GRIPP, Kiel und E. DITTMER, Husum.

Seit 1933 wird mit Nachdruck an einer verstärkten Landgewinnung und Landerhaltung an Schleswig-Holsteins Westküste gearbeitet. Dafür war eine gründliche Erforschung des Werdens und Geschehens an der Westküste erforderlich, um vom Boden gesicherter Kenntnis aus den Kampf gegen die Zerstörungen des Meeres verstärkt durchführen zu können.

Eine der grundlegenden Fragen war folgende: Wie verhielt sich die Nordsee in jenem Gebiet während der letzten erdgeschichtlichen Perioden, und welches ist, von der erdgeschichtlichen Seite her betrachtet, die künftige Entwicklungsrichtung?

Um einwandfreie Grundlagen für die Beantwortung dieser Fragen zu erhalten, ließ die Westküstenforschung im schleswig-holsteinischen Küstengebiet Bohrungen nach Angabe der Geologen niederbringen und deren Ergebnisse veröffentlichen¹⁾.

Nach diesen Untersuchungen steht folgendes fest:

1. Zwischen Kampen auf Sylt und Graerup nördlich Blaavands Huk, liegt eine in älteres Diluvium eingelassene Senke, deren Fortsetzung sich über die Halligen und das nordfriesische Küstengebiet und über Eiderstedt gegen Süden erstreckt.

2. In dieser Senke liegen Absätze des zwischenzeitlichen Eem-Meeres, das hier einen beltartigen Arm bildete, während sich von Friedrichstadt an aufwärts im Tal der Eider und ihrer Nebenflüsse bis etwas unterhalb von Rendsburg eine eemzeitliche Föhrde erstreckte²⁾ (Fig. 1).

3. Westlich dieser, von Eem-Meer-Sanden und -Tonen teilweise erfüllten Senke lag ein Festland. Dies wird außer durch die heute noch aufragenden Geest-Kerne von Sylt, Föhr und Amrum durch eine von E. DITTMER aufgezeigte frühere Geestinsel in der Hevermündung belegt, bei deren Abtragung die Nehrungen von Eiderstedt entstanden sind.

Die Ausdehnung dieses alten Landes gegen Westen ist unbekannt, kann aber beträchtlich gewesen sein. Als dann später die Weichselvereisung bis in das östliche Schleswig-Holstein vorstieß, wies die alte, von Eemabsätzen und

örtlich auch jüngeren Mooren erfüllte Senke den von Osten kommenden Schmelzwässern ihren Weg. Über den Tonen des oberen Eem lagern nämlich grob- bis feinsandige Schmelzwasserabsätze. So fanden sich:

Im Luhnau-Tal bei Hamweddel unweit von Rendsburg

Talsand 0,65—8,50 m —NN.

Eem-Ton 8,50—8,70 „ „ „

Bei Oldenbüttel (nach H. L. HECK):

Talsand 5,70—7,70 m —NN.

Eem-Ton 10,30—16,80 „ „ „

Nördlich von Kampen auf Sylt (nach K. GRIPP u. W. G. SIMON):

Talsand 14,6—18,4 m —NN.

Eem-Ton 18,4—25 „ „ „

Es erhebt sich hier die Frage, ob die Schmelzwässer wirklich dem Eem-Belt nach Norden gefolgt



Fig. 1. Das nordfriesische Eem-Meer und das Westland aus Altmoräne.

sind oder sich andere Auswege geschaffen haben? Hierzu ist zu sagen, daß der Eem-Belt gegen Westen und Süden von einem geschlossenen Land begrenzt gewesen sein dürfte, da sich für die Eem-Zeit kein jenes Land querender Arm nachweisen läßt.

Dies Land ist während der Zwischeneiszeit, da es von Pflanzenwuchs dicht bedeckt war, durch Abtragung nicht wesentlich erniedrigt worden. Dann aber kam die Weichselvereisung mit ihrer periglacialen Einwirkung auf das Vorland. Es ist unbekannt, wie stark die periglacialen Zerstörung der Oberflächenformen vor dem erst-

¹⁾ E. DITTMER, Schichtenaufbau und Entwicklungsgeschichte des dithmarscher Alluviums. Z. Westküste I 1938, H. 2, 105—150. — K. GRIPP u. W. G. SIMON, Untersuchungen über den Aufbau und die Entstehung der Insel Sylt I Nordsylt. Z. Westküste II 1939/40, H. 2/3, 24—70. — E. DITTMER, Neue Ergebnisse zur Erforschung des nordfriesischen Eems. Forsch. u. Fortschr. 17, 25—27 (1941).

²⁾ Siehe die Karte bei E. DITTMER, Forsch. u. Fortschr. 17, 26 (1941).

malig wieder anrückenden Inlandeis war und wie weit jene dem Eise vorauseilte. Es ist aber nicht wahrscheinlich, daß das Westland periglacial schon wesentlich erniedrigt war, als die ersten

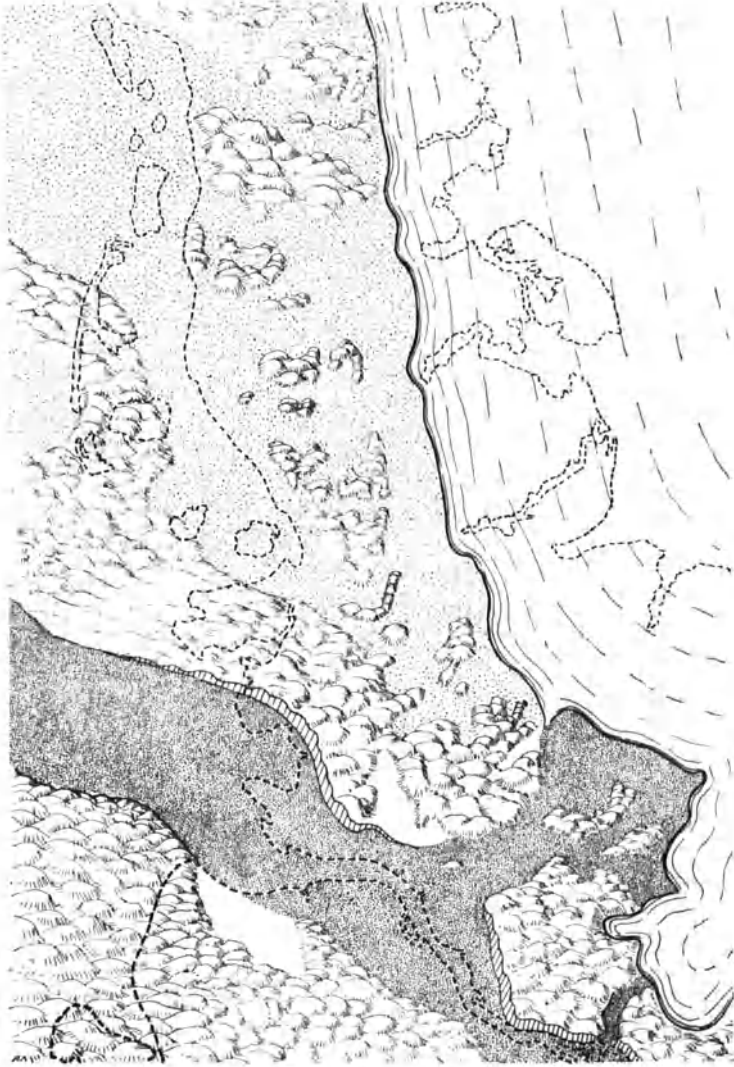


Fig. 2. Das weichselzeitliche Inlandeis und seine Entwässerung in Schleswig-Holstein. Rechts: das Inlandeis. Hell gepunktet: Schmelzwassersandebenen, die durch die nordfriesische Eem-Senke zur fernen Nordsee entwässerten. Dunkel gepunktet: Das Elburstromtal und die ihm zugehörigen Sandur.

Schmelzwässer von Osten her in das Tal des Eem-Beltes eindringen. Es muß daher angenommen werden, daß alle Schmelzwässer in der vorher vom Eem-Meer eingenommenen Talung, also von der Gegend um Rendsburg an, über Friedrichstadt und die Halligen östlich und nördlich um Sylt vorbei abgelaufen sind. E. DITTMER möchte eine flache Rinne, die mehrfach in O-W-Schnitten in den obersten Eem-Schichten auftritt, hiermit in Zusammenhang bringen.

Die nordfriesische Senke dürfte damals zunächst von Schmelzwasserflüssen¹⁾ durchzogen, in späterem Stadium aber von einem großen Sammelsandur²⁾ erfüllt gewesen sein (Fig. 2). Zu gleicher Zeit hatte sich aber weiter im Süden und Westen ein wichtiges erdgeschichtliches Ereignis abgespielt. Das aus dem Osten parallel zum Eisrand abfließende Schmelzwasser hatte sich das Urstromtal der Elbe neu geschaffen und bei der hohen allgemeinen Lage des Landes und der bei Hochfluten im Schmelzwasserstrom enthaltenen Kraft ein tiefes Bett ausgewühlt. Im Elbmündungsgebiet lag der Boden dieses Tales bei -34 m NN oder tiefer (DITTMER 1938). Der Boden des Sandurs in der nordfriesischen Senke lag aber zur gleichen Zeit bei $0-10\text{ m -NN}$, also 25 oder mehr Meter höher! Dieser Höhenunterschied der beiden benachbarten großen Schmelzwasserläufe ist, wie K. GRIPP kürzlich aufzeigte³⁾, die Ursache für wichtige erdgeschichtliche Ereignisse an der Westküste Schleswig-Holsteins. Auch das Schicksal Nordfrieslands wird bis in unsere Zeiten hinein beeinflusst von den Folgen, die sich daraus ergeben, daß die Wässer im Sammelsandur der Eider um 25 oder mehr Meter höher standen als im Urstromtal der Elbe.

Der eine von uns (GRIPP) hat mehrfach darauf hingewiesen, daß im periglacialen Gebiet bei gefrorenem Boden eine verstärkte Zertalung eintrat. Ein gutes Beispiel für die periglaciale Zerstörung eines Steilrandes bietet die Südseite des Elb-Urstromtales bei Harburg. Aber das Land zwischen Elb-Urstromtal und dem nordfriesischen Sammelsandur dürfte verhältnismäßig flach gewesen sein, so daß weniger eine starke rückschreitende Erosion als eine allgemeine periglaciale Abtragung in Betracht zu ziehen ist. Das Land wurde erniedrigt, der östlich anschließende Sandur aber aufgehäuft. So kam der Tag, an dem erstmalig Teile eines Schmelz-

¹⁾ Vgl. K. GRIPP, Ausbildung und Gliederung des Schmelzwassergürtels. Forsch. u. Fortschr. 17 (1941).

²⁾ Sandur = Sand- und Kiesfläche vor dem Eise, durch Schmelzwässer aufgeschüttet. (Die Red.)

³⁾ K. GRIPP, Eider und Elbe, ein erdgeschichtlicher Vergleich. Offa Mitt. Schleswig-Holsteinisches Museum für Vorgeschichte 1941, als Sonderdruck bei K. WACHHOLTZ, Neumünster, erschienen.

wasserhochwassers ihren Weg quer über das alte Westland nahmen. Schnell wurde der Überlauf durch Ausspülen erniedrigt und in kurzer Zeit durch die von immer weiter her angezogene Schmelzwassermenge ein immer tiefer werdendes Tal geschaffen.



Fig. 3. Teile des nordfriesischen Sammelsandurs (Treene, Eider, Soholmer Au) werden vom Elburstromtal abgezogen.

Sicherlich ist die Ur-Eider nördlich von Sylt zur Nordsee abgeflossen, ebenso sicher sind Treene und Eider später nach Südwesten hin vom Elburstromtal angezogen worden (Fig. 3).

Die Bohrungen in Eiderstedt haben E. DITTMER den Rand des älteren, nördlich gerichteten Sammelsandurs gegen das südwestlich gerichtete Durchbruchstal kennengelehrt (Fig. 4). Durch diese Anzapfung von Südwesten her wurde der große nordfriesische Sammelsandur als solcher zerstört. Statt dessen entstand in seinem südlichen Teil ein

kleinerer Eider- und Treenesammelsandur mit anschließendem Schmelzwasserfluß. Dessen Boden fand der eine von uns (E. DITTMER) bei -32 mNN.

Ähnlich ist es weiter im Norden mit dem Soholmer Sandur gewesen, der einen Teil des Wassers aus dem gewaltigen verzweigten Gletscher- tor der Flensburger Förde ableitete. Dieser dürfte in späterem Stadium seinen Ablauf zwischen Amrum und Förh genommen haben. Die dortigen Bohrungen zeigen bis über 20 m Tiefe Talsand, also Schmelzwassersande, auf.

Ob die Arlau und die Lecker Au, die beide geringeren Schmelzwasserzufluß gehabt zu haben scheinen, das alte Westland auch in Rinnen quergeschnitten haben, ist noch nicht zu übersehen. Ebenso muß

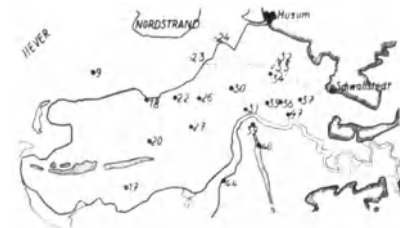


Fig. 4. Die Verteilung von anstehendem Eem (offene Kreise) und umgelagertem Eem (volle Kreise) als Folge der Ablenkung der Wasser zum Elbtal. Punktiert: nacheiszeitliche Haken und Nehrungen als Zeugen der Zerstörung des alten Westlandes.

späterer Untersuchung vorbehalten bleiben, zu klären, in welcher Folge diese Querrinnen entstanden sind.

Betrachtet man den aufgezeigten Ausschnitt erdgeschichtlichen Geschehens hinsichtlich der Ausbildung der Schmelzwassersandzone (GRIPP 1941), so ergibt sich der eigenartige Fall, daß ein großer Sammelsandur durch seitliche Anzapfung völlig umgebaut wurde. Dort, wo früher Gletscherschutt ausgebreitet wurde, verliefen später Schmelzwasserflüsse quer. Diese schnitten sich so tief ein, daß die

Sanddecken des Sammelsandurs, die Eem-zeitlichen Absätze und älteres Diluvium weithin fortgespült wurden. Ihrem Wesen als Schmelzwasserfluß entsprechend blieben in diesen Rinnen beim Nachlassen der Wasserzufuhr erhebliche Sandmassen liegen. Sie bergen eine Eemfauna auf zweiter Lagerstätte, wie das E. DITTMER in zahlreichen Fällen aufzeigen konnte.

Eine Gliederung der verschiedenen alten Schmelzwassersande steht noch aus. Es ist anzunehmen, daß in die jüngeren Schmelzwassersande der

Querrinne wieder Täler eingeschnitten lagen, in denen die versiegenden Schmelzwässer gegen Westen abließen.

In diesen Tälern zogen noch später, in der frühen Nacheiszeit, Flüsse dahin. Diese vermoorten allmählich; denn E. DITTMER konnte



Fig. 5. Maximale Ausdehnung des nacheiszeitlichen Meereseinbruches. Das Elbe-Urstromtal, nordfriesische Eem-Senke und Treene-Eider-Durchbruchstal sind überflutet und das alte Westland fast ganz zerstört.

aus Bohrungen für die Täler der Eider sowie der Soholmer und Lecker Au an deren Rande Moore, in den Rinnen selber aber Gyttjen¹⁾ nachweisen.

Später kam dann infolge der ancyclus-zeitlichen Senkung des ganzen Gebietes das Meer zurück. Es füllte alle tiefen Rinnen schnell auf, wie E. DITTMER 1938 für das Elb- und Eidermündungsgebiet aufzeigte. In diesen Rinnen drang das Meer mit zunehmender Senkung gegen Osten vor und nahm von ihnen aus von immer höheren Ge-

¹⁾ Gyttja = Faulschlamm oder Mudde. (Die Red.)

bieten, insbesondere den Resten des Eem-Beckens = Groß-Sammelsandurs, Besitz. So breitete sich die nacheiszeitliche Nordsee im Rücken der Reste des alten Westlandes aus (Abb. 5). Das marine Alluvium ist daher im Eider- und Elbmündungsgebiet und vermutlich in den äußeren Teilen anderer jetzt vom Meere bedeckter Rinnen recht mächtig, in großen Teilen Nordfrieslands aber nur flach. Denn hier überschritt ruhige See hohes Land.

Als nämlich die Corbula-Senkung¹⁾, etwa zur Stein-Bronze-Zeit, im Abklingen begriffen war, begann von den Tiderinnen der Treene, Eider und Elbe her eine marine Verlandung. Aus den tonigen Sinkstoffen, die Treene und Eider herbeibrachten, entstand Eiderstedt. Auch im südwestlichen Teil Nordfrieslands, dem alten Nordstrand, bildete sich stabile marine Marsch. Dort aber, wo die ehemaligen Schmelzwasserrinnen unbedeutend waren, also im großen Teil Nordfrieslands, erfolgte die Verlandung in brackischer Facies mittels riesiger Schilfsümpfe. Der bereits im Diluvium vorhandene Gegensatz — hochliegender Rest des Ur-Eider-Sandurs — tiefe Schmelzwasserrinnen der Treene + Eider und Elbe, hatte also im jüngeren Alluvium zur Folge, daß sich über den Resten des Ur-Eider-Sandurs instabile Moore ablagerten, daß die Verlandung am Rande der Tiderinnen aber mit stabiler Klei-Marsch abschloß. Die Rinnen selbst verlandeten nicht. Von ihnen aus drang die zweite alluviale Transgression um die Zeitwende in die moorigen Gebiete vor. Elbe und Eider behielten im wesentlichen ihr altes Bett bei, aus der alten Treene wurde die Süder-Hever = Norder-Eider. Von der Wiedau her erfolgte der Einbruch in das nördliche und mittlere Nordfriesland und stieß, am Rande der Geest entlang, bis weit nach Süden vor. Die Norder Au dürfte in ihrer ersten Anlage auf eine Schmelzwasserquerrinne im Bereich der Soholmer Au zurückzuführen sein.

Die heute nur flache Süder Au scheint nicht mit einer alten Rinne in Zusammenhang zu bringen zu sein.

Eine Ausnahme bildet auch der heute stärkste Tidestrom der schweswig-holsteinischen Westküste, die Norder-Hever. Wie E. DITTMER (unveröffentlichter Bericht) nachweisen konnte, wurde deren Einbruch, von der Süder-Hever her, in den

¹⁾ Nach Vorschlag von E. DITTMER, sinnvollere Bezeichnung für Litorina-Zeit.

Kern des alten Nordstrands, durch die landeskulturelle Tätigkeit der Menschen verursacht oder wenigstens stark begünstigt¹⁾. Die durch die großen Meereseinbrüche plötzlich veränderten hydrographischen Verhältnisse waren der Anlaß für die Eintiefung der Norder Hever. Diese Eintiefung dauert bis heute an.

Die weit eingerissenen Tiderinnen der zweiten Transgression ließen das Meerwasser viel tiefer in

¹⁾ Siehe auch A. BANTELMANN, Das Nordfriesische Wattenmeer, eine Kulturlandschaft der Vergangenheit. Z. Westküste 1939 II, 39—115.

das Land und über die alten Moore vordringen, als es am Ende der Corbula-Senkung der Fall war. Deswegen ist die jüngere Marsch größtenteils als echter Meeresabsatz ausgebildet.

Die Uranlagen zur Gestaltung des nordfriesischen Inselmeeres, der Eidermündung und mancher Tiderinnen im dortigen Wattenmeer gehen also auf eiszeitliche Verhältnisse zurück. Aber es waren morphologische, keineswegs tektonische Ursachen (HECK 1936), durch die die genannten Einzelheiten des Wattenmeeres und Nordfrieslands ausgestaltet wurden.

Magnetische Dipolstrahlung und Kernmomente.

VON HANS KOPFERMANN, Kiel.

[Schluß*.]

4. Die experimentelle Anordnung der magnetischen Molekularstrahl-Resonanzmethode.

a) Einzelheiten der Apparatur. Zur Ablenkung der verwendeten Atom- oder Molekülstrahlteilchen werden Schneide-Furche-Magneten (s. Fig. 12, A- und B-Magnet) benutzt, je 50 cm lang, mit Feldstärken H bis zu 12000 Oersted und Inhomogenitäten $\partial H/\partial z$ bis zu 10^6 Oersted/cm. Solche Werte von H und $\partial H/\partial z$ sind notwendig, wenn die magnetischen Kernmomente die einzigen magnetischen Äußerungen des Atoms oder Moleküls sind¹⁾. Ist dagegen auch ein elektronisches magnetisches Moment vorhanden, so können die Feldgrößen etwa 500mal kleiner sein; auch die Länge der Magnete darf dann erheblich reduziert werden. Je nachdem, ob Versuche bei schwachem oder starkem Feld H_0 unternommen werden sollen, bedeutet schwaches Feld $H_0 \approx 0,1$ Oersted, starkes Feld $H_0 \approx 5000$ Oersted. Die Länge des H_0 -Magneten schwankt bei den Versuchen zwischen 2 und 10 cm. Das magnetische Wechselfeld wird meist durch zwei parallel zueinander gespannte, senkrecht zu H_0 verlaufende Drähte erzeugt, die von Wechselstrom der gewünschten Frequenz in zueinander entgegengesetzten Richtungen durchlaufen werden. Den Wechselstrom liefert ein üblicher Hochfrequenzsender. Das so erzeugte Magnetfeld steht, wenn man von Randeffekten an den Drahtenden absieht, senkrecht auf den Drähten und damit senkrecht zu H_0 . Bei dieser Anordnung sind, solange der Schwingstrom gering und H_0 klein ist, nur Übergänge $\Delta m_F = \pm 1$ zu erwarten. Mit größer werdender Stromstärke treten, wenn auch schwächer, die Übergänge $\Delta m_F = 0$ in Erscheinung. Für die Versuche an Atomen mit elektronischem magnetischem Moment genügen einige hundert Milliampere, bei Atomen oder

Molekülen mit reinem Kernmoment benötigt man bis zu 50 Amp. Schwingstrom. Die Konstanz der Frequenz f , welche das Haupterfordernis aller Experimente dieser Art ist, läßt sich, falls die Wellenlänge nicht zu klein wird, ohne Schwierigkeiten auf weniger als 1 Promille halten. Als Aufwinder dient, wenn Alkalien oder Erden untersucht werden sollen, ein etwa 0,02 mm dicker Wolframdraht, von dem die aufgetroffenen Atome

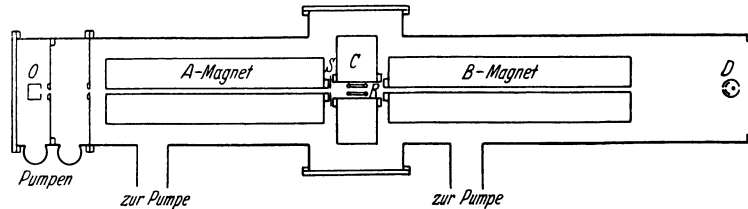


Fig. 12. Schema einer Anordnung zur direkten Bestimmung der magnetischen Momente nach RABI, MILLMAN, KUSCH und ZACHARIAS.

als Ionen abdampfen, wenn man den Draht, nachdem man ihn genügend lange dem Strahl ausgesetzt hat, plötzlich hochheizt. Auf diese Weise läßt sich der aufgetroffene Teilchenstrom elektrisch messen, was für hohe Genauigkeit bürgt. Sollen andere Atomarten, bei denen dieses Verfahren wegen zu hoher Ionisierungsspannung versagt, untersucht werden, so muß man geeignete Alkaliverbindungen verwenden. Bei Gasen hat sich das Piranimanometer bewährt. Die Eichung des H_0 -Magneten, die nach den üblichen Methoden durchgeführt wird, war nach den Angaben der Verfasser auf weniger als 1% reduzierbar.

b) Einzelheiten des Verfahrens. In Fig. 13 ist als Beispiel für einen Zeeman-Effekt bei schwachem Feld eine Durchmessung der Frequenzen des $^2S_{1/2}$ -Terms des K^{39} -Grundzustandes bei $H_0 = 0,05$ Oersted und geringem Schwingstrom wiedergegeben. Man beobachtet 4 Komponenten, von denen die mittleren annähernd doppelt so stark sind wie die äußeren. Es handelt sich um die 4 π -Komponenten, die für die Kerndrehimpulsquantenzahl $I = \frac{3}{2}$ bei einem $^2S_{1/2}$ -Term charakteristisch sind (siehe Fig. 9). Bei stärkerem Schwingstrom erscheinen,

*) Vgl. H. 38, S. 563.

¹⁾ Die Molekülrotationen liefern magnetische Momente der gleichen Größenordnung.

allerdings noch relativ schwach, auch die 3 σ -Komponenten, wie es Fig. 14 zeigt. In beiden Auf-

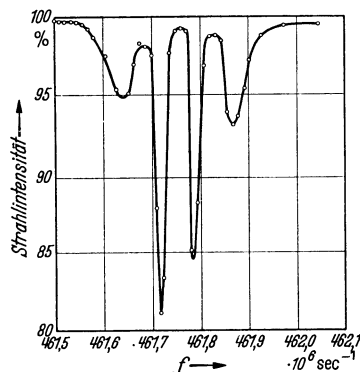


Fig. 13. Magnetische Dipolstrahlung des $^2S_{1/2}$ -Zustandes des K^{39} ($I = 3/2$) im schwachen äußeren Magnetfeld ($H_0 = 0,05$ Oersted). π -Komponenten ($\Delta m_F = \pm 1$).

nahmen liegt die Gesamtstruktur symmetrisch zu $\nu_0 = 461,75 \cdot 10^6 \text{ sec}^{-1} = 0,015403 \text{ cm}^{-1}$.

Aufnahmen desselben Zustandes bei annähernd starkem Feld ($H_0 = 3950$ Oersted) liefern den

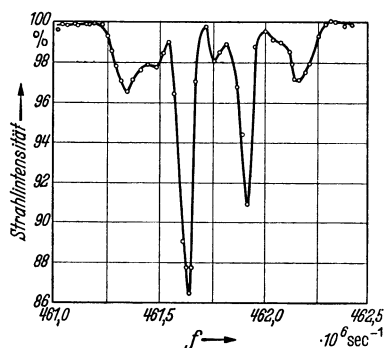


Fig. 14. Magnetische Dipolstrahlung des $^2S_{1/2}$ -Zustandes des K^{39} ($I = 3/2$) im schwachen äußeren Magnetfeld ($H_0 = 0,2$ Oersted). π - und σ -Komponenten.

gleichen Wert. Gleichzeitig gewinnt man nach (9a) den Betrag des g_I -Faktors des K^{39} -Kerns: $g_I = 0,261$. Während die Bestimmung von ν_0 eine Genauigkeit

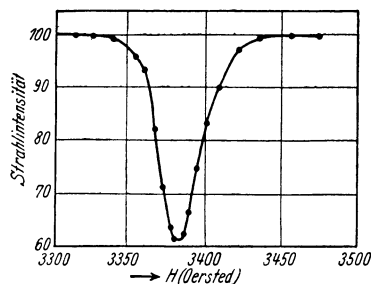


Fig. 15. Resonanzkurve des Li^7 -Kerns, beobachtet am Grundzustand $^1\Sigma$ des $LiCl$ -Moleküls.

von wenigen Promille besitzt, ist die Unsicherheit von g_I nach dieser Methode auf mehrere Prozente

zu veranschlagen. Das ergibt sich weniger aus der Ungenauigkeit der H_0 -Bestimmung als aus der Tatsache, daß g_I aus der Differenz sehr nahe beieinanderliegender Frequenzen ermittelt werden muß.

Erheblich genauer ist die Ermittlung von g_I bei Verwendung von Molekülen im $^1\Sigma_0$ -Zustand. Fig. 15 zeigt ein Resonanzminimum des Li^7 -Kerns, beobachtet an $LiCl^1$). In Tabelle 2 ist das Verhältnis von $f/H_0 = \nu/H_0$, das nach Gleichung (12) für einen bestimmten Kern eine Konstante sein soll, bei Benutzung verschiedener H_0 -Werte und verschiedener Molekulararten angegeben. Wie man sieht, ist die Konstanz f/H_0 ganz ausgezeichnet. Hier geht die Fehlergrenze für g_I zweifelsohne nicht über 1% hinaus, da die sehr genau meßbaren Frequenzen — und nicht wie im vorangehenden die Frequenzdifferenzen — in die g_I -Bestimmung eingehen.

Tabelle 2. f/H_0 von Li^7 aus verschiedenen Li -Verbindungen bestimmt.

Molekularart	f in 10^6 sec^{-1}	H_0 in Oersted	f/H_0
LiCl	5,611	3399	1651
	6,587	3992	1650
	2,113	1278	1654
Li^7 - Li^7	3,084	1879	1652
LiF	5,621	3401	1653

5. Die magnetischen Momente von Proton und Neutron.

Um die magnetischen Momente von Proton und Neutron direkt und möglichst exakt zu messen, bedarf es einiger Modifikationen der bisher beschriebenen Resonanzmethode, die in Anbetracht der Wichtigkeit der magnetischen Momente dieser beiden Kernbausteine etwas eingehender erörtert werden sollen.

a) *Das magnetische Moment des Protons.* Eine Messung des magnetischen Protonenmomentes²⁾ macht man am besten an einem Strahl von H_2 - oder HD -Molekülen bei tiefer Temperatur. Die Anordnung ist in allen wesentlichen Punkten die gleiche wie bei den früher beschriebenen Versuchen. Bei Verwendung von HD -Strahlen erhält man zwei ausgeprägte Resonanzminima (s. Fig. 16a und b), von denen das eine der Larmorfrequenz des Protons, das andere der Larmorfrequenz des Deuterons um das H_0 -Feld zugeschrieben werden muß. Benutzt man hingegen einen H_2 -Strahl, so beobachtet man eine Resonanzsequenz, wie sie in Fig. 17 gezeigt wird²⁾.

Zur Erklärung und Auswertung dieser Bilder muß man sich die Theorie der Energiezustände des Wasserstoffmoleküls im starken äußeren Feld klarmachen. Der Elektronengrundzustand aller 3 Wasserstoffmolekulararten (H_2 , HD , D_2) ist ein $^1\Sigma_0$ -Zustand ohne elektronisches Drehimpulsmoment.

¹⁾ Hier ist f konstant gehalten und H_0 variiert.

²⁾ I. KELLOGG, I. RABI u. F. RAMSEY, *Physic. Rev.* 56, 728 (1940).

Die Verteilung der Moleküle auf die Rotationszustände bei 78° K (Temperatur des flüssigen Stickstoffs) wird in Tabelle 3 angegeben.

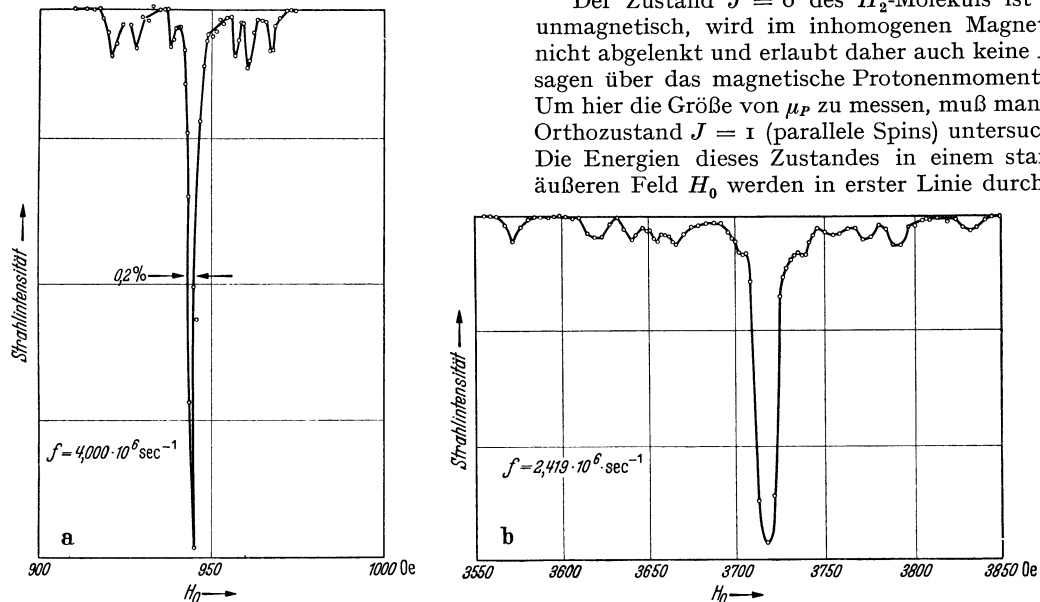


Fig. 16. Resonanzminima von Proton (a) und Deuteron (b) beobachtet am Grundzustand (${}^1\Sigma_0, J = 0$) des HD-Moleküls.

Der Grundzustand des H_2 -Moleküls ist der rotationslose Parazustand, bei dem sich die Kernmomente der beiden Protonen ($I_P = \frac{1}{2}$) durch Antiparallelstellung kompensieren. Der Grundzustand des D_2 -Moleküls ist dagegen ein Orthozustand; wegen des Wertes $I_D = 1$ des Deuteronen-

Für die Rotationszustände des HD -Moleküls existieren wegen der Ungleichheit der Kerne keine derartigen Beschränkungen für die Spinstellungen.

Der Zustand $J = 0$ des H_2 -Moleküls ist also unmagnetisch, wird im inhomogenen Magnetfeld nicht abgelenkt und erlaubt daher auch keine Aussagen über das magnetische Protonenmoment μ_P . Um hier die Größe von μ_P zu messen, muß man den Orthozustand $J = 1$ (parallele Spins) untersuchen. Die Energien dieses Zustandes in einem starken äußeren Feld H_0 werden in erster Linie durch die

Einstellungsenergie der beiden Protonenmomente in das äußere Feld gegeben, die den Wert $2\mu_P H_0 m_I$ hat, wenn I die Summe der Drehimpulsquantenzahlen der beiden Protonen ($I = 1$) bezeichnet. In dieser Näherung erhält man also 3 Zeeman-Terme ($m_I = +1, 0, -1$) mit den Abständen

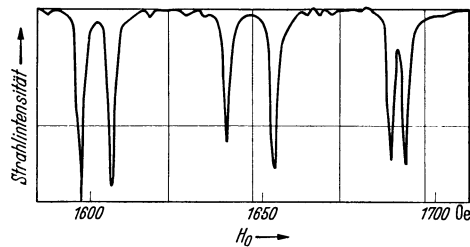


Fig. 17. Magnetische Dipolstrahlung des Rotationsniveaus $J = 1$ des H_2 -Moleküls im ${}^1\Sigma_0$ -Grundzustand bei „fast starkem“ äußeren Magnetfeld.

Tabelle 3. Verteilung der Wasserstoffmoleküle auf die verschiedenen Rotationszustände J bei 78° K.

J	H_2	HD	D_2
0	0,248	0,559	0,628
1	0,745	0,328	0,369
2	0,003	0,105	0,003
3	0,000	0,004	0,000

spins sind hier mehrere sich nicht kompensierende Stellungen der beiden Kerndrehimpulse erlaubt¹⁾.

¹⁾ Für $J = 0$ sind beim D_2 -Molekül sechs-symmetrische-Spinstellungen erlaubt.

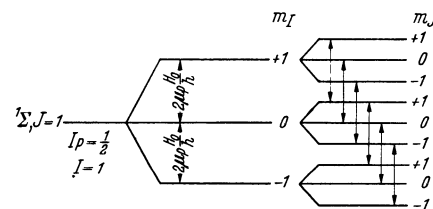


Fig. 18. Termschema des Rotationsniveaus $J = 1$ des H_2 -Moleküls im ${}^1\Sigma_0$ -Grundzustand bei starkem äußeren Magnetfeld; mit magnetischen Dipolstrahlungsübergängen $\Delta m_I = \pm 1, \Delta m_J = 0$.

$2\mu_P \frac{H_0}{h}$, von denen der mittlere ($m_I = 0$) unverschoben ist. Jeder dieser Zustände spaltet des weiteren dreifach auf, wenn man die Wechselwirkung des magnetischen Momentes der Rotation $\mu_R \left(\propto \frac{\mu_P}{3} \right)$ mit dem äußeren Feld im Betrag von $\mu_R H_0 m_J$ in Rechnung stellt ($m_J = +1, 0, -1$). Das Termschema dieser Näherung ist in Fig. 18 gezeichnet. Die äquidistante Lage der m_J -Terme zu den 3 m_I -Termen wird gestört durch die relativ kleine, aber gut meßbare Kopplungsenergie $2\mu_P H' m_I m_J$ zwischen den Protonen und dem

Magnetfeld H' , welches die Molekülrotation an den Protonenorten erzeugt und durch die ebenfalls geringe Wechselwirkung zwischen den beiden Protonenmagneten, die proportional zu μ_p^2/r^3 ist.

Im starken Feld gelten für die Übergänge zwischen diesen 9 Termen die Auswahlregeln:

$$\Delta m_I = \pm 1, \quad \Delta m_J = 0 \quad (13a)$$

und

$$\Delta m_J = \pm 1, \quad \Delta m_I = 0. \quad (13b)$$

(13a) gibt Anlaß zu einer Sechsergruppe von Übergängen mit dem Schwerpunkt bei $\nu = 2\mu_p \frac{H_0}{h}$ (s. Fig. 19), dessen Lage den Wert μ_p liefert, (13b) zu einer gleichartigen Gruppe bei $\nu = \mu_R \frac{H_0}{h}$, aus deren Schwerpunkt das Rotationsmoment μ_R ermittelt werden kann¹⁾. Für den vorliegenden Zweck interessiert nur die Gruppe (13a), die als Übergänge in Fig. 18 gezeichnet ist. (In der gezeichneten Näherung würden alle 6 Übergänge

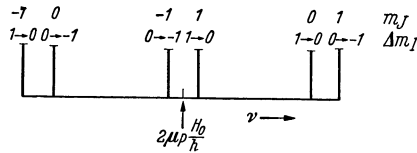


Fig. 19. Die Zeemankomponenten $\Delta m_I = \pm 1, \Delta m_J = 0$ des ($^1\Sigma_0, J = 1$)-Zustandes des H_2 -Moleküls im starken äußeren Magnetfeld (theoretisch).

genau gleiche Frequenz besitzen.) Die relative Lage der 6 Übergangsfrequenzen ergibt sich aus Fig. 19, der die Annahme zugrunde liegt, daß das Feld H' der Molekülrotation am Protonenort den Wert $H' = 27$ Oersted und das Feld $H'' = \frac{\mu_p}{r^3}$ eines Protonenmagnets am Ort des anderen Protons $H'' = 34$ Oersted beträgt, Werte, die sich aus den experimentell gefundenen Abständen des Aufspaltungsbildes (Fig. 17) ergeben.

Vergleicht man mit diesem theoretischen Aufspaltungsbild des Rotationszustandes $J = 1$ des H_2 -Moleküls das experimentell gefundene in Fig. 17, dessen Schwerpunkt einem $H_0 = 1650$ Oersted entspricht²⁾, so zeigt die hier noch vorhandene Unsymmetrie, daß das verwendete Feld nicht ganz im obigen Sinne als stark anzusprechen ist.

Im Grundzustand $J = 0$ des HD - bzw. D_2 -Moleküls stammt der gesamte Magnetismus lediglich von den sich nicht kompensierenden Eigenmomenten der Kerne. Die Wechselwirkung zwischen den beiden Kernmagneten mittelt sich bei diesem Zustand heraus, da die Kernverbindungsline infolge Fehlens einer Rotationsachse alle Richtungen unabhängig von der Kernspinorientierung mit gleicher Wahrscheinlichkeit annimmt.

¹⁾ Nach Messungen von RAMSEY [Physic. Rev. 58, 226 (1940)] folgt für das μ_R des H_2 -Moleküls: $\mu_R = 0,879$ K.M.

²⁾ Bei diesen Aufnahmen ist wiederum die Frequenz des Senders konstant gehalten und H_0 variiert.

Jeder Kernmagnet hat daher im äußeren Feld eine wohldefinierte Energie, die zwar von seiner eigenen Orientierung, nicht aber von der räumlichen Stellung des anderen Kernmagneten abhängt. Eine Messung der Larmorfrequenzen $f = \nu$ und der Felder H_0 liefert daher wegen $I_p = \frac{1}{2}$ für das Proton und $I_D = 1$ für das Deuteron die Beziehungen nach (12):

$$\mu_p = \left(\frac{f \cdot h}{2 H_0} \right)_p \quad \text{und} \quad \mu_D = \left(\frac{f \cdot h}{H_0} \right)_D. \quad (14)$$

Das Radiofrequenzspektrum des Rotationsniveaus $J = 1$ des D_2 -Moleküls im starken Feld liefert — gerade so wie das eben beschriebene des H_2 -Moleküls — 6 Frequenzen, während das entsprechende HD -Spektrum aus 2 Frequenzgruppen besteht; einer Neunfachen in der Umgebung der Larmorfrequenz des Protons und einer Zwölffachen in der Umgebung der Larmorfrequenz des Deuterons¹⁾. Hier lassen sich die gleichen Analysen der Termlagen durchführen, wie sie oben beim H_2 gemacht wurden. Sie bringen den wichtigen neuen Befund, daß das Deuteron ein elektrisches Quadrupolmoment vom Betrage $q = 2,7 \cdot 10^{-27}$ cm² besitzt²⁾.

In Tabelle 4 sind die Werte von μ_p und μ_D aus einer Reihe derartiger Messungen an H_2 -, HD - und D_2 -Molekülstrahlen angegeben.

Tabelle 4. Werte von μ_p und μ_D aus Messungen an H_2 -, HD - und D_2 -Molekülstrahlen.

Molekülart	Magnetisches Moment	Feld H_0 in Oersted	Frequenz f in 10^6 sec ⁻¹	Wert von μ in K.M.	Gewonnen aus Rotationsniveau
H_2	μ_p	1336	5,662	2,781	$J = 1$
H_2	μ_p	1655	7,000	2,775	$J = 1$
H_2	μ_p	2107	8,923	2,779	$J = 1$
HD	μ_p	3299	14,007	2,786	$J = 0$
HD	μ_p	2461	10,420	2,780	$J = 0$
HD	μ_D	3106	2,021	0,8550	$J = 0$
D_2	μ_D	4832	3,143	0,8560	$J = 0$
D_2	μ_D	3232	2,103	0,8536	$J = 0$

Als Mittelwerte folgen:

$$\left. \begin{aligned} \mu_p &= 2,785 \pm 0,02 \text{ K.M.} \\ \mu_D &= 0,855 \pm 0,006 \text{ K.M.} \\ \frac{\mu_p}{\mu_D} &= 3,257 \pm 0,001. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Die Fehlergrenzen des Verhältnisses μ_p/μ_D sind wesentlich kleiner als die der Absolutwerte von μ_p bzw. μ_D , da zur Messung des Verhältnisses μ_p/μ_D nur das Frequenzverhältnis und das Verhältnis der zugehörigen H_0 -Felder in die Bestimmung eingehen.

¹⁾ Diese sind zum Teil in den Abb. 16a und b neben den Larmorfrequenzminima zu sehen.

²⁾ Die hier angegebene Bezeichnungweise ist in der Literatur üblich. Um daraus das wirkliche Quadrupolmoment zu finden, hat man noch mit der elektrischen Elementarladung zu multiplizieren.

b) *Das magnetische Moment des Neutrons*¹⁾. Die Versuchsanordnung zur direkten Messung des magnetischen Moments des Neutrons an einem Strahl freier Neutronen wird durch Überlegungen nahegelegt, die auf BLOCH²⁾ zurückgehen und die im folgenden soweit wie nötig skizziert werden sollen.

Neutronen, die durch Materie hindurchgehen, werden so lange ihre Bahn ungestört fortsetzen, bis sie auf Reichweite der Kernkräfte an Kernen der Materie vorbeikommen, bei welcher Gelegenheit eine „Kernstreuung“ auftritt. Besitzt das Neutron auch ein magnetisches Moment μ_N (und eine Drehimpulsquantenzahl $I_N = \frac{1}{2}$), so wird zusätzlich eine Streuung an den inhomogenen Feldern der Atomhüllen stattfinden, und zwar in um so stärkerem Maße, je langsamer die Neutronen sind. Diese „Elektronenstreuung“ wird sich, falls die Magnetfelder der Atomhüllen nicht durch eine Magnetisierung des Streukörpers ausgerichtet sind, im Mittel kompensieren. Schickt man dagegen einen Neutronenstrahl etwa durch eine (z. B. in der z-Richtung) magnetisierte Eisenplatte hindurch, so macht sich neben der Kernstreuung auch die Elektronenstreuung bemerkbar. Nennt man den Wirkungsquerschnitt der Kernstreuung σ_0 und das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte von Elektronen- zu Kernstreuung p , so hat der Gesamtstreuquerschnitt den Wert $\sigma_0(1+p)$ bzw. $\sigma_0(1-p)$, je nachdem ob die Neutronendrehimpulse parallel ($m_I = +\frac{1}{2}$) oder antiparallel ($m_I = -\frac{1}{2}$) zu den in der z-Richtung verlaufenden Induktionslinien stehen. Unter der Annahme, daß die Wirkung der Elektronenhüllen als die Wirkung magnetischer Dipole beschrieben werden kann, läßt sich p abschätzen. Es hat einen Wert von etwa 0,1.

Sei n die Zahl der Eisenatome pro Kubikzentimeter, die Intensität des Neutronenstrahls beim Eintritt in das Eisen E_0 und beim Austritt aus dem magnetisierten Eisen E , so gilt, da sich die Neutronen wegen $I_N = \frac{1}{2}$ zur Hälfte parallel, zur Hälfte antiparallel zur z-Richtung stellen:

$$E = E_0 \left[\frac{1}{2} e^{-n x_1 \sigma_0 (1+p)} + \frac{1}{2} e^{-n x_1 \sigma_0 (1-p)} \right] \quad (16)$$

$(x_1 = \text{Dicke der Eisenplatte})$

oder, da p klein ist:

$$E \approx E_0 e^{-n x_1 \sigma_0 (1 + n^2 \sigma_0^2 x_1^2 p^2)}, \quad (16a)$$

während für die Intensität des Strahls nach Durchgang durch das unmagnetische Eisen gilt:

$$E = E_0 e^{-n x_1 \sigma_0}. \quad (17)$$

Die Elektronenstreuung hebt also, wie der Vergleich von (16a) und (17) zeigt, die Kernstreuung zum Teil auf. Eine solche magnetische Eisenplatte wirkt wie ein Polarisator, die Zahl der Neutronen mit parallel zum Feld stehenden Spin n_p ist nach

Durchgang durch die Platte geringer als die Zahl mit antiparallelem Spin n_a ; nach (16) gilt:

$$\frac{n_p}{n_a} \approx 1 - 2 n x_1 \sigma_0 p. \quad (18)$$

Der Strahl ist teilweise polarisiert.

Geht dieser polarisierte Neutronenstrahl durch eine zweite solche Platte mit der Dicke x_2 hindurch, so wirkt sich dies dann, wenn die zweite Platte (Analysator) ebenfalls in der z-Richtung magnetisiert ist, so aus, als ob die Schichtdicke der ersten Platte um x_2 vergrößert wäre, woraus für die Intensität E nach Durchgang durch beide Platten folgt:

$$E \approx E_0 e^{-n \sigma_0 (x_1 + x_2)} (1 + n^2 \sigma_0^2 (x_1 + x_2)^2 p^2). \quad (19a)$$

Steht dagegen die Magnetisierungsrichtung des Analysators antiparallel zu z , so hat man für die Kernstreuung wiederum die Summe $(x_1 + x_2)$, für die Elektronenstreuung dagegen die Differenz $(x_1 - x_2)$ der Plattendicken in Rechnung zu stellen:

$$E \approx E_0 e^{-n \sigma_0 (x_1 + x_2)} (1 + n^2 \sigma_0^2 (x_1 - x_2)^2 p^2). \quad (19b)$$

Diese Vorstellungen, die durch eine Reihe von Experimenten belegt sind¹⁾, legen einen magnetischen Resonanzversuch in der Form nahe, daß man zwischen Polarisator und Analysator, die sich in *Parallelstellung* befinden, sowohl ein H_0 -Feld, das parallel zu den Induktionslinien in den Eisenplatten steht, als auch ein magnetisches Wechselfeld H_1 geeigneter Frequenz auf den Neutronenstrahl wirken läßt. Die Neutronen gelangen, nachdem ihre Eigendrehimpulse im Analysator im Sinne von (18) ausgerichtet worden sind, in das H_0 -Feld und führen dort eine „Präzessionsbewegung“ um die Feldlinien aus. Das Energieschema eines solchen „Zeeman-Effektes“ ist besonders einfach, da es wegen $m_I = \pm \frac{1}{2}$ nur 2 Energieniveaus gibt, zwischen denen ein einziger Übergang mit der Frequenz $\nu = \nu_L$ möglich ist. Durch Einstrahlung magnetischer Dipolstrahlung der Sendefrequenz

$$f = \nu_L = \frac{\mu_N H_0}{h \cdot \frac{1}{2}} \quad [\text{siehe (12)}] \quad \text{im Bereich des } H_0$$

Magneten werden dann Übergänge zwischen den beiden „Zeeman-Termen“ erzwungen, welche einen Teil der parallel gerichteten Spins in die Antiparallelstellung umklappen und umgekehrt, und zwar nach Maßgabe der eingestrahnten Intensität und der Wahrscheinlichkeit P eines solchen Überganges. So wird die — an sich verschiedene — Zahl der „parallelen“ Neutronen gegen die „antiparallelen“ verändert. Infolge der Streuung im Analysator wird daher im Endeffekt eine andere (und zwar geringere) Neutronenintensität $E' = E - \Delta E$ auf einen geeigneten „Auffänger“

¹⁾ Z. B. P. POWERS, Physic. Rev. 54, 817 (1938) und R. FRISCH, v. HALBAN u. J. KOCH, Physic. Rev. 53, 719 (1938), von denen auch der erste Versuch unternommen wurde, Vorzeichen und Größe des magnetischen Neutronenmomentes zu messen, wobei ersteres als negativ sichergestellt, letzteres größenordnungsmäßig zu ≈ 2 K.M. festgelegt wurde

¹⁾ L. ALVAREZ u. F. BLOCH, Physic. Rev. 57, 111 (1940).

²⁾ F. BLOCH, Physic. Rev. 50, 259 (1936).

treffen, als ohne die Einwirkung des Wechselfeldes H_1 . Um eine scharfe Resonanzkurve zu erhalten, muß H_1 klein gegen H_0 gemacht werden.

P , die Wahrscheinlichkeit, daß ein Neutron nach der Zeit t aus dem Zustand $m_l = +\frac{1}{2}$ in den Zustand $m_l = -\frac{1}{2}$ (oder umgekehrt) übergegangen ist, läßt sich quantenmechanisch berechnen¹⁾. Es gilt:

$$P = \frac{f^2 \sin^2 \vartheta}{f^2 + \nu_L^2 - 2f\nu_L \cos \vartheta} \sin^2 \pi t [f^2 + \nu_L^2 - 2f\nu_L \cos \vartheta]^{1/2}, \quad (23)$$

wenn $\operatorname{tg} \vartheta = H_1/H_0$ bedeutet. Aus dieser Formel ersieht man, daß die Umklappwahrscheinlichkeit von der Zeit t , d. h. von der Neutronengeschwindigkeit abhängt, und daß selbst, wenn t so gewählt werden könnte, daß $\sin^2 \pi t [f^2 + \nu_L^2 - 2f\nu_L \cos \vartheta]$ gleich 1 wird, die Wahrscheinlichkeit P bei $f = \nu_L$ gering ist, wenn nicht gleichzeitig $H_1 \ll H_0$ gemacht wird. Für $H_1 \ll H_0$ kann man Formel (23) nämlich schreiben:

$$P = \frac{\Delta^2}{\Delta^2 + \left(1 - \frac{\nu_L}{f}\right)^2} \sin^2 \pi t \left[\Delta^2 + \left(1 - \frac{\nu_L}{f}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (24)$$

mit $\Delta = \frac{H_1}{2H_0}$.

Läßt man, wie das im Experiment tatsächlich der Fall ist, die Neutronengeschwindigkeit über einen weiten

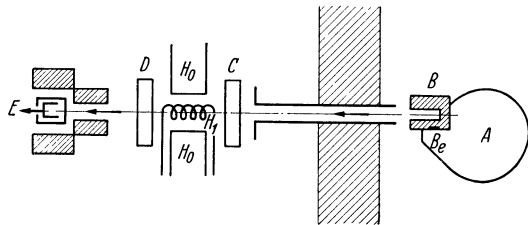


Fig. 20. Anordnung zur Messung des magnetischen Neutronenmomentes. A = Cyklotronkammer, B = Paraffinblock zur Verlangsamung der Neutronen, C = Polarisator-, D = Analysatormagnet, $H_0 = H_0$ -Feld, $H_1 = H_1$ -Feld, $E = BF_3$ -Ionisationskammer. Schraffierte Gebiete = Wasser- bzw. Paraffinschutz.

Bereich variieren, so kann man in guter Näherung den \sin^2 durch seinen Mittelwert $\frac{1}{2}$ ersetzen und erhält:

$$P = \frac{1}{2} \frac{1}{1 + \left[\frac{2H_0}{H_1} \left(1 - \frac{\nu_L}{f}\right) \right]^2}. \quad (24)$$

Es wird also das Resonanzminimum bei $f = \nu_L$, für das P unter den gewählten Bedingungen den Wert $\frac{1}{2}$ annimmt, um so schärfer, je kleiner H_1 gegen H_0 ist.

Eine Skizze der Versuchsanordnung ist in Fig. 20 dargestellt. Die Neutronen werden aus der Reaktion $B_2^9 + D^2 = B^{10} + n^1$ gewonnen, wobei der D -Ionenstrom durch ein Cyklotron erzeugt ist. Die im Paraffinblock B auf thermische Geschwindigkeiten verlangsamten Neutronen diffundieren durch einen langen Cd -Kanal, durchlaufen den Polarisator C , das präzessionerzeugende Feld H_0 (600 Oersted), werden hier der Strahlung des magnetischen Senders der Feldstärke H_1 (10 Oersted) ausgesetzt und gelangen nach Durch-

wanderung des Analysators D in eine BF_3 -Kammer, in der die Intensität E gezählt wird. Weitere Paraffinblöcke und Wasserkammern schützen die ganze Anordnung vor vagabundierenden Neutronen.

Da sich der Ionenstrom des Cyklotrons und damit die Neutronenintensität über längere Zeit nur auf etwa 2% konstant halten läßt, so wird, um diese langperiodischen Schwankungen des Neutronenstrahls auszugleichen, das Verhältnis $\Delta E/E$ nur während weniger Sekunden, dafür aber vielfach wiederholt, gemessen. Die experimentelle Anordnung dabei ist die folgende: Ein von einem Thyatron gesteuerter Elektronenschalter schaltet periodisch das Feld H_1 ein und aus und legt gleichzeitig die Ionisationskammer an zwei verschiedene Zählwerke so, daß das eine nur die Intensität E , das andere $E - \Delta E$ mißt.

Das Neutronenmoment μ_N wird auf diese Weise — wie bisher — in absoluten Einheiten gemessen und mit Hilfe der Atomkonstanten e und M (Protonenmasse) auf K.M. umgerechnet.

Die Verfasser haben aber durch die Verwendung des Cyklotrons auch die Möglichkeit, μ_N unmittelbar in K.M. festzulegen. Bezeichnet man nämlich das Neutronenmoment in absoluten Einheiten mit μ'_N , das in K.M. gemessene mit μ_N , so gilt:

$$\mu'_N = \mu_N \frac{eh}{4\pi M c}, \quad (26)$$

und es wird wegen (12)

$$f_N = H_0 \mu_N \frac{e}{2\pi M c}. \quad (27)$$

Betreibt man das Cyklotron mit Protonen, so gilt bekanntlich bei Resonanz für die Cyklotronfrequenz:

$$f_P = \frac{eH_P}{2\pi M c}, \quad (28)$$

wenn H_P die betreffende Feldstärke des Cyklotrons ist. Durch Kombination von (27) und (28) erhält man:

$$\mu_N = \left(\frac{f_N}{f_P} \right) \left(\frac{H_P}{H_0} \right) \text{K.M.} \quad (29)$$

Benutzt man daher für die Frequenz f_P des Cyklotronfrequenzgenerators eine Oberschwingung der Wechselfeldfrequenz f_N , so wird f_N/f_P eine ganze Zahl, und man hat zur Messung von μ_N nur das Verhältnis H_P/H_0 zu bestimmen, was genauer bewerkstelligt werden kann als die Absolutmessung beider Felder.

In sorgfältigen Vorversuchen, bei denen 20 Millionen Neutronen zur Zählung kamen, wurden die vielen Fehlerquellen, welche bei der sehr komplizierten Apparatur und dem schwierigen Versuchsobjekt auftreten, studiert und weitgehend eliminiert. Bei den endgültigen Arbeitsreihen betrug die Zahl der registrierten Neutronen 4 Millionen. Eine Resonanzkurve, bei der jeder einzelne Punkt mit $12 \cdot 10^4$ Einzelzählstößen festgelegt ist, wird in Fig. 21 wiedergegeben. Die verwendete Frequenz f_N beträgt $f_N = 1,843 \cdot 10^9 \text{ sec}^{-1}$.

¹⁾ I. RABI, Physic. Rev. 55, 628 (1939).

Aus einer Reihe von solchen Resonanzkurven, bei denen H_0 und f_N in weiten Grenzen variiert wurden, geben die Verfasser als Wert für μ_N an:

$$\mu_N = 1,935 \pm 0,02 \text{ K.M.} \quad (30)$$

Wenn man die verschiedenen Fehlerquellen, auf die hier im einzelnen nicht eingegangen werden kann, berücksichtigt, so erscheint die angegebene

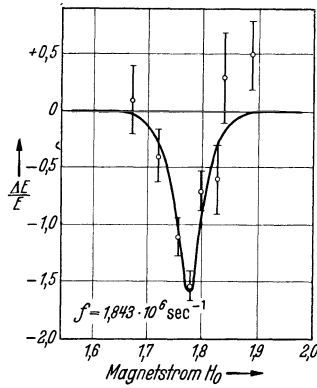


Fig. 21. Resonanzminimum des Neutrons.

Meßgenauigkeit reichlich groß¹⁾. Man sollte daher vielleicht aus diesem ersten bewunderungswürdigen Versuch, das Neutronenmoment exakt zu messen, noch keine allzu weiten Schlüsse ziehen (siehe 6).

6. Diskussion der Ergebnisse.

In Tabelle 5 sind die bisher mit der magnetischen Resonanzmethode gemessenen Hfs.-Aufspaltungen ν_0 angegeben und mit den direkten Ausmessungen der optischen Hfs.-Aufspaltungsbilder verglichen.

Tabelle 5. Vergleich der Hfs.-Aufspaltung ν_0 nach der magnetischen Resonanz-Methode (R.M.) und nach optischen Hfs.-Messungen (Hfs.).

Isotop	ν_0 nach R.M. in cm^{-1}	ν_0 nach Hfs in cm^{-1}
Li ⁶	0,00761	—
Li ⁷	0,02681	0,027
Na ²³	0,05910	0,059
K ³⁹	0,01540	0,015
K ⁴¹	0,00847	0,008
Rb ⁸⁵	0,1013	0,101
Rb ⁸⁷	0,2280	0,228
Cs ¹³³	0,3066	0,306

Dazu ist zu bemerken, daß in Spalte 2 und 3 die jeweils letzten Stellen noch als sicher anzusehen sind. Die Übereinstimmung der beiden verschiedenen Arbeitsweisen ist ausgezeichnet. Die Meßgenauigkeit der Resonanzmethode zeigt sich aber, wie erwartet, der direkten Ausmessung der optischen Hfs.-Aufspaltungsbilder stark überlegen.

Tabelle 6 enthält eine Gegenüberstellung der μ_I -Werte, die nach den verschiedenen Methoden

¹⁾ Der prozentuale Fehler wird kleiner angegeben als derjenige der sicherlich leichter auszuführenden Messung von μ_P !

gewonnen wurden¹⁾. Spalte 2 gibt die aus der Messung der Larmorfrequenz bestimmten magnetischen Kernmomente mit Vorzeichen. Damit werden verglichen in Spalte 3 die μ_I , welche im starken Feld ermittelt worden sind, und schließlich in

Tabelle 6. Vergleich der auf verschiedene Weise ermittelten μ_I -Werte.

Isotop	μ_I aus der Lamorfrequenz in K.M.	μ_I ermittelt im starken Feld in K.M.	μ_I berechnet aus ν_0 in K.M.	μ_{I1}/μ_{I2} gemessen nach R.M.	μ_{I1}/μ_{I2} berechnet aus $\nu_{0,1}/\nu_{0,2}$
n ¹	-1,94	—	—	—	—
H ¹	+2,78	—	+2,85	—	—
H ²	+0,855	—	+0,85	—	—
Li ⁶	+0,82	—	+0,85	} 3,96	3,96
Li ⁷	+3,25	3,27	+3,2		
Na ²³	+2,22	2,21	+2,0	} 0,550	0,5501
K ³⁹	+0,39	0,39	+0,36		
K ⁴¹	—	—	+0,20	} 2,03	2,026
Rb ⁸⁵	+1,34	1,35	+1,3		
Rb ⁸⁷	+2,73	2,69	+2,6	—	—
Cs ¹³³	+2,57	2,57	+2,5	—	—
Be ⁹	-1,18	—	—	—	—
B ¹⁰	+0,597	—	—	—	—
B ¹¹	+2,68	—	—	—	—
N ¹⁴	+0,400	—	—	—	—
F ¹⁹	+2,63	—	—	—	—
Al ²⁷	+3,63	—	+3,7	—	—
Cl ³⁵	+1,37	—	—	—	—
Cl ³⁷	+1,14	—	—	—	—

Spalte 4 die berechneten μ_I . Diese letzteren sind aus der Hfs.-Aufspaltungsfrequenz ν_0 unter der Annahme gewonnen, daß die Kopplung zwischen Kern und Elektronenhülle rein magnetischer Natur ist²⁾. Für die Einstellungsenergie des Kernmagneten in das Feld H_J , das von den Hüllenelektronen am Kernort erzeugt wird, gilt bekanntlich:

$$W_{I,J} = \mu_I H_J \cos(\vec{I}, \vec{J}) \quad (31)$$

Daraus folgt für die Hfs.-Aufspaltungsfrequenz, falls $I \geq J$ ist:

$$\nu_0 = \frac{\mu_I H_J}{h} \frac{2I+1}{I} \quad (32)$$

Um also aus ν_0 und I das magnetische Kernmoment zu bestimmen, muß H_J berechnet werden.

¹⁾ Darin bedeutet positives bzw. negatives Vorzeichen: \vec{I} und $\vec{\mu}_I$ haben gleiche bzw. entgegengesetzte Richtung.

²⁾ Als bisher sicher beobachtete Wechselwirkungen zwischen Atomkern und Hüllenelektronen sind zu nennen: 1. Coulombsche Anziehung, 2. magnetische Wechselwirkung auf Grund eines vorhandenen magnetischen Kernmomentes, 3. elektrostatische Wechselwirkung auf Grund eines vorhandenen elektrischen Kernquadrupolmomentes. Für die Hfs.-Aufspaltung spielt natürlich die Coulombsche Anziehung keine Rolle. Falls ein Kernquadrupolmoment gemessen wird, läßt sich die dadurch bedingte meist sehr geringe Kopplungsenergie berechnen und in Abzug bringen. Speziell im Falle eines $^2S_{1/2}$ -Terms, der kugelsymmetrische Ladungsverteilung besitzt, ist eine solche Kopplungsenergie nicht vorhanden.

Für den Grundzustand des H^1 - und des H^2 -Atoms läßt sich dies quantenmechanisch exakt ausführen. Die Ungenauigkeiten, die bei den so festgelegten Werten von μ_p und μ_D auftreten, kommen vollkommen auf die Fehler in der ν_0 -Messung, die am H -Atom bisher weniger genau ist als an den Alkalien ($\approx 5\%$). Die Berechnung der übrigen H_J - und damit der μ_I -Werte hat approximativen Charakter und dürfte trotz zum Teil sehr genauer Bestimmung der Hfs.-Aufspaltung ($\leq 1\%$) mit Fehlern bis zu 10% behaftet sein. Auf die Vorzeichenbestimmung von μ_I kann im Rahmen dieses Aufsatzes nicht eingegangen werden.

Der Vergleich von Spalte 2 und 4 zeigt die erfreuliche Tatsache, daß das an sich heikle Problem der magnetischen Wechselwirkung der Elektronenhülle mit dem Kern von der Theorie heute bereits recht gut beherrscht wird, und daß umgekehrt aus der erstaunlich guten Übereinstimmung der direkt gemessenen mit den auf dem Umweg über die Hfs.-Aufspaltungsfrequenz berechneten Werten von μ_I die Annahme nachträglich gerechtfertigt wird, daß die Kopplung zwischen Kern und Atomhülle, soweit sie zur Hfs. beiträgt, in der Hauptsache magnetischer Natur ist.

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich der Spalten 5 und 6, in denen die bisher untersuchten Verhältnisse der magnetischen Momente μ_{I_1}/μ_{I_2} von Isotopen, die zum gleichen Element gehören, einmal direkt gemessen, das andere Mal aus dem Verhältnis der ν_0 -Werte berechnet sind. Nach (32) folgt für $\nu_{0,1}/\nu_{0,2}$ zweier Isotope:

$$\frac{\nu_{0,1}}{\nu_{0,2}} = \frac{\mu_{I_1}}{\mu_{I_2}} \cdot \frac{2I_1 + 1}{2I_2 + 1} \cdot \frac{I_1}{I_2}, \quad (33)$$

da das Magnetfeld H_J der Elektronenhülle für beide Isotope das gleiche ist und sich heraushebt. Das hieraus ermittelte μ_{I_1}/μ_{I_2} enthält also nur die Fehler der Frequenzbestimmung. Die Übereinstimmung der Werte von Spalte 5 und 6 ist ausgezeichnet und liegt innerhalb der recht kleinen Fehler.

Wenn also der Vergleich von Spalte 2 und 4 noch einen Spielraum für weitere Kräfte zwischen Kern und Hüllenelektronen im Betrag von etwa 10% offenläßt, so wird, da auch die Formel (33) auf der Annahme rein magnetischer Kopplung zwischen Kern und Atomhülle beruht, durch die gute Übereinstimmung zwischen den Werten von Spalte 4 und 5 sichergestellt, daß außer elektrostatischen und magnetischen Kräften keine anderen zwischen Elektronen und dem Kern wirksamen Kräfte, die sich in der Hfs. bemerkbar machen können, in meßbarem Betrag vorhanden sind.

Man hat in letzterer Zeit des öfteren die Frage erörtert, ob neben elektrostatischen und magnetischen Kräften auch solche von der Art typischer Kernkräfte zwischen Elektronen und Kernteilchen in meßbarer Größe existieren¹⁾. Diese Frage wird

¹⁾ S. z. B. L. A. YOUNG, Physic. Rev. 52, 138 (1937).

auf Grund der vorliegenden Diskussion verneint, soweit es sich um *spinabhängige* Kräfte handelt, die sicher, wenn sie auftreten, weniger als 1% der magnetischen Kräfte betragen. Über *spinunabhängige* Extrakräfte wird damit natürlich nichts ausgesagt, da diese, falls vorhanden, das Hfs.-Termmultipllett des Elektronenterms als Ganzes verschieben, was der Beobachtung, wie sie in diesen Versuchen gemacht wird, unzugänglich ist¹⁾.

Auch die Übereinstimmung zwischen dem direkt gemessenen Protonenmoment und dem μ_p -Wert, der aus der Hfs.-Aufspaltung des H^1 -Grundzustandes berechnet ist (Tabelle 6), zeigt bei Berücksichtigung der Fehlergrenzen, daß für eine merkliche spinabhängige Extrakraft zwischen dem Proton und seinem Leuchtelektron im H -Atom kein Platz mehr vorhanden ist. Warum der von STERN und Mitarbeitern²⁾ angegebene Betrag des magnetischen Protonenmomentes ($\mu_p = 2,45$ K.M.) so stark von den hier angegebenen Werten abweicht, läßt sich zur Zeit nicht sagen. Die Einfachheit der magnetischen Resonanzmethode spricht in jeder Beziehung für die Zuverlässigkeit des Betrages $\mu_p = 2,78$ K.M.

Schließlich verdienen die direkt gemessenen magnetischen Momente von Proton, Deuteron und Neutron einer näheren Betrachtung unterzogen zu werden. Wenn die in (15) und (30) angegebenen Beträge dieser 3 Größen bereits endgültig sind, so erfüllen sie unter Berücksichtigung des negativen Vorzeichens von μ_N — rein empirisch — mit einer Genauigkeit von etwa 1% die Beziehung:

$$\mu_D = \mu_p + \mu_N. \quad (34)$$

Diese Relation wird auf Grund der einfachen Theorie des Deuterons erwartet. Im Grundzustand des Deuterons ist, wie Streuveruche von Neutronen an Protonen zeigen, kein Bahndrehimpuls der beiden Kernteilchen vorhanden, so daß der beobachtete Kernspin $I = 1$ durch Parallelstehen der Eigendrehimpulse von Proton und Neutron zustande kommt. In der Sprache der Spektroskopie ausgedrückt, hat man es also beim Deuteronengrundzustand mit einem 3S_1 -Term zu tun. Da das magnetische Neutronenmoment, wie eingehende Versuche gezeigt haben, negatives Vorzeichen besitzt³⁾, d. h. da bei ihm mechanisches und magnetisches Moment antiparallel stehen, beim Protonenmoment dagegen positives Vorzeichen sichergestellt worden ist, so resultiert in der Tat aus dem Parallelstehen der Eigendrehimpulse der beiden Bausteine das Antiparallelstehen ihrer magnetischen Momente, wie es durch (34) ausgedrückt wird.

Die Existenz eines — wenn auch sehr kleinen — Quadrupolmoments des Deuterons q_D , d. h. einer Abweichung seiner Ladungsverteilung von der

¹⁾ Kräfte dieser Art sollten für den Isotopieverschiebungseffekt eine Rolle spielen.

²⁾ I. ESTERMANN, O. SIMPSON u. O. STERN, Physic. Rev. 52, 535 (1937).

³⁾ D. POWERS, O. FRISCH, v. HALBAN u. J. KOCH, l. c.

Kugelsymmetrie¹⁾, ist mit einem *S*-Term, der ja stets kugelsymmetrisch sein muß, nicht vereinbar. Man ist daher gezwungen anzunehmen, daß der Grundzustand des Deuterons mit einem der möglichen höheren Deuteronenterme gemischt ist. In Frage kommt auf Grund der Theorie der angeregten Deuteronenzustände ein ³*D*₁-Term, dessen Mitwirkung am Grundzustand eine solche Ladungsunsymmetrie erzeugen kann. Damit kann die Additivität der magnetischen Momente von Proton und Neutron im Deuteronengrundzustand, wie sie durch (34) ausgedrückt wird, nicht mehr streng gelten, so daß zwischen den Werten von μ_P , μ_N , μ_D und q_D eine feste Beziehung bestehen muß. Es wird Sache einer exakten Theorie des Deuterons sein festzustellen, wie die vier gemessenen Größen miteinander in Einklang zu bringen sind.

Andererseits dürften auch die Werte von μ_P und μ_N nicht unabhängig voneinander sein, was sich ergibt, wenn man die — sich doch sehr aufdrängende — Frage beantworten will, warum das Neutron als elektrisch neutrales Teilchen überhaupt ein magnetisches Eigenmoment besitzt. Die Deutung des magnetischen Neutronenmomentes, die heute versucht wird, ist eng mit der Theorie des β -Zerfalls gekoppelt²⁾. Nach dieser Theorie wird ein Proton oder ein Neutron nicht in dem Sinne als Elementarteilchen angesehen wie das Elektron oder das Positron. Es wird vielmehr, um in Einklang mit der Erfahrung zu kommen, ge-

fordert, daß ein Neutron unter Emission eines Elektrons in ein Proton und ein Proton unter Emission eines Positrons in ein Neutron übergehen kann¹⁾. Man sollte daher zwar meist ein Neutron als Neutron, in seltenen Fällen aber statt dessen auch in ein Proton und ein Elektron aufgespalten vorfinden. In diesem „dissoziierten“ Zustand kann das Neutron vermöge des magnetischen Momentes des Elektrons mit dem Magnetfeld der Hüllenelektronen in Wechselwirkung treten. Diese Wechselwirkung ist proportional dem magnetischen Elektronenmoment und der Wahrscheinlichkeit, das Neutron im aufgespaltenen Zustand zu finden. Auf diese Weise würde auch das negative Vorzeichen des magnetischen Neutronenmomentes, das einer negativen Ladung entspricht, verständlich werden. Analog müßte auch ein Beitrag des magnetischen Positronenmomentes zum magnetischen Protonenmoment, das im un-aufgespaltenen Zustand 1 K.M. haben sollte, gefordert werden; und da die magnetischen Momente beider leichten Teilchen ihrem Betrage nach gleich groß, ihrem Vorzeichen nach aber verschieden sind, so sollte nach dieser Vorstellung das Protonenmoment so viel *über* 1 K.M. liegen, als das Neutronenmoment *unter Null* liegt. Diese Bedingung wird von den experimentell gefundenen Werten zwar einigermaßen (+ 2,8 gegen -1,9), aber nicht exakt erfüllt²⁾.

¹⁾ Und zwar, wie die genaue Untersuchung zeigt, in dem Sinne, daß eine Verlängerung der Kerngestalt in Richtung der Kernspinachse auftritt.

²⁾ W. Wick, Atti R. Accad. naz. Lincei, Rend. 21, 170 (1935).

¹⁾ Die dabei notwendige Emission eines Neutrinos wird hier als für die vorliegende Betrachtung unwesentlich unterschlagen.

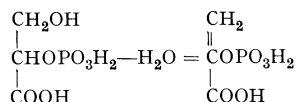
²⁾ Auch die Yukawasche Theorie des Neutronenmomentes, die an die Stelle des leichten Elektrons das Mesotron setzt, ändert nichts Wesentliches an dieser Vorstellung.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Isolierung und Kristallisation des Gärungsferments Enolase.

Von den Fermenten, durch deren Zusammenwirken die alkoholische Gärung der Hefe entsteht, waren bisher zwei isoliert und kristallisiert worden: das reduzierende Gärungsferment (1937) und das oxydierende Gärungsferment (1939). Wir haben nunmehr ein drittes Ferment der Hefegärung isoliert und kristallisiert, die von LOHMANN und MEYERHOF 1934 entdeckte Enolase, deren Funktion bei der Gärung es ist, die 2-Phosphoglycerinsäure, durch Entziehung von Wasser, in Phosphobrenztraubensäure zu verwandeln:



Wesentlich für den Erfolg dieser Arbeit war ein optischer „Schnell-Test“ auf Enolase. Phosphobrenztraubensäure absorbiert, weil sie eine Enolverbindung ist, die ultraviolette Wellenlänge 240 $m\mu$, während Phosphoglycerinsäure für 240 $m\mu$ durchlässig ist. Wirkt also die Enolase, so tritt eine Absorption bei 240 $m\mu$ auf, und die Geschwindigkeit, mit der diese Absorption zunimmt, ist ein genaues Maß für den Enolasegehalt von Lösungen.

Schon nach den ersten Reinigungsschritten zeigte es sich, daß die Enolase kein einfaches Protein, sondern ein aus Protein und Metallsalz zusammengesetztes Protein ist. Das



Fig. 1. Quecksilbersalz der Enolase.

von Metallsalzen befreite Protein ist also katalytisch unwirksam; es wird erst zum Ferment durch Verbindung mit Salzen des Zinks oder des Mangans oder des Magnesiums. Liegt ein Ferment-Präparat vor, von dem man nicht weiß, mit welchem der drei Metalle das Protein verbunden ist, so kann man durch Hemmungsversuche eine Entscheidung treffen. Zink-Enolase, aber nicht Mangan- oder Magnesium-Enolase, wird durch Blausäure gehemmt. Magnesium-Enolase ist unter sonst gleichen Bedingungen gegen Fluorid viel empfindlicher als Mangan-Enolase. Die im Leben wirksame Enolase ist wahrscheinlich, wie man aus derartigen Hemmungsversuchen schließen kann, Magnesium-Enolase. Mit Magnesium ist das Protein der Enolase zur Hälfte gesättigt, wenn die Magnesiumkonzentration in der Lösung (20° , $p_H = 7.4$)

$$4 \cdot 10^{-4} \text{ Mole/Liter}$$

beträgt.

Während es uns nicht gelang, das freie Fermentprotein oder seine Magnesiumverbindung zu kristallisieren, haben wir gefunden, daß das Mercurisalz der Enolase leicht und schön kristallisiert (vgl. Figur).

Das Quecksilbersalz ist katalytisch nicht wirksam, auch nicht bei Zusatz von Magnesiumsalzen, durch die man also das Quecksilber von dem Protein nicht verdrängen kann. Dagegen gelingt die Entfernung des Quecksilbers vollständig und ohne Schädigung des Proteins durch Dialyse gegen Blausäure. So erhält man das reine freie Fermentprotein, das, mit Magnesiumsalz gesättigt, pro Molekül und Minute umsetzt ($p_H = 7.4$):

Bei 20° 10 000 Moleküle Substrat.

Bei 38° 30000 Moleküle Substrat.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie, den 19. August 1941.

OTTO WARBURG. WALTER CHRISTIAN.

Chemischer Mechanismus der Fluorid-Hemmung der Gärung.

Die spezifische reversible Hemmung der Gärung durch Fluorid — von der seit der Arbeit EFFRONT'S vom Jahre 1890 Technik und Wissenschaft vielfachen Gebrauch gemacht haben — beruht nach LOHMANN und MEYERHOF auf der Hemmung des Ferments Enolase durch Fluorid; denn von den fluorid-empfindlichen Gärungsfermenten ist die Enolase das empfindlichste. Der chemische Mechanismus dieser Hemmung ist bisher unklar gewesen. Eine Beobachtung von MEYERHOF und SCHULZ (1938), daß „bei Abwesenheit von Phosphat die Fluoridhemmung der Enolase sehr abgeschwächt ist“, scheint nicht näher verfolgt worden zu sein.

Wir haben für die chemisch reine Magnesium-Enolase und mit Hilfe des optischen Enolase-Tests die Fluoridhemmung quantitativ untersucht. Es zeigte sich dabei, daß die Fluoridhemmung von 3 Substanzen bestimmt wird: Fluorid, Magnesiumsalz und Phosphat. Hielten wir die Magnesiumkonzentration konstant und variierten Fluorid und Phosphat, so fanden wir den Ausdruck:

$$c_{\text{Phosphat}} \cdot \frac{c_{\text{Fluorid}}^2}{\text{Wirkungs-Hemmung}} = K_{(\text{onstant})} \cdot (1)$$

Hielten wir die Phosphatkonzentration konstant und variierten Fluorid und Magnesiumsalz, so fanden wir den Ausdruck:

$$c_{\text{Magnesiumsalz}} \cdot \frac{c_{\text{Fluorid}}^2}{\text{Wirkungs-Hemmung}} = k_{(\text{onstant})} \cdot (2)$$

Für ein $c_{\text{Magnesium}} = 2,7 \cdot 10^{-3}$ Mole/Liter war bei neutraler Reaktion $K = 10^{-9}$. Für $c_{\text{Fluorid}} = 0,1$ Mole/Liter betrug also nach Gleichung (1) die Phosphatkonzentration halber Hemmung (Wirkungsrest = Wirkungshemmung) 10^{-7} Mole/Liter. Da es schwer ist, so kleine Phosphatkonzentrationen ($0,00317$ Phosphor pro ccm) in den Versuchslösungen zu bestimmen, so ließ sich Gleichung (1) für große Fluoridkonzentrationen nicht experimentell prüfen. Für Fluoridkonzentrationen aber von $1/20000$ bis $1/100$ normal sind die Gleichungen (1) und (2) geprüft und gültig gefunden worden, woraus für den genannten Konzentrationsbereich folgt:

1. daß die bei der Fluoridhemmung wirksame Substanz ein komplexes Magnesium-Fluoro-Phosphat ist,
2. daß das Magnesium-Fluoro-Phosphat die Fermentwirkung hemmt, indem es sich, proportional seiner Kon-

zentration, mit dem Fermentprotein dissoziierend verbindet. Denn die Gleichungen (1) und (2) kann man auch in der Form schreiben:

$$\frac{c_{\text{Magnesium-Fluoro-Phosphat}} \cdot c_{\text{freies Protein}}}{c_{\text{Verbindung}}} = k'$$

Da freies Magnesiumsalz, wenn es sich mit dem Fermentprotein verbindet, die Enolasewirkung *erzeugt*, und da Magnesium-Fluoro-Phosphat, wenn es sich mit dem Fermentprotein verbindet, die Enolasewirkung *hemmt*, so beruht offenbar die spezifische reversible Fluoridhemmung auf der Verdrängung des wirksamen Magnesiumsalzes durch das komplexe Magnesium-Fluoro-Phosphat von dem Protein.

Auch die Zink-Enolase und die Mangan-Enolase werden durch Fluorid gehemmt, unter sonst gleichen Bedingungen jedoch erst durch erheblich größere Konzentrationen an Fluorid, als die Magnesium-Enolase. Diese Hemmungen haben wir nicht näher untersucht.

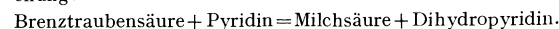
Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie, den 19. August 1941.

OTTO WARBURG. WALTER CHRISTIAN.

Isolierung und Kristallisation eines Gärungsferments aus Tumoren.

Als 1937 zum erstenmal ein Gärungsferment isoliert und kristallisiert wurde, waren die für einen Arbeitsgang notwendigen Mengen an Ausgangsmaterial etwa 30 Kilo (Trockenhefe). Seitdem sind die Methoden der Fermentisolierung so verbessert worden, daß viel kleinere Mengen Ausgangsmaterial genügen. So erschien die Isolierung eines Gärungsferments aus Tumoren nicht mehr aussichtslos.

Aus 1000 Jensen-Sarkomen von Ratten erhielten wir etwa 1000 g (entsprechend 200 g Trockensubstanz) einwandfreie nicht nekrotische Tumorzellen, deren einzige histologische Verunreinigung eine kleine Menge Bindegewebe war. Auf Vorschlag von Herrn OTTO WARBURG haben wir versucht, daraus dasjenige Gärungsferment zu isolieren, das den letzten Schritt der Tumorgärung bewirkt, die Reduktion der Brenztraubensäure zu Milchsäure nach der Gleichung:



Es ist uns gelungen, das Ferment, mit einer Ausbeute von 20 mg aus 100 g Trockensubstanz, zu isolieren und nach der neuen Methode von WARBURG und CHRISTIAN als Quecksilbersalz zu kristallisieren. Die Kristalle sind doppelbrechende Nadeln, die in Häufchen zusammenliegen. Die Photographien 1 und 2 zeigen das Bild dieser Häufungen im Polarisationsmikroskop zwischen gekreuzten NICOLSchen Prismen.

Das Quecksilbersalz des Ferments ist katalytisch unwirksam. Entfernt man aber das Quecksilber durch Dialyse

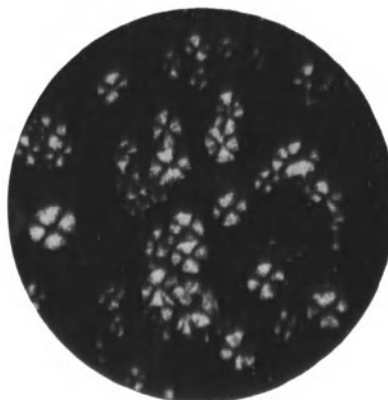


Fig. 1. Quecksilbersalz des Gärungsferments aus Tumoren, 33fach vergrößert.

gegen Blausäure, so erhält man das reine aktive Fermentprotein, von dem 1 Molekül bei 38° pro Minute 80000 Moleküle

Brenztraubensäure nach obiger Gleichung zu Milchsäure umsetzt.

Um das Tumorferment mit einem „normalen“ Ferment vergleichen zu können, haben wir aus Muskeln von Ratten

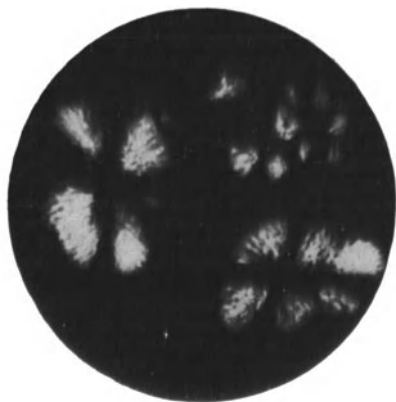


Fig. 2. Quecksilbersalz des Gärungsferments aus Tumoren, 19fach vergrößert.

derselben Zucht das Ferment isoliert und *kristallisiert*, das im arbeitenden Muskel Brenztraubensäure nach obiger Gleichung zu Milchsäure reduziert.

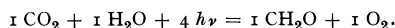
So haben wir nunmehr zwei reine Rattenfermente gleicher chemischer Wirkung, aber verschiedenen histologischen Ursprungs und verschiedener physiologischer Funktion in Händen: das Tumorferment, das dem anaeroben Leben der Tumorzelle dient, und das Muskelferment, das der Arbeitsleistung der Muskelfaser dient; und die wichtige Frage, ob diese beiden Fermente chemisch gleich oder ungleich zusammengesetzt sind, kann entschieden werden.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie, den 19. August 1941.

FRITZ KUBOWITZ. PAUL OTT.

Versuche zum Quanten-Problem der Kohlensäure-Assimilation.

Nach früheren Versuchen werden bei der Assimilation der Kohlensäure in grünen Pflanzenzellen 4 Lichtquanten absorbiert, wenn ein Molekül Kohlensäure gespalten wird:



Wird dabei das Licht von dem Chlorophyll in Beträgen von einem Quantum absorbiert, geschieht also die Spaltung der Kohlensäure in 4 aufeinanderfolgenden Reaktionen, oder wird das Licht in Beträgen von 4 Quanten absorbiert und geschieht die Spaltung der Kohlensäure in einer Reaktion?

Wir haben auf Vorschlag von Herrn OTTO WARBURG versucht, zur Klärung dieses Quantenproblems das photochemische Verhalten des Kohlenoxyd-Hämoglobins heranzuziehen, einer Verbindung, die im Licht in Kohlenoxyd und Hämoglobin gespalten wird.

In dem Hämoglobin, dessen lichtabsorbierender Bestandteil ein näher chemischer Verwandter des Chlorophylls ist, sind 4 Häminkerne von gleicher chemischer Zusammensetzung, also auch von gleichem Lichtabsorptionsvermögen, zu einem 4kernigen Molekül vereinigt. Die Frage war, ob aus dem 4kernigen Kohlenoxyd-Hämoglobin ein Molekül Kohlenoxyd durch ein Lichtquantum oder ein Molekül Kohlenoxyd durch 4 Lichtquanten abgespalten wird. Vom energetischen Standpunkt aus würde ein Lichtquantum ausreichen, da die Abspaltung eines Mols Kohlenoxyd etwa 15000 cal erfordert, die Energie eines Mols Quanten der wirksamen Strahlung aber rund 50000 cal beträgt.

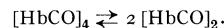
Zur Prüfung unserer Frage wurden optisch sehr dünne Schichten von Kohlenoxyd-Hämoglobin, nach Sättigung mit Gemischen von Kohlenoxyd und Sauerstoff, mit der grünen Quecksilberlinie 546 m μ bestrahlt, einer Wellenlänge, die nur von dem Häminteil, nicht aber von dem Eiweißteil des Hämoglobins absorbiert wird. Die absorbierte Lichtenergie

wurde bolometrisch, die Abspaltung des Kohlenoxyds wurde spektralphotometrisch gemessen.

Wir fanden für Pferde-Hämoglobin bei 4°:

pH	Lichtquanten, von Kohlenoxyd-Hämoglobin absorbiert Moleküle Kohlenoxyd, abgespalten
9,1	4,0
9,1	4,4
8,1	3,7
7,6	3,3

Nach Versuchen von ANDERSSON aus dem Institut von SVEDBERG dissoziiert das 4kernige Hämoglobin in starken Salzlösungen, bei neutraler Reaktion, in 2kerniges Hämoglobin:



Wir fanden für Pferde-Hämoglobin in 2,6 normaler Natriumchloridlösung bei 4°:

pH	Lichtquanten, von Kohlenoxyd-Hämoglobin absorbiert Moleküle Kohlenoxyd, abgespalten
9,0	2,8
8,2	2,6
7,6	2,2

Den lichtabsorbierenden Bestandteil des Hämoglobins in einkernigem Zustand erhält man, wenn man das Häm in von dem Eiweiß des Hämoglobins abtrennt. Wir fanden für Kohlenoxyd-Häm, gelöst in wäßrigem Pyridin, bei 4°:

pH	Lichtquanten, von Kohlenoxyd-Häm absorbiert Moleküle Kohlenoxyd, abgespalten
10,3	1,06
10,3	1,02

Für jede der drei geprüften Substanzen waren die photochemischen Ausbeuten unabhängig von der Intensität des spaltenden Lichtes, also unabhängig von dem photochemischen Dissoziationsgrad. Für die Deutung der Ergebnisse liegt hierin zunächst eine gewisse Schwierigkeit. Nimmt man aber an, daß z. B. bei halber photochemischer Dissoziation des 4kernigen Kohlenoxyd-Hämoglobins im photochemischen Gleichgewicht die Hälfte der Moleküle 4 Moleküle Kohlenoxyd und die Hälfte der Moleküle gar kein Kohlenoxyd enthält, so könnte man unsere Ergebnisse so deuten, daß

1. die Absorption des Lichtes in einer einkernigen Häm-inverbindung im Betrag von einem Quantum, in einer n-kernigen Häm-inverbindung aber im Betrag von n Quanten erfolgt,

2. daß n-quantige Lichtabsorption in einem Molekül nicht n photochemische Reaktionen, sondern nur eine photochemische Reaktion hervorruft. Denn $[\text{HbCO}]_4$ spaltet, wenn es 4 Quanten absorbiert, nicht 4 Moleküle, sondern nur ein Molekül Kohlenoxyd ab.

Die Anwendung auf das Quantenproblem der Kohlensäureassimilation wäre einleuchtend. Doch muß vorher untersucht werden, ob das „Chloroplastin“ in den grünen Pflanzenzellen als 4kernige Chlorophyllverbindung vorliegt.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie, den 19. August 1941.

THEODOR BÜCHER. ERWIN NEGELEIN.

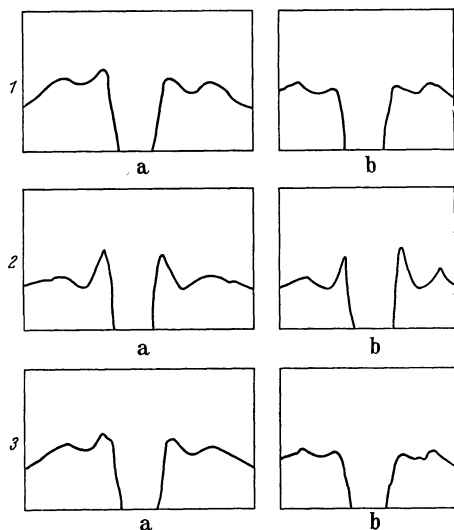
Strukturuntersuchungen an Faserkeratinen. Über die Einlagerung von Schwermetallverbindungen insbesondere der Phosphor-12-Wolframsäure in Wolle.

Im Rahmen unserer Arbeiten¹⁾, bei denen die Veränderungen im Feinbau von Keratinfasern, insbesondere der Wolle, bei chemischen Abbauprozessen bzw. bei verschiedenen Einlagerungen in die Fasern untersucht wurden, haben wir auch Einlagerungen von kolloiddispersen Verbindungen, insbesondere solcher, welche Atome mit hohem Streuvermögen enthalten, studiert.

Wenn man Faserkeratine wie Wolle, Roßhaare oder Stachelschweinkel mit wäßrigen Lösungen von Phosphorwolframsäure in der Hitze behandelt, so findet man im Röntgenogramm charakteristische Veränderungen. Trotz einer Beladung von bis zu etwa 20% $\text{HPO}_3 \cdot 12 \text{ WO}_3$ treten

die Linien der Heteropolysäure selbst *nicht* auf. Neben einer allgemeinen Verstärkung der Untergrundschwärzung entsteht vielmehr eine sehr stark ausgeprägte, isotrope, diffuse Streuung, die sich gegen den Durchstoßpunkt eng an den Reflex für den Seitenkettenabstand von 9,8 Å nach kleineren θ -Werten hin anschließt. Es scheint, daß es sich hierbei um eine der FRESNELSchen Beugung entsprechende, von GUINIER²⁾ näher behandelte Streuung der eingelagerten, feinstdispersen Teilchen handelt. Es ist möglich, daß auch die Streuung, herrührend von der Beugung an ganzen Micellen und einzelnen Peptidrostern durch die An- und Einlagerung der Schwermetallverbindungen wesentlich verstärkt wird und einen Teil der entstehenden Schwärzung verursacht. Hier wird ein näheres Studium insbesondere der Kleinwinkelstreuung im Sinne der Arbeiten von KRATKY³⁾ weiterführen.

Die Linien des α - sowie des β -Keratins selbst erfahren nach ihrer *Lage keine Veränderung*, verlieren aber an Definiertheit, vor allem wegen der Absorption dieser Interferenzen durch die eingelagerten Schwermetallverbindungen. Bei stärkerer Beladung scheint die Seitenketteninterferenz zu verschwinden; genaue Vermessungen der Röntgenogramme an Photometerkurven zeigten indessen, daß diese Interferenz nur *überlagert* wird von der diffusen Streuung,



Die Einlagerung von Phosphorwolframsäure in Keratin. Photometerkurven von Röntgenogrammen im Äquator (a) und Meridian (b).

Fig. 1. Wolle unbehandelt.

Fig. 2. Wolle mit 14,12 % $\text{HPO}_3 \cdot 12 \text{WO}_3$.

Fig. 3. Dasselbe Präparat nach NaOH-Behandlung.

welche von einem 10 Å entsprechenden θ -Wert nach dem Durchstoßpunkt stark ansteigt. Ebenso ergibt sich aus den Photometerkurven, daß eine scheinbare Verschiebung der Seitenketteninterferenz nach kleineren θ -Werten wiederum nur durch die Überlagerung der *unveränderten* Seitenketteninterferenz mit der diffusen Streuung zustande kommt. Aus diesen und anderen Befunden dürfte hervorgehen, daß die Einlagerung der Phosphorwolframsäure nicht im micellaren sondern praktisch ausschließlich im mehr oder weniger ungeordneten Anteil des Keratins stattfindet.

Die Veränderungen im Röntgenogramm lassen sich kinetisch an den Photometerkurven verfolgen und sind bereits bei Einlagerungen von etwa 1 % $\text{HPO}_3 \cdot 12 \text{WO}_3$ merklich.

Mit Natronlauge vom $p_{\text{H}} = 11,0$ läßt sich die Phosphorwolframsäure in der Kälte quantitativ entfernen, ein Vorgang, der im Sinne der eingehenden Arbeiten von JANDER⁴⁾ verständlich ist. Das Diagramm des α -Keratins wird dabei in allen Parametern wiederhergestellt, wie aus den Fig. 1—3 zu ersehen ist.

Versuche mit anderen Faserstoffen, Seide, Kollagen, Lanitalfaser, Ramie sowie Kunstseiden auf Cellulosehydratbasis zeigten, daß die Eiweißfasern beträchtliche Mengen an Phosphorwolframsäure aus den wäßrigen Lösungen bei einem p_{H} -Wert von etwa 2,0 aufnehmen, während die Cellulosefasern sich nur wenig beladen⁵⁾. Die Aminogruppen der Eiweißkörper scheinen bei den Vorgängen, die zur Einlagerung führen, eine gewisse Rolle zu spielen.

Diese Veränderungen im Röntgenogramm lassen sich außer mit der Phosphor-12-Wolframsäure auch mit anderen Heteropolysäuren sowie anderen Metallen und Metallverbindungen erreichen, wobei wiederum die ursprünglichen Diagramme nach schonendem Herauslösen der eingelagerten Verbindungen wiederhergestellt werden.

Die erhaltenen Diagramme haben große Ähnlichkeit mit denen gegerbter tierischer Häute, wie solche zuletzt u. a. von ASTBURY⁶⁾ untersucht wurden. In Bestätigung der Befunde von KUNTZEL⁷⁾ zeigte es sich, daß Phosphorwolframsäure die Schrumpfungstemperatur der Blöße heraufzusetzen vermag.

Die Versuche werden fortgesetzt. Ein ausführlicher Bericht soll a. a. O. gegeben werden.

Heidelberg, Laboratorium für Textil- und Gerbereichemie der Technischen Hochschule Karlsruhe, August 1941.
H. ZAHN.

¹⁾ E. ELÓD, H. NOWOTNY u. H. ZAHN, Kolloid-Z. 93, 50 (1940).

²⁾ A. GUINIER, Theses Ser. A Nr. 1854 (1939), Nr. d'Ordre 2721.

³⁾ O. KRATKY, Z. phys. Chem. B 39, 145 (1938) — Naturwiss. 26, 94 (1938).

⁴⁾ Vgl. etwa G. JANDER u. H. WITZMANN, Z. anorg. Chem. 214, 275 (1933).

⁵⁾ Die Versuche wurden im allgemeinen bei 85° durchgeführt. Beim Kollagen behandelte man Blöße bei Zimmertemperatur 3 Tage.

⁶⁾ W. T. ASTBURY, J. int. Soc. Leath. Trad. Chem. 24, 69 (1940).

⁷⁾ A. KUNTZEL u. H. ERDMANN, Collegium 1938. 630, 639.

Besprechung.

ESCHERICH, K., **Die Forstinsekten Mitteleuropas.**

Ein Lehr- und Handbuch. V. Band: Hymenoptera (Hautflügler) und Diptera (Zweiflügler). 1. Lieferung. S. 1—208. Berlin: Paul Parey 1940. 208 S. Mit 198 Abbild. und 3 Farbdrucktafeln. 17,5 cm \times 25,5 cm. Preis geb. RM 20.60.

Von dem wohlbekannten ESCHERICHschen Lehr- und Handbuch liegt vom 5. Band die langerwartete 1. Lieferung vor, welche von den Hymenoptera die Gespinstblattwespen (Lydidae) und die Buschhornblattwespen (Lophyrinae) eingehend behandelt. Nach jahrelanger Arbeit, in der es galt, einen ungeheuren Stoff zu bewältigen, ist dieses Werk entstanden. Da die Hymenopteren in der Biocönose des Waldes eine

beträchtliche Rolle spielen, so hat der Verfasser die Darstellung auf breiter Grundlage angelegt. Es handelt sich also nicht nur um eine einfache Beschreibung der in Betracht kommenden Formen, sondern um eine geistige, von hoher Warte aus gesehene Zusammenfassung alles dessen, was zu einer zeitgemäßen Forstentomologie gehört. Eine stattliche Reihe vorzüglicher Abbildungen und 3 Farbdrucktafeln erläutern den Text. Es ist zu hoffen und zu wünschen, daß die restlichen Lieferungen bald erscheinen. Eine zusammenfassende Würdigung des Werkes wird nach vollständigem Erscheinen an dieser Stelle gegeben werden.

ALBRECHT HASE, Berlin-Dahlem.

Hans Stilles wissenschaftliches Werk.

Zu seinem 65. Geburtstage am 8. Oktober 1941.

VON FRANZ LOTZE, Wien.

Heute, an seinem 65. Geburtstage, zeigt sich die wissenschaftliche Persönlichkeit STILLES auf der Höhe ihrer Vollendung in solch scharfer Prägung, daß es zu ihrer Charakterisierung kaum der Worte bedarf. Dieser Geotektoniker, dessen Blick räumlich-vergleichend die ganze Erde umspannt und zeitlich-analysierend in die Tiefen der Erdgeschichte eindringt, schenkt uns zu seinem Geburtstag — statt sich beschenken zu lassen — ein großes Werk über den tektonischen Werdegang der Gebirge Amerikas, das nicht nur hinsichtlich des Tatsachengehalts die Krönung seiner bisherigen wissenschaftlichen Arbeit ist, sondern auch seine, die „STILLESche“ Methode der tektonischen Analyse und Synthese in vollendeter Form zeigt¹⁾.

Zu diesem Werk hin führt eine Entwicklung von überraschender Konsequenz und Sicherheit.

Diese Entwicklung beginnt in STILLES niedersächsischer Heimat, mit der sie lange verknüpft bleibt. Der *Schüler* sammelt hier Versteinerungen in den Steinbrüchen der Umgebung seiner Vaterstadt Hannover. Der *Student* lernt in Göttingen unter v. KOENEN Erdgeschichte sowie die Methoden der geologischen Kartenaufnahme und wird auf Exkursionen mit den Verhältnissen insbesondere des mitteldeutschen Berglandes bekannt. Der *Doktorand* arbeitet im Rahmen der durch v. KOENEN verfolgten regionalen tektonisch-geologischen Untersuchungen noch einfach beschreibend über den Gebirgsbau des Teutoburger Waldes zwischen Altenbeken und Detmold, wobei die Verhältnisse — offenbar unter dem starken Einfluß v. KOENENS, der die Gebirgsbildung

des hannoversch-westfälischen Berglandes ausschließlich ins Jungtertiär verlegte — noch falsch gedeutet werden.

Aber bereits diese Doktorarbeit wird entscheidend für die weitere Entwicklung: sie verknüpft STILLES geologisches Interesse mit dem Gebirgssystem des Teutoburger Waldes und hat zur natürlichen Folge, daß dem

zur damaligen Königlich-Preußischen Geologischen Landesanstalt nach Berlin berufenen *Geologen* als Aufnahmegebiet der südliche Teutoburger Wald bzw. das Eggegebirge zugewiesen wird (1900). Hier reifen dann im Laufe der nächsten Jahre Erkenntnisse heran, die alsbald aus dem engen Rahmen der Heimatgeologie weit hinausführen.

Es ist zunächst die Erkenntnis, daß sich die tektonischen Umgestaltungen dieser Gebiete in zwei verschiedenen Epochen, einer vor- und einer nachkretazischen, ereignet haben (1901, 1902), und die weitere Erkenntnis, daß sich diese verschiedenartigen Gebirgsbildungen auch *räumlich* verschieden verteilen (1905), daß sich der Hauptschauplatz der jüngeren Gebirgsbildung gegenüber der älteren nach Norden verlagert („Wandern der Gebirgsbildung“). Als auch im

Deister tektonische Vorgänge von allerdings geringerer Intensität in annähernd der gleichen geologischen Zeit wie am Teutoburger Wald nachgewiesen werden, beginnt STILLE das Allgemein-Gesetzliche der zunächst nur örtlich festgestellten Erkenntnisse zu ahnen.

Die Berufung STILLES nach Hannover (1908) wird Anlaß, sich mit den Verhältnissen im deutschen Salzgebirge des Zechsteins zu befassen (Untersuchungen bei Benthe und in andern norddeutschen Salzstöcken, über die Verteilung der



A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Stille', written in a cursive style.

¹⁾ Vgl. die Besprechung auf S. 607 dieses Heftes.

Salzstöcke in der Lüneburger Heide usw.). Er lernt damit eine gegenüber den Erscheinungen im normalen Deckgebirge ganz andersartige und eigentümliche Form der Gebirgsbildung des hannoverschen Untergrundes kennen. Das Bild belebt sich, neue Einzelfragen entstehen; sie betreffen die tektonischen Formen im Salz selbst (die eigentümlichen Überfaltungserscheinungen in den hannoverschen Salzstöcken), die Verknüpfung der Formen, die Einpassung der Salzkörper in den tektonischen Rahmen, ihre Verteilung auf Linien („Salzlinien“), die Beziehungen zwischen Salztektunik und „Normaltektunik“, Parallelitäten zum Vulkanismus, den Mechanismus des Salzaufstiegs und seine Ursachen, die STILLE im Gegensatz zur Ekzemtheorie nicht in Eigenkräften des Salzes, sondern in den normalen tektonischen Kräften der Faltung sieht.

Immer mehr beginnt sich aus den Einzelerscheinungen das Gesamtbild der „saxonischen Gebirgsbildung“ (Gesamtheit der alpidischen Orogenesen Mitteldeutschlands) zu formen, die 1910 als „Rahmenfaltung“, als Faltung in einem von stabileren Massen umrahmten Senkungsfeld, begrifflich umschrieben und gedeutet wird. Die möglichst genaue zeitliche Festlegung der Gebirgsbildungsphasen und ihre Fixierung durch Begriffe (als erste 1910, 1913 die „kimmerische“ Gebirgsbildung), das Suchen nach den die Faltung beherrschenden Gesetzen (die Abhängigkeit der Faltungsintensität von dem Ausmaß der voraufgegangenen Bodenabsenkung, die Abhängigkeit der saxonischen Faltenrichtungen von den Konturen der „Rahmen“), wobei die paläogeographischen Verhältnisse vielfach den Schlüssel zum Verständnis liefern müssen, werden vollends nach STILLES Berufung nach Göttingen (1913) zu beherrschenden Problemen. Auch die Mannigfaltigkeit der tektonischen Gebilde Saxonien, die STILLE nicht nur formal, sondern auch genetisch miteinander verknüpft glaubt (1917), und das Auftreten von Zerungsformen darunter widerspricht nach ihm nicht der Deutung der saxonischen Gebirgsbildung als Faltung und damit als ein Prozeß, der unter Hochbewegung vonstatten ging (1913, 1916).

Während die Forschungen in Saxonien, unterstützt durch immer zahlreicher sich einfindende und um ihn sich scharende Schüler, weitergehen — das Interesse daran verläßt STILLE auch nach seiner Berufung nach Berlin (1932) nicht —, hat sich bereits längst sein Blick über Saxonien hinaus zu den tektonischen Erscheinungen der *Gesamterde* zu erheben begonnen. Schon eine Forschungsreise in die südamerikanischen Anden, nach Columbien und Venezuela, hatte STILLE auch außereuropäische Verhältnisse kennen gelehrt (1907), und schon 1909 beginnt er hinsichtlich des in Westfalen zuerst erkannten zonaren Wanderns der Gebirgsbildung Vergleiche mit dem Verhalten der großen Faltengebirge der Erde zu ziehen. Dann aber wird (erstmalig 1910, weiter 1913 in der Leipziger Antrittsrede „Tektonische Evolutionen und Revolu-

tionen der Erdrinde“) das großtektonische Geschehen der Erde selbst zum Forschungsgegenstand.

Aus einem zunächst lokalen und dann regionalen tektonischen Problem war damit eine große allgemeine Frage, das „Zeit-Raum-Problem der Tektonik“ schlechthin, geworden. Für STILLE wird diese Frage zum wissenschaftlichen Lebensproblem, das unter seiner Hand immer größere Bedeutung gewinnt, ihn mehr und mehr zu erfüllen beginnt und zu dem *Geotektoniker* wachsen läßt, der er heute ist. Man kann STILLE dazu beglückwünschen, daß er schon als Dreißigjähriger ein so großes Ziel fand, an dem sich seine Forschung ausrichten konnte, einen Blickpunkt, auf den die Scheinwerfer seines vielseitigen Geistes immer zurückzukehren vermochten.

Grundlegend wird für STILLES tektonische Auffassung die Unterscheidung zwischen den *Epirogenesen* als den langdauernden, weiträumigen und nicht strukturändernden tektonischen Vorgängen und den *Orogenesen* als den strukturändernden, Faltungen, Überschiebungen und Brüche erzeugenden, in relativ scharfbegrenzten, geologisch kurzdauernden Zeiten („orogene Phasen“) sich abwickelnden Prozessen der Gebirgsbildung. Durch die Untersuchungen in Saxonien, durch Reisen in Europa und nach Amerika, insbesondere aber durch fleißigste Literaturstudien wird aus der ganzen Welt das Material zusammengetragen, um den zeitlich-räumlichen Gesetzen des tektonischen Weltgeschehens in allen Einzelheiten nach Zahl und zeitlicher Eingliederung der orogenen Phasen, nach dem Rhythmus der epirogenen Bewegungen, nach der räumlichen Verteilung der Gebirge und den Beziehungen zwischen Geosynklinalen und Faltungen nachzuspüren.

Die aus dem Vergleich des Materials gezogenen Schlüsse legt STILLE 1924 in seinem Buch „Grundfragen der vergleichenden Tektonik“ in scharf gefaßten Thesen („Gesetzen“ und „Regeln“) dar. Die wichtigsten sind:

1. Das *orogene Zeit- und Gleichzeitigkeitsgesetz*: Alle Gebirgsbildung ist an verhältnismäßig wenige, zeitlich engbegrenzte Phasen gebunden und tritt gleichzeitig in den verschiedensten Erdgebieten auf.

2. Der *Satz von der orogenen Hochbewegung*: Alle Gebirgsbildung (auch des Bruchfalten- und Blockgebirges) erfolgt unter Aufwärtsbewegung gegenüber dem Ozeanspiegel.

3. Der *Satz von der Verknüpftheit der orogenen Formen*: In allen orogenen Zeitphasen können sich alle Baustile ausgebildet haben.

4. Der *Satz von der Einheitlichkeit der orogenen Kraft*: Der orogene Druck ist Hauptmotiv aller Orogenese.

5. Die *epirogene Gleichzeitigkeitsregel*: Die epirogenen Bewegungen zeigen in den verschiedensten Erdgebieten erhebliche gleichzeitige Gleichsinnigkeiten.

Im Interesse klarster Prägung der Begriffe (z. B. „Orogenese“ und „Epirogenese“, „Un-

dation“ und „Undulation“) wird in diesem Buch das Licht schärfer auf das Typische geworfen, so daß die Ausnahmen und Übergänge mehr zurücktreten (obgleich sie nicht verschwiegen werden; so „Synorogenese“, „Synepirogenese“). Gesetze und Regeln werden in klare Fassung gebracht und mit schärfster Logik begründet. Dadurch wird das Buch für verschiedene Fachgenossen zum Stein des Anstoßes. Es sind das diejenigen, die (weniger Stratigraphen als STILLE) eine genaue zeitliche Analyse der Erscheinungen für weniger wichtig halten als ein physikalisch-mechanisches Verständnis, oder die über der Mannigfaltigkeit des Erdgeschehens nicht das Gesetzliche und über Zwischenformen und Übergängen nicht das Typische erkennen, oder schließlich diejenigen, die anderer Meinung sind über die letzten Ursachen der Gebirgsbildung, die STILLE in der Schrumpfung der Erde sieht. Man setzt sich gegen STILLES „Dogmatismus“ zur Wehr.

STILLE selbst weiß besser als alle anderen, daß seine „Grundfragen der vergleichenden Tektonik“ noch nicht die Vollendung bedeuten, daß noch nicht alle Quellen ausgeschöpft sind. Indem der Blick auf das Wesentliche, nämlich die Erforschung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten des tektonischen Geschehens, gerichtet bleibt, wird weiteres Material zusammengetragen. Das geschieht durch eigene geologische Aufnahmen und Untersuchungen im Saxonikum, in Hannover und Westfalen — wobei ihm in zunehmendem Maße Schüler zur Seite stehen (so entstehen die „Göttinger Beiträge zur saxonischen Tektonik“) —, durch geologische Exkursionen und Studienreisen in alle Gaue Deutschlands, die Alpen, viele Länder Europas (so Skandinavien, Spanien, Italien, Rußland, den Balkan usw.), schließlich nach Asien und erneut nach Amerika. Die Anschauungen beleben sich dabei, die Einzelbeobachtungen regen zum Vergleich an, so z. B. zwischen Kristiania-gebiet und Westdeutschland, zwischen Mitteleuropa und Mittelasien, zwischen Keltiberien in Spanien und Saxonien, zwischen norddeutschen und nordamerikanischen Salzstöcken; die tektonischen Formen werden mehr in ihren Verknüpfungen gesehen, so wenn z. B. im saxonischen Schollen-gebirge Anklänge an alpine Tektonik erkannt werden.

Vor allem bewirken diese Reisen eine stärkere Hinwendung zum *Raum*problem in der Tektonik, zur geographischen und paläogeographischen Gesetzmäßigkeit in der Verteilung der Gebirge, dem sich das in den „Grundfragen“ noch vorherrschende Zeitproblem (das indes nie aus den Augen verloren wird) allmählich immer mehr unterordnet. So entstehen zahlreiche Arbeiten über *Gebirgszusammenhänge* (so über westmediterrane Gebirgszusammenhänge, über die Orogene Eurasiens, über den mongolisch-amurischen Faltungsgürtel, über die transatlantischen Faltenverbindungen, über das Balearenproblem, über die tektonischen Beziehungen zwischen Nordamerika und Europa,

queratlantische Faltenverbindungen, kordillerisch-atlantische Wechselbeziehungen). Eine besondere Bedeutung gewannen darunter die *westmediterranen* Studien, an denen sich außer STILLE selbst eine größere Zahl seiner Schüler beteiligte.

Ab 1936 wird das tektonisch klargegliederte, großformige *Amerika*, das aus der Ferne in seiner Einheit leichter übersehbar erscheint als das komplizierter gestaltete Eurasien, zum Hauptstudienobjekt, an dem die Raum-Zeit-Gesetze der Tektonik geprüft und neu abgeleitet werden (erste Arbeiten 1936 über die Entwicklung des amerikanischen Kordillerensystems in Zeit und Raum und zuletzt das schon eingangs genannte Buch).

Aber auch Amerika ist für STILLE heute nichts anderes als ein Ausschnitt aus dem *tektonischen Gesamtbild der Erde*, an dessen Gliederung er in Anlehnung an Vorbilder wie MARCEL BERTRAND und EDUARD SUESS bereits seit 2 Jahrzehnten arbeitet und worüber neue Darstellungen zu erwarten sind.

Im Laufe dieser reichen Studien hat STILLES Blick eine solche Weite erlangt, daß von einem „Dogmatismus“ nicht mehr die Rede sein kann. Kritisch geworden gegen eigene Grundvorstellungen, hat er die Dinge mit steigender Unvoreingenommenheit zu sehen begonnen. Beigetragen hat dazu auch die Weiterführung und Vertiefung der Studien über die saxonische Gebirgsbildung, die sich als komplizierter und gegensätzlicher ergab als zuerst angenommen. STILLE hatte (im Sinne seiner These von der Einheitlichkeit der tektonischen Kraft) die Grabenzonen entweder als abnorme Mulden (dejektive Faltung) gedeutet oder eine Zerrung wohl anerkannt, sie aber als besondere Auswirkung der Faltung („Zerrung aus Faltung“ 1916, „Ausgleichzerrungen“ 1925) erklären wollen (was ihn selbst wohl nie ganz befriedigte); nun aber ergab sich die Zerrung als selbständiges Motiv der germanotypen Gebirgsbildung; den daraus entstehenden Konsequenzen verschloß sich STILLE nicht (1936). So haben sich verschiedene der in den „Grundfragen der vergleichenden Tektonik“ gegebenen Formulierungen in ihrer Schärfe als nicht mehr haltbar ergeben, wenngleich das Gebäude gewiß in seinen großen Zügen bestehen bleibt.

Bei meinem Versuch, STILLES Entwicklungsgang zu schildern, der von der einfachen beschreibenden Stratigraphie und Tektonik zur stratigraphischen Tektonik führt und weiter unter stärkerer Berücksichtigung der geographischen und paläogeographischen Momente sich vollendet in der *Zeit-Raum-Tektonik*, mußten viele andere Seiten dieses außerordentlich vielseitigen Wissenschaftlers zurücktreten. Es gibt in der Tat kaum ein Gebiet der Geologie, auf dem STILLE nicht — zum Teil hervorragend — tätig war.

In seiner Frühzeit, in der stratigraphische (im Frankenberger Perm, in der Oberkreide, im Jura, über den Kohlenkeuper usw.) und regional-

geologische Untersuchungen überwiegen, erweist er sich durch *hydrologische* Arbeiten (über die Quellenverhältnisse bei Bad Nenndorf, die Paderquellen von Paderborn und später die Grundwasser- verhältnisse im Artois und Hennegau) auch als praktischer Geologe, in einer Arbeit über die Geschichte des Alme-Tals auch als *Morphologe*, in der Bearbeitung von Kreidefaunen auch als *Paläontologe*.

Von den *Lagerstätten* ziehen ihn Kohle, Salz und Erdöl besonders an. Zur Beschäftigung mit der *Kohle* gelangt er schon 1900 im Zusammenhang mit Studien im Keuper des Teutoburger Waldes. Auch der tertiären Braunkohle gelten einige Arbeiten, vor allem aber findet die karbonische Steinkohle sein Interesse. Inzwischen hatte sich STILLES tektonische Arbeitsrichtung klar herausgebildet, und so wird die Kohlenbildung vor allem als tektonisches Problem gesehen in ihrer räumlichen und zeitlichen Verknüpfung mit den variszischen Gebirgsbildungen bzw. den ihnen vorausgehenden geosynklinalen Prozessen (1926, 1928, 1929).

Bei STILLES Veröffentlichungen über das *Zechsteinsalz* tritt die praktisch-geologische Seite weniger in Erscheinung. Sie zeigt sich aber in unveröffentlichten Gutachten für den Kalibergbau oder das Kalisyndikat, von denen er vielfach zu Beratungen herangezogen wurde. Den Tektoniker interessiert vor allem das paläogeographische Bild des Zechstein-Sedimentationsraumes, der sich nach Abschluß der variszischen Gebirgsbildungen als Einleitung der alpidischen Ära mit neuen Konturen anlegt (1929, 1932). — Auch andere Fragen der praktischen Geologie, z. B. des *Erdöls* und *Erdgases*, werden in ihrer paläogeographischen Bedeutung gewürdigt.

Die gleichen Eigenschaften, die STILLES wissenschaftliche Veröffentlichungen auszeichnen — die anregende Vielseitigkeit, die scharfe Logik, der klare Stil, das Herausstellen des Typischen und Gesetzmäßigen aus der Großzahl der Einzelercheinungen —, machen den *Lehrer* zu einem wahren Meister. Darin liegt der Grund, daß er von allen deutschen Hochschulordinarien für Geologie die größte Zahl von Schülern um sich sammeln konnte. Er war auf gründlichste und möglichst vielseitige Ausbildung auch in solchen Zweigen der Geologie und Tektonik (z. B. der exakten, physikalisch-mechanischen Tektonik, der kleintektonischen Methoden usw.), in denen er sich selbst wissenschaftlich nicht betätigte, und in den wichtigsten Hilfswissenschaften bedacht. Wer sich als Schüler von STILLE führen ließ und die von ihm gebotenen Möglichkeiten recht benutzte, verließ aufs beste gerüstet seine Schule.

Das wissen am meisten die, die bei ihm geologische Kartierungskurse in Saxonien, im variszischen Gebirge, in den Alpen, unter und über Tage mitgemacht haben, in denen die klassischen Methoden v. KOENENS in vervollkommneter und verfeinerter Form gelehrt wurden. Das wissen die, die mit ihm geologische Exkursionen machten, welche er, um aller Vielgestaltigkeit der Geologie gerecht zu werden, in die verschiedensten deutschen Gebiete lenkte, und schließlich die, die seine Vorlesungen hörten und an seinen Kolloquien teilnahmen. Sie wissen ihm großen Dank für die wahrhaft väterliche Sorge, mit der STILLE um ihre geologische Ausbildung bemüht war, und für die treffliche Ausrüstung, die er ihnen nicht nur für wissenschaftliche, sondern auch für praktisch-geologische Aufgaben auf den Weg gab.

Von Hans Stille 1900—1940 veröffentlichte Arbeiten.

1. Der Gebirgsbau des Teutoburger Waldes zwischen Altenbeken und Detmold. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1899, 20, Berlin 1900.
2. Mitteilungen aus dem Aufnahmegebiete am südlichen Teutoburger Walde (Egge-Gebirge). Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1900, 21.
3. Über Steinkohlen im Mittleren Keuper am Teutoburger Walde bei Neuenheerse. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1900, 21.
4. Zur Tektonik des südlichen Teutoburger Waldes. Z. dtsh. geol. Ges. 53, Sitzgsber., 7—12.
5. Über den Gebirgsbau und die Quellenverhältnisse bei Bad Nenndorf am Deister. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1901, 22, 347—363, Berlin 1902.
6. Bericht über die Exkursion am Egge-Gebirge am 14. und 15. August 1902. Z. dtsh. geol. Ges. 54, 151—156, Berlin 1902.
7. Über Schürfungen im Gebiete des Frankenberger Perm und dessen Vertretung weiter nördlich. Z. dtsh. geol. Ges. 54, 174—182 (1902).
8. Über präcreataceische Schichtenverschiebungen im älteren Mesozoikum des Egge-Gebirges. Jb. preuß. geol. Landesanst. 23, 296—322 (1902).
9. Zur Geschichte des Almetales südwestlich Paderborn. Z. dtsh. geol. Ges. 55, 112—113 (1903).
10. Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiete der Paderquellen in Paderborn. Jb. preuß. geol. Landesanst. 1903.
11. Die geologischen Linien im Landschaftsgebilde Mitteldeutschlands. Naturwiss. Wschr. 55 (1904).
12. Erläuterung zur geologischen Übersichtskarte der Kreidebildungen zwischen Paderborn und dem südlichen Egge-Gebirge (i. M. 1:75 000). Berlin 1904.
13. Zur Geschichte des Almetales südwestlich Paderborn. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1903, 24, 234—253.
14. Blätter Altenbeken, Lichtenau, Kleinenberg, Etteln nebst Erläuterungen. Liefg 70 der Geol. Spezialk. v. Preußen usw. 1904.
15. Über Kreidegräben in der Trias östlich des Egge-Gebirges. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1904, 25, 580—585.
16. *Actinocamax plenus* Blainv. aus norddeutschem Cenoman. Z. dtsh. geol. Ges. 57, 159—163 (1905).
17. Muschelkalkgerölle im Serpulit des nördlichen Teutoburger Waldes. Z. dtsh. geol. Ges. 57, 168—169 (1905).
18. Zur Kenntnis der Dislokationen, Schichtenabtragungen und Transgressionen im jüngsten Jura und in der Kreide Westfalens. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1905, 26, 103—125 (1905).

19. Über die Verteilung der Fazies in den Scaphiten-schichten der südöstlichen westfälischen Kreidemulde nebst Bemerkungen zu ihrer Fauna. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1905, 26, 140—172.
20. Über spätjurassische und tertiäre Dislokationen in Westfalen. Z. dtsh. geol. Ges. 57, 432—433 (1905).
21. Über Strandverschiebungen im hannoverschen Oberen Jura. Z. dtsh. geol. Ges. 57, Sitzgsber., 515—534, Berlin 1905.
22. Die Gliederung des Kohlenkeupers im östlichen Westfalen. Von H. STILLE u. A. MESTWERDT. Jb. preuß. geol. Landesanst. 27, 210—229 (1906).
23. Geologische Studien im Gebiete des Rio Magdalena. V. Koenen-Festschrift, S. 277—358, Stuttgart 1907.
24. Die Braunkohlenvorkommen in Westfalen und Lippe-Detmold. Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau, hrsg. von G. KLEIN, S. 108 bis 109. Halle 1907.
25. Zur Stratigraphie der deutschen Lettenkohlen-gruppe. Jb. preuß. geol. Landesanst. 29, 145—166 (1908).
26. Blätter Driburg, Willebadessen, Peckelsheim (letzteres mit A. MESTWERDT). Liefg 147 d. Geol. Spezialk. v. Preußen usw. 1908.
27. Excursion in den südöstlichen Deister am 5. Juli 1908. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 1, 19—21, Hannover 1908.
28. Das Alter der Kreidesandsteine Westfalens. Z. dtsh. geol. Ges. 61, Monatsber. (1909).
29. Zonares Wandern der Gebirgsbildung. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 2, 34—48, Hannover 1909.
30. Das Alter der deutschen Mittelgebirge. Cbl. Min. Geol. Paläont. 1909, 270.
31. Marines Oligozän westlich von Hannover. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 2, 69—76, Hannover 1909.
32. Die Zone des Inoceramus Koeneni G. Müller bei Paderborn. Z. dtsh. geol. Ges. 61, Monatsber., 194—196, Berlin 1909.
33. Osning-Profil. Vortrag, gehalten in Osnabrück am 17. April 1908. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 2, Hannover 1909.
34. Der geologische Bau des Weserberglandes. Das Weserbergland und der Teutoburger Wald, von Dr. O. REISSERT. Monogr. z. Erdkunde 24, Bielefeld u. Leipzig 1909.
35. Der Mechanismus der Osning-Faltung. Jb. preuß. geol. Landesanst. 31, Tl. 1 (1910).
36. Der geologische Bau der Ravensbergischen Lande. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 2, 226—245, Hannover 1910.
37. Excursion zwischen Detmold und den Externsteinen am 19. Mai 1910. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 3, 27—35, Hannover 1910.
38. Bau und Bild des Teutoburger Waldes. Vortrag im Bildungsverein zu Detmold, S. 183—193.
39. Die Kalischätze der Provinz Hannover. Arb. Landw.kammer Hannover 29, 13 S. (1910).
40. Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 3, 141—170, Hannover 1910.
41. Senkungs-, Sedimentations- und Faltungsräume. Congr. géol. Internat., XI. Séance, Stockholm 1910.
42. Die Faltung des deutschen Bodens und des Salzgebirges. Kali 5 (1911).
43. Überfaltungerscheinungen im hannoverschen Salzgebirge. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 4, 192—207, Hannover 1911.
44. Der Untergrund der Lüneburger Heide und die Verteilung ihrer Salzvorkommen. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 4, 227—286, Hannover 1911.
45. Das Aufsteigen des Salzgebirges. Z. prakt. Geol. 19, 91—99 (1911).
46. Bericht über die Aufnahmen im Gebiete des Benthers Salzgebirges. Jb. preuß. geol. Landesanst. f. 1911, 32, 479—482.
47. Blätter Horn-Sandebeck, Detmold, Steinheim (die letzten beiden mit A. MESTWERDT). Liefg 167 d. Geol. Spezialkarte von Preußen usw. 1911.
48. Die kimmerische (vorcretacische) Phase der saxonischen Faltung des deutschen Bodens. Geol. Rdsch. 4, 362—383 (1913).
49. Die saxonische „Faltung“. Z. dtsh. geol. Ges. 65, Monatsber. 575—593 (1913).
50. Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde, 32 S. Leipzig 1913.
51. Das tektonische Bild des Benthers Sattels. Jber. Niedersächs. Geol. Ver. 7, 270—356 Hannover 1914.
52. Führer zu einer viertägigen Exkursion in den Teutoburger Wald: Aus: Führer z. d. Exkursionen d. dtsh. geol. Ges., S. 89—125. Hannover 1914.
53. Hebung und Faltung im sog. Schollengebirge. Z. dtsh. geol. Ges. 68, 269—294 (1916).
54. Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geol. Rdsch. 8, 89—142 (1917).
55. Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1918, 1—32.
56. Alte und junge Sauntiefen. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1919, 1—36.
57. Die Begriffe Orogenese und Epirogenese. Z. dtsh. geol. Ges. 71, Abh., 164—208 (1919).
58. Über Alter und Art der Phasen variscischer Gebirgsbildung. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1920, 218—224.
59. Die angebliche junge Vorwärtsbewegung im Timor-Ceram-Bogen. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1920, 1—7.
60. Geologische Karte des südlichen Teutoburger Waldes von H. STILLE und A. MESTWERDT. 1 zu 100000. Preuß. geol. Landesanst. 1920.
61. Bericht über die Befahrung des Kalisalzbergwerkes „Siegfried I“ bei Salzderhelden in Südhannover am 9. April 1921. Fortschr. Min., Krist. u. Petr. 7, 1—3 (1922).
62. Normaltektonik, Salztektonik und Vulkanismus. Z. dtsh. geol. Ges. 74, Monatsber., 215—226, Berlin 1922.
63. Übersichtskarte der Saxonischen Gebirgsbildung zwischen Vogelsberg-Rhön und Norddeutscher Tiefebene. 1:250000. Preuß. geol. Landesanst. 1922.
64. Die Schrumpfung der Erde, 37 S. Berlin: Gebr. Bornträger 1922.
65. Studien über Meeres- und Bodenschwankungen. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1922, 83—95.
66. Anklänge an alpine Tektonik im saxonischen Schollengebirge. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1923, 37—42.
67. Die Osning-Überschiebung. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F. 95, 32—56 (1924).
68. Diskussion der Vorträge betreffend die Beziehungen zwischen Gebirgsbildung, Abtragung und Sedimentation. Geol. Rdsch. 15, 253—254 (1924).
69. Grundfragen der vergleichenden Tektonik. Berlin: Gebr. Bornträger 1924.
70. Rheinische Gebirgsbildung im Kristianiagebiet und in Westdeutschland. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F. 95, 110—132, Berlin 1925.
71. The uptrust of the salt masses of Germany. Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. 9, 417—441 (1925).
72. La contracción de la Tierra. Rev. Montes 49 (1925).

73. Kohlenbildung als tektonisches Problem. Braunkohle 1926, H. 42.
74. Beitrag zur Frage der saxonischen Zerrungen. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1925, 178—183.
75. Die saxonischen Brüche. Abh. preuß. geol. Landesanst. 95, 149—207, Berlin 1925.
76. Der Bau Mitteleuropas mit besonderer Berücksichtigung des rheinisch-westfälischen Kohlengebietes. Glückauf 1926, Nr 52.
77. Stammbaum der Gebirge und Vorländer. XIV. internat. Geol.-Kongr. S. 185—186, Madrid 1926.
78. Über die nordöstliche Fortsetzung der westfälischen Steinkohlenformation. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1926, 212—228.
79. Über westmediterrane Gebirgszusammenhänge. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., N. F. 12, 3 (1927).
80. H. STILLE u. R. BRINKMANN, Bericht über die Exkursion in das nordwestliche Harzvorland am 1. und 2. August 1927. Z. dtsh. geol. Ges. 79, Monatsber., 284—291, Berlin 1927.
81. Die sog. Rückfaltung des Apennin. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen 1927, 292—312.
82. Zur Einführung in die Phasen der paläozoischen Gebirgsbildung. Z. dtsh. geol. Ges. 80, Abh., 1—25, Berlin 1928.
83. Tektonische Schlußfolgerungen aus der Umgrenzung der permischen Salzablagerungen. Z. dtsh. geol. Ges. 80, Monatsber., 146—148, Berlin 1928.
84. Zur Frage der Harzinsel der jüngsten Zechsteinzeit. Z. dtsh. geol. Ges. 80, Monatsber., 188—199, Berlin 1928.
85. Die oberkarbonisch-altdyadischen Sedimentationsräume Mitteleuropas in ihrer Abhängigkeit von der variscischen Tektonik. Congr. Stratigr. carbonifère, Heerlen, S. 697—730. Liège 1928.
86. Über europäisch-zentralasiatische Gebirgszusammenhänge. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1928, 173—201.
87. Über die Orogene Eurasiens. Forsch. u. Fortschr. 5, 79—80 (1929).
88. Artois und Hennegau. Kriegsschauplätze 1914 bis 1918. Geologisch dargestellt, H. 7, 40 S. Berlin: Gebr. Bornträger 1929.
89. Bemerkungen zu G. SCHÖNMANN: Über den Mongolisch-amerikanischen Faltungsgürtel. Cbl. Min. Geol. Paläont., Abt. B. 1929, 350—354.
90. Tektonische Formen in Mitteleuropa und Mittelasien. Z. dtsh. geol. Ges. 81, 2—9, Berlin 1929.
91. Das Einsetzen der „saxonischen“ Richtungen im westdeutschen Jungpaläozoikum. Abh. preuß. geol. Landesanst. N. F. 116, 38—74 (1929).
92. Die subvariszische Vortiefe. Z. dtsh. geol. Ges. 81, 339—354 (1929).
93. Der Stammbaum der Gebirge und Vorländer. C. r. XIV. Congr. geol. internat. Madrid 1926. 24 S. Madrid 1929.
94. H. STILLE u. R. BRINKMANN, Der Untergrund des südlichen Oldenburg und der Nachbargebiete. Göttinger Beitr. z. saxon. Tekt. II. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F. 116, 75—112. Berlin 1930.
95. Geologie; aus: Fünfzig Jahre deutscher Wissenschaft. Schmidt-Ott-Festschrift, S. 351—357, Berlin 1930.
96. Über Einseitigkeiten in der germanotypen Tektonik Nordspaniens und Deutschlands. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1930, 379 bis 397.
97. Die keltiberische Scheitelung. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1931, 157—164.
98. Zur Frage der Überschiebungerscheinungen im Leinetal von H. STILLE u. F. LOTZE. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1931, 227—235.
99. Asymmetric folds with reference to German salt bodies. Bull. amer. Assoc. Petr. Geol. 16, 169 bis 177 (1932).
100. Zur Frage des Auftretens und Fehlens des Erdöles neben den niedersächsischen Salzpfeilern. Z. dtsh. geol. Ges. 84, 498—499 (1932).
101. Zur Paläogeographie des nordöstlichen Niedersachsens. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1932, 283—311.
102. Neuere über die nördliche Fortsetzung und nördliche Umrandung der deutschen Dyas. Kali 1932, H. 16 u. 17.
103. Saxonische Klippen bei Bad Driburg in Westfalen. Abh. preuß. geol. Landesanst., N. F. 139, 79—84 (1932).
104. Der Ostrand der Rheinischen Masse und seine Kreidebedeckung. Abh. preuß. geol. Landesanst. N. F. 139, 138—158 (1932).
105. Blatt Göttingen der geologischen Spezialkarte von Preußen mit Erl. Liefg. 62, Berlin 1932.
106. Zum Pyrenäenproblem. Géol. Pays catalans 2, No 17 b, 3—20 (1932).
107. H. STILLE u. F. LOTZE, Geologische Übersichtskarte der Umgebung von Göttingen nebst Erläuterungen. Berlin 1933.
108. Friedrich Rinne †. Kali 1933, H. 8.
109. Oro- und epirogenetische Bewegungen der Erdkruste im Zusammenhang mit der Seismizität Zentralasiens und Norddeutschlands. Publ. de l'Institut séismologique Leningrad 1933, Nr 32, 97—116.
110. Bemerkungen zur perimesetischen Faltung mit ihrem südpirenäisch-balearenischen Anteile. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl., III. F. 10, 197—208 (1934).
111. H. STILLE u. H. SCHLÜTER, Natural Gas Occurrences of Germany. Bull. amer. Assoc. Petr. Geol. 18, 119—135 (1934).
112. H. STILLE u. H. SCHLÜTER, European oil and gas occurrences and their relationship to structural conditions. Bull. amer. Assoc. Petr. Geol. 18, 736—745 (1934).
113. Zur Frage der transatlantischen Faltenverbindungen. Sitzsber. preuß. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. 11, 156—169 (1934).
114. Antrittsrede. Sitzsber. preuß. Akad. Wiss. 1934.
115. Gedächtnisrede auf Arrien Johnsen. Sitzsber. preuß. Akad. Wiss. 1934.
116. Zum balearischen Problem. Assoc. pour l'Étude géol. Méditerranée occid. I—III. 6 S. 1934.
117. Werden und Vergehen der Festländer. Forsch. u. Fortschr. 10, 170—172 (1934).
118. La evolución de los continentes. Invest. y progr. 8, 215—221 (1934).
119. The growth and decay of continents. Res. a. Progress 1, 9—14 (1935).
120. Der derzeitige tektonische Erdzustand. Sitzsber. preuß. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. 13, 179 bis 219 (1935).
121. Tektonische Beziehungen zwischen Nordamerika und Europa. Report 16, 829—838, Internat. Geol. Congr., Washington 1933 (1935).
122. Die aktuelle Erdtektonik. Forsch. u. Fortschr. 11, 269—270 (1935).

123. Zur Frage der paläozoischen Erdöle. Öl u. Kohle **11** (1935).
124. Blätter Altenbeken, Lichtenau, Bad Driburg und Steinheim, 2. Aufl. Liefg **296** Geol. Karte von Preußen usw. Berlin 1935.
125. Blätter Willebadessen und Peckelsheim, 2. Aufl. Liefg **297** Geol. Karte von Preußen usw., Berlin 1935.
126. Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung. 25 Jahre Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wiss. **2**, 77—97, Berlin 1936.
127. Die Entwicklung des amerikanischen Kordillereensystems in Zeit und Raum. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. **1936**, 134—155.
128. Der Wechsel der Faltungsräume im Kordillereensystem Amerikas. Naturwiss. **24**, 568—569 (1936).
129. Present tectonic state of the earth. Bull. amer. Assoc. Petr. Geol. **20**, 849—880 (1936).
130. Franz Beyschlag († 23. Juli 1935). Z. dtsh. geol. Ges. **88**, 573—576 (1936).
131. Die Hessische Tiefe im tektonischen Großbilde Europas. Z. dtsh. geol. Ges. **88**, 669—680 (1936).
132. Geologische Untersuchungen im westlichen Mediterranengebiet. Geol. Rdsch. **28**, 101—105 (1937).
133. Geotektonische Probleme im atlantischen Raume. Bericht über die 250jährige Jubiläumsfeier der Kais. Leopold.-Carol. Ges. d. Akad. der Naturforscher, S. 129—139 (1937).
134. H. STILLE u. F. LOTZE, Geotektonische Forschung (zugleich Vorwort zu „Geotektonische Forschungen“). Geotekt. Forsch. **1**, 1—5 (1937).
135. Das erste Jahrhundert des Geological Survey of Great Britain. Z. Ges. Erdkde **1938**, 207—211.
136. Außeralpidische Tektonik. Geol. Jber. **1**, 227 bis 235 (1938).
137. Die Großfelder der Erdkruste und ihr Magmatismus. Sitzgsber. preuß. Akad. Wiss. **1938**.
138. Kordillerisch-atlantische Wechselbeziehungen. Geol. Rdsch. **30**, 315—342 (1939).
139. Queratlantische Faltenverbindungen. Geol. Rdschau **30**, 343—345 (1939).
140. Bemerkungen betreffend die „sardische“ Faltung und den Ausdruck „ophiolithisch“. Z. dtsh. geol. Ges. **91**, 771—773 (1939).
141. Zur Frage der Herkunft der Magmen. Abh. preuß. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. **1939**, Nr. 19.
142. Magmato-tektonische Verhältnisse Bulgariens im Lichte allgemeinerer Erfahrungen. Z. bulgar. geol. Ges. **11**, 1—27 (St. Boncec-Festschrift), (1939).
143. Einführung in den Bau Amerikas. XX, 717 S. Berlin: Gebr. Bornträger 1940.

Aktive Immunisierung gegen bakterielle Infektion.

Von R. PRIGGE, Frankfurt a. M.

Der wichtigste Schritt in der Entwicklung einer jeden Wissenschaft ist das Messen von Größen. MAXWELL.

I.

Die *Immunitätsforschung* beschäftigt sich mit den Vorgängen, die den Organismus befähigen, bestimmte Parasiten, vor allem Bakterien und Protozoen, oder ihre giftigen Stoffwechselprodukte unschädlich zu machen. *Historisch* ist dieser Forschungszweig aus der Bakteriologie hervorgegangen, während er *thematisch* der Physiologie, insbesondere der pathologischen Physiologie zuzurechnen ist. Da die Immunbiologie die „deskriptive Phase“ ihrer Entwicklung im wesentlichen abgeschlossen hat und sich mehr und mehr den in den „exakten“ Naturwissenschaften anerkannten Methoden zuwendet, steht sie im Begriff, eine selbständige Disziplin zu werden.

Die Immunitätsforschung geht von folgender *Grundtatsache* aus: *Es gibt eine Reihe von Infektionskrankheiten, von denen Menschen oder Tiere im allgemeinen nur einmal befallen werden.* Ist die Krankheit überstanden, so kann sich der Genesene — mindestens für längere Zeit — ungefährdet einer neuen Ansteckung aussetzen. Er hat einen *Schutz gegen Neuerkrankung*, eine „aktive Immunität“, erworben.

Die Möglichkeit, von dieser Erkenntnis aus zu einer *praktischen Nutzenanwendung* zu gelangen, war durch den Umstand gegeben, daß eine aktive Immunität gegen eine bestimmte Infektion auch durch *künstliche Immunisierung*, d. h. durch die Einverleibung, insbesondere Einspritzung abgeschwächter oder abgetöteter Infektionserreger oder ihrer giftigen Stoffwechselprodukte erzielt werden kann, ohne daß es zu irgendwelchen Krankheitserscheinungen bei den immunisierten Menschen oder Tieren kommt. Man bezeichnet dieses Verfahren als „aktive Schutzimpfung“.

nungen bei den immunisierten Menschen oder Tieren kommt. Man bezeichnet dieses Verfahren als „aktive Schutzimpfung“.

So erzeugt z. B. der Diphtheriebacillus ein Gift, ein „Toxin“, das die eigentliche Ursache der Diphtherie ist und in bestimmten Mengen tödlich wirkt. Verleibt man dem Körper kleine, unschädliche Gaben des Giftes ein und geht man in geeigneten Zeitabständen zu größeren Mengen über, so kommt es bei Mensch und Tier allmählich zu einer „Gewöhnung“. Der Körper erwirbt eine aktive Immunität gegen die Vergiftung mit an sich tödlichen Toxingaben und gegen die Infektion mit tödlichen Bazillenmengen. Dieser Schutz beruht darauf, daß der Organismus auf die Einverleibung des Giftes mit der Bildung von Gegengiften („Antitoxinen“) reagiert, die sich vor allem im Serum, d. h. im Blutwasser, stark anreichern. Überträgt man das Serum immuner Tiere auf nicht vorbehandelte Individuen, so gewinnen auch diese einen Schutz, aber ohne „aktive“ Mitwirkung ihres Organismus: sie erwerben nur eine „passive“ Immunität. Da die auf passivem Weg übertragenen Antitoxine meist rasch wieder aus dem Körper verschwinden, ist das vornehmste Ziel der vorbeugenden Diphtheriebekämpfung in der Erzeugung einer *aktiven Immunität* zu erblicken.

Einen wichtigen Fortschritt bei der Verfolgung dieses Zieles bedeutete die Entdeckung, daß man auch mit gewissen *völlig ungiftigen chemischen Umwandlungsprodukten* des Toxins, mit den unter der Einwirkung von Aldehyden entstehenden

„Toxoiden“, insbesondere den Formoltoxoiden, in der gleichen Weise die Bildung von Antitoxinen und die Entwicklung einer Immunität auslösen kann wie mit dem unveränderten Gift selbst. Die Unschädlichkeit dieser Präparate gestattet die Anwendung sehr großer Mengen, so daß schon eine einmalige Injektion einen beträchtlichen Immunitätsgrad zu erzeugen vermag, der sich innerhalb weniger Wochen entwickelt. Einer ausgedehnten praktischen Anwendung der „Toxoide“ stand jedoch im Wege, daß es *keine brauchbare Methode zur Messung ihrer Schutzkraft* gab. Es war nicht möglich, vor der Anwendung beim Menschen zu erkennen, ob sich die nach den einzelnen Verfahren gewonnenen Präparate zur Durchführung von Schutzimpfungen eigneten oder nicht. Neben hochwirksamen Präparaten gelangten daher geringwertige oder völlig wertlose Impfstoffe in die Hand des Arztes. Aus diesem Grunde hat man sich in Deutschland lange Zeit nicht bereitgefunden, die vorbeugende Diphtherieschutzimpfung in größerem Umfange anzuwenden.

II.

Diese zur Einleitung mitgeteilten Tatsachen dürften genügen, um das Verständnis für die Situation zu ermöglichen, in welcher sich die immunbiologische Forschung heute befindet. Der spannendste Moment in der Entwicklung jeder Wissenschaft ist dann erreicht, wenn die vorwiegend beschreibende Behandlung der Tatsachen durch Methoden abgelöst wird, welche einer *mathematischen Durchdringung* zugänglich sind und neuen Einblick in das Wesen der Erscheinungen ermöglichen. Entgegen einer weitverbreiteten Auffassung ist auch die biologische Forschung einer solchen Entwicklung fähig, wie vor allem die ungeahnten Erfolge gezeigt haben, welche die Erbbiologie auf Grund der Arbeiten von MENDEL, CORRENS, GALTON und JOHANNSEN erzielt hat. Dem Wendepunkt, den die Erbbiologie zu Beginn des Jahrhunderts erreichte, strebt auch die Immunbiologie jetzt zu. Hierbei haben sich zahlreiche Beziehungen zu anderen Forschungsgebieten ergeben, die zuvor ohne jeden Zusammenhang mit der Immunitätswissenschaft gewesen sind.

Die veränderte Fragestellung wird am deutlichsten bei der Behandlung der Probleme erkennbar, die sich bei der *Messung immunbiologisch wirksamer Substanzen* ergeben. Es darf als besonders glücklicher Umstand gelten, daß die ersten Körper, für die genaue Meßmethoden zu entwickeln waren, gerade die gegen das Gift des Diphtherie- und des Wundstarrkrampfbacillus wirksamen *Antitoxine* waren. Hier liegen die Verhältnisse so einfach, daß sie bereits auf Grund der in den 90er Jahren vorhandenen Erkenntnisse überschaut werden konnten. Doch wären die gleichen Bemühungen zum Scheitern verurteilt gewesen, wenn sie anderen Stoffen gegolten hätten, für deren quantitative Erfassung damals noch alle Voraussetzungen fehlten. Nicht immer ist die

Geschichte der Wissenschaft so planmäßig fortgeschritten wie auf diesem Gebiete!

Die immunbiologischen Wirkstoffe, deren exakter Messung sich die größten Schwierigkeiten entgegengestellt haben, sind die „*Antigene*“, d. h. die Körper, auf deren Einverleibung der Organismus mit der Bildung von Antitoxinen oder anderen Schutzstoffen reagiert; zu den Antigenen gehören z. B. die obenerwähnten, für die Schutzimpfung gegen Diphtherie, Wundstarrkrampf, Ruhr und andere Infektionskrankheiten wichtig gewordenen Formoltoxoiden. Am Beispiel der Antigene lassen sich die neuen Problemstellungen am besten in ihrer vollen Bedeutung darlegen. Die hier gewonnenen Ergebnisse haben bereits hohe theoretische und praktische Bedeutung gewonnen.

Im Nachlaß des deutschen Philosophen GUSTAV THEODOR FECHNER (1801—1887) wurde ein Werk gefunden, welches den Titel „*Kollektivmaßlehre*“ trägt und welches lange Zeit so unbekannt blieb, daß selbst noch eine im Jahre 1923 erschienene Fechner-Monographie nicht einmal im Literaturverzeichnis von ihm Notiz nahm. Die in diesem Werke veröffentlichten Ergebnisse haben inzwischen derartige Wichtigkeit erlangt, daß zahlreiche biologische Fragestellungen, die im Vordergrund des Interesses stehen, nur mit ihrer Hilfe beantwortet werden können; FECHNERS Name wird hierbei freilich in der Regel verschwiegen, vor allem in englischen und amerikanischen Darstellungen. Auch die immunbiologischen Probleme, über die im folgenden berichtet wird, konnten nur auf dem von der *Kollektivmaßlehre* gewiesenen Wege einer Lösung nähergebracht werden.

Die Wertbemessung der meisten biologisch wirksamen Substanzen wird mit Hilfe des *Tierversuches* durchgeführt. Die Theorie der Messung ging von der unausgesprochenen Voraussetzung aus, daß *zur Erzielung einer bestimmten Reaktion bei allen Tieren der gleichen Spezies gleiche Reize erforderlich* seien. Bei einer Reihe von Drogen und von bakteriellen Giften wurde diese Voraussetzung durch die Erfahrung bestätigt, daß eine genau bemessene Dosis bei sämtlichen Versuchstieren eine bestimmte Wirkung hervorruft, während sich bereits eine etwas geringere Dosis regelmäßig als unwirksam erweist. Derartige Substanzen kann man also „messen“, indem man die Wirksamkeit von abgestuften Mengen jeweils *an einem einzelnen Tier* prüft und die Dosis bestimmt, welche die erwartete Wirkung eben noch hervorruft; man bezeichnet diese Versuchsanordnung als „*einfachen Reihenversuch*“.

Ein *Beispiel* aus den Anfängen der moderneren Vitaminforschung wird dies verständlich machen: Es ist jetzt bewiesen, daß eine sehr bösartige Nervenkrankheit, die sog. „*Beri-Beri*“, dann entsteht, wenn in der Nahrung ein bestimmter Stoff, das B₁-Vitamin, fehlt. Durch Einverleibung von Präparaten, welche dieses Vitamin enthalten, wird die Krankheit geheilt. Das B₁-Vitamin wird ge-

messen, indem man prüft, welche Präparatmenge erforderlich ist, um eine Beri-Beri-krankte Taube für 1 Tag vollständig zu heilen. Die Vitamindosis, die hierzu erforderlich ist, wird als „Taubeneinheit“ bezeichnet. Durch die Prüfung ist das Präparat „gemessen“; denn man erfährt durch sie, in welcher Präparatmenge eine ganz bestimmte Dosis B₁-Vitamin, nämlich die „Taubeneinheit“, enthalten ist und wie hoch der Gehalt des Präparates an B₁-Vitamin ist.

Seit langem ist es allerdings bekannt, daß die Versuchstiere nur *annähernd* gleichartig reagieren und daß gewisse *individuelle Unterschiede* zwischen ihnen bestehen. Beim einen Tier benötigt man etwas mehr, beim anderen etwas weniger wirksame Substanz, um den erwarteten Effekt herbeizuführen. Eine Dosis, die sich im einen Versuch als unwirksam erwiesen hat, kann sich daher bei der nächsten Prüfung gerade noch wirksam zeigen, wenn das betreffende Versuchstier etwas empfindlicher ist. Diese Verhältnisse sind lediglich der Ausdruck einer allgemeinen biologischen Gesetzmäßigkeit: der „*Variabilität*“ aller Lebewesen, in unserem Falle der Variabilität der Tiere in ihrem Verhalten gegenüber biologisch wirksamen Substanzen. Hierdurch ist es bedingt, daß die Grenze zwischen den wirksamen und den unwirksamen Dosen nicht völlig scharf ist, sondern daß ein mehr oder minder großes *Intervall* zwischen ihnen liegt. Die erwähnte „Grenze“ ist also überhaupt kein allgemein definierbarer Begriff, da sie von Tier zu Tier durch eine etwas verschiedene Größe repräsentiert wird. Unter Berücksichtigung der individuellen Unterschiede im Reaktionsvermögen der Versuchstiere ergeben sich vielmehr an Stelle eines einzigen Grenzwertes zwei solche Werte, nämlich die kleinste Dosis, die für *alle* Tiere — auch für das widerstandsfähigste — *wirksam* ist, und die größte Dosis, welche für *alle* Tiere — auch für das empfindlichste — *unwirksam* ist: die „sicher wirksame“ und die „sicher unwirksame“ Dosis.

Trotz diesen Verhältnissen werden mit Hilfe des einfachen Reihenversuches in vielen Fällen gut reproduzierbare Werte, also recht zuverlässige Ergebnisse, gewonnen, u. a. bei der Messung mancher Toxine, Antitoxine, Vitamine und Hormone, weil die Variabilität der Tiere in ihrer Empfindlichkeit gegenüber diesen Stoffen nicht sehr erheblich ist und weil sich die sicher wirksame und die sicher unwirksame Dosis infolgedessen nur um mäßige Beträge voneinander unterscheiden, in besonders günstigen Fällen — z. B. beim Wundstarrkrampf-Antitoxin — nur um wenige Prozent. Sehr viel ungünstiger liegen dagegen die Verhältnisse bei der Messung der Wirksamkeit von *Antigenen*. So wurde bei den Meerschweinchen einer großen Tierfarm festgestellt, daß zum Schutz der am besten beeinflussbaren Tiere nur der 32000. Teil der Impfstoffmenge erforderlich war, die man benötigte, um die lässigsten Tiere gegen eine bestimmte Menge Diphtherietoxin zu schützen.

Unter solchen Verhältnissen ist es nicht mehr möglich, eine Maßgröße im einfachen Reihenversuch mit dem notwendigen Mindestmaß an Zuverlässigkeit zu bestimmen.

Der Weg, auf welchem die Überwindung dieser Schwierigkeiten gelang, war durch die von FECHNER begründete *Kollektivmaßlehre* gewiesen. Wenn man zur Prüfung jeder Antigenmenge nicht ein einzelnes Tier, sondern ein größeres oder kleineres *Kollektiv* von Tieren verwendet, läßt sich von der für alle Tiere unwirksamen Dosis zu der für alle Tiere wirksamen Dosis ein *geordneter Übergang* feststellen: der Prozentsatz der positiv reagierenden Tiere nimmt kontinuierlich zu und durchschreitet in ganz gesetzmäßiger Weise alle Werte zwischen 0 und 100. Stellt man den Prozentsatz der positiv reagierenden Individuen in Abhängigkeit von der angewandten Dosis graphisch dar, so erhält man eine charakteristische *f*-förmige Kurve, die „*Wirkungskurve*“ der untersuchten, biologisch wirksamen Substanz. Die angewandten Dosen sind also bestimmten Maßzahlen funktional zugeordnet. *Auf Grund dieses Zusammenhanges können Messungen durchgeführt werden.*

III.

Das Wesen der hier waltenden Gesetzmäßigkeit läßt sich am leichtesten verstehen, wenn man sich der berühmten Messungen entsinnt, die JOHANNSEN an Bohnen durchgeführt hat. Die Länge von 12000 Bohnen wurde gemessen, und auf Grund der Messungsergebnisse wurden die Bohnen in *Klassen* eingeteilt. Dabei ergab sich, daß sehr kleine, 17—18 mm lange und sehr große, 32—33 mm lange Bohnen extreme Seltenheiten waren. Bohnen von 18—19 und von 31—32 mm Länge waren schon weniger selten. 19—20 und 30—31 mm lange Bohnen waren wieder etwas häufiger, und so nahm die Zahl der in die einzelnen „Klassen“ gehörigen Bohnen um so mehr zu, je mehr sie sich einer gewissen durchschnittlichen Länge von etwa 25 mm näherten. Diese Verhältnisse lassen sich in sehr einfacher Weise zeichnerisch darstellen, indem man die Zahl der in jeder Klasse gefundenen Bohnen durch stehende, gleichbreite Rechtecke wiedergibt; je mehr Bohnen in einer Klasse gefunden wurden, desto höher wird das betreffende Rechteck. Reiht man die Rechtecke entsprechend der Länge der zugehörigen Bohnen hintereinander, so folgen sie derart aufeinander, daß ihre Höhe zunächst bis zum Durchschnittswert steigt und dann wieder fällt. Man gewinnt also eine *symmetrische* Figur, deren obere treppenartig an- und absteigende Begrenzung sich um so mehr einer *glockenförmigen Kurve* nähert, je feiner die Klasseneinteilung durchgeführt wird und je mehr Bohnen untersucht werden. Die Kurve, um die es sich hierbei handelt, wird als „normale“ oder — wegen ihrer Beziehung zum „binomischen“ Lehrsatz der Mathematik — *binomiale* „*Verteilungskurve*“ bezeichnet.

Es ist das Verdienst des deutschen Hygienikers

KISSKALT, den Zusammenhang zwischen den beiden erwähnten Kurvenarten — der Wirkungskurve und der Verteilungskurve — erkannt zu haben. Er hat schon im Jahre 1915 gezeigt, daß die Wirkungskurve eines pharmakologisch aktiven Stoffes, die die Beziehung zwischen Dosis und Anteil der reagierenden Tiere veranschaulicht, nichts anderes ist als der Ausdruck für eine bestimmte „Verteilung“ der Individuen des geprüften Tiermaterials. Die Wirkungskurve läßt allerdings nur erkennen, wie hoch der Prozentsatz der Tiere ist, die *insgesamt* auf irgendeine Dosis reagieren; in diesem Prozentsatz sind also nicht nur die Tiere enthalten, bei denen gerade die angewandte Dosis zur Erzielung des beobachteten Effektes nötig war, sondern auch alle Tiere, bei denen *kleinere* Dosen ausreichend gewesen wären. Die genaue *Verteilung der Tiere nach der individuell wirksamen Dosis* läßt sich jedoch ermitteln, indem man von dem aus der Wirkungskurve zu entnehmenden Prozentsatz der auf eine bestimmte Dosis reagierenden Tiere den Prozentsatz der auf eine kleinere Dosis reagierenden Tiere abzieht. Man erfährt so, wieviel Tiere gerade eben auf Dosen reagieren, die innerhalb eines bestimmten Intervalles, einer bestimmten „Klasse“ liegen, d. h. wie die Individuen eines Tiermaterials nach ihrem Reaktionsvermögen bzw. nach der individuell wirksamen Dosis zu klassifizieren sind. Man gelangt von der Wirkungskurve auf diesem Wege zu einer Verteilungskurve, die mit der vorhin beschriebenen glockenförmigen Kurve weitgehende Übereinstimmung zeigt.

Es hat freilich lange Zeit gedauert, bis diese Ergebnisse allgemeine Anerkennung gefunden haben. Zahlreiche Experimentatoren haben hartnäckig an der Vorstellung festgehalten, daß der Variabilität der Tiere keine wesentliche Bedeutung für die Genauigkeit biologischer Untersuchungen zukomme, und daß sie praktisch als nicht vorhanden angesehen werden könne, sofern einheitlich ernährte, einer einheitlichen Zucht entstammende und etwa gleichaltrige Tiere zur Verfügung stünden. So ist es auch zu erklären, daß verschiedene Autoren auf das Phänomen der Tiervariabilität lange nach 1915 immer wieder von neuem hinweisen konnten, ohne KISSKALTS Arbeiten zu erwähnen. In der Tat hat sich die Variabilität in vielen Fällen als nicht sehr störend erwiesen; erst die Versuche, Methoden zur Messung der Wirksamkeit von Antigenen zu entwickeln, haben dazu gezwungen, den individuellen Unterschieden im Verhalten der Tiere genauestens Rechnung zu tragen.

Auf Grund des Kisskalt'schen Prinzips konnte der Nachweis erbracht werden, daß auch die *Immunisierbarkeit* dem gleichen einfachen Gesetz unterworfen ist, das für die Länge der Bohnen gilt und das in der ganzen belebten Natur bei den mannigfaltigsten Eigenschaften eine dominierende Rolle spielt. Die außerordentlichen Unterschiede zwischen der sicher unwirksamen

und der sicher wirksamen Antigendosis (1 : 32 000), über die vorhin berichtet wurde, machten es allerdings besonders schwierig, einen Überblick zu gewinnen. Umfangreiche Untersuchungen an vielen hundert Meerschweinchen, die sämtlich der gleichen Zucht entstammten, zeigten, daß es nur sehr wenig Tiere gab, zu deren Immunisierung ganz kleine oder ganz große Antigendosen erforderlich waren. Meerschweinchen, die durch Impfstoffmengen geschützt werden konnten, welche zwischen den extrem kleinen und den extrem großen Dosen lagen, waren häufiger zu finden; der größte Anteil ergab sich für diejenigen Tiere, zu deren Schutz mittlere Impfstoffmengen nötig waren. Die Verteilungskurve, die sich aus den bei diesen Untersuchungen gewonnenen Zahlen ergab, entsprach vollauf der vorhin erwähnten Glockenkurve.

Die Einsicht, daß die Unterschiede in der Immunisierbarkeit, welche zwischen den Individuen einer großen Tierpopulation bestehen, einer einfachen, für zahlreiche anderen biologischen Merkmale gültigen Gesetzmäßigkeit entsprechen, wurde auf einem Wege gefunden, welcher die direkte Umkehrung des in der *Erbbiologie* üblichen Weges darstellt. Der Erbforscher befindet sich in der vorteilhaften Lage, unmittelbar beim einzelnen Individuum das untersuchte Merkmal messen zu können. Auf Grund dieser Messungen werden ähnliche Individuen in Klassen zusammengefaßt und wird das jeweils gültige Verteilungsgesetz gefunden. Aus der Verteilung ergibt sich nach einem in den größeren Lehrbüchern der *Erbbiologie* beschriebenen Verfahren — durch die von einer Klassengrenze zur nächsten fortgesetzte Summation der Individuen — die „Aufzählungskurve“ oder „Summenkurve“, die der Wirkungskurve entspricht. Der Immunbiologe muß dagegen aus der Wirkungskurve „rückwärts“ die Verteilungskurve ableiten. Denn eine Bestimmung der wirksamen Dosis am Einzelindividuum ist lediglich dann möglich, wenn der Effekt der geprüften Substanz alsbald nach deren Einverleibung erkennbar wird und wenn im Falle seines Ausbleibens die einverleibte Menge ohne Unterbrechung bis zum Eintritt der erwarteten Wirkung gesteigert werden kann. Diese Voraussetzungen sind nur bei sehr wenigen biologisch wirksamen Stoffen erfüllt, z. B. beim Fingerhutgift, dessen „individuell tödliche Dosis“ bei Katzen durch Eingießen in die Blutadern bis zum Herzstillstand bestimmt werden kann.

Ein einziger, allerdings prinzipiell bedeutsamer Unterschied besteht zwischen der oben beschriebenen Verteilung der Bohnen nach ihrem Längendurchmesser und der Verteilung der Tiere nach ihrer Immunisierbarkeit. Den Erbbiologen ist seit langem bekannt, daß zahlreiche biologische Verteilungskurven eine mehr oder weniger beträchtliche „*Schiefheit*“ aufweisen. *Eine sehr erhebliche Schiefheit würde sich auch geltend machen, wenn die bei der Immunisierung von Tieren gewonnenen Untersuchungsergebnisse in der üblichen Weise*

dargestellt würden. Jedoch hat bereits FECHNER, der Begründer der Kollektivmaßlehre, gezeigt, daß die Schiefheit biologischer Verteilungen in zahlreichen Fällen dadurch beseitigt werden kann, daß man bei der Ermittlung einer Verteilung nicht die tatsächlich beobachtete Größe — also z. B. den Längendurchmesser der Bohnen, die zur Immunisierung von Tieren erforderliche Antigenmenge usw. —, sondern den *Logarithmus* dieser Größe berücksichtigt. Erst durch dieses Verfahren konnte bei der Darstellung der Immunisierbarkeitsverteilung die *symmetrische Anordnung* erkennbar gemacht werden. Diesem Sachverhalt kommt nicht nur formale Bedeutung zu; er ist vielmehr durch einen wesentlichen Zusammenhang zwischen immunbiologischen und physiologischen Tatsachen bedingt. Es hat sich nämlich gezeigt, daß die Berücksichtigung der Logarithmen deshalb auf die symmetrische Glockenkurve, also auf die „normale“ Verteilungskurve, führt, weil zwischen der angewandten Antigenmenge und dem Immunitätsgrad des Einzeltieres das nach WEBER und FECHNER benannte „*psychophysische Grundgesetz*“ gilt. Nach diesem Gesetz, das den Ablauf von zahlreichen Reaktionen in der belebten Welt bestimmt, nimmt die durch einen „Reiz“ ausgelöste „Reaktion“ nicht ebenso zu wie die Reizstärke, sondern es besteht eine kompliziertere, nämlich logarithmische Verknüpfung zwischen den beiden Größen. Z. B. wird eine Versuchsperson, die den Unterschied zwischen einem 30 g und einem 31 g schweren Gewicht deutlich spürt, 60 und 61 g als weniger verschieden empfinden, obwohl der *Gewichtszuwachs* (1 g) in beiden Fällen der gleiche ist. Erst beim Übergang von 60 auf 62 g, also erst bei gleicher prozentualer Gewichtserhöhung, nimmt die Versuchsperson den *gleichen Empfindungszuwachs* wahr wie im ersten Versuch! Die Gewichte stellen bei dieser Versuchsanordnung die „Reize“, die Empfindungen dagegen die „Reaktionen“ dar. Bei der Übertragung auf die Immunisierungsvorgänge läßt sich das psychophysische Grundgesetz in folgender Weise formulieren: Die Immunitätsgrade (Reaktionen), die bei einem Individuum je nach der Größe der angewandten Antigenmenge zu erwarten sind, sind den Logarithmen der Antigendosen (Reize) *proportional*.

IV.

Wenn das Reaktionsvermögen der Einzelindividuen derartiger Unterschiede aufweist, wie sie oben erörtert wurden, wird die Messung der Wirksamkeit von Antigenen — auch bei Verwendung größerer Tierkollektive — Ergebnisse liefern, die mit sehr erheblichen *Fehlern* behaftet sind. Aus dieser Erkenntnis ergab sich die Aufgabe, ein Tiermaterial zu beschaffen, dessen Individuen nach Möglichkeit soweit übereinstimmen sollten, wie wir dies von *eineiigen Zwillingen* wissen. Wenn schon die zu den grundlegenden Untersuchungen verwandten Meerschweinchen einer und derselben Tierfarm entstammten, so waren sie doch ohne

Rücksicht auf erbbiologische Prinzipien gezüchtet worden und stellten daher im Hinblick auf ihre Rassenmerkmale ein recht buntes Gemisch dar. Man durfte daher erwarten, daß sich ein *möglichst reinrassiges oder „reinliniges“ Tiermaterial* in seiner Immunisierbarkeit gleichförmiger verhalten werde, als gewöhnliche Meerschweinchen. Untersuchungen an Meerschweinchenstämmen, die durch jahrelang fortgesetzte *Bruder-Schwester-Inzucht* gewonnen waren, und die zwar nicht völlig in ihren erblichen Eigenschaften übereinstimmten, aber zum Teil einen sehr beträchtlichen Grad von *Isozygotie* (Gleicherbigkeit) erreicht hatten, erfüllten diese Erwartungen in weitestem Maße. Das Verhältnis der Dosen, die zum Schutz der „empfindlichsten“ und der „lässisten“ Tiere nötig waren, betrug beim

Nichtingezüchteten Tiermaterial	1 : 32 000
Inzuchtstamm XX	1 : 14 000
Inzuchtstamm XI	1 : 2 000
Inzuchtstamm XXX	1 : 100
Inzuchtstamm XXIIa	1 : 25

Diese Ergebnisse bedeuteten einen außerordentlichen Fortschritt. Wenn bisher auch noch kein Tierstamm gefunden wurde, dessen Individuen sich völlig gleichartig in ihrer Immunisierbarkeit verhielten, so sind die Unterschiede doch schon ganz erheblich verringert. Bei der graphischen Darstellung findet dieses Ergebnis darin seinen Ausdruck, daß die Glockenkurven infolge des Aneinanderrückens der Grenzdosen immer schmaler werden, wenn schon sie noch eine eindeutig meßbare Breite besitzen; im idealen Falle hätte man sich die Kurven als unendlich schmal zu denken.

In diesem Stadium der Forschung wurde die Verknüpfung der Immunitätswissenschaft mit einem weiteren Forschungsgebiet, der *theoretischen Physik*, eingeleitet. Auf Grund der Vorstellung, daß das Zustandekommen einer Immunität durch *ein einziges Antigenmolekül* veranlaßt werden kann, wurde die Auffassung entwickelt, daß auch bei einem in seinem immunisatorischen Verhalten völlig gleichartigen Tiermaterial der Unterschied zwischen der sicher wirksamen und der sicher unwirksamen Antigendosis nicht völlig verschwinden könne, und daß die verbleibende Breite der „Verteilungskurve“ nur ein Ausdruck für die den verschiedenen Antigendosen entsprechende *Wahrscheinlichkeit* des Immunisierungserfolges sei¹⁾. Nach dieser Auffassung besteht die Möglichkeit, daß der Inzuchtstamm XXIIa bereits annähernd ideale Homogenität besitzt. Wenn die Frage auch vorläufig noch offen bleiben muß, ob die eine oder die andere Auffassung endgültige Bestätigung finden wird, so darf die Anwendung von Gedankengängen der theoretischen Physik auf immunbiologische Probleme jedenfalls schon jetzt größte Beachtung beanspruchen.

¹⁾ In einem in den *Naturwiss.* 1941, H. 7, erschienenen Aufsatz bringt der durch seine quantentheoretischen Untersuchungen bekanntgewordene Rostocker Physiker P. JORDAN ausführliche Belege für diese von ihm entwickelte Theorie.

V.

Auf Grund der *gesetzmäßigen Abhängigkeit des Prozentsatzes der reagierenden Tiere von der angewandten Dosis* könnten Messungen der antigenen Wirksamkeit von Impfstoffen etwa in der Weise durchgeführt werden, daß man diejenige Dosis ermittelt, welche einen bestimmten Prozentsatz der Tiere, z. B. 50%, gegen eine nach 4 Wochen vorzunehmende Vergiftung mit Diphtherietoxin schützt. Auf diese Weise fände man *Dosen gleicher Wirksamkeit* und könnte so das Wertverhältnis der verschiedenen Impfstoffe leicht festlegen. In Wirklichkeit liegen die Dinge freilich sehr viel komplizierter, weil das Reaktionsvermögen der Tiere starken *zeitlichen Schwankungen* unterliegt. Hierdurch kommt es zu beträchtlichen Verschiebungen der Verteilungskurven. Der Prozentsatz der Tiere, die auf eine bestimmte Dosis reagieren, ist daher zu verschiedenen Zeiten recht verschieden, und umgekehrt benötigt man sehr verschiedene Dosen, um zu verschiedenen Zeiten einen gleichen Prozentsatz positiver Reaktionen zu erzielen. Es ist somit nicht möglich, aus einer Gleichheit des Prozentsatzes der geschützten Tiere auf eine Gleichheit der Wirksamkeit der angewandten Antigenmengen zu schließen, wenn man die Untersuchungen nicht zur gleichen Zeit und am gleichen Tiermaterial durchführt. Z. B. benötigte man im Sommer 1933 nur 0,68 ccm eines Diphtherie-Impfstoffes, um 50% der Tiere gegen die Vergiftung mit einer bestimmten Menge Diphtherietoxin (12 sicher tödlichen Dosen) zu schützen, während man im darauffolgenden Winter 2,4 ccm des gleichen Impfstoffes, also die 3–4fache Menge, benötigte, um die gleiche Wirkung zu erzielen.

Die bisher gewonnenen Ergebnisse zeigen, daß derartige jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Immunisierbarkeit alljährlich auftreten. Neben den Saisonschwankungen scheinen auch noch Schwankungsperioden vorzukommen, die eine größere Reihe von Jahren umfassen. Die Ursachen für diese Erscheinungen, die im Hinblick auf den ungeklärten Gang der *Epidemien* besonderes Interesse verdienen, sind noch nicht geklärt; Unterschiede im Vitamingehalt der Nahrungsmittel und in der Strahlungsdauer mögen eine Rolle spielen. Es dürften sich hier wichtige Beziehungen zwischen der Immunitätsforschung und der *Klimatologie* einerseits, der *Ernährungsphysiologie* und *Vitaminforschung* andererseits ergeben.

Die durch die Schwankungen der Immunisierbarkeit bedingten meßmethodischen Schwierigkeiten werden dadurch ausgeschaltet, daß man das zu den Messungen verwandte Tiermaterial bei jeder einzelnen Untersuchung mit Hilfe eines stabilen *Maßpräparates* „eicht“. Man prüft also das Verhalten der Tiere sowohl gegenüber dem Maßpräparat als auch gegenüber dem zu bewertenden Präparat und ermittelt auf Grund der Untersuchungsergebnisse Dosen, denen die gleiche Wirkung zugeordnet ist: nur solche am gleichen Tiermaterial und unter gleichen Versuchsbedingungen

ermittelten Äquivalente dürfen als gleichwirksam angesehen werden.

Bei der Beurteilung immunbiologischer Messungsergebnisse ist zu berücksichtigen, daß alle experimentell ermittelten Werte mit einem unvermeidlichen „Fehler“ belastet sind, der dadurch zustande kommt, daß die Wirkung jeder Antigen-dosis nur durch eine „Stichprobe“, d. h. durch Untersuchung eines kleinen, aus einem größeren Tiermaterial ausgewählten Kollektivs festgestellt wird. Dieser restliche Fehler läßt sich auch durch Verwendung homogeneren Tiermaterials nicht vermeiden. Die hierdurch entstehenden Unzulänglichkeiten konnten jedoch durch Anwendung geeigneter Methoden der *mathematischen Statistik* überwunden werden. Eine Erörterung der Verfahren, die hier zum Ziel geführt haben, erscheint freilich im Rahmen unserer Darlegungen nicht als angängig.

VI.

Zu Beginn dieses Aufsatzes wurde gesagt, daß die Lösung der Messungsprobleme, die in den 90er Jahren aktuell waren, nur dank außergewöhnlich günstigen Umständen gelingen konnte. Eine Fülle von Erkenntnissen, die erst sehr viel später gewonnen wurden, war notwendig, um die heute erreichte *Verallgemeinerung der Problemstellungen* zu ermöglichen. Wichtiger als die Beispiele, an denen ich diese Verallgemeinerung dargestellt habe, scheint mir der grundsätzliche Wandel in der Behandlung der Problemstellungen zu sein: dieser Wandel hat dazu geführt, daß die *Immunbiologie heute im Begriff steht, zu mathematisch fundierten Methoden überzugehen*. Besonders kennzeichnend für die Gesamtsituation ist hierbei die mannigfaltige Berührung, in die die *Immunbiologie* mit anderen Wissenschaften gekommen ist: mit der *Zoologie* und der *Erbbiologie*, mit der *Physiologie*, der *Klimatologie* und der *Vitaminforschung* und nicht zuletzt mit der *theoretischen Physik*, der *Kollektivaßlehre* und der *mathematischen Statistik*. Dazu hat die Entwicklung der modernen Meßmethoden auch *praktische Ergebnisse von großer Tragweite* gezeitigt. Durch systematische Ausnutzung der neuen Meßverfahren wurde es möglich, eine *Auslese* unter den Impfstoffen zu treffen, d. h. die minderwertigen Präparate auszuschalten und nur *hochwertige Impfstoffe* für die Schutzimpfung des Menschen bereitzustellen. Darüber hinaus ließ aber die laufende Messung der Schutzkraft der auf verschiedensten Wegen anfallenden Präparate auch die wirksamsten *Herstellungsverfahren* erkennen, die gleichmäßige, vom Zufall nicht mehr wie früher abhängige Ergebnisse gewährleisten. Es gelingt jetzt mit Sicherheit, regelmäßig Impfstoffe — vor allem gegen Diphtherie und Wundstarrkrampf — herzustellen, deren Wirksamkeit diejenige der besten unter den älteren Präparaten um das Hundertfache und mehr übersteigt und deren Vorhandensein die Grundlage für die während der letzten Jahre in Deutschland immer mehr verallgemeinerten und immer erfolgreicher gestalteten Schutzimpfungen bildet.

Kurze Originalmitteilung.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Ringdrüse und Corpus allatum bei Musciden.

Gelegentlich einer Untersuchung über das Corpus allatum erwachsener Musciden (*Calliphora*, *Lucilia* und *Musca*)¹⁾ habe ich über die Ringdrüse (WEISMANN'S Ring) bei der Puppe einige Beobachtungen gemacht, die für die Frage der Homologisierung dieses Organs mit den Corpora allata anderer Insekten von Interesse scheinen.

Eine Untersuchung über den Bau der Ringdrüse bei einigen Muscidenlarven (*Sarcophaga* u. a.) und über die weitere Entwicklung derselben in Puppe und Imago wurde 1939 von DRUMMOND vorgenommen. Er fand²⁾, daß die larvale Ringdrüse bei den Puppen nach hinten verschoben wird, und daß eine Gruppe kleiner Kerne in der Ringdrüse der Puppe zu dem C. all. der Imago wird. Ich kann für *Calliphora* und *Musca* diese Ergebnisse vollauf bestätigen. Auch bei diesen Fliegen wird die Ringdrüse der Larve in der Puppe nach hinten gerückt, und eine Gruppe kleiner Kerne wird zu dem C. all. der erwachsenen Fliege (Fig. 1). Vor kurzem hat VOGT³⁾ gezeigt, daß auch bei *Drosophila* das larvale Organ in der Puppe nach hinten gezogen wird.

Bei der frisch geschlüpften Fliege von *Calliphora* kommen sowohl die pupale Ringdrüse als auch das imaginale C. all. nebeneinander vor (vgl. Fig. 2). Fig. 3 zeigt, daß das C. all. nicht immer zentral in der pupalen Ringdrüse angelegt wird, sondern bisweilen seitlich verschoben liegt. Fig. 4 stellt die Verhältnisse bei einem geschlechtsreifen *Calliphora*-Weibchen dar: die Ringdrüse ist jetzt verschwunden, und das C. all. hat bedeutend an Größe zugenommen. Das C. all. ist bei *Calliphora* und anderen Musciden ein unpaares Organ, das dorsal über der Aorta, etwas asymmetrisch, gelegen ist. Unmittelbar unter der Aorta liegt eine Gruppe von Zellen, die nach meiner Auffassung dem Ganglion hypocerebrale + dem damit vereinigten Corpus cardiacum entspricht; dies konnte jedoch bisher nicht endgültig bewiesen werden. Unter dieser Zellengruppe liegt der Oesophagus.

Meiner Meinung nach kann nur das imaginale C. all. dieser Musciden mit dem C. all. anderer Insekten homologisiert werden. Was die Ringdrüse (WEISMANN'S Ring) der Larve und Puppe betrifft, vermute ich, daß sie den von PFLUGFELDER⁴⁾ bei *Dixippus* gefundenen Pericardialdrüsen entspricht. Für diese Auffassung können drei Umstände angeführt werden: 1. Nach PFLUGFELDERS Beschreibung zu



Fig. 1. Horizontalschnitt durch eine junge Puppe von *Calliphora erythrocephala* (3 Tage bei 25° C). C. a. Anlage zum imaginalen Corpus allatum. Pv. Proventriculus. R. Ringdrüse. 150×.

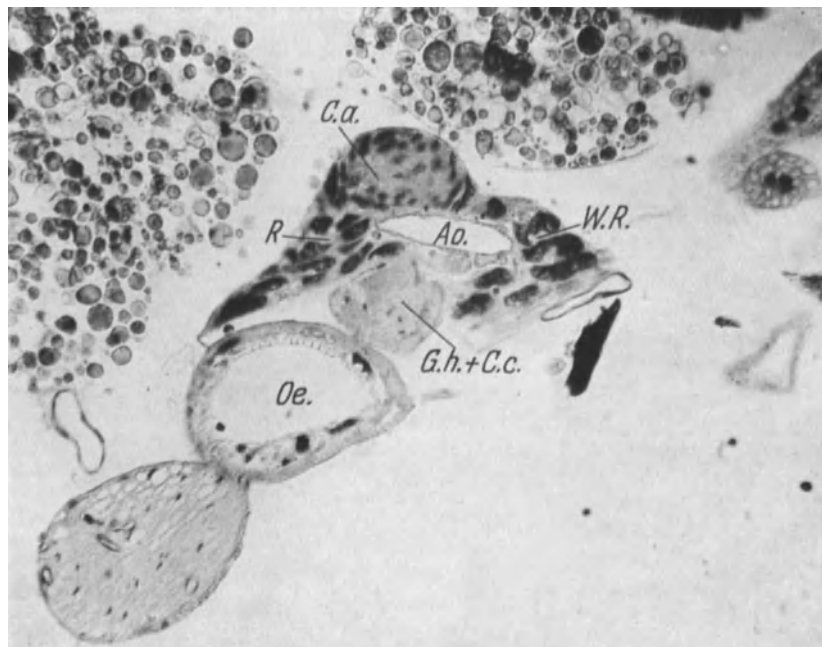


Fig. 2. Querschnitt durch eine eben geschlüpfte *Calliphora*-Imago. Ao. Aorta. C. a. Corpus allatum. G. h. + C. c. Ganglion hypocerebrale + Corpus cardiacum. Oe. Oesophagus. R. Ringdrüse. 300×.

urteilen liegen die Pericardialdrüsen von *Dixippus* und die Ringdrüse der eben geschlüpften *Calliphora*-Fliege auf der-

selben Stelle. 2. Im histologischen Bild zeigen die beiden Drüsen eine auffallende Ähnlichkeit. 3. Beide Drüsen kommen nur bei den Jugendstadien vor und degenerieren bei der Imago.

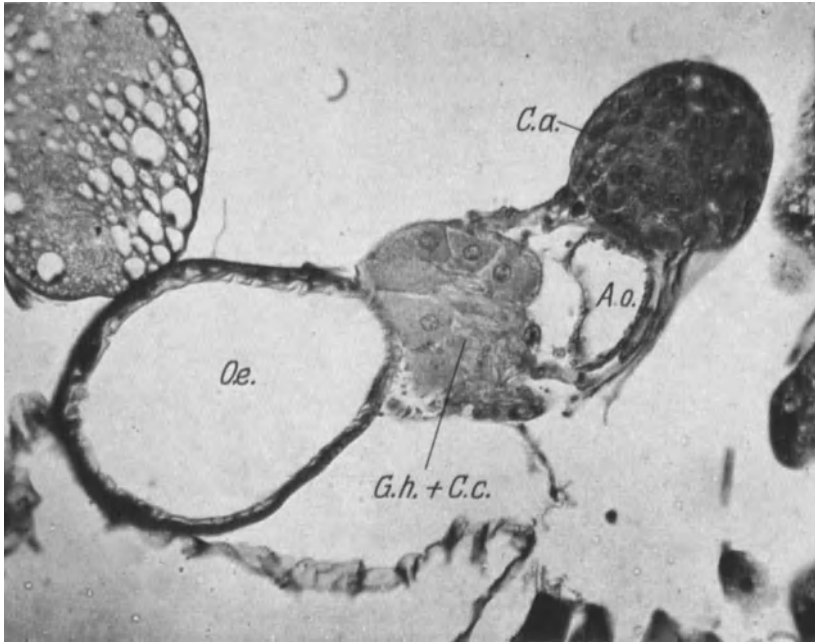


Fig. 3. Querschnitt durch eben geschlüpfte *Calliphora*-Imago. Erklärung s. Fig. 2. 300 \times .

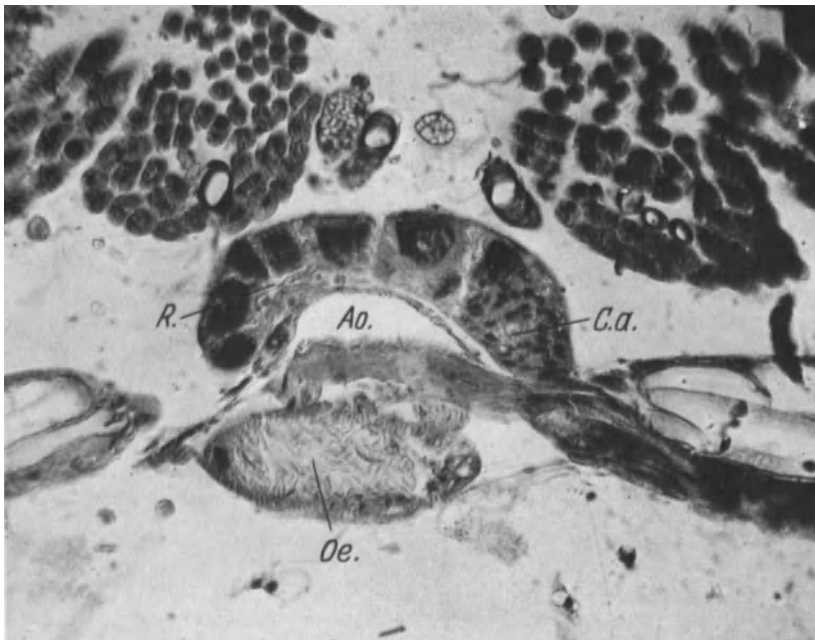


Fig. 4. Geschlechtsreifes Weibchen, Querschnitt. Vgl. Text und Fig. 2. 300 \times .

Die Corpora allata der Insekten wurden schon früher von HANSTRÖM⁵⁾ mit der Hypophyse der Vertebraten verglichen. Ich möchte hinzufügen, daß die Pericardialdrüsen von *Dixippus* und die einer Meinung nach damit homologe

Ringdrüse der Musciden gewisse Ähnlichkeiten mit dem Thymus zeigen.

Für die sichere Beurteilung der Homologie oder Nicht-Homologie der bei verschiedenen Insektengruppen gefundenen inkretorischen Organe ist es notwendig, diese Drüsen durch alle Entwicklungsstadien zu verfolgen.

Als Arbeitshypothese wäre folgende Vorstellung möglich: Bei den primitiveren Insekten mit hemimetaboler Entwicklung wie *Dixippus* findet sich durch alle Larvenstadien hindurch eine Reihe inkretorischer Drüsen, die sich aber in ihrer Funktion zeitlich ablösen und sich dadurch gegenseitig im Schach halten. PFLUGFELDER hat ja schon außer den Corpora allata und Corpora cardiaca die oben erwähnten Pericardialdrüsen und weiter zwei sog. Ventraldrüsen entdeckt, die ebenfalls als Inkretorgane angesprochen werden. Bei den Dipteren (besonders den Cyclorrhaphen), deren Metamorphose durch die weitgehende Ausbildung von „Imaginalscheiben“ charakteristisch und so grundverschieden von der *Dixippus*-Entwicklung ist, könnte man sich vorstellen, daß die für die Gesamtentwicklung notwendige Kombination von Inkretorganen nicht gleichzeitig nebeneinander vorhanden wären, sondern daß sie sukzessive entwickelt würden, in Übereinstimmung mit dem großen Unterschied zwischen den Entwicklungsstadien. Tatsächlich wird, wie oben erwähnt, das von mir als C. all. der Imago angesprochene Organ als „Imaginalscheibe“ in demjenigen Puppenorgan angelegt, das von VOGT Ringdrüse (WEISMANN'S Ring) genannt wird, und das nach meiner Auffassung den Pericardialdrüsen von *Dixippus* entsprechen könnte.

Kopenhagen, Zoologisches Laboratorium der Kgl. Tierärztlichen und Landwirtschaftlichen Hochschule, den 14. Juli 1941. ELLEN THOMSEN.

1) ELLEN THOMSEN, Relation between Corpus allatum and Ovaries in Adult Flies (Muscidae). *Nature* 145 (1940).

2) Nach persönlicher Mitteilung.

3) MARGUERITE VOGT, Anatomie der pupalen *Drosophila*-Ringdrüse und ihre mutmaßliche Bedeutung als imaginales Metamorphosezentrum. *Biol. Zbl.* 61, H. 3/4 (1941).

4) O. PFLUGFELDER, Weitere experimentelle Untersuchungen über die Funktion der Corpora allata von *Dixippus morosus* Br. *Z. wiss. Zool.* 151 (1938).

5) B. HANSTRÖM, Hormones in Invertebrates. Oxford 1939.

Besprechungen.

STILLE, HANS, Einführung in den Bau Amerikas.

Berlin: Gebr. Borntraeger 1940. XX u. 717 S., 128 Abbild. Preis brosch. RM 62.—, geb. RM 64.40.

Dieses Buch ist viel mehr als der Titel sagt, mehr als eine „Einführung“, und es behandelt auch mehr als nur den „Bau“ Amerikas. Es will nicht eine einfache regional-tektonische Darstellung der Bauverhältnisse des amerikanischen Kontinents geben, so wie sie sich etwa auf Grund der bisherigen Forschung darbieten, sondern darüber hinaus die Ableitung der allgemeinen Zeit- und Raumgesetze der Geotektonik, wofür Amerika als Musterbeispiel sozusagen das Tatsachenmaterial liefert. In diesem Sinne handelt es sich um ein Buch der *allgemeinen Geotektonik*.

Wie schon an anderer Stelle dieses Heftes (s. S. 593) gesagt, ist es die Krönung von STILLES bisherigem wissenschaftlichem Werk und zeigt seine strenge Methode der zeitlich-räumlichen Analyse und Synthese in ihrer Vollendung. Die sich aus eigenen Forschungsreisen und umfassenden Literaturstudien (das Schriftenverzeichnis enthält weit über 900 Nachweise) ergebenden örtlichen tektonischen Verhältnisse werden erdhistorisch, also hinsichtlich der Zeitlichkeit der tektonischen Vorgänge, analysiert und dann wieder zusammengefügt zu einem Großbilde des tektonischen Werdegangs.

Die erdgeschichtlichen Ären Amerikas ziehen an unseren Augen vorüber. Wir sehen den Kontinent sich allmählich aufbauen, indem drei zunächst isolierte Urkerne („Uramerika“, bestehend aus Laurentia im Norden und Brasilia und Patagonia im Süden) durch Analfaltung vergrößert und schließlich miteinander verbunden werden. So erweitert sich in der *kaledonischen* Faltungsära, deren konsolidierender Effekt allerdings nur gering bleibt, Laurentia im Norden durch einen ostgrönländischen und vermutlich auch einen nordgrönländischen Faltenkranz. In der *variszischen* Ära entsteht das 5000 km lange System der Appalachen, wodurch sich Laurentia nach Südosten und Süden um „Mesoamerika“ vergrößert; in Südamerika verschweißen Patagonia und Brasilia miteinander zu einer einheitlichen Masse. Zugleich treten erste Faltungen entlang der Andenkette („Präandiden“) und im Zuge der Sierra Nevada („Pränevadiden“) auf, ohne daß sie indes eine Konsolidierung (Nichtfaltbarmachung) des Untergrundes bedingen. In der *alpidischen* Ära schließlich erweitern sich Nord- und Südamerika nach Westen durch den langen, von Alaska bis Feuerland reichenden und nur in Mittelamerika unterbrochenen („Sapperland“) Faltenstrang der Kordillerenzone, der sich im Norden in die älteren (jungkimmerischen) Nevadiden und die jünger (im wesentlichen laramisch) angefalteten Rockyiden gliedert und in Südamerika aus den Andiden (subherzynische Hauptfaltung mit jüngeren Analfaltungen) besteht. — Besondere Verhältnisse herrschen in Mittelamerika als dem Interferenzgebiet mit der alten Mittelmeerzone der Erde. Schon die Enden der variszischen Appalachen und Präandiden traten hier zu einem eigenen Orogen („Palantillisches Orogen“) zusammen, und in Wiederholung desselben bildet sich in der alpidischen Ära die Faltschlinge des mittelamerikanischen oder antillischen Orogens aus.

Alle diese Gebirge gehen aus *Geosynklinalen* hervor, die sich als Randphänomene an den jeweiligen Kontinentalrändern anlegen. Uralte Kontinentalblöcke werden dadurch formbestimmend für den weiteren Aufbau und schließlich das Endbild des amerikanischen Kontinents.

Der reichen Fülle des überaus anregenden Buches kann man mit diesem dürren Auszug nicht gerecht werden. Viele weitere Fragen, insbesondere magmatologische, werden eingehend behandelt, und zuletzt fallen helle Streiflichter auch auf das Problem des Atlantik als des durch auffallende Längs- und Quersymmetrien gekennzeichneten „negativen Abbildes Amerikas“, das sich als großes Destruktionsfeld dem kontinentalen Rest- und Aufbaufeld Amerika gegenüberstellt.

FR. LOTZE.

Regionale Geologie der Erde. Herausgegeben von

K. ANDRÉE, H. A. BROUWER und W. H. BUCHER.

Leipzig: Akadem. Verlagsges. m. b. H. 1938/1939.

Bd. I: **Die alten Kerne.** Abschnitt VI: The Indian Peninsula and Ceylon. By G. de P. COTTER. 72 Seit. und 21 Abbild. Abschnitt VII: Middle and West Australia. By E. de C. CLARKE. 62 Seit. und 22 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 16.80. Abschnitt VIII: Antarctica. By GRIFFITH TAYLOR. 40 Seit. und 11 Abbild. Preis brosch. RM 7.80.

Bd. III: **Jüngere orogenetische Zonen.** Abschnitt IVa: The North American Cordillera and the Caribbean Region. By A. C. WATERS and HOLLIS D. HEDBERG. 60 Seit., 9 Abbild. und 1 Tafel. Abschnitt IVb: Die Kordilleren von Südamerika. By H. GERTH. 71 Seit., 12 Abbild. u. 1 Tafel. Preis brosch. RM 17.—.

Von der „Regionalen Geologie der Erde“, über deren erste 3 Lieferungen in den Naturwiss. 1938, 775 berichtet worden ist, sind nunmehr einige neue Lieferungen herausgegeben worden. Sie gehören zum Teil zu Bd. I, umfassend „die alten Kerne“, zum Teil zu Bd. 3, der die „jüngeren orogenetischen Zonen“ zur Darstellung bringt.

Bei den „alten Kernen“ handelt es sich zunächst um zwei uralte Erdstücke, die als Reste des einstigen Südkontinentes Gondwanaland heute noch im Norden und im Osten des Indischen Ozeans aufragen, nämlich erstens um die *Indische Halbinsel nebst Ceylon* und zweitens um *Australien*, soweit letzterer Kontinent einen „alten Kern“ enthält und nicht wie im Osten aus Faltenland paläozoischen Alters besteht. Die Behandlung Indiens ist durch G. de P. COTTER und diejenige Australiens durch E. de C. CLARK erfolgt.

In beiden Gebieten, die sich als „alte Kerne“ dadurch erweisen, daß keine wesentlichen Faltungen seit der algonkischen Zeit mehr eingetreten sind, spielt das alte Grundgebirge die Hauptrolle, und in beiden Fällen erkennen wir die Fortschritte, die hinsichtlich der Klärung der so schwierigen Grundgebirgsverhältnisse erzielt worden sind. Die Darstellung betont die großen revolutionären Ereignisse, die sich in Diskordanzen ausdrücken und auf denen die Gliederung der Grundgebirgsmassen in einzelne Systeme beruht.

In nachalgonkischer Zeit sind die beiden alten Massen nur noch vorübergehend und zumeist nur noch in begrenzten Räumen vom Meere überflutet gewesen. Auf der Indischen Halbinsel wie in Ceylon vermissen wir z. B. marines Paläozoikum gänzlich, vielmehr stellt sich solches erst weiter nördlich in den jungen Faltungsgebieten des Himalaya, d. h. also schon außerhalb des „alten Kernes“, ein. Wohl aber kennt man auf der Indischen Halbinsel in enormer Ausdehnung jungpaläozoische und dann auch mesozoische Ablagerungen von kontinentalem Charakter, die schon lange als die Gondwanaformation bezeichnet werden. Die an der Basis dieser Kontinentalmassen liegende glaziale Talchir-Serie faßt der Verf. als oberkarbonisch und

nicht als unterpermisch auf. Das Eis muß nach seiner Meinung von Süden gekommen sein. Mesozoische Transgressionen geben sich in Indien in den schon altbekannten Jura- und Unterkreide-Ablagerungen der Halbinsel Cutch und in den Kreideschichten Südindiens zu erkennen. Mit den Deccan-Basalten hat sich am Ende der Kreidezeit und am Anfang des Tertiär im westlichen Indien ein Vulkanismus eingestellt, der nach der räumlichen Erstreckung und der bis zu 2000 m anschwellenden Mächtigkeit seiner Produkte kaum seinesgleichen in der Welt findet. Marine tertiäre Ablagerungen sind auf die Küstengebiete beschränkt. Damals, wie auch im Hauptteil der Kreide, hat die Indische Halbinsel schon annähernd in den heutigen Konturen bestanden.

Im Vergleich mit Indien haben die nachalgonkischen Transgressionen über dem alten Kern Australiens erheblich weitere Ausdehnung gefunden. So haben sich schon die kambrischen und dann auch die devonisch-karbonischen Meere recht weit über den Kontinentalbereich wieder erstreckt. Dem ist allerdings eine vollständige Heraushebung während der Trias und eine fast andauernde während des Jura gefolgt. Nur vorübergehend sind im Jura größere Teile Australiens überflutet gewesen. Aus der Kreide kennt man eine Reihe größerer und kleinerer Überflutungen. Im Alttertiär finden wir Spuren des Meeres nur noch ganz im Westen.

Als weiterer „alter Kern“ wird der *antarktische Kontinent* durch GRIFFITH TAYLOR behandelt. Der Kontinent teilt sich auf in Ost-Antarctica, d. h. den östlich des Meridians von Greenwich gelegenen Teil, und in West-Antarctica, das westlich dieses Meridians liegt. Ost-Antarctica ist in seiner Gesamtheit ein seit uralten Zeiten konsolidiertes Land. Das ergibt sich daraus, daß in ihm die mesozoischen und paläozoischen Schichten einschließlich des Kambriums noch horizontal liegen. Auch von West-Antarctica ist ein erheblicher Teil als Urmasse anzusprechen. Aber im Westen, etwa beginnend im Graham-Land, ist auch jüngeres Faltenland im heutigen Kontinent umschlossen. Es bildet die Fortsetzung der Anden und weist in seiner Entwicklung mancherlei ausgesprochen andine Züge auf. Recht interessant ist die Mitteilung, daß EDGEWORTH in einem bisher gänzlich unerforschten Raume vom Flugzeug aus Gebirgszüge gesehen und aufgenommen hat, die offenbar die Falten vom Graham-Land auf 900 km Erstreckung bis zum Eisschelf des Roßmeeres fortsetzen. Ein Teil davon ist die Sentinel Range, deren Höhe mit 4000 m angegeben wird. Vom Rossmeer aus müssen sich die Falten — vielleicht in Form eines Bogens, der die Bogenform der von Feuerland nach Graham-Land führenden Antarktanden wiederholt — mit denen Neu-Seelands verbinden. Alles in allem wird von TAYLOR über das, was auf Grund der vielen antarktischen Expeditionen über den Bau der Antarcis bekannt geworden ist, eine gute Übersicht gegeben. Einige Ausführungen über die antarktische Physiographie bilden den Abschluß.

Von den jungen *orogenen Zonen* — Bd. 3 des Gesamtwerkes — kommen die *Kordilleren-Gebiete Nord-, Mittel- und Süd-Amerikas* zur Darstellung. A. C. WATERS und H. D. HEDBERG haben in Abschnitt IVa speziell die *nordamerikanischen Kordilleren* einschließlich des karibischen Gebietes behandelt, während die *Kordilleren Südamerikas* in Abschnitt IVb von H. GERTH geschildert worden sind. Die Darstellung Nord- und Mittel-Amerikas kann auf 51 Seiten natürlich nicht viel Detail bringen. Es wird ein erfreulicher Wert auf die Herausarbeitung der einzelnen Gebirgsbildungen

gelegt, so der am Ende der Juraformation eingetretenen nevadischen, die im Westen der nordamerikanischen Kordilleren ihren Schauplatz gehabt hat, und der am Ende der Kreidezeit eingetretenen laramischen, der Hauptgebirgsbildung des gewöhnlich als Felsengebirge bezeichneten Ostens der Kordilleren. Damit wird die Altersgegensätzlichkeit der Faltungen im Osten und Westen gut betont. In der Spezialdarstellung Mittelamerikas erkennt man die starke Anlehnung an die Anschauungen, die SCHUCHERT vor einigen Jahren in seinem Buche über die Geologie der antillisch-karibischen Gebiete entwickelt hat. Die Behandlung der Einzelgebiete ist recht ungleichmäßig ausgefallen. Von den Kordilleren Kanadas, die ja einen ganz großen Teil des nordamerikanischen Kordilleren-Systems ausmachen, wird z. B. kaum etwas gesagt, während die Verhältnisse Kaliforniens relativ stark im Vordergrund stehen. Ganze 3 Seiten behandeln die Tertiärzeit Mexikos und des karibischen Gebietes. Das Kapitel über die Bodenschätze Nord- und Mittel-Amerikas umfaßt eine einzige Seite, wobei z. B. die so hochwichtigen Erdöllagerstätten mit ein paar Zeilen abgetan werden. Natürlich kommt unter solchen Verhältnissen die Darstellung nicht über Gemeinplätze hinaus.

GERTH ist es gelungen, eine einigermaßen gleichmäßige Behandlung der *Kordilleren Südamerikas* auf dem zur Verfügung gewesenen engen Raume zu erreichen. Als besonders wertvoll erscheinen die zusammenfassenden Darlegungen von stratigraphisch-paläogeographischer Art, in bezug auf die GERTH viele persönliche Erfahrungen besitzt. In einem Schlußkapitel werden mancherlei „Zusammenhänge und Probleme“ erörtert. Wichtig ist hier die Unterscheidung zwischen dem nord-südlich gerichteten Hauptteil der Anden und den von diesem im Norden (Venezuela) und Süden (Feuerland usw.) abbiegenden und mehr west-östlich streichenden Enden. Im letzteren Teil möchte GERTH „echt geosynklinale Verhältnisse“ gelten lassen, wobei hervorgehoben wird, daß die Anden Venezuelas aus einem zwischen zwei randlichen Hochgebieten liegenden Troge hervorgegangen seien. Dabei wird zum nördlichen Hochgebiet der Raum der heutigen holländischen Inseln Curaçao usw. gestellt. Aber auch diese Inseln zeigen doch nach der Mächtigkeit und Art ihrer Gesteine und der Jugendlichkeit der Faltungen und Intrusionen noch ausgesprochen geosynklinale Verhältnisse. Im Gegensatz zu diesen nördlichsten Anden sind, wie GERTH ausführt, die nord-südlich gerichteten Hauptanden in dem Grenzraum eines hochgelegenen sialischen Kontinents und einer simischen Tiefscholle (Pazifik) entstanden. Hier möchte GERTH nicht von einer „Geosynklinale“, sondern von einem „vom Pazifik überfluteten kontinentalen Schelfraum“ sprechen. Doch auch hier bezeugen nach Ansicht des Ref. die großen Mächtigkeiten der Sedimente das ehemalige starke Absinken des Sedimentationsraumes, d. h. seinen geosynklinalen Charakter. Jedenfalls wird auch von GERTH die Existenz eines ehemaligen Kontinentes im Bereiche des östlichsten Pazifik, der den Bildungsraum der Anden nach dem Westen begrenzt hätte, abgelehnt. Zutreffend wird die enorme Beteiligung der eruptiven Massen an den nord-südlich gerichteten Anden dem Zurücktreten solcher Massen in Venezuela usw. gegenübergestellt. Wenn daraufhin aber die nord-südlich gerichteten Anden ganz allgemein als ein „magmatisches Gebirge“ bezeichnet werden, so ist das doch nur für einen Teil derselben berechtigt, während andere und ganz weite Teile sich als normale Faltengebirge erweisen.

H. STILLE.

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

10. Oktober 1941

Heft 41

Zum 25jährigen Jubiläum der Sommerfeldschen Arbeiten über die Feinstruktur der Spektrallinien¹⁾.

Von W. KOSSEL, Danzig.

Es ist nun ein Vierteljahrhundert verflossen, seit die ersten Arbeiten erschienen, in denen man wagen konnte, ein bestimmtes Bild von der Struktur des Atomgebäudes zu entwerfen. So waren um die Jahreswende 25 Jahre vergangen, seit SOMMERFELD der Bayerischen Akademie die Arbeiten²⁾ vorlegte, in denen er die vollständige Quantelung einführte. Noch im selben Jahr erschien dann die große Annalen-Arbeit³⁾, in der dieser Gedanke vollständig, bis zur Richtungsquantelung, durchgeführt war. SOMMERFELD zeigte, daß der Zustand eines Elektrons am Atomkörper zu seiner Beschreibung eines Systems von mehreren Quantenzahlen verschiedener Bedeutung bedarf.

Diese Arbeiten bedeuteten den Durchbruch einer Gedankenrichtung, die SOMMERFELD schon seit Jahren verfolgt hatte, zu voller Bestimmtheit und fruchtbarster Anwendung. Vor allem wurde die längst als wichtig erkannte, aber unverstanden gebliebene Feinstruktur der Spektrallinien gedeutet und zu einem Werkzeug tiefer greifender Arbeit gemacht.

Der Verfasser konnte diese folgenreiche Entwicklung aus der Nähe miterleben, und zwar von einem bedeutsamen Augenblick an: der Karlsruher Rede von 1911, in der SOMMERFELD zu den Beziehungen von Quantentheorie und Struktur der Materie entschieden Stellung nahm.

Aufgefordert, auf der Karlsruher Naturforscherversammlung zusammenfassend über ein wichtiges Thema zu sprechen, wählte SOMMERFELD nicht etwa, wie man ihm vorgeschlagen hatte, die Rela-

tivitätstheorie, sondern „das PLANCKsche Wirkungsquantum und seine allgemeine Bedeutung für die Molekularphysik“¹⁾. „Hier“, so sagte er, „liegt heute der Schlüssel der Situation, der Schlüssel nicht nur zur Strahlungstheorie, sondern auch zur molekularen²⁾ Konstitution der Materie“, und wenn er hinzufügen muß, daß der Schlüssel „zur Zeit noch recht tief versteckt liege“, so ist die Sicherheit, mit der er dennoch einen ganz bestimmten Standpunkt einnimmt, um so mehr zu bewundern.

Wie sah es damals aus? — Um 1910 war deutlich geworden, daß zwischen der PLANCKschen Konstanten und den Atomdimensionen eine Beziehung bestehe. Man hatte bemerkt, daß ein Elektron, das im Abstand eines Atomradius um einen eben so hoch geladenen positiven Rest umlaufe, dabei eine in die Größenordnung der Frequenzen sichtbaren Lichts fallende Umlaufzahl zeigen würde, und obendrein ergab sich, daß die Arbeit, es von da abzulösen, dem PLANCKschen Energiequant einer solchen Frequenz nahekomme. Es lag natürlich am nächsten, die neue, ungewohnte Erscheinung — das Quantenphänomen — auf den altgewohnten Begriff — die Atomdimensionen — zurückzuführen und diese auffallenden Beziehungen als Anzeichen dafür anzusehen, daß die PLANCKsche Konstante eine Äußerung der gegebenen Größe der Atome sei. SOMMERFELD vertrat in jener Karlsruher Rede den entgegengesetzten Standpunkt. Die Quantenerscheinungen, so führt er nach eingehender Betrachtung des damaligen, uns heute sehr bescheiden anmutenden Erfahrungsmaterials aus, sind das Universelle, sie haben als die Grundlage zu gelten, und abschließend kommt er zu der denkwürdigen Formulierung, das h sei „nicht aus den Moleküldimensionen zu erklären, sondern die Existenz der Moleküle³⁾ als eine Funktion und Folge des elementaren Wirkungsquantums anzusehen“.

In aller Bestimmtheit zeichnet sich hier, während im einzelnen noch alles unfertig ist, die Gedankenrichtung ab, die so fruchtbar werden sollte.

¹⁾ Der Text ist bis auf einige Ergänzungen einem der Vorträge entnommen, die zum 70. Geburtstage SOMMERFELDS in der Festsitzung des Gauvereins Bayern der Deutschen Physikalischen Gesellschaft am 4. Dezember 1938 gehalten wurden. Sie hatten die Aufgabe, die Hauptzüge von SOMMERFELDS Arbeitsgebieten vor Augen zu führen und ein Bild davon zu geben, wie es bei der Aufdeckung mancher heute längst zu fertigen Sätzen gewordenen Erkenntnisse zuzug. Ferner berichtete jeder über ein neues Ergebnis. Dieser zweite Teil ist oben nicht wiedergegeben. [Es wurde eine gemeinsam mit G. MÖLLENSTEDT ausgearbeitete experimentelle Methode geschildert, die der Ausbreitung der Elektronenwellen im Festkörper gilt: diese Z. 26, 660 (1938) — Ann. Physik (5) 36, 113 (1939).]

²⁾ „Zur Theorie der Balmerschen Serie“, vorgetragen am 4. Dezember 1915; „Die Feinstruktur der Wasserstoff- und der wasserstoffähnlichen Linien“, vorgetragen am 8. Januar 1916 (Sitzgsber. bayer. Akad. Wiss., Math.-physik. Kl. 1916, 425).

³⁾ „Zur Quantentheorie der Spektrallinien“, eingegangen am 5. Juli 1916. Ann. Physik (4) 51, 1, 125.

¹⁾ A. SOMMERFELD, Verh. dtsh. physik. Ges. 13, 1074 (1911).

²⁾ Beim Zitieren der damaligen Texte ist daran zu erinnern, daß der damalige Sprachgebrauch den Ausdruck „molekular“ noch allgemein nahm, so daß hier vor allem auch die Existenz der Atome selbst mit gemeint ist.

³⁾ Vor allem der Atome, vgl. vor. Fußnote.

Schon bei dieser ersten Entscheidung war SOMMERFELDS große Vertrautheit mit der allgemeinen Mechanik maßgebend. Die beherrschende Stellung, die dort das Hamilton-Prinzip einnimmt, gilt ihm als Gewähr dafür, daß auch beim Quantenphänomen eine auf die *Wirkung* gehende Aussage das Wesentliche treffen muß. Die Dimension des h und PLANCKS Bezeichnung Wirkungsquantum — nicht Energiequantum — scheinen solch „allgemeineren Standpunkt“ „bereits mit aller wünschenswerten Klarheit“ anzudeuten. Empirisch erscheint besonders wichtig, daß man auch unperiodische Vorgänge von hier aus anfassen, etwa die mit größerer Energie der Kathodenstrahlen zunehmende Härte der Röntgenstrahlen als Quantenerscheinung, als Äußerung der Konstanz einer Größe von der Dimension Energie \times Zeit deuten kann.

So geläufig uns heute der Gedanke geworden ist, daß die Quantentheorie im Atom regiere, so ungewohnt war er damals. SOMMERFELD schilderte im Herbst 1911, von einer Sondertagung über Strahlungstheorie und Quanten (erste Solvay-Konferenz) in Brüssel zurückkehrend, im Münchener Kolloquium lebhaft die dortigen Diskussionen. Er hatte im gleichen Sinn vorgetragen wie in Karlsruhe und erwähnte unter anderem, wie RUTHERFORD, der ja gerade im Jahre vorher mit seiner Entdeckung des Kerns so Wunderbares durch eine rein klassisch-mechanische Betrachtung erreicht hatte, ihn nachträglich nochmals aufs Gewissen gefragt habe, ob er wirklich glaube, es werde ohne die Quanten im Atom nicht abgehen. Gerade die Quantifizierung des Kernmodells selbst ist ja dann in RUTHERFORDS Institut durch BOHR vollzogen worden.

Als dies Modell dann im übernächsten Jahr erschien, als BOHR den Begriff der *stationären Zustände* in die Vorstellungen über Quantentheorie und Atomstruktur einführte und durch die Deutung der Spektren des H und des He^+ so schlagend belegte, sah SOMMERFELD dies sogleich von dem allgemein-mechanischen Standpunkt aus an, den wir eben andeuteten. BOHR war von den erwähnten Zusammenhängen zwischen Atomradius, Elementarladung, optischen Frequenzen und Wirkungsquantum ausgegangen, hatte aber die mit der Abreißarbeit durch eine Quantenbeziehung verknüpfte Umlauffrequenz des Elektrons nicht *selbst* als die Frequenz des ausgesandten oder zu absorbierenden Lichtes angesehen¹⁾. Er nahm vielmehr an, daß das bei der *Bindung* eines freien, vorher ruhenden Elektrons ausgesandte Licht eine Frequenz zeige, die gleich der Hälfte der schließlichen Umlaufzahl im Atom sei. Wurde dies

¹⁾ So hatte z. B. im Jahr vorher NIELS BJERRUM ultrarote Molekülfrequenzen als Frequenzen gequantelter Rotationen aufgefaßt. Die BJERRUMSchen Beziehungen sind, wenn auch umgedeutet und ergänzt (HEURLINGER, KRATZER 1920), eine der ältesten Quantendarstellungen von Spektralfrequenzen.

Licht in PLANCKSchen Quanten ausgesandt, so folgte, daß die Energie der Bahn (die ja negativ ist) einem ganzen Vielfachen des Energiequantums dieser Strahlung gleich sei. Die Definition des Zustandes ist also an eine mit der Umlauffrequenz einfach zusammenhängende *Energieforderung* geknüpft. Die die Einzellinien der Serie liefernde Frequenzvorschrift für den *Wechsel* zwischen zwei Zuständen schließt sich dem folgerichtig an. Diese erste BOHRsche Ableitung der Balmerreihe, die augenscheinlich der Weg des Findens gewesen ist, wirkt zwar etwas verwickelt — sie unterscheidet aber noch nicht zwei *verschiedene* Postulate für Zustand und Zustandswechsel — und auch im Hinblick auf BOHRs späteres Fortschreiten zum Korrespondenzgedanken ist sie eine höchst interessante Entwicklungsstufe.

Danach aber findet sich schon in dieser ersten Arbeit BOHRs die Bemerkung, daß man die eben gewonnene Definition der stationären Zustände auch in der Weise deuten könne, wie es NICHOLSON¹⁾ im Jahre vorher in seinem Elektronenringmodell getan hatte: als Bahnen, deren *Impulsmoment* durch h definiert sei. NICHOLSON hatte hervorgehoben, daß gerade der Drehimpuls, der ja die Dimension einer Wirkung hat, sich der PLANCKSchen Wirkungsquantenvorschrift aufs Natürlichste eingliedere. „Wenn also“, sagt er weiter, „wenn also PLANCKS Konstante h , wie SOMMERFELD nahegelegt hat, eine Bedeutung für das Atom hat, so mag sie bedeuten, daß das Winkelmoment eines Atoms nur um diskrete Beträge zunehmen oder abnehmen kann, wenn Elektronen sich entfernen oder zurückkehren.“ Von der zweiten Arbeit an hat BOHR dies dann als die grundsätzliche Quantenvorschrift für die stationären Zustände benutzt.

SOMMERFELD betrachtete sie natürlich von der erwähnten allgemeineren Überlegungsweise aus und so empfand er es als unbefriedigend, daß im BOHRschen Modell allein der *Drehimpuls* gequantelt werden sollte. Ein so allgemeines Prinzip wie die Quantelung der Wirkung konnte unmöglich allein auf einen Freiheitsgrad — auf das Azimut — anzuwenden sein. Die Frage, wie man Systeme von mehreren Freiheitsgraden nach der Quantentheorie zu behandeln habe, war besonders mit dem Solvay-Kongreß von 1911 lebendig geworden und beschäftigte auch PLANCK selbst, dessen Untersuchung, die sich in grundsätzlichen Zügen mit der SOMMERFELDSchen begegnete, in der gleichen Zeit erschien, wie SOMMERFELDS Arbeiten.

SOMMERFELD führte seine Absicht, die Atomzustände vollständig zu quanteln, so durch, daß er für jeden einzelnen Freiheitsgrad ein gesondertes Wirkungsintegral ansetzte. So kam zur azimutalen Quantenzahl eine radiale und weiter die Quantenzahl der Bahnneigung, der Richtungsquantelung. Das einfache BOHRsche Kreismodell

¹⁾ NICHOLSON, Monthly Notices Royal Astronom. Soc. 72, 679 (1912).

wurde zu dem vollständigen Bild der Ellipsen und ihrer verschiedenen Einstellungen im Raum ausgestaltet.

Er stellte zunächst mit Befriedigung fest, daß die vollständige Behandlung an der von BOHR mit dem einfachen Kreismodell erzielten Leistung, die Balmerreihe zu geben, nichts ändere. Es erwies sich, daß verschiedene Bahntypen gleiche Energie besaßen — hinter den Balmerlinien verbarg sich das Spiel verschiedenartiger, aber energetisch zusammenfallender Zustände — es war die Entdeckung einer Lage, die inzwischen umfassende Bedeutung gewonnen hat, da sie sich in der Quantenphysik der Atomwelt immer aufs neue wiederholt (Entartung).

In wunderbarer Folgerichtigkeit entfalteten sich, als SOMMERFELD die Rechnung noch strenger, noch konsequenter durchführte, aus diesen zusammenfallenden Werten mehrere verschiedene, aber einander nahestehende: das Prinzip zum Verständnis einer der bezeichnendsten und reichsten Erscheinungen der Spektren, der Feinstruktur, war gefunden. So allgemein die Motive waren, von denen SOMMERFELD geführt worden war, und soviel Freude er schon an einem rein logischen Erfolg wie dem Weiterbestehen der Balmerreihe hatte, so wenig ließ er es beim Abstrakten bewenden. Selten ist eine Theorie so weit von dem Vorwurf entfernt geblieben, nur in der eigenen formalen Geschlossenheit ihre Rechtfertigung zu finden. Die Fülle der Anwendungen ist für sie ebenso bezeichnend wie die Folgerichtigkeit ihrer Entstehung.

Die erste und einfachste unter ihnen betraf den ersten mehrquantigen Zustand beim einfachsten Atom: der Wasserstoff mußte im zweiquantigen Zustand, den zwei hier nun angenommenen Einzelzuständen entsprechend, ein Dublett aufweisen. Die Theorie traf seine Größe, die in der Balmerreihe nur etwa $\frac{1}{10}$ ÅE. beträgt, und schon die zweite Mitteilung SOMMERFELDS brachte auch die Diskussion verwickelter Bilder aus höheren Termen, beobachtet von PASCHEN an He^+ . Es ist eindrucksvoll, in PASCHENS¹⁾ noch im gleichen Jahr erschienener Arbeit (S. 906, 940) zu lesen, wie sehr die SOMMERFELDSche Theorie hier sogleich praktisch eingriff, indem sie zur rechten Zeit kam, beim scharfen quantitativen Vergleich von H- und He^+ -Spektrum zu helfen. Die Feinstrukturen, die hier auftraten und vom einfachen BOHRschen Bild noch nicht gegeben waren, störten den Vergleich — die SOMMERFELDSche Theorie erlaubte, sie vollständig zu erkennen und ihren Einfluß rechnerisch zu berücksichtigen.

Noch vorher aber hatten sich Beispiele für das einfache Dublett an anderer, im Bau sämtlicher Atome wiederkehrender Stelle gefunden. Ich gehe darauf näher ein, weil es mir von eigener Arbeit her besonders lebendig wurde und weil gerade hier sehr deutlich wird, in welcher Weise die Ergebnisse

VON SOMMERFELDS rein deduktivem Vorgehen in die Behandlung der Tatsachen eingriffen. Sie begegneten sich hier mit Schlüssen, die von ganz anderen Grundlagen ausgingen.

Es lag damals ein ungeheures Erfahrungsmaterial ungedeutet bereit, um in die kommende Theorie des Atombaus eingefügt zu werden. Da waren die Ergebnisse von 50 Jahren spektroskopischer Meßarbeit, eindrucksvoll vertreten durch die Bandreihe von KAYSERS Handbuch der Spektroskopie, da waren die Daten über magnetische Eigenschaften, Brechungsvermögen, Leitfähigkeit und andere Eigenschaften der Elemente und Verbindungen. Die anorganische Chemie, aufgefaßt als vergleichende Chemie der Elemente, bot das gleiche Schauspiel einer ungeheuren Materialfülle mit angedeuteten aber unverstandenen Regeln. Man konnte deshalb auch geradezu den entgegengesetzten Weg einschlagen wie SOMMERFELD, — man konnte versuchen, nicht deduktiv aus einem allgemeinen Prinzip die Möglichkeiten der Zustände eines Elektrons herzuleiten, sondern empirisch aus der Fülle der tatsächlichen Eigenschaften des Atombaus, wie sie sich in der Mannigfaltigkeit der chemischen Elemente äußerte, Kenntnis davon zu gewinnen, welche Zustände in der Elektronenhülle des Atoms tatsächlich vorkämen. Seit Jahrzehnten bestand ja das Bewußtsein, daß die Regelmäßigkeiten des *Periodischen Systems* einmal zur Aufklärung der Atomgebäude dienen würden — die deduktive Theorie aber war, so glänzend BOHRs Modell die Atomgebäude mit *einem* Elektron (H , He^+ , Li^{++}) beleuchtete, damit nicht vorangekommen. Ich bemühte mich damals um diese Aufgabe, ursprünglich angetrieben durch die Überzeugung, daß die LENARDSche Erkenntnis von dem bei der Lichtanregung abgelösten und bei der Lichtaussendung zurückkehrenden Elektron, die mir im Heidelberger Institut vertraut geworden war, auch für die augenscheinlich ganz fundamentalen BARKLASchen *Röntgenspektren* der Elemente anwendbar sein müsse. Als dann BOHRs Modell auftrat, schienen mir die den meisten damals als äußerst kühn erscheinenden Elektronensprünge gerade wegen ihrer natürlichen Verwandtschaft mit den bewährten LENARDSchen Elektronenbewegungen im Phosphor sogleich vertrauenerweckend, und in der Tat ließ sich an Hand der BARKLASchen Erregungsbedingungen bald ein Platzwechselvorgang zwischen einem „K-Ring“, einem „L-Ring“ usw. angeben, der einem Phosphoreszenzvorgang weitgehend ähnelte und zutreffende Zusammenhänge zwischen K- und L-Spektren ergab (1914).

Diese Vorgänge bei der Röntgenerregung und weiterhin die chemischen Tatsachen erwiesen sich als die geeigneten Punkte, das Problem des Periodischen Systems aufzurollen. Dabei zeigte sich, daß der BOHRsche Ansatz noch zu einfach war: man konnte BOHR in dem, was er über das Periodische System vorgeschlagen hatte, nicht zustimmen. Man konnte nicht das ganze Atom

¹⁾ F. PASCHEN, Ann. d. Phys. (4) 50, 901 (1916).

mit der Quantenzahl 1 aufbauen, man fand schon bei der Quantenzahl 2 *mehrere* Niveaus, und vor allem: man durfte nicht mit wachsender Kernladung in der Reihe der Elemente die innersten Elektronengruppen des Atoms immer höher mit Elektronen anfüllen, um periodischen Wechsel der Eigenschaften zu erreichen (BOHRs „Zusammenfließen von Elektronenringen“ bei kritischen Ordnungszahlen). Vielmehr fand sich, entgegen den einfachen elektrostatischen Vermutungen, die zu jener Annahme geführt hatten, die Tatsache des *Abschlusses* von Schalen definierter Elektronenzahl, bei der innersten schon mit 2 Elektronen. An Stelle der THOMSON-BOHRschen periodischen *Umwandlungen* des Atominneren hatte also ein regelmäßiges *Aufbauen*, an Stelle der beweglichen, sich immer wieder umgestaltenden Elektronenkonfigurationen dieser Modelle hatten Elektronenschalen begrenzten Inhalts zu treten. Der Umfang der hiermit umfaßten Erscheinungen war überzeugend, ein großer Kreis chemischer Tatsachen, in den sich auch die damals von chemischer Seite noch vielfach als revolutionär empfundenen Begriffe der WERNERSchen Koordinationschemie mit wichtigen Beiträgen eingliederten, wurde verständlich und schloß sich mit elektrischen, magnetischen und optischen Eigenschaften der Stoffe so konsequent zusammen, daß man sicher sein konnte, im Schalenaufbau und -abschluß das Prinzip des Periodischen Systems vor sich zu haben. Mit Bezug auf die Quantentheorie aber ergab sich daraus die spannende Frage, ob und wie der einfache Ansatz BOHRs sich so umbilden lassen werde, daß er den anspruchsvolleren Anforderungen, die die neue Auffassung des Periodischen Systems stellte, gerecht werden könne.

Von dieser Arbeitsrichtung her gesehen, machte daher die großartige Konsequenz der SOMMERFELDSchen Deduktion damals wohl den größten Eindruck. Ich werde nie den Kolloquiumsabend vergessen, an dem sich seine Überlegungen über vollständige Quantelung zum erstenmal mit denen über Schalenbau berührten. Ein weitgespannter Schluß aus SOMMERFELDS deduktivem Verfahren traf mit bestimmter Aussage mitten in das Tatsachengebiet, mit dem ich beschäftigt war. Ich berichtete damals, daß die soeben von SIEGBAHNS Schüler MALMER ausgemessenen Dubletts der $K\alpha$ -Linie ganz ausgezeichnet mit den Dubletts des L -Zustandes übereinstimmten, auf die ich aus dem Verlauf von BARKLAS L -Absorptionsbeobachtungen geschlossen hatte. Das war mir wichtig als erneutes und verfeinertes Beispiel der Beziehungen, die sich aus der Vorstellung vom Elektronenaustausch zwischen den besetzten innersten Schalen ergeben hatten. Zu meiner Freude nahm SOMMERFELD an dieser Struktur lebhaftes Interesse: „Dubletts haben Sie? und durch eine Reihe von Elementen?“, erbat sich eine Wiederholung und entwickelte uns, als wir später in kleinem Kreis zusammensaßen, daß er solche

Dubletts nach der Theorie, mit der er eben beschäftigt war, ganz allgemein für zweiquantige Zustände zu erwarten habe, daß danach der vorhin projizierte Gang der Dublettbreite mit der Ordnungszahl der vierten Potenz von Z folgen und von dem von ihm berechneten Wasserstoffdublett ausgehen müsse. Am übernächsten Tag kam seine Postkarte, es stimme zahlenmäßig. Das wirkte zauberhaft — zwei Eigenschaften des L -Terms, die sich ganz unabhängig voneinander aus Beobachtung und Modellüberlegung gefunden hatten — Zweiquantigkeit und Multiplizität — erschienen nun in zwangsläufiger Verknüpfung von großer allgemeiner Wichtigkeit.

In der Tat beruht ja gerade die Aufspaltung des schon am einfachen System Kern-Elektron auftretenden H -Dubletts und seine Fortsetzung in den L -Schalen nicht auf irgendwelchen verwickelten Störfeldern, sondern geht ihrem Betrage nach aus der Quantendefinition des Zustandes und der Konstitution der Teilchen hervor, und das ist auch bei der späteren Umdeutung, die den Spin hereinbrachte, so geblieben¹⁾. Im ursprünglichen Bilde — in den Arbeiten, an die wir heute erinnern — wird die Aufspaltung, wie jede elektrodynamische Wirkung, vom Verhältnis der Teilchengeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit diktiert. Diese Verhältniszahl, genommen für die erste Quantenbahn im H -Atom, SOMMERFELDS berühmte „Feinstrukturkonstante“, ist daher das Denkmal jener ersten Entwicklungsstufe. Sie enthält das Verhältnis von e^2 und h — $\left(\alpha = \frac{2\pi e^2}{hc}\right)$ —, betrifft also die Beziehung zwischen den beiden großen Erscheinungsgebieten der Atomistik: mit dem Elementarquantum ist die statische Atomistik vertreten, die wir als Begriff seit dem Altertum, als Tatsache seit 1800 kennen, mit dem Wirkungsquantum die dynamische Atomistik, die wir als Begriff und als Tatsache PLANCK verdanken. Die Bedeutung dieser reinen Zahl, die in knappster Form die beiden Seiten der atomistischen Weltstruktur umfaßt, greift über die ursprüngliche Frage nach dem Verhalten von Elementarteilchen hinaus in die Diskussion der Bedingungen, aus denen Elementarteilchen überhaupt existieren. So kehrt sie überall in grundsätzlichen Betrachtungen wieder, die weit jenseits der Feinstrukturfragen liegen — von EDDINGTONS bekannten Vermutungen bis zu HEISENBERGS dem 80. Geburtstage PLANCKS gewidmeten Gedanken.

Das Erstaunlichste an den neuen Vorstellungen, zu denen SOMMERFELDS Theorie führte, war damals die *Richtungsquantelung*. Es war schlagend, daß diese Folgerung zwangsläufig war — sie war ja einfach die Anwendung des Grundgedankens auf den letzten Freiheitsgrad der Bahnbewegung.

¹⁾ Den heutigen Stand hat SOMMERFELD hier kürzlich in zwei Mitteilungen [Naturw. 28, 417 (1940) und 29, 286 (1941)] dargestellt, die vor allem die Frage des Eingreifens der Kernkräfte in die der Beobachtung zugängliche Struktur behandeln.

Die *stetige* Einstellung eines Moments, etwa einer Magnetnadel, in einem Kraftfeld ist aber etwas so Gewohntes und Durchsichtiges, daß es äußerst verblüffend wirkte, im Elementarvorgang hier eine *Auswahl* eingreifen zu sehen, nur einzelne, durch ganze Zahlen charakterisierte Einstellungen gegen die Feldrichtung verwirklicht zu finden. Die Einfachheit des Gegenstands ließ die Abweichung vom klassisch Gewohnten aufs schärfste empfinden und machte auch aus dem unmittelbaren experimentellen Nachweis dieser Einstellung, den STERN und GERLACH wenige Jahre danach gaben, einen der eindringlichsten Fundamentalversuche der Quantentheorie.

An die Richtungsquantelung schloß sich auf der einen Seite die Theorie der Einstellung in Außenfeldern, des Zeeman- und Stark-Effektes, auf der anderen ergab sich der Gedanke der diskreten Einstellung der Bahnen verschiedener Elektronen des Atoms gegeneinander: die Theorie der natürlichen Multipletts und der räumlichen Gliederung des Elektronengebäudes. Ein Problem, das vorher schon für den ersten Angriff der ganzen Mittel der astronomischen Störungstheorie zu bedürfen schien, wurde auf klarem neuem Wege zugänglich: dank der Einstellungsvorschrift der Richtungsquantelung kristallisierten die ebenen Bahnen zu räumlichen Anordnungen.

SOMMERFELDS eigene Arbeit galt zunächst vor allem der Ordnung und quantitativen Klärung der Multipletts. Hier stand wunderbares Material zur Prüfung seines Grundgedankens bereit.

Auf dem Wege hierzu lag als erstes die Frage, wie die „Feinstruktur“, die sich in der Verschiedenheit der Haupt- und Nebenserienterme gleicher Laufzahl äußerte, zu deuten, ob sie mit der verfeinerten Quantelung zu verstehen sei. Noch im ersten Jahr (November 1916) hatte SOMMERFELD die These aufgestellt, daß die Reihe p, d, f wachsenden Drall (damalige Azimutalquantenzahlen 2, 3, 4) entspreche. Der 1918 von RUBINOWICZ aus dem Satz von der Erhaltung des Dralls, von BOHR aus Analogie zwischen klassischer Strahlung und Quantenvorgängen hergeleitete Satz, daß die azimutale Quantenzahl im ungestörten Atom höchstens um 1 Einheit springen könne, erlaubte 1919, auch s als erstes in diese Reihe einzufügen. In derselben von SOMMERFELD und dem Verfasser gemeinsam abgefaßten Arbeit konnte eine weitere Frucht des außerordentlich schönen Beobachtungsmaterials eingebracht werden, das in den optischen Serien von Alkalien, Erdalkalien und Erden vorlag. Hier fanden sich die schönsten Beispiele dafür, daß ein Element beim Abstreifen eines Elektrons den Liniencharakter des vorangehenden zeigt: für den spektroskopischen Verschiebungssatz. Der Verfasser hatte diese Folgen gleicher Elektronenanordnung in einander folgenden, durch Ionisierung auf gleichen Elektroneninhalt gebrachten Elementen als Beweisstücke für einen von der Kernladung unabhängigen Schalenbau schon vor Jahren bei Valenz, Lichtbrechung und Magnetis-

mus festgestellt, besaß aber für den analogen spektroskopischen Satz nur die eine, allerdings recht handgreifliche Tatsache, daß Alkalimetalle bei scharfer Funkenanregung ein ganz neues, sehr linienreiches Spektrum aussenden, wie es für Anschneiden der darunter angenommenen Edelgasschale zu erwarten war. Ein Brief von PASCHEN an SOMMERFELD wies nun darauf hin, daß die Erdalkalien außer dem normalen Singulett-Triplett-System auch Dublettserien aussendeten, die bei Funkenanregung stärker herauskämen. Das war offenbar der den Alkalien entsprechende Zustand mit nur einem Außenelektron! In der Tat, eine schon vor Jahren bei PASCHEN gemachte Dissertation, die SOMMERFELD besaß, berichtete ganz nüchtern die Tatsache, daß hier die 4fache Rydberg-Zahl gelte, wie es der doppelten Kernladung, der das einsame Elektron im Mg^+ und seinesgleichen gegenüberstand, entsprach! Das war freilich bloß bei durchgemessenen Serien so unmittelbar am Gesamtwert der Terme festzustellen. Indes, da half nun gerade die von SOMMERFELDS Theorie beherrschte Feinstruktur selbst: auch ihre Breite mußte ja Funktion der effektiven Kernladungszahl sein, und sie lieferte eine Reihe schöner neuer Bestätigungen davon, daß hier ionisierte Atome strahlten. Wir scheuten uns daraufhin nicht, auch Funkenspektren höherer Ordnung vorauszusagen, für die der Verschiebungssatz über entsprechend mehr Plätze im System hinwegzugreifen habe, und diese Spektren „abgestreifter“ Atome („stripped atoms“) sind inzwischen längst wohlbekannt. Die Vereinfachung der Spektren anderer Elemente zum Alkalispektrum z. B. dient neuerdings geradezu als praktisches Hilfsmittel, indem sie die Verhältnisse durchsichtig genug macht, um die vom Kern aus diktierte Hyperfeinstruktur isolieren zu können.

Neben den natürlichen Multipletts erwiesen sich die künstlichen, vor allem die Auseinanderfaltung der Energieniveaus im Magnetfeld, als besonders fruchtbar für die vollständige quanten-hafte Kennzeichnung der am Atomkörper möglichen Zustände (magnetische Quantenzahl). Das reiche Material der bis dahin als „anomal“ angesehenen Zeeman-Bilder erlaubte, den Grundgedanken eingehend zu prüfen und zu sichern. So ist damals eine Frage nach der anderen in Angriff genommen worden, die durch die neuen Begriffe einer schärferen Behandlung zugänglich wurde. Noch mehr als bisher wurde dadurch das SOMMERFELDSche Institut zu einer Arbeitsstätte, auf deren Ergebnisse man in der Naturwissenschaft der ganzen Welt gespannt blickte und in Deutschland besonders stolz war. Das Erscheinen der ersten einander rasch folgenden Auflagen von SOMMERFELDS Werk „Atombau und Spektrallinien“ (1919) kennzeichnet diese Epoche, in der gerade in München die Erkenntnis des Atombaus mit besonderem Eifer vorangetrieben wurde.

Es ist unmöglich, hier die weitere, das riesige Material voll ausnutzende und erweiternde Ent-

wicklung dieses Gegenstandes zu verfolgen, an der so viele gearbeitet haben. Man weiß, daß nach einer Reihe von Jahren (1921/22) auch BOHR, der inzwischen die grundsätzlichen Überlegungen des Korrespondenzgedankens erarbeitet hatte, sich dem Periodischen System und der Auffassung, die man inzwischen davon gewonnen hatte, in wichtigen Arbeiten wieder zuwandte. Sie verfolgten die bedeutsame Absicht, die das Periodische System regierenden Abschlußerscheinungen auf das Korrespondenzprinzip zurückzuführen und so theoretisch zu begründen. Wenn sich dies auch nicht erfüllte — die Abschlußerscheinungen blieben selbständig, man bezeichnet das Gesetz ihres Auftretens mit Recht heute als eigenes „Prinzip“ —, so brachte jene Arbeit doch im einzelnen, etwa für die Struktur der Großen Perioden, eine Fülle von Ergebnissen, und — was uns hier angeht — viele haben damals die Mannigfaltigkeit der SOMMERFELDSchen Bahnformen, ja auch den Schalenabschluß überhaupt erst aus den sehr eindrucksvollen Entwicklungen und viel wiedergegebenen Rosettenbildern der BOHRschen Darstellung kennengelernt. Von der schönen, mit der vermuteten Anwendung des Korrespondenzgedankens zusammenhängenden Symmetrie jener Bilder, in denen die Achterschale in $4 + 4$, die Achzehnerschale in $6 + 6 + 6$ Bahnen aufgeteilt erschien¹⁾, führte die von den spektralen Tatsachen geleitete Entwicklung dann wieder fort bis zu der Aufteilung in Zweiergruppen, die STONER 1924 erreichte und endete im Jahr darauf mit dem Herabsteigen zu Einergruppen (PAULI 1925). Es war der Ausklang der 10 Jahre vorher mit SOMMERFELDS Arbeiten begonnenen Entwicklung, der Abschluß des Systems der Quantenzahlen, die Zuweisung der letzten bis dahin in einer unsicheren Gestalt als „Rumpfquantenzahl“ umhergeisternden Quantenzahl an einen Freiheitsgrad des Elektrons selbst, den kurz danach UHLENBECK und GOUDSMIT noch schärfer als Einstellung des Spins faßten. Dies gab zugleich auch die Möglichkeit, dem Abschlußprinzip — nach ebenfalls 10jähriger Entwicklung — nun die endgültige, auf das *einzelne* Elektron bezogene Form zu geben.

Zugleich aber war damals — ein Jahrzehnt nach den Arbeiten, an die wir heute erinnern —

¹⁾ Bekanntlich hatte gerade diese Vorstellung die glückliche Folge, zur Entdeckung des Hafniums anzuregen.

der Zeitpunkt erreicht, an dem die nochmals ganz im Grundsätzlichen beginnende Umdeutung durch SCHRÖDINGER und HEISENBERG eingriff, welche die von SOMMERFELD erschlossene Mannigfaltigkeit aus der vollständigen Behandlung eines Eigenwertproblems herleitete und noch folgerichtiger und zutreffender gestaltete als im Bahnmodell. In der Gliederung der Eigenfunktionen und der Abzählung ihrer Nullstellen tritt aufs schönste wieder die natürliche Gliederung nach azimuthaler, radialer und Lagenquantenzahl zutage, die, wie wir sahen, tief in der Herkunft der SOMMERFELDSchen Überlegung wurzelte, in der Zwischenzeit aber zugunsten einer teilweisen Zusammenfassung zu Hauptquantenzahl und Nebenquantenzahl etwas zurückgetreten war.

Diese glänzende Entwicklung hat zur Folge gehabt, daß das Gebiet Atombau und Spektrallinien heute längst in allen großen Linien vollendet vor uns steht. Wenn wir also weiterhin etwas heute Aktuelles aus dem SOMMERFELDSchen Arbeitskreis behandeln wollen, werden wir zu anderem, etwa zu einer Frage aus der Quantentheorie der Festkörper, greifen müssen.

Wem ein Gebiet von solchem Reichtum wie die Theorie der Atomhülle aus der Zeit des Durchbruchs der Grundgedanken vertraut ist, empfindet die abgeschlossene, von rückwärts gesehene Darstellung dieses Gegenstandes, der er heute oft begegnet, als seltsam unbelebt. Das fertige System der Quantenzahlen wird vorgelegt, die fertige Formulierung des Abschlußprinzips hinzugesetzt, aus beiden rückwärts das Besetzungsschema abgeleitet — spektrale, chemische, magnetische Eigenschaften deduziert — es wirkt wie lauter Übungsbeispiele zu vorangestellten Sätzen der Grammatik. So mag es einem ergehen, der noch die Ereignisse einer Forschungsreise im Sinn hat und der das, was er belebt von draußen kennt, nun wohl konserviert, registriert und beleuchtet in den Glaskästen eines Museums vor sich sieht. Man freut sich geradezu, an Gedenktagen auch einmal von dem ursprünglichen Leben dieser Dinge zu sprechen, von der Spannung während ihrer Erforschung, von der Empfindung von Harmonie bei ihrer Aufklärung, die SOMMERFELD in dem schönen Wort ausgedrückt hat, die Quantentheorie verrate „das geheimnisvolle Organon, auf dem die Natur die Spektralmusik spielt und nach dessen Rhythmus sie den Bau der Atome und der Kerne regelt“.

Zur Pathologie des Farbensinns.

VON G. VON STUDNITZ, Halle a. d. S.

1. Die Physiologie des Farbensehens.

Durch den Nachweis, daß der in den Zapfen der Wirbeltierretina gefundene Sehstoff keine einheitliche Substanz, sondern einen Komplex von 3 in verschiedenen Spektralbereichen absorbierenden und auf verschiedene Sehzellen verteilten „Farbsubstanzen“ darstellt (1940a, 1941a), konnte

die grundsätzliche Richtigkeit der von YOUNG und HELMHOLTZ aufgestellten „Dreikomponentenlehre“ erwiesen und ihr gleichzeitig eine unmittelbare experimentelle Basis gegeben werden. Auf Grund des Absorptionbildes der „Rot-“, „Gelb-“ und „Blausubstanz“ gelang es darüber hinaus, unseren Vorstellungen von den peripheren und

zentralen Bedingtheiten des Farbensehens eine sehr viel fester umrissene Form zu geben, als das bisher möglich war (1941 b).

Zwangsläufig folgt aus diesem Einblick in die Physiologie des Farbensehens ein weiterer in die Grundlagen seiner Anomalien, der in diesen Zeilen erschlossen werden soll. Dazu ist es jedoch zunächst erforderlich, uns die wesentlichsten bzgl. der normalen Physiologie des Farbensehens erhaltenen Schlußfolgerungen noch einmal vor Augen zu führen.

1. Jeder Zapfen enthält eine Farbsubstanz (Rot-, Gelb- oder Blausubstanz), die durch das Licht nach Maßgabe ihrer jeweiligen Absorption zersetzt wird. Direkt oder indirekt bewirken die bei diesem Vorgang entstehenden Produkte die Erregung der zu den gereizten Zapfen gehörigen Opticusfasern.

2. In jedem Zapfen und damit in jeder diesem Sehelemententyp eigenen Opticusfaser sind zwei Typen von Erregungen zu unterscheiden, die beispielsweise durch die Zersetzung zweier verschiedener Molekülgruppen entstanden gedacht werden können: a) Die die Quantität („Helligkeit“) der Empfindung bestimmende H - und b) die ihre Qualität („Farbe“) bedingende F -Erregung.

Innerhalb des Komplexes der 3 Farbsubstanzen weist die H -Erregung von einem Sehstoff (Zapfentyp) zum anderen lediglich quantitative, die F -Erregung dagegen vorzüglich qualitative Unterschiede auf: Während wir somit berechtigt sind, von einer (die rötlichen bzw. gelblichen bzw. bläulichen Empfindungen [mit]bedingenden) F_R , F_G und F_B -Erregung innerhalb des Gesamtzapfenapparates des Wirbeltierauges zu sprechen, finden wir die — qualitativ einheitliche — H -Erregung vorwiegend an die Zersetzung der Gelbsubstanz gebunden, so daß die die Verteilung der Helligkeiten der einzelnen Wellenlängen beschreibende Kurve unter den Bedingungen des (farbigen) Tages- bzw. Zapfensehens nach Maximum und Gestalt mit der Absorptionskurve der Gelbsubstanz übereinstimmt und nur ihre größere Breite den H -Erregungen der Rot- und Blausubstanz verdankt.

Innerretinal (wahrscheinlich bereits in der Sehzelle selbst) findet eine gegenseitige Beeinflussung von F - und H -Erregung statt, die die endgültige „Form“ jedes dieser beiden Typen bestimmt.

3. Im nervösen Zentrum sind den Erregungen F und H jeweils eigene Ganglienzellen zugeordnet. Dadurch entsteht einerseits (Erregung der H -Ganglienzellen) die Helligkeitsempfindung („Weiß“, das damit gleichzeitig die Sättigung bestimmt), andererseits und unabhängig davon (Erregung der F -Ganglienzellen) die Farbempfindung.

Ebensowenig wie die F -Erregungen sind die F -Ganglienzellen untereinander (d. h. von einer Farbsubstanz bzw. Zapfensorte zur anderen) einheitlich, vielmehr unterscheiden sie sich in ihren „spezifischen Energien“ (F_R , F_G und F_B -Ganglienzellen). Im Verein mit der jeweils dazugehö-

gen F -Erregung wird hierdurch die Entstehung der verschiedenen Grundempfindungen: *Rot*, *Gelbgrün* und *Blau* ermöglicht.

Demgegenüber sind die H -Ganglienzellen innerhalb des Zapfenapparates ebenso von ein und derselben Natur wie die H -Erregung selbst, woraus sich für alle Zapfen (bzw. Farbsubstanzen) die gleiche H -Empfindung ergibt.

Diese Einheitlichkeit der (phylogenetisch vermutlich älteren) H -Ganglienzellen ist so weitgehend, daß sie sich sogar noch auf den Stäbchenapparat miterstreckt; da nun auch die H -Erregung bei Betrachtung des Gesamtrezeptorenapparates des Wirbeltierauges (Stäbchen + Zapfen) keinerlei Unterschiede erkennen läßt, begegnen wir im Bereiche der Stäbchen durchaus der gleichen H -Empfindung wie in dem der Zapfen. Sie ist zudem die einzige durch Reizung des Dämmerapparates produzierbare Empfindung, da dessen Mechanismus sowohl die F -Ganglienzellen als auch (und zwar vermutlich durch Ausfall der sie durch ihre Zersetzung bedingenden Molekülgruppe im Sehpurpur) die F -Erregungen und damit die Möglichkeiten zur qualitativen Wellenlängenunterscheidung vermissen läßt.

4. Der Mannigfaltigkeit der farbigen Empfindungen liegen 2 Faktoren zugrunde: Zunächst die Fähigkeit der F -Ganglienzellen, quantitativ verschiedene Erregungen (verschiedene Absorptions- und damit Zerfallsgröße der Farbsubstanzen für verschiedene Wellenlängen) mit qualitativ verschiedenen Empfindungen zu beantworten, welcher (den H -Ganglienzellen abgehenden) Eigenschaft auch die Intensität des Reizlichtes ihren Einfluß auf die „Farbe“ verdankt. Zweitens aber vor allem die Interaktion zwischen den F -Ganglienzellen gleicher oder unterschiedlicher Art.

Dabei ist bemerkenswert, daß die alleinige Reizung der Gelbsubstanz eine Doppelempfindung — Gelbgrün — bewirkt, von der stets eine Komponente durch gleichzeitige Reizung einer der beiden anderen F -Ganglienzellen (durch andere, oder, im Überschneidungsgebiet der Absorptionsbereiche, die gleichen Strahlen) ausgelöscht wird. Die Erregung von F_R unterdrückt den grünen, die von F_B den gelben Teil der Empfindung. So entstehen als „neue“ Empfindungen Gelb bzw. Grün, die je nach dem Anteil der beiden an ihrer Entstehung beteiligten Farbsubstanzen alle Übergänge zu den ihnen benachbarten Farbempfindungen aufweisen können. — Den Empfindungen „Urrot“ und „Urblau“ entspricht eine maximale Zersetzung der Rot- bzw. Blausubstanz, dem „Urgrün“ eine gleich starke von Gelb- und Blausubstanz.

5. Eine derartige — nur durch verschiedene „Erregungsformen“ innerhalb der einzelnen F -Ganglienzellen verständliche — Auslöschung gewisser Empfindungen bzw. Erregungen durch Reizung einer anderen Zapfen- bzw. Ganglienzellsorte braucht nicht nur partieller, sie kann auch totaler Natur sein. Es verbleibt in solchen Fäl-

len — Reizung mit einander „komplementären Wellenlängen“! — als Restphänomen lediglich die Erregung der *H*-Ganglienzellen und die durch sie bewirkte Empfindung Weiß!

6. Eine von ihrer *F*-Ganglienzelle in die zentralen Vertreter einer der beiden anderen Zapfensorten einlaufende Erregung ist nicht nur in der Lage, eine dort etwa vorhandene Erregung aufzuheben, sondern diese umgekehrt auch zu verstärken (Simultankontrast) oder, bei Fehlen einer Eigenerregung der von ihr betroffenen Ganglienzelle, in dieser eine Empfindung zu erzeugen, die deren spezifischer bzw. Grundempfindung entspricht (z. B. negatives farbiges Nachbild).

Während diese Fälle ebenfalls nicht wohl anders als durch verschiedene Erregungsformen zu verstehen sind, haben Kontrastwirkungen innerhalb eines Elemententyps offenbar eine lediglich quantitative Basis: Hier hemmt die stärkere Erregung die schwächere und fördert letztere die erstere, welche Wirkungen sich nur bei Gleichheit beider (gleiche Helligkeit von In- und Umfeld) gegenseitig aufheben.

Bevor wir dazu übergehen, auf Grund der neu gewonnenen Vorstellungen über die Physiologie des Farbensehens eine Deutung der verschiedenen Anomalien zu versuchen, sei hier zur Erleichterung des Verständnisses ein Überblick über die Kennzeichen des normalen Zustandes und der verschiedenen pathologischen Erscheinungsformen eingeschaltet.

Die Typen des menschlichen Tagessehens.

A. Jeder im Spektrum enthaltene (physikalisch homogene) Farbton ist durch ein (passend abgestuftes) Gemisch zweier Grundfarben vollauf reproduzierbar.

I. *Trichromasie*: Zur Herstellung aller im Spektrum vorhandenen Farbtöne durch Mischung sind drei Grundfarben (Rot, Gelbgrün und Blau) erforderlich:

a) *Normale Trichromasie*: Die zur Erzielung von Empfindungsgleichheit mit einem Spektrallicht notwendige Menge jedes der beiden Mischlichter entspricht der Norm, d. h. der Mehrzahl der Fälle.

Das Maximum der Helligkeit liegt bei 556 $m\mu$.

[Übergänge in Gestalt der „Fehlsichtigkeiten“.]

b) *Anomale Trichromasie* (stets angeboren): Zur Erzielung von Empfindungsgleichheit zwischen einem homogenen Spektrallicht einerseits und einem Gemisch zweier andererseits ist in letzterem ein übernormal hoher Anteil einer der beiden Mischungskomponenten erforderlich.

Herabsetzung der Unterscheidungsfähigkeit und entsprechend eine Erhöhung der (räumlichen — Feldschwelle — und zeitlichen) Schwellenerregbarkeit in den anomale Mischungsanteile erfordernden Bereichen.

1. *Protanomalie*: Erfordert über der Norm liegende Rotanteile.

Das Spektrum ist am langwelligen Ende gegenüber dem des normalen Trichromaten verkürzt.

Das Helligkeitsmaximum ist in Richtung des kurzwelligen (blauen) Endes des Spektrums verlagert.

2. *Deuteranomalie*: Erfordert über der Norm liegende Grünanteile.

Das Helligkeitsmaximum und die die Empfindung „Urgrün“ bewirkende Wellenlänge sind gegenüber dem Normalen in Richtung des langwelligen (roten) Endes des Spektrums verlagert.

(Die praktische Prüfung auf Protanomalie und Deuteranomalie erfolgt meist mit Hilfe der sog. „RAYLEIGH-Gleichung“, d. h. Ermittlung der Mengen (Lithium)Rot und (Thallium)Grün, die — gemischt — Empfindungsgleichheit mit (Natrium)Gelb ergeben; das für den Normalen charakteristische R/Gr-Verhältnis zeigt weitgehende Konstanz.)

3. *Tritanomalie*: Erfordert über der Norm liegende Blauanteile.

Das Helligkeitsmaximum ist wie beim Normalen gelegen.

Das Spektrum erscheint am kurzwelligen Ende verkürzt.

II. *Dichromasie* (angeboren oder erworben): Zur Herstellung aller im Spektrum vorhandenen Farbtöne durch Mischung sind nur 2 Grundfarben erforderlich.

Innerhalb des Spektrums treten (meist 2) „neutrale Zonen“, d. h. farblos gesehene Bereiche, auf.

a) *Rotgrünblindheit*: Die 2 Grundfarben, aus deren Gemischen sich Empfindungsgleichheit mit allen im Spektrum vorhandenen Tönen herstellen läßt, entsprechen unserem Rot und Blau.

Das Spektrum erscheint von seinem langwelligen Ende bis 540 $m\mu$ als qualitativ einheitlich.

Neutrale Zonen im Blaugrün zwischen 490 bis 500 $m\mu$ und in dem dazu komplementären Rot.

Schwächung auch des Gelbblausinnes.

1. *Protanopie* (stets angeboren): Charakteristik siehe Protanomalie I, b, 1.

2. *Deuteranopie* (stets angeboren): Charakteristik siehe Deuteranomalie I, b, 2.

3. *Erworbene Rotgrünblindheit*: Helligkeitsverteilung normal.

Auffälligere Schwächung des Gelbblausinnes als bei 1. und 2.

b) *Gelbblaublindheit (Tritanopie)*¹⁾ (angeboren oder erworben): Neutrale Zonen im Gelb und Blau.

Mitbeeinflussung auch des Rotgrünsinnes.

In manchen Fällen Verkürzung des Spektrums am kurzwelligen Ende.

B. Jeder im Spektrum enthaltene Empfindungston ist durch jeden einzelnen anderen beliebig vertretbar; zur Herstellung von Empfindungsgleichheit bedarf es lediglich der Abstufung der Intensität:

Achromasie (Monochromasie) — Totale Farbenblindheit.

a) *Angeborene Achromasie*: Die Helligkeitsverteilung entspricht auch bei hohen Intensitäten der des Dämmerungssehens (Stäbchen — Sehpurpur) mit einem Maximum bei etwa 500 $m\mu$.

b) *Erworbene Achromasie*: Die Helligkeitsverteilung entspricht der des normalen Trichromaten im Bereiche des Tages- (Zapfen-) Sehens.

¹⁾ Die Tritanopie ist sehr selten; es fehlt daher auch an ausgedehnten Untersuchungsreihen.

2. Die Rotgrünblindheit.

Die partielle Farbenblindheit — insbesondere die „Rotgrünblindheit“ — betrachtete HELMHOLTZ (1865, 1896) im Rahmen seiner Dreikomponentenlehre als durch eine „Lähmung“ (1. Aufl., S. 298) oder „Unempfindlichkeit“ (2. Aufl., S. 361) der rot- bzw. grünempfindenden „Nerven“, oder, wie wir auch sagen können, einen Ausfall der die betr. Grundempfindung produzierenden „Komponente“ bedingt (vgl. A, II)¹⁾. In ganz ähnlichem Sinne äußerte sich zuletzt (1929) v. KRIES, der früher (1909) einen wesentlich anderen und, wie wir sehen werden, zutreffenderen Standpunkt eingenommen hatte.

Die Vorstellung, daß ein „dichromatisches“, also in all seinen Abstufungen aus der Mischung zweier (Rot und Blau, A IIa) statt dreier (Rot, Blau und Gelbgrün, A I) Farben herstellbares Farbensystem aus dem normalen trichromatischen lediglich durch den Fortfall einer Komponente entsteht, ist auf den ersten Blick ebenso nahelegend wie einleuchtend. Sie war — zumindest in ihren Grundzügen — so lange haltbar, als Gestalt und Ausdehnung der die spektrale Absorption der einzelnen „Komponenten“ kennzeichnenden Kurven hypothetisch blieben und kein Anhaltspunkt vorlag, nach dem das für sie durch HELMHOLTZ gegebene Schema (Fig. 1) hätte abgeändert werden können (vgl. hier noch: SCHJELDERUP, 1920).

In eben diesem Schema nun erstreckt sich der Wirkungsbereich jeder einzelnen Komponente über das gesamte sichtbare Spektrum, d. h. jeder Sebstoff soll jeden Spektralbereich, wenn auch von einer Komponente zur anderen in jeweils unterschiedlichem Maße, absorbieren. Ein Ausfall also

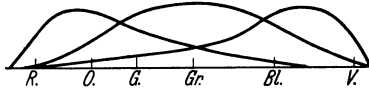


Fig. 1. Die spektralen Wirkungsbereiche der 3 Komponenten in v. HELMHOLTZ' Dreikomponentenlehre (nach v. HELMHOLTZ 1865 aus v. STUDNITZ 1941 b).

beispielsweise der Rotkomponente würde neben einem solchen der Empfindung „Rot“ (und Gelb!) höchstens eine Verdunklung (vgl. auch: SCHENCK, 1907), nicht aber eine Verkürzung der langwelligen Spektralhälfte bewirken, da deren Strahlen ja noch (und nunmehr allein) die Blau- und vor allem Grünkomponente affizieren, so daß die „roten“ und „gelben“ Bereiche sehr wohl (wenn auch „grün“) gesehen werden.

Die Ermittlung der Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen (Fig. 2) hat nun jedoch gelehrt, daß sich diese in sehr viel geringerem Maße, d. h. innerhalb sehr viel engerer Bezirke, überschneiden, als von HELMHOLTZ angenommen wurde, so daß auch keine Überschneidung der Wirkungsbereiche aller 3 Farbsubstanzen, sondern nur die zweier

¹⁾ Die diesbezüglichen Hinweise beziehen sich auf die entsprechend kenntlich gemachte Charakteristik der betr. Erscheinung in der Übersichtstabelle.

benachbarter beobachtet wird. Damit wird nun aber auch die Deutung der Dichromasie durch den Ausfall einer der 3 Komponenten hinfällig: Ein Fortfall beispielsweise der Rotsubstanz würde die Sichtbarkeit des Spektrums im Langwelligen um über 100 m μ verkürzen und erst bei etwa 630 m μ (dem Beginn des Wirkungsbereiches der Gelbsubstanz) beginnen lassen, ein solcher der Gelbsubstanz dagegen eine nicht sichtbare, etwa zwi-

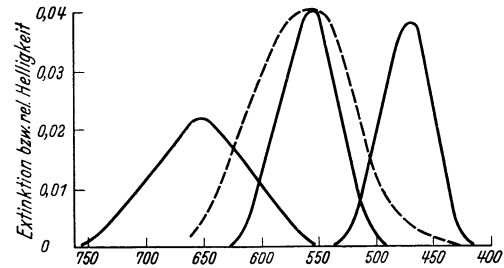


Fig. 2. Ausgezogene Kurven: Die Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen der Ringelnatter (nach v. STUDNITZ 1940a). Unterbrochene Kurve: Die Verteilung der relativen Helligkeiten der einzelnen Wellenlängen beim (farbigen) „Tagesehen“ (nach GIBSON 1940) nach Umrechnung auf gleiche Gipfelhöhe mit der Gelbsubstanz (aus: v. STUDNITZ 1941 b).

schen 535 und 555 m μ gelegene Zone in der Spektrummitte schaffen — beides Bedingungen, die im Erscheinungsbild keiner der bekannten Dichromasien verwirklicht sind.

Beziehen wir jedoch den „Ausfall“ einer Komponente nicht eigentlich auf die betr. Farbsubstanz selbst, vielmehr auf einen solchen der spezifischen von ihren *F*-Ganglienzellen bewirkten Grundempfindung, so nähern wir uns damit nicht nur sehr stark der ursprünglich von v. KRIES (1909; vgl. auch SCHENCK 1907, OEHRWALL 1923, DONDERS 1881) vertretenen Auffassung über das Wesen der Dichromasien, sondern vor allem auch ohne Zweifel den tatsächlichen Verhältnissen selbst.

Die Spezifität der einzelnen Grundempfindungen beruht, wie wir sahen, auf der spezifischen Energie der verschiedenen *F*-Ganglienzellen wie auf dem (aus der Verschiedenheit der 3 Farbsubstanzen erklärbaren) Auftreten verschiedener *F*-Erregungen. Fällt nun eine der 3 Grundempfindungen aus, so liegt es zunächst nahe, dies auf den Fortfall der spezifischen Energie ihrer *F*-Ganglienzellen zurückzuführen.

Sehen wir von dem bisher nicht beobachteten Fall ab, daß ganze, dem alleinigen Wirkungsbereich einer Farbsubstanz entsprechende Spektralbereiche überhaupt „farblos“, also an Hand totaler Funktionsuntüchtigkeit der in Frage kommenden *F*-Ganglienzellen lediglich mittels der betr. *H*-Ganglienzellen gesehen werden, so ist unter einem Ausfall der spezifischen Energie einer (*F*-)Ganglienzellsorte schlechterdings nur deren Änderung gegenüber ihrem Verhalten beim Normalen zu verstehen. Diese könnte theoretisch so-

wohl in Richtung einer neuen, bisher unbekanntem Empfindung, als auch in der einer der beiden anderen bekannten Farbgrundempfindungen erfolgen. Auch hier zeigt die Erfahrung (zumindest mit der Dichromasie!) bisher die Verwirklichung nur des letzteren Falles: 2 Grundempfindungen gleichen sich einander an, eine Tatsache, die wohl nur phylogenetisch verstanden werden kann in dem Sinne, daß die 3 F -Ganglienzellen Differenzierungen aus einer gemeinsamen Wurzel darstellen.

Die jüngste derartige Differenzierung dürfte die Bildung der F_R -Ganglienzellen (vielleicht auch die der Rotsubstanz) darstellen¹⁾, da die bei weitem häufigsten Fälle von Dichromasie in Gestalt der Rotgrünblindheit auftreten, die sehr wohl als eine Angleichung der durch die F_R -Ganglienzellen vermittelten Grundempfindung an die durch die Ganglienzellen der Gelbsubstanz bewirkte verstanden werden kann (s. auch: SCHENCK 1907).

Dies würde für den Rotgrünblinden (A II a) zunächst die Unmöglichkeit der qualitativen Wellenlängenunterscheidung außerhalb der durch die Blausubstanz und damit innerhalb der lediglich von Rot- und Gelbsubstanz absorbierten Spektralbereiche erfordern. In der Tat erscheint ihm das Spektrum von dessen langwelligem Ende bis etwa 544/536 $m\mu$ qualitativ einheitlich (vgl. KOELLNER 1929), und in eben diesem Bezirk (bei 540—535 $m\mu$) beginnt der Absorptionsbereich der Blausubstanz!

Wenn nun eine weitere — selbstverständliche — Folge der Vereinheitlichung zweier (Rot und Gelbgrün) von den 3 Grundempfindungen die sein muß, daß „zwischen der ganzen Zahl der homogenen Lichter einerseits und einem Gemisch Rot-Blau andererseits völlige Gleichung erzielt“ (KOELLNER) werden kann (A II a), so müssen die im Rahmen der Rotgrünblindheit mit *Protanopie* (A II a 1) und *Deutanopie* (A II a 2) gekennzeichneten Unterschiede in der Herstellung derartiger Mischungsgleichungen auf weiteren Ausfallserscheinungen beruhen.

Welcher Art diese sind, läßt sich wieder aus dem Erscheinungsbild der beiden Typen von erbter Rotgrünblindheit ablesen. Wenn dem Protanopen das Spektrum am langwelligem Ende verkürzt, das Rot zudem deutlich „dunkler“ erscheint als dem Normalen, worauf wieder die Erfordernis höherer Rotanteile bei der Herstellung von Mischungsgleichungen beruht, so läßt

¹⁾ Vgl. hier auch die deutlich in dieser Richtung weisenden Ergebnisse der vergleichenden Physiologie, so die „Rotschwäche“ der Affen (GREYER, 1939), die „Gelbschwäche“ der Frösche (BIRUKOW, 1939), ferner die besondere Differenzierung des Sinnes für kurzwellige und die geringe für langwellige Strahlen bei den meisten farbensehenden Wirbellosen! Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der neuerdings (v. STUDNITZ und BUSCH, 1941) gefundene Hinweis auf eine besonders ausgeprägte chemische Sonderstellung der Rotsubstanz innerhalb der Sehstoffe des Wirbeltierauges, die im übrigen auffallende gegenseitige Beziehungen bezüglich ihrer Konstitution aufweisen!

sich all dies ganz zwanglos mit der Vorstellung zwar nicht eines Totalausfalls (HELMHOLTZ, v. KRIES, SCHENCK), wohl aber einer die Protanopie auszeichnenden „Unterwertigkeit“ (z. B. geringe Konzentration bzw. Differenzierung) der Rotsubstanz und damit auch der von ihr ausgehenden H - und F -Erregungen vereinbaren¹⁾. Diese würde sich nicht nur in der genannten Verkürzung und Verdunklung des Rot, sondern auch darin äußern, daß die Bindung der H -Erregung an die Gelbsubstanz noch stärker hervortritt als beim Normalen und die durch die F_R -Erregung bewirkte Unterdrückung der Grünkomponente im Gelbgrün unter die Norm sinkt, so daß mit unserer Erklärung der Protanopie gleichzeitig auch eine zwanglose Deutung der sie auszeichnenden Verschiebung des Helligkeitsmaximums²⁾ (und damit auch der Peripheriewerte) in das Kurzwellige und weiterhin der Störung auch des Gelbblausinnes gegeben wäre.

Ob den Deutanopen entsprechend eine Unterwertigkeit der Gelbsubstanz zuzuschreiben ist, scheint mir aus den bisher vorliegenden Vergleichen der Helligkeitsmaxima noch nicht mit unbedingter Sicherheit hervorzugehen. Ziemlich sicher deutet hierauf die Tatsache, daß der Normale dem Deutanopen durch Grünermüdung ebenso angeglichener wird wie durch Rotermüdung dem Protanopen (FEDOROW und FEDOROWA und LAURENS und HAMILTON).

Eine derartige mit der Rotgrünblindheit (schlechthin) einhergehende Schwächung des Gelbblausinnes ist in sehr viel deutlicherem Maße nun dort wahrnehmbar, wo jene nicht angeboren, sondern erworben ist (A II a 3). Dies, wie auch die Tatsache, daß die erworbene Rotgrünblindheit nur ein Stadium einer progressiven Farbenseinnsstörung darstellt, die fortlaufend vom normalen Farbenseinns zur totalen Farbenblindheit überleitet und „durch alle möglichen Erkrankungen an jeder Stelle der Sehbahn von der Netzhaut bis zur Hirnrinde bedingt sein kann“ (KOELLNER 1929, S. 525), macht es zur Gewißheit, daß ihr andere Ausfallserscheinungen zugrunde liegen als der angeborenen Rotgrünblindheit.

Eben gerade die Möglichkeit, Dichromasie durch eine Schädigung der Sehbahn an einer beliebigen Stelle zu erwerben, schließt es vorderhand aus, die die erworbene partielle Farbenblindheit bedingenden Faktoren näher zu umreißen, so wichtig uns diese Tatsache in theoretischer Hin-

¹⁾ Hierfür spricht ferner sehr deutlich, daß Rotermüdung (also Erschöpfung der Rotsubstanz) die farbige Unterschiedempfindlichkeit und die relative Verteilung der Helligkeiten des Normalen denen des Protanopen gleichmachen kann (FEDOROW und FEDOROWA 1929 und LAURENS und HAMILTON 1923).

²⁾ Bei der Beurteilung der — fast durchweg älteren — Angaben über die Lage des Helligkeitsmaximums der verschiedenen Dichromaten ist die fast stets unseren heutigen Ansprüchen nicht mehr genügende Ermittlung der Energie der einzelnen Spektralbereiche und die dadurch gegenüber den tatsächlichen Verhältnissen etwas abweichende Lage des Maximums sehr zu beachten!

sicht auch ist, da sie einen sehr deutlichen Hinweis auf das Auftreten besonderer und weiterhin unter sich verschiedener F -Erregungen und auf deren Bedeutung für das Zustandekommen der farbigen Empfindungen liefert (v. STUDNITZ 1941b). — Wir können lediglich allgemein von einer höheren (und in sich noch abgestuften) Empfindlichkeit des F -Mechanismus für Störungen des (peripheren oder zentralen) nervösen Substrats, insbesondere gegenüber der H -Erregung, sprechen, die in derartigen Fällen im allgemeinen keiner Alteration zu unterliegen pflegt. Dieses Unbeeinflusstbleiben der Farbhelligkeit ist mir ein Beweis für die vorwiegend nervöse (und nicht photochemische) Grundlage auch der durch retinale Schädigungen erworbenen Farbenblindheiten, die ihrerseits wieder die (gegenüber den angeborenen Dichromasien) stärkere Alteration auch der anderen Farben, den zuerst erfolgenden Ausfall der zusammengesetzten (orange, blaugrün, grün) und durch schwache Erregung der F -Ganglienzellen entstehenden Farben (violett) und die Progressivität bis zur Achromasie verständlich machen würde.

Etwas Gemeinsames besitzen jedoch angeborene und erworbene Rotgrünblindheit (A II a) in Gestalt der etwa zwischen 490—500 $m\mu$ gelegenen und von beiden Dichromaten wie ein für den Normalen farblos erscheinendes Gemisch gesehenen Zone. Deren Auftreten, das im übrigen durch die in der ursprünglichen Fassung der Dreikomponentenlehre (HELMHOLTZ) enthaltene Deutung des Weiß als einer Summation von allen F -Ganglienzellen gleichzeitig zufließenden gleichstarken Erregungen niemals hätte erklärt werden können, ist wieder nur durch die Annahme verschiedener F -Erregungen und deren Alteration verständlich: Die Interaktion der durch Strahlen dieses Bezirks bewirkten F_G - und F_B -Erregung führt beim Normalen zu der Empfindung Blaugrün, beim Rotgrünblinden zur gegenseitigen Aufhebung und damit der Restempfindung Weiß: da wir bisher keinen Anlaß sahen, eine Veränderung auch der Blausubstanz im Rahmen der Rotgrünblindheit anzunehmen, muß das veränderte F_G/F_B -Verhältnis auf einer Alteration von F_G beruhen. Ähnlich zu deuten ist das Auftreten der zweiten neutralen Zone in Bezirken, die den soeben besprochenen komplementär sind. Da sie im Absorptionsbereich nur eines Sehstoffes, der Rotsubstanz, gelegen sind, muß man hier schon die Annahme machen, daß sich auch die Erregungen in den F -Ganglienzellen einer einzigen Farbsubstanz gegenseitig aufzuheben vermögen.

3. Protanomalie und Deutanomalie.

Die Deutung, die den beiden häufigsten Anomalien der Trichromasie durch HELMHOLTZ (1896) im Rahmen seiner Dreikomponentenlehre gegeben wurde, ist in verschiedener Hinsicht bemerkenswert.

Offenbar unter dem Eindruck, der inzwischen, seit der 1. Auflage, erfolgten Entdeckung des Seh-

purpurs und der Entwicklung der Photochemie (HELMHOLTZ spricht jetzt schon direkt von „photochemischen Zersetzungen“) legt er das Schwergewicht dieser „Unregelmäßigkeiten“ insofern auf die *Peripherie*, als er sie dadurch entstanden denkt, „daß ihre (d. h. der Anomalien) grünempfindliche Substanz der rotempfindlichen ähnlicher geworden ist“, es „würden sich dichromatische Augen ergeben, wenn der Unterschied beider Substanzen ganz verschwände... die Gehirnapparate könnten dabei unverändert funktionieren“ (S. 369).

Mit dieser Deutung der Anomalien widerspricht HELMHOLTZ zunächst seiner eigenen, an anderer Stelle (S. 349—350) der gleichen Auflage gegebenen des Farbensehens überhaupt, das er als allein durch die spezifischen Energien der zu den einzelnen Komponenten gehörigen Ganglienzellen bedingt ansieht! Denn eine Entstehung von Dichromasie durch eine Angleichung der peripheren Reizvermittler aneinander bei „unverändert“ funktionierenden „Gehirnapparaten“ ist nur denkbar, wenn die Fähigkeit der qualitativen Wellenlängenunterscheidung auf für die einzelnen (Grund-)Farben qualitativ verschiedene Erregungen der zu den verschiedenen Komponenten gehörigen Opticusfasern zurückgeführt wird! Ferner aber widerspricht er seiner im vorigen Abschnitt dargelegten Auslegung der Dichromasien als eines Ausfalls einer der 3 Komponenten. Er nähert sich mit dieser neuen Deutung der unseren von der partiellen Farbenblindheit: der einzige noch verbleibende, allerdings grundsätzliche Unterschied ist der, daß er von einer Angleichung der peripheren Komponenten, wir von einer solchen der spezifischen Energien der Zentralapparate sprechen.

Diese Diskrepanzen innerhalb der Deutungsversuche eines und desselben Forschers, selbst von dem Format eines HELMHOLTZ, finden, wie ich glaube, ihre Erklärung in dem überall in der Literatur immer wieder merkbar werdenden Bestreben (vgl. z. B. v. KRIES 1909), 1. die Anomalien des Farbensinns als eine Vorstufe bzw. Abart der betr. Dichromasien aufzufassen und 2. sich bei der Deutung des Farbensehens auf eine einzige Ursache, ausschließlich peripherer oder zentraler Art, festzulegen. Das muß zu Widersprüchen wie den genannten führen, da wir die Notwendigkeit einsahen, für das Zustandekommen des Farbensehens wie auch (zumindest gewisser Formen) der Dichromasie sowohl periphere als auch zentrale Phänomene gleicherweise in Anspruch zu nehmen. Geschieht das, so lassen sich die Anomalien ebenso wohl ganz zwanglos auf periphere Ursachen zurückführen als auch als eine Art Vorstufe der betr. Dichromasie auffassen.

Die Notwendigkeit gegenüber der Norm erhöhter Rot- oder Gelbgrünanteile bei Einstellung der RAYLEIGH-Gleichung ($A I b 1/2$) erinnert an eine entsprechende Erscheinung bei der Protanopie und wird schon von v. KRIES (1909) ganz richtig auf eine „Alteration“ der Rot- (Protanomalie,

vgl. A I b 1 und A II a 1) bzw. „Grün“komponente (Deuteranomalie, vgl. A I b 2 und A II a 2) zurückgeführt (vgl. auch SCHENCK 1907, v. TSCHERMAK 1929, GUTTMANN 1920). Wir können diese „Alteration“ wieder mit „Unterwertigkeit“, also unter die Norm verringerter Konzentration bzw. Differenzierung (und damit auch veränderter F -Erregung), näher definieren.

In diesem Sinne spricht die Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit und Erkennungsmöglichkeit für die betr. Farben bei derartigen Anomalien (A I b), die Verlängerung ihrer Empfindungszeit (und zwar unmittelbar der minimalen Expositionszeit — siehe deren Korrelation zur Konzentration des Sehstoffes; vgl. v. STUDNITZ 1940b), der Anstieg ihrer Feldschwelle¹⁾, die Verlagerung des Urgrün (gleich starke Zersetzung von Blau- und Gelbsubstanz) zumindest bei der die Gelbsubstanz verändernden Deuteranomalie, und endlich die Verkürzung des Spektrums am langwelligen Ende bei der Protanomalie. — Wenn alle diese Eigentümlichkeiten nun immer noch den Schluß auf eine zentrale Bedingtheit der Anomalien, etwa in Gestalt einer relativen „Schwäche“ der in Frage kommenden F -Ganglienzellen, zulassen würden, so macht die ebenfalls im Rahmen unserer Erscheinungen beobachtbare Verschiebung des Helligkeitsmaximums (A I b 1 und 2) und die Ausgleichbarkeit der gegenüber dem Normalen bestehenden Unterschiede bezüglich der in Mischungsgleichungen erforderlichen Komponentenmengen lediglich durch eine Intensitätsveränderung diese Folgerung hinfällig und erweist die periphere Ursache dieser „Alterationssysteme“: Die (vorwiegend durch die Intensität bestimmte) Helligkeit und die (vorzugsweise durch die Wellenlänge bedingte) Farbe sind im wesentlichen nur durch ihre gemeinsame Wurzel, den Sehstoff, gekoppelt, so daß beide Empfindungen gleicherweise betreffende Alterationen vorzugsweise und zunächst (und im Gegensatz zur erworbenen Rotgrünblindheit; s. oben!) auf diesen zu beziehen sind.

Daß aber auch die Anomalien eine zentrale Ursache haben können, zeigen die Fälle, in denen trotz eines Fehlens der Rotgrünungleichheit in der RAYLEIGH-Gleichung eine Herabsetzung (oder Erhöhung) der Rotgrünempfindlichkeit beobachtet wird, die hier auf eine Erhöhung bzw. Erniedrigung der Schwellen irgendwo im nervösen Apparat bezogen werden können (vgl. RÖNNE 1928).

Während also die Beziehungen der Protanomalie zur Protanopie ohne Schwierigkeit derart dargestellt werden können, daß man bei beiden die gleichen peripheren Alterationen in Gestalt einer Unterwertigkeit der Rotschubstanz annimmt, bedarf es für einen entsprechenden Vergleich zwischen Deuteranomalie und Deuteranopie des ausdrücklichen Hinweises, daß Auftreten und

¹⁾ Als „Feldschwelle“ wird das zur Erzeugung einer farbigen Empfindung notwendige minimale Reizareal bezeichnet (vgl. v. STUDNITZ 1941b).

Erscheinungsbild der ersteren nur durch eine entsprechende Unterwertigkeit der Gelbsubstanz erklärlich sind, auf die wir bei der Deuteranopie nicht mit der gleichen Sicherheit schließen konnten. Benötigt der „Rotsichtige“ (= Deuteranomale) mehr Grün in der RAYLEIGH-Gleichung als der Normale und sieht er die zwischen 608 und 535 $m\mu$ gelegenen Lichter reingelb, so deutet ersteres auf eine (absolut) geringe Ausbildung der Gelb-, letzteres entsprechend auf eine (relativ) höhere der Rotschubstanz, deren (bis etwa 550 $m\mu$ mögliche) Erregung ja den Grünanteil der durch die Gelbsubstanz bewirkten gelbgrünen Empfindung unterdrückt, und dies um so stärker, d. h. bei um so kurzwelligeren Bereichen, tun wird, je höher ihre Konzentration relativ zu der der Gelbsubstanz ist.

Und wenn es nun in Parallele zu unseren Kenntnissen über die Grundlagen von Protanomalie und Protanopie und die deuteranopischen Erscheinungen beim grünermüdeten Normalen gestattet ist, bei der Deuteranopie abermals auf eine Unterwertigkeit der Gelbsubstanz zu schließen, so können wir ganz allgemein sagen, daß den Alterations- (Anomalien) und Reduktionssystemen (Dichromasien; v. KRIES) des Rotgrünsinnes peripher gleiche Ursachen in Gestalt einer Unterwertigkeit der Rot- bzw. Gelbsubstanz zugrunde liegen, zu denen bei den Dichromasien dieses Sinnes noch eine Gleichartigkeit der spezifischen Energien der zu der Rot- und Gelbsubstanz gehörigen (zentralen) Ganglienzellen tritt, die bei den Anomalien ihre jeweilige normale Spezifität bewahren.

Die periphere Bedingtheit der Anomalien macht dann weiter auch die verschiedenen Abstufungen („Fehlsichtigkeiten“) verständlich, die wir innerhalb ihres (weiteren) Rahmens finden und die vom normalen Farbenninn bis zu den Dichromasien (Alterationsbeginn auch des Zentralapparates) führen können. Und es ist weiterhin erklärlich, daß sich Unregelmäßigkeiten des trichromatischen Farbensystems nicht nur in einer Erniedrigung, sondern auch in einer (absoluten) Erhöhung der Empfindlichkeit für gewisse Spektralbereiche (v. HESS 1921, WÖLFLIN 1934) finden, die wir sinngemäß nunmehr mit einer „Überwertigkeit“ des in Frage kommenden Sehstoffes zu deuten hätten und im Extrem ihrerseits wieder zu Erscheinungen führen könnten, die denen der Protanomalie und Deuteranomalie durch eine Verschiebung der Sehstoffrelationen ähneln (v. KRIES 1920) (vgl. z. B. die bei der Deuteranomalie stärkere Ausdehnung des Gelb durch das relative Überwiegen der Rotschubstanz).

Genau wie bei der Protanopie müssen wir nun auch bei der Protanomalie und Deuteranomalie eine für die einzelne Wellenlänge (gegenüber der Norm) veränderte F -Erregung der alterierten Farbsubstanz annehmen. Diese kann (oder sogar muß) in extremen Fällen derartiger Anomalien dann dazu führen, daß die Anomalien genau wie die Rotgrünblinden eine „neutrale Zone“ im Blaugrün besitzen, und macht fernerhin ihren ver-

stärkten Simultankontrast verständlich, der ja in der gegenseitigen Beeinflussung der in die verschiedenen F -Ganglienzellen einlaufenden verschiedenen F -Erregungen besteht, die ihrerseits der Abhängigkeit von der Stärke und Form der einzelnen F -Erregung unterliegt.

4. Die Tritanopie.

Die Blaugelbblindheit (A II b) nimmt insofern eine Sonderstellung ein, als angeborene und erworbene Tritanopie im allgemeinen identische Bilder aufweisen und letztere auch auf bestimmte, z. B. abgelöste Teile der Retina beschränkt sein kann.

Dies beweist zunächst ihre vorwiegend periphere Ursache. Diese jedoch, wie v. KRIES (1909) (vgl. auch OEHRWALL 1923), mit einem Ausfall der Blausubstanz näher zu definieren, ist aus den gleichen Gründen, die HELMHOLTZ' entsprechende Deutung der Rotgrünblindheit verboten, nicht zugänglich: das Spektrum müßte dann für den Tritanopen im Kurzwelligen erst bei etwa $490 \text{ m}\mu$ (Absorptionsbeginn der Gelbsubstanz) beginnen¹). Zudem wäre nicht einzusehen, warum durch Netzhautablösung nur eine, nicht aber auch die beiden anderen Farbsubstanzen ausfallen sollten.

Wir müssen also auf eine Alteration der F -Erregungen durch eine solche des nervösen Substrats schließen, die die — offensichtlicher „resistentere“ — H -Erregung nicht miterfaßt, bezügl. der F -Erregungen jedoch so weit gehen kann, daß deren Fortleitung gänzlich unmöglich wird, so daß lediglich die H -Erregung und die ihrer Ganglienzellen verbleibt (neutrale Zonen im Gelb und Blau). Daß die F -Erregungen partiell alteriert bzw. verändert werden können, war einer der stärksten Beweise für deren Verschiedenheit in sich, wenn andererseits die Beeinflussung auch der anderen Farbenempfindungen — Rot und Grün²) — im Rahmen der „Gelbblaubblindheit“ fast mit als notwendige Voraussetzung unserer Deutung der Ursachen der Tritanopie gewertet werden kann.

Es könnte Verwunderung erregen, daß eine „Angleichung“ der spezifischen Energien der verschiedenen F -Ganglienzellen nur zwischen der Rot- und Gelbsubstanz beobachtet wird, die beiden anderen denkbaren Fälle (F_B -Ganglienzellen mit F_G - bzw. F_R -Ganglienzellen) dagegen nicht verwirklicht sind. Es deutet dies wieder darauf hin,

¹) Die bei einigen Fällen im Gefolge der Tritanopie bemerkbare Verkürzung der kurzwelligen Spektrumlänge erreicht niemals so erhebliche Ausmaße. Dort, wo sie auftritt, könnte sie bestenfalls auf eine „Unterwertigkeit“ der Blausubstanz zurückgeführt werden, in welchem Sinne auch die Angleichung des Normalen an den Tritanopen durch Blauerermüdung spricht (siehe FEDOROW und FEDOROWA 1929 und LAURENS und HAMILTON 1923). Eine derartige Unterwertigkeit der Blausubstanz ist aber wohl kein unbedingtes Indizium der Tritanopie (KOELLNER), was aus der oben gegebenen Deutung ohne weiteres verständlich ist.

²) Vgl. insbesondere VINTSCHGAU 1894, HERING 1897 und KOELLNER 1929.

daß sich die zur Unterscheidung von Rot und Gelb dienenden beiden Apparate erst später differenziert haben und daher leichter zu einem „Rückfall“ in die gemeinsame Wurzel disponiert sind (vgl. auch Fußnote 1, S. 618).

5. Die Tritanomalie.

Erwies es sich als unmöglich, die Tritanopie der Rotgrünblindheit als deren absolute Parallele im Rahmen der Gelbblausinnes an die Seite zu stellen, so daß damit von den 3 theoretisch denkbaren Fällen einer Gleichwerdung zweier der drei ganglionären spezifischen Farbsinnesenergien des normalen Trichromaten nicht einmal zwei, sondern nur deren einer verwirklicht ist, so gilt Entsprechendes nicht im Bereiche der Anomalien: Wenn wir die Protanomalie durch eine Unterwertigkeit der Rot-, die Deuteranomalie durch eine solche der Gelbsubstanz bedingt sehen, so ist als Ursache der Tritanomalie (A I b 3) eine entsprechende Unterfunktion des 3. Zapfensehstoffes, der Blausubstanz, anzusehen, womit sich alle theoretisch denkbaren Fälle dieser Art erschöpfen.

Diese Unterwertigkeit der Blausubstanz äußert sich zunächst darin¹), daß der Tritanomale bei Herstellung einer Gleichung aus 515 und $470 \text{ m}\mu$ zu $490 \text{ m}\mu$ bedeutend mehr Blau ($470 \text{ m}\mu$) benötigt als der Normale. Ferner bedingt die geringe Konzentration nicht nur die herabgesetzte Unterscheidungsfähigkeit für die zwischen 445 und $495 \text{ m}\mu$ (Beginn des Absorptionsbereiches der Gelbsubstanz!) gelegenen Wellenlängen (vgl. A I b), sondern auch durch Einschränkung des Gesamtabsorptionsbereiches der Blausubstanz die bei der Tritanomalie bemerkbare Verkürzung des Spektrums am kurzwelligen Ende; theoretisch wäre daraus weiter eine Verkürzung des reinen Grün und dessen Verlagerung ebenfalls weiter in das Kurzwellige hinein zu fordern, deren psychophysische Äußerung vielleicht in der von ENGELKING beschriebenen Tatsache zu sehen ist, daß Blau und Grün die Hauptverwechslungsfarben darstellen.

Schwerer verständlich ist die Erhöhung der Schwellenerregbarkeit auch für Gelb. Daß die Helligkeitsverteilung der Farben für den Tritanomalen der für den Normalen entspricht, ist ohne Zweifel darauf zurückzuführen, daß die Blausubstanz an sich auf diesen Faktor einen nur geringen Einfluß ausübt (s. v. STUDNITZ 1941 b).

Die große Seltenheit der Tritanomalie läßt sich vielleicht wieder mit dem höheren Alter und der damit verbundenen größeren Resistenz der Blausubstanz gegenüber Alterationen, evtl. aber auch mit deren chemischen Eigentümlichkeiten gegenüber denen der anderen Farbsubstanzen erklären, worüber die Konstitutionsanalyse der Sehstoffe möglicherweise Aufschluß zu geben in der Lage sein wird. Vielleicht wird diese auch dazu verhelfen, einmal eine Therapie der peripher-

¹) Das Folgende nach ENGELKING aus KOELLNER.

photochemisch bedingten Störungen des Farbensinnes (Anomalien, zum Teil Rotgrünblindheit) ins Auge zu fassen. Es sei hier nur an die bereits bei der Hemeralopie erzielten Erfolge¹⁾ und an die Möglichkeit erinnert, Einschränkungen des farbenempfindlichen Areals der Retina zu beheben (vgl. WAGNER 1940).

6. Die Achromasie.

Wenn die Verteilung der relativen Helligkeiten bei der erworbenen totalen Farbenblindheit mit der des Normalen beim Zapfen- (Tages-, Helligkeits-) Sehen identisch ist (B b), bei der angeborenen dagegen auch bei hohen Intensitäten (mehr oder weniger) die für dessen Stäbchen- (Dämmerungs-) Sehen charakteristische Form aufweist (B a), so liegen der Achromasie in beiden Fällen offenbar ganz verschiedene Ursachen zugrunde, wofür ja auch schon theoretisch wieder in der doppelten — peripheren und zentralen — Bedingtheit des Farbsehens die Voraussetzungen gegeben sind.

Die erworbene Achromasie kann als Endstadium einer auf der Störung des nervösen Substrats irgendwo im Verlaufe der Leitungsbahn beruhenden progressiven Dichromasie, zu der sich die jeweils andere Dichromasie gesellt, resultieren. Wir führten derartige Dichromasien auf die unterschiedliche Empfindlichkeit der verschiedenen *F*-Erregungen für derartige Substratalterationen zurück, die jedoch, falls progressiv, schließlich keine der *F*-Erregungen zu überwinden vermag, so daß eben schließlich das Vermögen der quali-

¹⁾ Die Nachtblindheit kann bekanntermaßen durch Vitamin A-Zufuhr zumindest weitgehend behoben werden; durch das gleiche Mittel ist auch eine Einschränkung des farbenempfindlichen Retinaareals wieder auszugleichen (vgl. hier auch: v. STUDNITZ 1940b, S. 150).

tativen Wellenlängenunterscheidung überhaupt entfällt und lediglich die (resistentere) *H*-Erregung und die normale Funktion von deren Ganglienzellen verbleibt. — Schwieriger zu entscheiden wird die Frage sein, ob Achromasie bei rein zentralen Störungen und unversehrt in die *F*-Ganglienzellen einlaufenden *F*-Erregungen lediglich durch einen Ausfall der spezifischen Energien der *F*-Ganglienzellen bedingt sein kann.

Der Umstand, daß die Verteilung der relativen Helligkeiten bei der angeborenen totalen Farbenblindheit der durch den Stäbchenapparat vermittelten entspricht, deutet auf einen totalen Ausfall zumindest der zentralen Vertreter des Tagesapparates, dem vermutlich (WÖLFFLIN 1924) auch ein solcher, wohl sicher aber eine Unterfunktion der Zapfen parallel geht.

Literatur.

BIRUKOW, Z. vgl. Physiol. **27** (1939). — DONDERS, Graefes Arch. **27** (1881). — FEDOROW u. FEDOROWA, Z. Physik **57** (1929). — GREETHER, Comp. Psychol. Monogr. **15** (1939). — GUTTMANN, Z. Sinnesphysiol. **42/43** (1920). — v. HELMHOLTZ, Physiologische Optik. 1. Aufl. 1865, 2. Aufl. 1896. — HERING, Pflügers Arch. **57** (1894). — v. HESS, Graefes Arch. **105** (1921). — KOELLNER, Handb. d. norm. u. path. Physiol. **12 I** (1929). — v. KRIES, Nachträge zu v. HELMHOLTZ' Physiol. Optik. 3. Aufl. 1909. — Handb. d. norm. u. path. Physiol. **12 I** (1929). — LAURENS u. HAMILTON, Amer. J. Physiol. **65** (1923). — OEHRWALL, Skand. Arch. Physiol. **43** (1923). — RÖNNE, Klin. Mbl. Augenheilk. **80** (1928). — SCHENCK, Pflügers Arch. **118** (1907). — SCHJELDERUP, Z. Psychol. **51** (1920). — v. STUDNITZ, Z. vgl. Physiol. **28** (1940). — Physiologie des Sehens — Retinale Primärprozesse. Leipzig 1940. — Naturwiss. **29**, 65 (1941) — Naturwiss. **29**, 376 (1941). — v. STUDNITZ u. BUSCH, Z. vgl. Physiol., **28** (1941). — v. TSCHERMAK, Handb. d. norm. u. path. Physiol. **12 I** (1929). — VINTSCHGHAU, Pflügers Arch. **57** (1894). — WAGNER, Hoppe-Seylers Z. **264** (1940). — WÖLFFLIN, Ber. dtsch. ophthalm. Ges. Heidelberg 1924.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Verhinderung des Turbulentwerdens einer Grenzschicht durch Absaugung.

Es ist bekannt, daß eine laminare Grenzschicht bei Druckanstieg in Strömungsrichtung turbulent wird oder sogar ablöst. Die Ablösungsfahr kann durch Wegsaugen

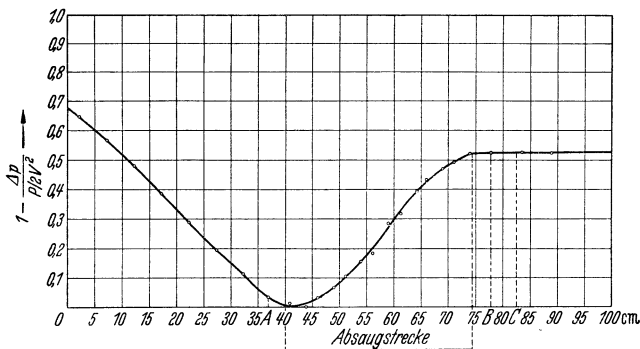


Fig. 1. Druckverteilung längs der untersuchten Wand mit Absaugung.

der Grenzschicht verhindert werden. Von großer Wichtigkeit wäre es, wenn man auch das Turbulentwerden verhindern könnte. Wir haben nun versucht, durch verschiedene

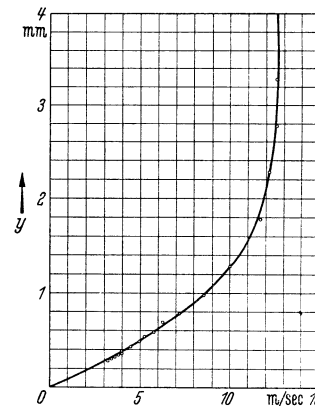


Fig. 2. Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt A (Fig. 1).

Anordnungen von Absaugschlitzen die Grenzschicht so zu beeinflussen, daß sie nach Durchlaufen eines beträchtlichen Druckanstieges laminar weiter läuft. Die Versuche wurden an einem rechteckigen Kanal gemacht, dessen Querschnittsverlauf so geändert werden konnte, daß der gewünschte Druckanstieg auftrat. Der Turbulenzgrad der Grenzschicht wurde mit einem Hitzdraht gemessen und überdies akustisch mit einem Stethoskop kontrolliert. Die Absaugung erfolgte durch sehr zahlreiche enge Schlitze auf der in Fig. 1 eingezeichneten Strecke, war also fast stetig. An den Stellen A und B sind die Geschwindigkeitsverteilungen mit einem feinen Pitotrohr gemessen worden und in den Figg. 2, 3 und 5 eingetragen. Letztere Figur zeigt das turbulente Profil, wenn nicht abgesaugt wird und stimmt mit den Messungen an einer völlig glatten Platte überein. In Fig. 4 ist der Druckverlauf ohne Absaugung aufgetragen, der etwas

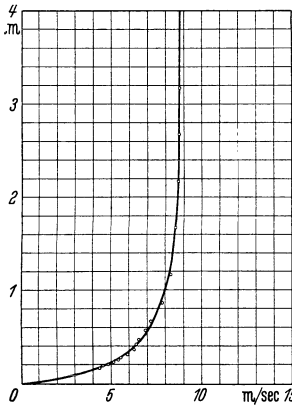


Fig. 3. Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt B (Fig. 1).
an einer völlig glatten Platte überein. In Fig. 4 ist der Druckverlauf ohne Absaugung aufgetragen, der etwas

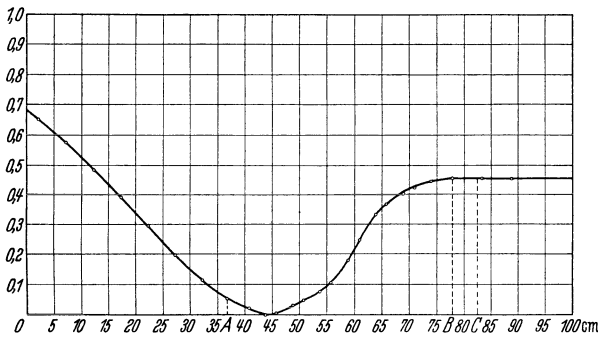


Fig. 4. Druckverlauf ohne Absaugung.

kleineren Anstieg infolge der wesentlich größeren Verdünnungsdicke des turbulenten Profils zeigt. Schließlich bestätigt Fig. 6, daß bei Absaugung (c) tatsächlich

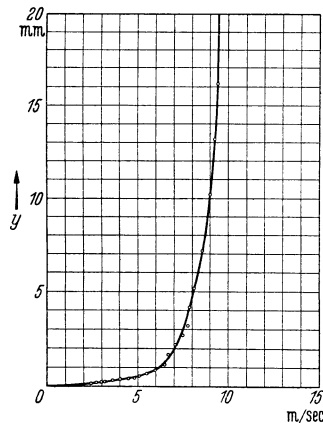
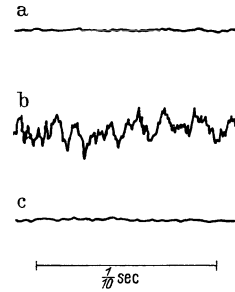


Fig. 5. Geschwindigkeitsverteilung im Schnitt B (ohne Absaugung).

keine Turbulenz im Punkte C (Fig. 1) zu finden ist, während ohne Absaugung (und ebenso auch bei der glatten Platte) die Turbulenz stark auftritt (b).

Versuche mit wenigen einzelnen Schlitzen ergeben dasselbe Resultat, wenn der Druckanstieg zwischen den Einzelschlitzen in mäßigen Grenzen gehalten wird.

Fig. 6. Zeitlicher Geschwindigkeitsverlauf nahe der Wand, mit Hitzdraht aufgenommen.
a) Im Schnitt A, laminare Strömung; b) ohne Absaugung im Schnitt C, Turbulenz; c) mit Absaugung im Schnitt C, laminare Grenzschicht.



Zürich, Institut für Aerodynamik der E. T. H., den 1. August 1941.

J. ACKERET, M. RAS und W. PFENNINGER.

Vermag die Temperatur die Konzeptionshäufigkeit zu beeinflussen?

Eine Untersuchung über den Einfluß der Jahreszeiten auf die Fruchtbarkeit und das Geschlechtsverhältnis der weißen Hausmaus¹⁾ ergab eine deutliche Vermehrung der Wurfzahl und bei großen Würfen (7 und mehr Junge) bei einer der beiden Vergleichsgruppen auch eine statistisch gesicherte höhere Männchenziffer im Sommerhalbjahr (1. IV. bis 30. IX.) bzw. im Sommer im engeren Sinne (Juni, Juli, August). Es wurde damals bereits erwähnt, daß im Laufe der Jahre wiederholt der Eindruck gewonnen wurde, daß, gleichviel in welcher Jahreszeit, etwa 3 Wochen (das entspricht der Trächtigkeitsdauer der Maus) nach einem Umschlag von kühlem zu wärmeren Wetter, die tägliche Wurfzahl in unserem Laboratorium plötzlich ansteigt, um nach einem umgekehrten Wetterwechsel wieder zu sinken.

Wir sind dieser Frage insoweit nachgegangen, als wir die Außen- und Innentemperatur zur Zeit der Konzeption zur Wurfzahl in Beziehung gesetzt haben. (Fig. 1.) Das Konzeptionsdatum erhielten wir durch Abzug von 20 Tagen vom Wurfdatum. Die Trächtigkeitsdauer der Hausmaus schwankt zwischen 19 und 21 Tagen. Die Temperaturen wurden um 9 Uhr morgens festgestellt.

Die durch die Jahreszeit bedingte niedrige Wurfzahl (insgesamt 516 Würfe) und die damit zusammenhängenden

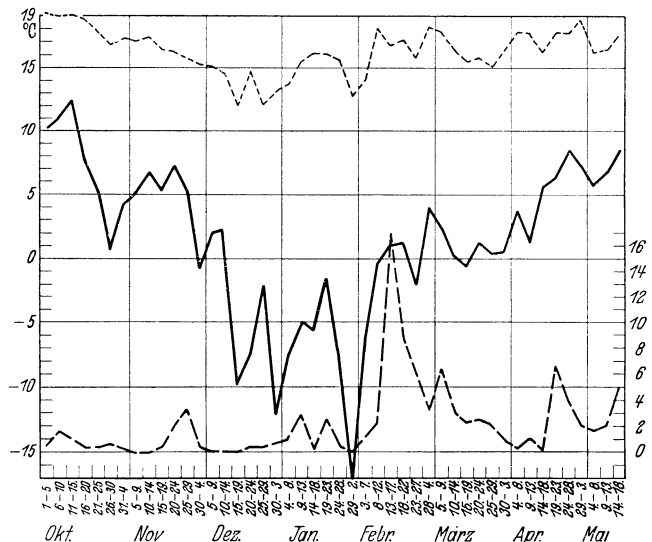


Fig. 1. Abszisse: Konzeptionsdaten.
Ordinaten: links Temperatur, rechts Wurfzahl (— — — — —).
Innentemperatur: - - - - - Außentemperatur: —————

geringen Unterschiede in der täglichen Wurfzahl geben für die einzelnen Abschnitte der Kurve keine statistische Sicherung, aber im Gesamtverlauf ist eine gewisse Beeinflussung der Wurfzahl durch den Temperaturwechsel nicht zu verkennen. Deshalb scheint uns eine weitere Prüfung der

in Rede stehenden Frage, zu der wir mit dieser Mitteilung anregen möchten, der Mühe wert zu sein.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie, den 5. August 1941. AGNES BLUHM. HILDEGARD ERNST.

¹⁾ Roux' Arch. 141 (1941).

Besprechungen.

HÜCKEL, W., **Theoretische Grundlagen der Organischen Chemie**. 2. Band. 3. Auflage. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1941. XV, 614 S. Mit 56 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 20.—, geb. RM 21.80.

Kurze Zeit nur nach dem 1. Band ist nun auch der 2. Band der Neuauflage erschienen. Bei ähnlichem äußeren Aufbau hat sich sein Umfang beinahe verdoppelt. Während im 1. Band die Systematik der organischen Chemie und die Grenzen ihrer Ausdrucksmittel behandelt wurden, werden im 2. Band die Zusammenhänge zwischen der Konstitution organisch-chemischer Verbindungen und ihren physikalischen Eigenschaften einerseits und Konstitution und Reaktionsgeschwindigkeit andererseits erörtert. Die Ergebnisse der neueren Forschung wirken sich in diesem Bande noch mehr aus als im ersten, dementsprechend ist der ganze Stoff vollkommen durchgearbeitet und zum größten Teil ganz neu gestaltet worden, dieses gilt besonders für das 3. Buch: „Konstitution und physikalische Eigenschaften“. Im einzelnen seien folgende neue Abschnitte erwähnt: „Thermodynamische Größen in der organischen Chemie“, „Atompolarisation“, „Ultrarotspektrum“, „Assoziation“, „Wasserstoffbrücke“, „Löslichkeit“. Vollkommen umgearbeitet und sehr erweitert worden sind die Kapitel: „Geordnete Zustände organischer Stoffe“ und „Kolloidchemische Probleme in der organischen Chemie“. Neu geschaffen worden ist das Kapitel: „Die chemische Bindung“, in dem die neuen Erkenntnisse über die chemische Bindung, die ihren Ausdruck besonders in der Mesomerie finden, ohne Eingehen auf die Methodik der Quantenmechanik behandelt werden; in diesem Kapitel werden auch die magnetischen Eigenschaften organischer Verbindungen besprochen. Auch das 4. Buch „Konstitution und Reaktionsgeschwindigkeit“ ist zum Teil ergänzt und umgearbeitet worden, so die Abschnitte: „Theorien der Substitution am aromatischen Kern“ und „Affinität und Reaktionsgeschwindigkeit“.

Für den organischen Chemiker ist es nicht immer leicht, der Denkweise der modernen Atom- und Molekularphysik zu folgen und die neuen Ergebnisse der Quantentheorie in ihrer Anwendung auf chemische Fragestellungen zu verstehen. Beim Organiker hierfür das Verständnis zu wecken und ihm mit kritischer Einstellung den Weg zu weisen, ist die meisterhafte Leistung HÜCKELS. Ausgehend von den klassischen Vorstellungen, um daraus die Entwicklung bis zu den modernen Erkenntnissen zu zeigen, ist das Prinzip des Verfassers, auf diese Weise bleibt der Zusammenhang mit der Stoffwelt gewahrt. Liefert dieses Buch so dem Organiker das physikalische Rüstzeug zur Lösung seiner Aufgaben, so mag es dem Physiker einen Einblick geben in die Fragestellungen und Probleme der organischen Chemie.

HEINZ DANNENBERG, Berlin-Dahlem.

BERGER, HANS, **Das Elektrenkephalogramm des Menschen**. (Nova Acta Leopoldina. Abhandlungen

der Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinisch Deutschen Akademie d. Naturforscher. Hrsg. u. red. im Namen d. Kais. Leop.-Carol. Dtsch. Ak. d. Naturforscher v. EMIL ABDERHALDEN. Neue Folge. Bd. 6. Halle a. d. S.: Deutsche Akademie d. Naturforscher Nr. 38 (1938). II, 137 S. u. 102 Abbild. 19 cm × 25 cm. Preis brosch. RM. 15.—.

BERGER gibt eine eingehende Zusammenfassung über seine Untersuchungen, die das Elektrenkephalogramm (EEG.) des Menschen betreffen. Diese sind seit 1929 vorwiegend in 14 Mitteilungen im Arch. f. Psychiatr. erschienen. Abgesehen von einer geschichtlichen Einleitung berichtet er über die hirnelektrischen Untersuchungen anderer Autoren nur insofern, als diese mit seinen Untersuchungen bzw. Auffassungen in Beziehung stehen.

B. unterscheidet bekanntlich bei seinem EEG., das vom Kopf als ganzem gewonnen wird, α - und β -Wellen (BERGER-Rhythmus). Die ersteren haben eine Frequenz von etwa 10/Sekunde; die letzteren weisen höhere Frequenzen auf und sind meist von kleinerer Amplitude. B. berichtet über die Beweise, die er dafür erbracht hat, daß die genannten Wellen von der Hirnrinde stammen. In den ersten Lebensjahren sind diese Wellen wesentlich träger, sie nähern sich bis zum 5. Lebensjahr in ihrer Frequenz allmählich der des Erwachsenen. Auf einzelne Beobachtungen über Veränderungen des Berger-Rhythmus bei der Narkose, bei Leuchtgasvergiftung, dem Insulinkoma und bei einem Rückatmungsversuch, wird eingegangen. Veränderungen des EEG. bei einzelnen Fällen von Hirnerkrankungen (Dementia paralytica, Schwachsinn, Meningitis u. a.) werden besprochen. Etwas ausführlicher wird auf einzelne Beobachtungen an Kranken mit Epilepsie eingegangen und schließlich auch eine Arbeitshypothese über den epileptischen Anfall in Anlehnung an andere Autoren aufgestellt.

Die mitgeteilten Befunde sind das Ausgangsmaterial für die Auffassungen, die B. bezüglich des Wesens des α - und β -Rhythmus vertritt. Danach soll die Großhirnrinde als ein Ganzes tätig sein, insofern psychische Vorgänge in Frage kommen. Er ist der „Meinung, daß die α -W. des EEG. des Menschen Begleiterscheinungen der automatischen *physiologischen* Rindenvorgänge sind und daß gewisse β -W. von einer Länge von 11–24 σ materielle Begleiterscheinungen der Bewußtseinsvorgänge darstellen“. B. hält es für am wahrscheinlichsten, daß die verschiedenen Wellenarten des EEG. verschiedenen Nervenzelltypen bzw. verschiedenen Nervenzellschichten der menschlichen Hirnrinde ihren Ursprung verdanken. „Die großen und verhältnismäßig langsamen α -W. werden wohl in den großen Pyramidenzellen der tieferen Rindenschichten, die kürzeren und kürzesten, meist gleichzeitig sehr niedrigen von den β -W. in den kleinen und kleinsten Nervenzellen der drei oberen Rindenschichten ihren Ursprungsort haben“.

A. E. KORNMÜLLER, Berlin-Buch.

Mechanismus der Wirkung ionisierender Strahlen auf biologische Elementareinheiten.

Von N. RIEHL, Berlin, N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Berlin-Buch, K. G. ZIMMER, Berlin-Buch.

1. Einleitung.

Die eigentliche Aufgabe der Biophysik besteht in der Klärung der physikalischen Mechanismen biologischer Elementarvorgänge und in der Analyse der physikalisch-chemischen Struktur biologischer Elementareinheiten. Die so definierte Biophysik gehört mit zu den jüngsten Forschungszweigen der Naturwissenschaften, und es ist deswegen nicht verwunderlich, daß sie zunächst kaum noch abgeschlossene und einheitlich aufgebaute Kapitel vorzuweisen hat. Eines der am besten untersuchten Gebiete der Biophysik, welches außerdem sich schon heute, wenigstens zum Teil, einheitlich theoretisch bearbeiten läßt, bildet die Strahlenbiologie. Das strahlenbiologische Material im weiteren Sinne des Wortes ist fast unübersehbar groß und heterogen; es umfaßt Versuche über verschiedenste Reaktionen, bei verschiedensten Objekten, ausgelöst durch Anwendungen verschiedener Strahlen in sehr verschiedener Weise. Eine einheitliche Betrachtung dieses ganzen Gebietes ist zunächst noch kaum möglich und auf jeden Fall wenig fruchtbar. Dagegen erscheint eine Revision eines Teiles dieses Gesamtgebietes unter einheitlichen Gesichtspunkten recht aussichtsreich: der Frage nach dem Mechanismus der Primärvorgänge bei der Auslösung einer Reihe von biologischen Strahlenreaktionen. Diese Frage bildet seit fast 20 Jahren den Kernpunkt der theoretischen Strahlenbiologie und deckt sich inhaltlich wesentlich mit dem sog. „Trefferprinzip“ der biologischen Strahlenwirkung (BLAU und ALTENBURGER, 1923; CONDON und TERRILL, 1928; CROWTHER 1926; DESSAUER 1922, 1931, 1933; GLOCKER 1932; HOLWECK und LACASSAGNE, 1928, 1934; JORDAN 1938, 1939; LEA 1936, 1938, 1940; MAYNEORD 1934; RAJEWSKY 1931, 1934; SOMMERMEYER 1938, 1940; TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, ZIMMER und DELBRÜCK 1935; TIMOFÉEFF-RESSOVSKY 1940; WYCKOFF 1930).

Wir wollen im weiteren eine derartige Revision vornehmen, indem wir sowohl die Fragestellung als auch das zu behandelnde Material nach gewissen Gesichtspunkten abgrenzen. Im Rahmen des Problems des Wirkungsmechanismus der Strahlungen auf biologisches Material soll die Frage nach dem Primärvorgang, der zur Auslösung biologischer Reaktionseinheiten durch ionisierende Strahlungen führt, einer strengen Behandlung unterworfen werden. Das zu behandelnde Material soll lediglich die mehr oder weniger wohldefinierten biologischen Einheiten umfassen. Es wird Aufgabe

weiterer Untersuchungen sein, zu prüfen, inwiefern die an übersichtlichem Material gewonnenen Vorstellungen über den Primärvorgang der biologischen Wirkung ionisierender Strahlen auch auf anderes strahlenbiologisches Material angewandt werden könnten und welche Vorstellungen man sich über den Mechanismus der biologischen Reaktionen selbst bilden kann. Wir werden zunächst eine allgemeine Darstellung des Trefferprinzips geben, dann das zu behandelnde strahlenbiologische Material darstellen und zum Schluß einige Fragen über den Trefferbereich behandeln.

2. Trefferprinzip.

a) Allgemeine physikalische Grundlagen. Wir wollen, um eine klare Grundlage zu schaffen, mit einem schematischen Gedankenexperiment beginnen.

Wird eine Anzahl N_0 von untereinander möglichst gleichartigen biologischen Einheiten durch eine makrophysikalisch homogene Strahlung bestrahlt, die irgendwelche mikrophysikalischen Ereignisse („Treffer“, z. B. Ionisationen) erzeugt, so kann man erwarten, daß in einer biologischen Einheit vom Volumen V ccm nach einer Bestrahlung mit der Dosis D (gemessen in „Treffern“ je Kubikzentimeter) $V \cdot D$ „Treffer“ stattfinden. Da die Strahlung aber mikrophysikalisch nicht homogen ist und die Absorptionsereignisse (Trefferereignisse) daher statistisch verteilt sind, wird in jeder einzelnen biologischen Einheit im allgemeinen nicht die erwartete Zahl VD Trefferereignisse erfolgen. Die Wahrscheinlichkeit, daß in einer Einheit genau n Treffer erfolgen, ist vielmehr

$$\frac{VD^n e^{-VD}}{n!}. \quad (1)$$

Die Wahrscheinlichkeit, daß in einer Einheit kein Treffer ($n = 0$) stattfindet, ergibt sich hieraus zu

$$e^{-VD}, \quad (2)$$

und damit die Anzahl N aus der Zahl N_0 der bestrahlten, die nach einer Dosis D noch keinen Treffer erhalten haben, zu

$$N = N_0 e^{-VD}. \quad (3)$$

Durch Summation analoger Ausdrücke für diejenigen Einheiten, die $n = 1, 2, 3$ usw. Treffer erhielten, findet man für die Zahl derjenigen, die nicht mehr als $n - 1$ Treffer erhielten,

$$N = N_0 e^{-VD} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{(VD)^k}{k!}. \quad (4)$$

und für die Zahl N^* derer, die nach einer Dosis D mindestens n Treffer erhielten,

$$N^* = N_0 \left(1 - e^{-vD} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{(vD)^k}{k!} \right). \quad (5)$$

Der Verlauf der nach Gleichung (5) berechneten Beziehung zwischen Dosis und Zahl der n mal getroffenen Einheiten ist für einige Werte von n in Fig. 1 dargestellt. Er zeigt überraschende Ähnlichkeit mit vielen der Kurven, die man erhält, wenn man die Abhängigkeit einer quantitativ meßbaren biologischen Strahlenwirkung von der

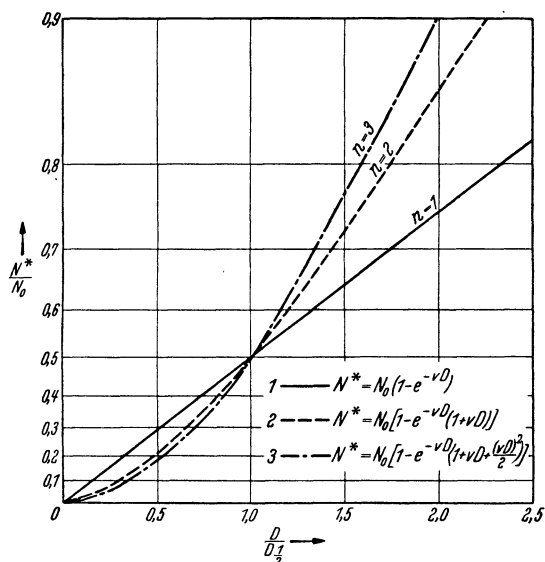


Fig. 1. Nach Gleichung (5) berechnete Trefferkurven im halblogarithmischen Raster. Um die Form besser vergleichen zu können, sind die Kurven durch Wahl des Abszissenmaßstabes (Dosis D /Halbwertsdosis $D_{1/2}$) in einem Punkte zum Schnitt gebracht. Die Ordinate gibt das Verhältnis der Anzahl der Getroffenen (N) zur Anzahl der Bestrahlten (N_0). Kurve 1: Eintreffervorgang. Kurve 2: Zweitreffervorgang. Kurve 3: Dreitreffervorgang. (Aus ZIMMER, 1941.)

Dosis darstellt. Es lag daher nahe, zu prüfen, ob die der Gleichung (5) zugrunde liegende statistische Verteilung der Absorptionsereignisse auch für den Verlauf der Dosis-Effekt-Kurven strahlenbiologischer Vorgänge maßgebend sei. Voraussetzung einer quantitativen Prüfung sind aber noch genauere Angaben über die in Gleichung (5) eingehenden Größen.

Zunächst ist die physikalische Natur des Treffereignisses (Treffers) wichtig. Da hier von der Wirkung ionisierender Strahlen die Rede sein soll, sei als *Treffer* eine primäre Ionisation, wie sie von schnellen Teilchen (Photo- und Compton-elektronen, α -Teilchen, Rückstoßprotonen) ausgelöst wird, einschließlich des sekundär erzeugten Ionenhäufchens angenommen. Die Zusammenfassung des von einem Sekundärstrahl (etwa Δ -strahl) erzeugten Ionenhäufchens zu einem Treffer ist darin begründet, daß, soweit bisher be-

kannt, das Volumen, innerhalb dessen ein derartiges Ionenhäufchen erzeugt wird, klein gegen die im folgenden abzuleitenden, für die Theorie belangreichen Volumina ist. Wir werden weiter unten zeigen, daß die zunächst versuchsweise gemachte und nicht zwingende Annahme des Ionenhäufchens als Treffer sich nicht nur als bequem erweist, sondern auch in vielen Fällen mit den experimentellen Befunden gut übereinstimmt.

Einer Untersuchung bedarf ferner das in Gleichung (5) einzusetzende Volumen V . Falls nämlich die Kurven nicht nur die Zahl der biologischen Einheiten angeben sollen, die n Treffer erhielten, sondern die, in denen n wirksame Treffer (bezüglich des zu beobachtenden Effektes) erfolgten, muß neben dem Volumen V der biologischen Einheit auch noch die Wahrscheinlichkeit P berücksichtigt werden, daß ein im Volumenelement dV erfolgender Treffer wirksam wird. Da die Wahrscheinlichkeit P nicht im ganzen Volumen V konstant zu sein braucht, müßte der Berechnung nach Gleichung (5) das Volumen

$$v = \int_V P(x, y, z) dV \quad (6)$$

zugrunde gelegt werden. Unsere Kenntnis von der Strukturierung der biologischen reagierenden Einheiten legt es jedoch nahe, solange man die räumliche Änderung von P nicht genau kennt, die vereinfachende Annahme zu machen, daß es in jeder Einheit ein Volumen τ gibt, in dem $P = \text{const.} = p$ und außerhalb dessen $P = 0$ ist. Mit dem Volumen v ist τ durch die einfache Beziehung

$$v = p\tau \quad (7)$$

verknüpft. Es ist aber zu beachten, daß v nicht ein reelles Volumen, sondern eine formale Größe ist, die in Analogie zu dem in der Physik gebräuchlichen Begriff des Wirkungsquerschnitts steht und ein Wirkungsvolumen darstellt. Das Volumen v sei daher im folgenden als *formaler Treffbereich* bezeichnet. Das Volumen τ , der *wahre Treffbereich*, kann aus der Dosis-Effekt-Beziehung nicht unmittelbar gewonnen werden und ist wegen der Schwierigkeit, die *Wirkungswahrscheinlichkeit* p zu bestimmen, bisher noch nicht genau berechenbar. Die Richtigkeit der Annahme eines formalen Treffbereichs dagegen, in dem $p > 0$, und einer innerhalb des Gesamtvolumens V der biologischen Einheit gelegenen Umgebung, in der $p = 0$, läßt sich bereits experimentell erweisen. Der formale Treffbereich v kann ferner, wie wir sehen werden, unterteilt sein.

Es sei abschließend noch erwähnt, daß in Übereinstimmung mit der oben angegebenen Definition des Treffers als Ionenhäufchen die Messung der in Gleichung (5) eingehenden Dosis D zweckmäßig in Ionisationseinheiten je Kubikzentimeter erfolgt. Die Zahl der Ionenhäufchen selbst ist allerdings nicht meßbar; sie kann jedoch aus der leicht meßbaren Zahl der insgesamt gebildeten Ionenpaare mit hinreichender Genauigkeit berechnet werden.

b) *Allgemeine biologische Grundlagen.* In dem den vorigen Abschnitt einleitenden Gedankenexperiment war von der Bestrahlung einer großen Zahl unter sich möglichst gleichartiger biologischer Einheiten die Rede. Voraussetzung hierfür ist die Definiertheit der fraglichen biologischen Einheit. Diese ist um so besser, je weniger komplex und je genauer untersucht die Einheit ist. Neben der Definiertheit der Einheit ist die der zu beobachtenden Reaktion von großer Wichtigkeit; diesbezüglich sind vor allem quantitative und objektive Erfassbarkeit erforderlich.

Dennoch werden auch bei sorgfältiger Berücksichtigung dieser Forderungen gewisse Unter-

bezug auf die reziproke Unterscheidung der Werte von v und n ; dies erschwert die quantitative Auswertung von experimentell erhaltenen Kurven.

Lediglich im Falle einer der Trefferzahl $n = 1$ entsprechenden Abhängigkeit des Effektes von der Dosis ist die Auswertung sicherer. Falls die Abhängigkeit genau nach

$$N^* = N_0 (1 - e^{-vD}) \quad (8)$$

verläuft, ist, wie man leicht sieht, eine biologische Variabilität mit Sicherheit ausgeschlossen, da

$$\frac{dN^*}{dD} = v (N_0 - N^*) \quad (9)$$

nur bei konstantem v gelten kann. Aber auch eine Variabilität bezüglich v ist für den Fall $n = 1$ nicht sehr störend, da Kurven vom Typ

$$N^* = N_0 [1 - (ae^{-v_1 D} + be^{-v_2 D})] \quad (10)$$

von solchen mit anderen Trefferzahlen n wegen ihrer entgegengesetzten Krümmung sicher unterschieden werden können.

Eine weitere Unsicherheit bezüglich der Auswertung der Dosis-Effekt-Kurven ist in vielen Fällen durch das Hineinspielen eines sog. *Zeitfaktors* gegeben. Es gibt Reaktionen, bei denen neben der Dosis D auch noch die Zeit, in der die Dosis D verabfolgt wurde, von Bedeutung ist. Man kann dies etwa so verstehen, daß bei Reaktionen, die mehrere Treffer je Trefferbereich erfordern, die Wirkung eines Treffers restituiert wird, wenn nicht innerhalb einer bestimmten Zeitspanne auch der oder die weiteren Treffer erfolgen. Auch für den Zeitfaktor sind die Ansätze zur allgemeinen Behandlung des Einflusses auf die Form der Dosis-Effekt-Kurve noch nicht genügend fortgeschritten, um eine sichere Auswertung experimentell gefundener Kurven in allen Fällen zu ermöglichen; und auch deswegen sind Kurven vom Typ der Gleichung (8) mit $n = 1$ denen mit größerem n überlegen, denn hier ist eine Beeinflussung der Kurvenform durch den Zeitfaktor wegen (9) sicher ausgeschlossen.

c) *Ein- und Mehrtreffervorgänge.* Es ist im letzten Abschnitt schon mehrfach darauf hingewiesen worden, daß die Sicherheit der Auswertung experimentell gefundener Dosis-Effekt-Kurven in Fällen, die nicht dem Typ der Gleichung (8) entsprechen (Trefferzahl $n = 1$), zu wünschen übrig läßt. Dies ist aber noch aus einem weiteren Grunde der Fall. Wir haben im ersten Abschnitt die Annahme gemacht, daß es Reaktionen gibt, die je Einheit mehr als einen Treffer erfordern, und gefunden, daß die nach dieser Annahme berechnete Dosis-Effekt-Beziehung, Gleichung (5), recht gut mit vielen experimentellen Kurven übereinstimmt. Das ist jedoch kein Beweis für die Richtigkeit der Grundannahme. Die Übereinstimmung ist nämlich ebensogut, wenn man annimmt, daß nicht in einem Trefferbereich v mehrere Treffer erfolgen müssen, sondern daß je Einheit mehrere Trefferbereiche $v_1, v_2 \dots v_n$ je

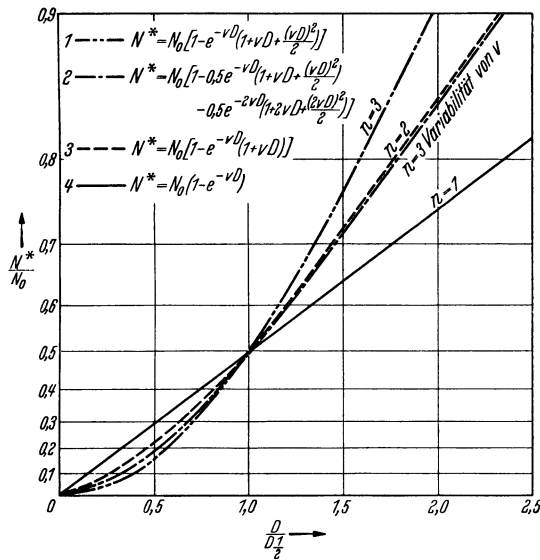


Fig. 2. Theoretische Trefferkurven im halblogarithmischen Raster. Abszissen- und Ordinatenmaßstäbe wie in Fig. 1. Kurve 1: Dreitreffervorgang. Kurve 2: Dreitreffervorgang mit variablem Trefferbereich als Beispiel des Einflusses der biologischen Variabilität auf die Kurvenform. Kurve 3: Zweitreffervorgang. Kurve 4: Eintreffervorgang. (Aus ZIMMER, 1941.)

schiede von Einheit zu Einheit unvermeidbar bleiben, und es muß infolgedessen der Einfluß dieser unter dem Begriff „*biologische Variabilität*“ zusammengefaßten Faktoren auf den Verlauf der Dosis-Effekt-Beziehung geprüft werden. Rechnerisch kommt dies auf eine Untersuchung der Beeinflussung der durch Gleichung (5) gegebenen Kurvenform durch Schwankungen von v und n hinaus; denn das sind die Größen, auf die sich Schwankungen der Größe, Strahlenempfindlichkeit usw. der biologischen Einheiten auswirken müssen. Eine allgemeine Behandlung dieser Fragen wurde noch nicht durchgeführt, doch konnte an Beispielen gezeigt werden, daß die unter Annahme einer Schwankung von v oder n berechneten Kurven einen sehr ähnlichen Formcharakter haben, wie die mit konstanten aber anderen Werten von v und n berechneten (s. Fig. 2). Die Kurvenform ist also wenig empfindlich in

einen Treffer erfordern. Die Dosis-Effekt-Kurve kann dann durch

$$N^* = N_0 \prod_{i=1}^n (1 - e^{-v_i D}) \quad (11)$$

dargestellt werden. Ein Fall, in dem sicher zwischen (5) und (11) unterschieden werden konnte, ist bisher nicht bekannt geworden, da sich die ent-

Vorgänge an komplexen Gebilden handelt, die aus mehreren bzw. vielen eigentlichen biologischen Einheiten (Zellen) bestehen und nach Gleichung (11) verlaufen.

Wir werden uns daher im weiteren auf die Behandlung von strahlenbiologischen Reaktionen beschränken, bei denen die Trefferzahl $n = 1$ sichergestellt ist und die biologischen Einheiten relativ einfach und wohldefinierbar sind, also keine mehrzelligen Gebilde darstellen. Nur an einem derartigen übersichtlicheren Material läßt sich schon jetzt eine strengere biophysikalische Analyse der Grundvorgänge durchführen. Dadurch soll aber nicht der Wert des Sammelns eines strahlenbiologischen Materials auch über andere komplexere Reaktionen und dessen Bearbeitung unter bestimmten Gesichtspunkten und im Zusammenhang mit dem Trefferprinzip bestritten werden.

3. Strahlenbiologisches Material.

a) *Auslösung von Genmutationen durch Strahlung.* Diese wohl am besten untersuchte strahlenbiologische Reaktion zeigt die im vorigen Abschnitt besprochenen Eigenschaften der durch einen Treffer ausgelösten Vorgänge.

Der Einfluß der Bestrahlung auf die Mutationsauslösung ist ein direkter; d. h. daß Mutationen nur in Chromosomen, die direkt von der Strahlung bzw. ihren Sekundärprodukten getroffen wurden, ausgelöst werden. Die experimentell gefundene Beziehung zwischen Dosis und Effekt ist durch die Gleichung (8) gut darstellbar; die Fig. 3 und 4 zeigen die entsprechenden Versuchsergebnisse bei der Taufliede Drosophila. Ein Einfluß der Bestrahlungszeit auf den Effekt einer bestimmten Dosis, also ein Einfluß des Zeitfaktors, ist nicht vorhanden, wie aus Fig. 5 zu ersehen ist. Die Mutationsrate ist in weitem Bereich (von γ -Strahlen des Radiums bis zu 10 kV Röntgenstrahlen) von der Härte der zur Auslösung benutzten Strahlung unabhängig (s. Fig. 6). Erst bei Strahlungen, die sich in der räumlichen Verteilung der von ihnen erzeugten Ionisationen sehr von den eben erwähnten unterscheiden, tritt eine Änderung der je Doseinheit ausgelösten Mutationsrate ein, wie Versuche mit schnellen Neutronen (Rückstoßprotonen), deren Ergebnisse auf Fig. 7 dargestellt sind, gezeigt haben. Eine Deutung dieses interessanten und für die spätere Auswertung wichtigen Befundes wird weiter unten gegeben werden.

b) *Inaktivierung von Phagen und Viren.* Ganz ähnliche Ergebnisse wie bei der Auslösung von Genmutationen lieferten Versuche über die Inaktivierung des Phagen C_{16} (wirksam gegenüber Dysenteriebazillus $Y_{6,R}$) durch ionisierende Strahlung. Auch hier ist die Dosis-Effekt-Kurve durch die einem Eintreffervorgang entsprechende Gleichung (8) gut darstellbar. Ein Einfluß des Zeitfaktors konnte nicht nachgewiesen werden. Ferner ergab sich wie oben in weitem Bereich Unabhängig-

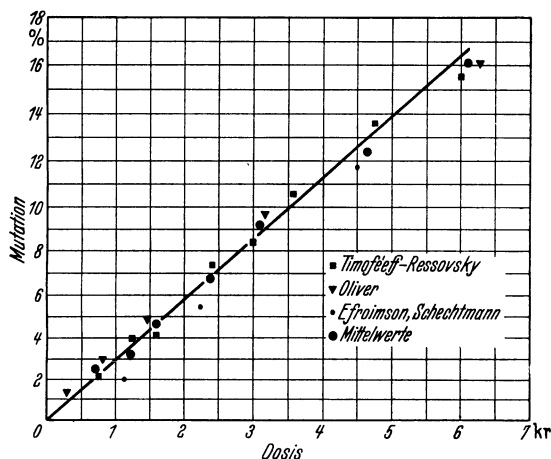


Fig. 3. Abhängigkeit der Mutationsrate (im CIB-Versuch bei *Drosophila melanogaster*) von der Dosis der verabfolgten Röntgenstrahlung. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen (= 1000 r), Ordinate (logarithmisch geteilt): Mutationsrate in Prozent. (Nach TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. ZIMMER, 1939.)

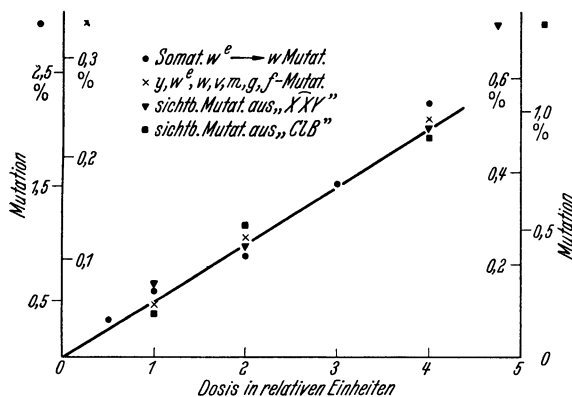


Fig. 4. Abhängigkeit der Mutationsrate (verschiedene definierte Ausschnitte aus der Gesamtmutabilität bei *Drosophila melanogaster*) von der Dosis der verabfolgten Röntgenstrahlung. (Nach TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. DELBRÜCK, 1936.)

sprechenden Kurven innerhalb der praktisch erreichbaren Versuchsgenauigkeit kaum unterscheiden.

Es sei übrigens noch bemerkt, daß Dosis-Effekt-Kurven vom Mehrtreffertyp vorwiegend an mehrzelligen biologischen Einheiten (z. B. an sich furchenden Eiern, Embryonen, Keimlingen usw.) festgestellt wurden. Das legt den Gedanken nahe, daß es sich dabei vielleicht als Regel gerade um

keit der Wirkung von der Härte der zur Inaktivierung benutzten Röntgenstrahlung und Absinken der Wirksamkeit bei Verwendung von Strahlung mit wesentlich höherer räumlicher Dichte der

bei den verschiedenen Phagen sich in etwa gleicher Weise ändert wie die durch Ultrafiltration oder Ultrazentrifugation bestimmte Teilchengröße. Doch kann die Bedeutung dieses Befundes erst in einem

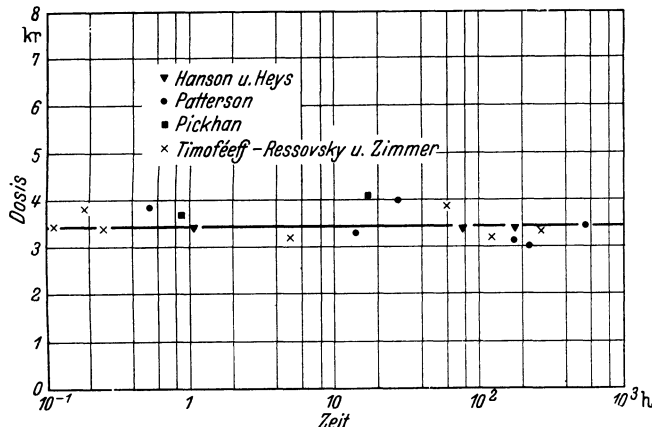


Fig. 5. Abhängigkeit der zur Auslösung einer Mutationsrate von 10% (im CIB-Versuch bei *Drosophila melanogaster*) erforderlichen Bestrahlungsdosis von der Bestrahlungsdauer. Abszisse (logarithmisch geteilt): Bestrahlungsdauer in Stunden. Ordinate: Dosis in Kiloröntgen. (Nach TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. ZIMMER, 1935.)

Ionisation (α -Strahlung von Radon + aktivem Niederschlag). Die Ergebnisse sind in Fig. 8 zusammengefaßt.

Bei anderen Phagen sind die Untersuchungen noch nicht soweit fortgeschritten. Es ist bisher

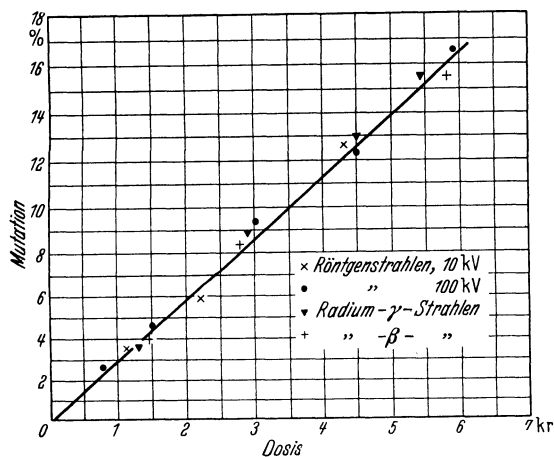


Fig. 6. Abhängigkeit der Mutationsrate (im CIB-Versuch bei *Drosophila melanogaster*) von der Dosis bei Anwendung verschiedener Strahlungen. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen. Ordinate (logarithmisch geteilt): Mutationsrate in Prozent. (Aus TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. ZIMMER, 1939.)

nur gesichert, daß die Inaktivierung in allen untersuchten Fällen ein Eintreffervorgang ist (s. Fig. 9). Interessant und einer eingehenden Diskussion bedürftig ist bei diesen Untersuchungen, daß die Neigung der Kurven, die nach Gleichung (3) ein Maß für die Größe des formalen Treffbereiches ist,

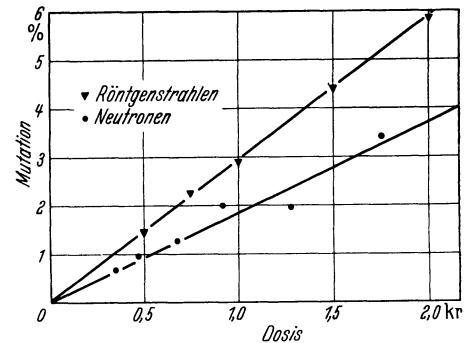


Fig. 7. Abhängigkeit der Mutationsrate (im CIB-Versuch bei *Drosophila melanogaster*) von der Bestrahlungsdosis bei Anwendung von Strahlungen mit sehr verschiedener räumlicher Ionisationsdichte. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen. Ordinate (logarithmisch geteilt): Mutationsrate in Prozent. (Aus TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. ZIMMER, 1938.)

späteren Abschnitt im Zusammenhang der Untersuchung über die Auswertbarkeit experimentell

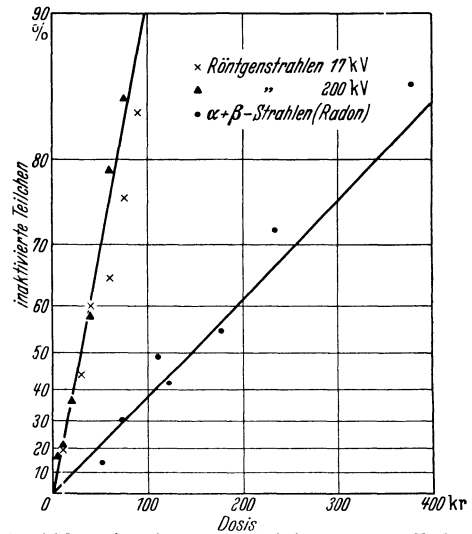


Fig. 8. Abhängigkeit der Inaktivierung von Bakteriophagen C_{16} (wirksam auf Dysenterie $Y_{6,H}$) von der Bestrahlungsdosis bei Strahlungen verschiedener räumlicher Ionisationsdichte. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen. Ordinate (logarithmisch geteilt): Prozentsatz inaktivierter Teilchen. (Nach WOLLMAN, HOLWECK u. LURIA, 1940.)

gefundenen Treffbereiche besprochen werden (vgl. Abschnitt 4a und 4c).

Auch bezüglich der Inaktivierung von Viren ist das vorliegende Material bisher noch nicht sehr umfangreich. Es erscheint aber gesichert, daß es sich auch hierbei um Eintreffervorgänge handelt.

c) *Strahlentötung von Bacterium coli*. Besonders umfangreiche und sorgfältige Versuche liegen über die Abtötung von *Bacterium coli* durch Strahlung vor. Trefferzahl $n = 1$ und Bedeutungslosigkeit der Bestrahlungszeit für eine gegebene Dosis sind mit Sicherheit festgestellt. Die Unabhängigkeit des formalen Treffbereichs v von der Strahlenhärte besteht in diesem Falle nur in einem geringeren Bereich, und das Absinken des Effektes je Dosis-

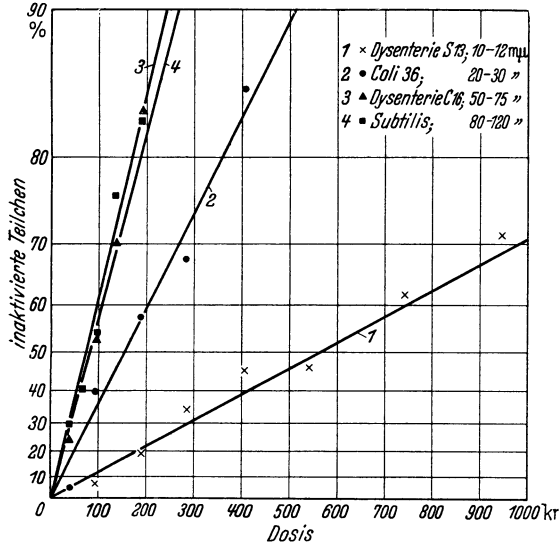


Fig. 9. Abhängigkeit der Inaktivierung verschiedener Bakteriophagen von der Bestrahlungsdosis. Die Größenangaben hinter den Bezeichnungen der Phagen geben die durch Ultrafiltration und Ultrazentrifugation gefundenen Teilchendurchmesser. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen. Ordinate (logarithmisch geteilt): Prozentsatz inaktivierter Teilchen. (Nach WOLLMAN u. LACASSAGNE, 1940.)

Tabelle 1. Abhängigkeit der bei der Abtötung von *Bact. coli* gefundenen Halbwertsdosen ($D_{1/2} = 50\%$ Getötete) von der räumlichen Dichte der von der benutzten Strahlung erzeugten Ionisation. Die Strahlungen sind nach steigender Ionisationsdichte geordnet. (Nach Versuchen von LEA, HAINES, COULSON, 1936, 1937, 1940 und WYCKOFF, RIVERS, 1930.)

Strahlung	Halbwertsdosen $D_{1/2}$ in kr.	
	LEA, HAINES, COULSON *)	WYCKOFF, RIVERS *)
Radium, β - und γ -Strahlen . . .	3,17	—
Kathodenstrahlen 155 kV . . .	—	2,07
Röntgenstrahlen, 0,56 Å . . .	—	2,89
„ 0,71 Å . . .	—	3,21
„ 1,5 Å . . .	4,48	—
„ 1,54 Å . . .	—	3,24
„ 2,29 Å . . .	—	4,62
„ 3,98 Å . . .	—	6,07
„ 8,3 Å . . .	5,17	—
Polonium, α -Strahlen . . .	16,5	—

*) Die quantitativen Abweichungen der beiden Reihen sind durch Unterschiede in der Versuchstechnik (anderer Stamm von *Bact. coli*) erklärbar.

einheit bei dicht ionisierenden Strahlungen ist viel stärker als bei den bisher besprochenen strahlenbiologischen Reaktionen. Diesbezügliche Versuchsergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Analyse dieser starken Abhängigkeit des formalen Treffbereiches von der Ionisationsdichte führt, wie unten gezeigt werden wird, zu gewissen Annahmen über den Bau der Bakterienzelle, die

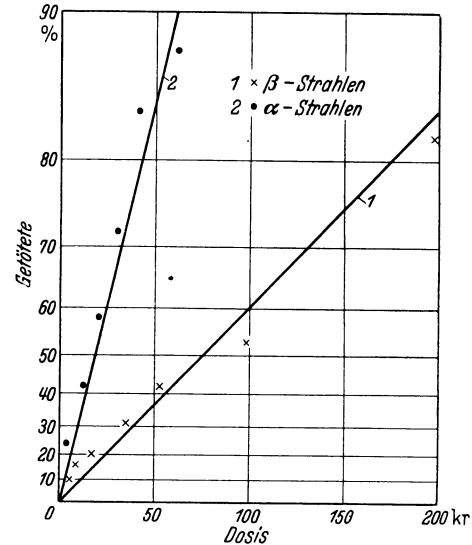


Fig. 10. Abhängigkeit der Tötung von Sporen des *B. mesentericus* von der Bestrahlungsdosis bei Strahlungen verschiedener räumlicher Ionisationsdichte. Abszisse: Dosis in Kiloröntgen. Ordinate (logarithmisch geteilt): Prozentsatz Getöteter. (Nach LEA, HAINES u. COULSON, 1936.)

jedoch vom biologischen Standpunkt noch einer weiteren Überprüfung bedürfen.

d) *Strahlentötung der Sporen von B. mesentericus*. Eine weitere gut untersuchte nach einer Eintrefferkurve verlaufende Reaktion ist die Tötung der Sporen von *B. mesentericus*. Auch in diesem Falle konnte kein Einfluß des Zeitfaktors festgestellt werden. Einen grundlegenden Unterschied gegenüber den bisher besprochenen Reaktionen liefert jedoch der Vergleich der Wirkung von Strahlen verschiedener Ionisationsdichte. Während bisher in allen Fällen Strahlung mit sehr großer räumlicher Ionisationsdichte sich als weniger wirksam erwiesen hatte, ergab sich bei den Sporen von *B. mesentericus* eine wesentlich größere Wirksamkeit der dicht ionisierenden α -Strahlen gegenüber den β -Strahlen, was aus Fig. 10 zu ersehen ist. Eine Deutung dieses interessanten Ergebnisses wird weiter unten versucht werden.

4. Treffbereiche.

a) *Formale Treffbereiche und ihre Auswertungsmöglichkeiten*. Es ist bei den physikalischen Grundlagen des Trefferprinzips schon darauf hingewiesen worden, daß die aus der Dosis-Effekt-Kurve nach

Gleichung (5) berechenbaren formalen Treffbereiche v keine reellen Volumina, sondern nur Wirkungsvolumina sind. Man darf daher auch nicht ohne weiteres reelle Volumina (etwa mikroskopisch beobachtete oder biologisch postulierte Strukturen) mit ihnen identifizieren. Eine evtl. Übereinstimmung der letzteren ist vielmehr nur mit wahren Treffbereichen τ denkbar, falls nicht die Wirkungswahrscheinlichkeit p im besonderen Falle gleich 1 ist und daher nach Gleichung (7) formal und wahrer Treffbereich gleich werden.

Dennoch ist es lohnend, die formalen Treffbereiche v für die oben näher beschriebenen strahlenbiologischen Reaktionen zu berechnen. Für kleine Werte von N^*/N_0 kann dies (unter Zugrundelegung des Wertes von $5,7 \cdot 10^{14}$ *) für die Anzahl der von 1 kr in 1 ccm Gewebe erzeugten Ionenhäufchen) nach der Näherungsformel

$$v = \frac{N^*}{N_0 D \cdot 5,7} \cdot 10^{-14} \text{ ccm} \quad (12)$$

geschehen, wobei N_0 und N^* wie bisher die Zahl der bestrahlten und der die Reaktion zeigenden Einheiten und D die Dosis in kr bedeuten. Man erhält bei der Durchführung dieser Rechnung in vielen Fällen so kleine Werte für v , daß die Wirkungswahrscheinlichkeit außerordentlich klein sein müßte, wenn man annehmen wollte, daß der wahre Treffbereich mit dem Gesamtvolumen V der biologischen Einheit vergleichbar sei. Die Bestimmung der formalen Treffbereiche v macht es somit wahrscheinlich, daß unsere im Abschnitt über die physikalischen Grundlagen des Trefferprinzips gemachte Annahme bezüglich der Existenz eines Treffbereiches $\tau < V$, in dem $p > 0$ und außerhalb dessen $p = 0$ ist, grundsätzlich zu Recht besteht. Ein strenger Beweis ist dies allerdings noch nicht, da man über die Wirkungswahrscheinlichkeit p keine Kenntnisse hat.

Die Annahme eines kleinen wahren Treffbereichs kann jedoch weiter gesichert werden, indem man die Änderung des formalen Treffbereichs v mit der Art der angewandten ionisierenden Strahlung untersucht. Diese Strahlungen unterscheiden sich für unsere Betrachtungen wesentlich nur durch die räumliche Dichte der Ionisation längs ihrer Bahnen (α -Teilchen) bzw. längs der Bahnen der von ihnen im durchstrahlten Objekt erzeugten schnellen Teilchen (Photo- und Comptonelektronen bei Bestrahlung mit Röntgen- und Gammastrahlen, Rückstoßprotonen bei Bestrahlung mit schnellen Neutronen). Diese Ionisationsdichte, die uns in ihrem Mittelwert für die fraglichen Strahlungen bekannt ist, kann nämlich in gewissem Umfang als Maßstab für die Ausmessung der formalen Treffbereiche benutzt werden. Falls die Wirkungswahrscheinlichkeit einen nicht allzu kleinen Wert hat, muß einem kleinen

*) Aus: Elementarladung $e = 4,8 \cdot 10^{-10}$, relative Ionisation in Gewebe und Luft $Q = 820$, mittlerer Zahl der Ionenpaare je Ionenhäufchen $z = 3$, nach: $10^9 Q/z e = 5,7 \cdot 10^{14}$.

formalen Treffbereich v auch ein kleiner wahrer Treffbereich τ entsprechen. Es ist dann möglich, daß der wahre Treffbereich τ (und nur dieser darf als reelles Volumen mit dem reellen mittleren Abstand zweier Ionisationen verglichen werden) bei dicht ionisierender Strahlung kleiner ist als der mittlere Abstand der Ionisationen voneinander. Tritt dies ein und ist ein (in einer primären Ionisation bestehender) Treffer mit einer von der räumlichen Ionisationsdichte unabhängigen Wirkungswahrscheinlichkeit ausreichend zur Erzielung der beobachteten Reaktion, so muß man bei sehr dicht ionisierender Strahlung einen geringeren Effekt je Dosiseneinheit als bei einer weniger dicht ionisierenden erwarten. Diese Erwartung ist bei einigen der vorhin erwähnten strahlenbiologischen Reaktionen tatsächlich erfüllt (siehe Fig. 7 und 8 und Tabelle 1) und damit die Existenz eines kleinen wahren Treffbereichs τ für diese Fälle nicht nur wahrscheinlich gemacht, sondern bewiesen. Das Nichteintreten einer Wirkungsverminderung je Dosiseneinheit bei höherer Ionisationsdichte kann zwanglos durch das Nichtvorliegen einer der Voraussetzungen gedeutet werden. Ist die Wirkungswahrscheinlichkeit zwar bei allen Ionisationsdichten konstant, aber sehr gering, so wird die Abnahme der Wirksamkeit erst bei solchen Ionisationsdichten eintreten, die nicht mehr erzeugt werden können. In Fällen, wo p nicht konstant ist, kann sogar eine Zunahme der Wirkung bei höheren Ionisationsdichten eintreten, wie sie z. B. bei *B. mesentericus* tatsächlich beobachtet wurde (siehe Fig. 10).

Eine weitere Auswertungsmöglichkeit der aus dem strahlenbiologischen Experiment zu entnehmenden Treffbereiche wird durch folgende Überlegung über das Zustandekommen der Abhängigkeit der Wirkung je Dosiseneinheit von der räumlichen Ionisationsdichte der Strahlung eröffnet. Man nehme den formalen Treffbereich v als kugelförmig an und schlage mit seinem Radius

$$r = \sqrt[3]{\frac{3v}{4\pi}} \quad (13)$$

Kugeln um die primären Ionisationen längs der Bahn eines schnellen Teilchens. Es ist leicht zu ersehen, daß die Kugeln sich bei sehr dichter Ionisation überlappen und der effektive formale Treffbereich v sich dadurch um einen Faktor $F > 1$ (*Überlappungsfaktor*) verkleinert. Da die Ionisationen längs der Bahn eines schnellen Teilchens nicht äquidistant, sondern statistisch verteilt sind, nimmt der Ausdruck für F in Abhängigkeit vom Radius r des formalen Treffbereiches und von dem mittleren Abstand L zweier Ionisationen folgende Form an:

$$F = \frac{2/3 \xi}{1 - 2(1 - e^{-\xi})/\xi^2 + 2e^{-\xi}/\xi} \quad (14)$$

wobei $\xi = 2r/L$. (15)

Die Funktion $F(\xi)$ ist auf Fig. 11 dargestellt.

Es wäre nun sehr interessant, aus den beobachteten Quotienten der Wirksamkeit je Dosis-einheit verschiedener Strahlungen, die nach unserer Annahme über ihr Zustandekommen offenbar vergleichbar sind mit den Überlappungsfaktoren F , formale Treffbereiche zu berechnen. Dies ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, da auch in diese Rechnung die Wirkungswahrscheinlichkeit p eingeht. Nach Gleichung (7) und (13) ist aber r proportional $\sqrt[3]{p}$ und daher nicht sehr empfindlich gegen Änderungen der Wirkungswahrscheinlichkeit ($p \leq 1$). Es erscheint aus diesem Grunde, und weil die Annahme der Kugel-form des formalen Treffbereiches v ohnehin nur eine grobe Annäherung an die tatsächlichen Ver-

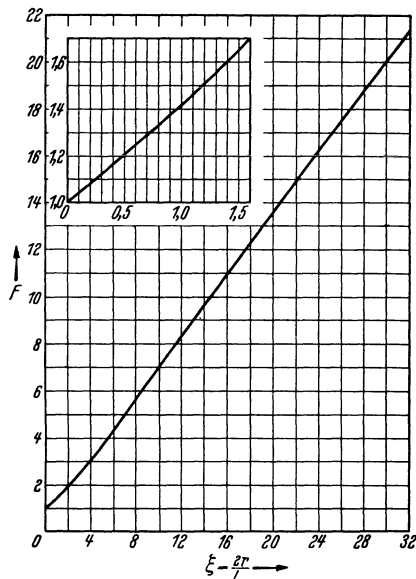


Fig. 11. Beziehung zwischen Überlappungsfaktor F und Verhältnis von Treffbereichsradius (r) und räumlichem Ionisationsabstand (L), berechnet nach Gleichung (14). (Aus LEA, 1940.)

hältnisse darstellt, zulässig, einmal versuchsweise $p = 1$ und unabhängig von der Ionisationsdichte anzunehmen und die Gleichungen (14) und (15) auszuwerten. Die Rechnung führt nun zu dem überraschenden Ergebnis, daß die nach Gleichung (14) berechneten formalen Treffbereiche in allen bisher vorliegenden Fällen wesentlich kleinere Werte liefern als die nach Gleichung (12) früher berechneten. Dies kann z. B. dahin gedeutet werden, daß der nach (12) berechnete formale Treffbereich bei den betreffenden Reaktionen unterteilt ist und sein Wert die Summe der nach (14) bestimmten Teilvolumina darstellt, da letztere ja für den Einfluß der Ionisationsdichte, aus dem sie berechnet wurden, maßgebend sind.

Daß diese Deutung vom biologischen Standpunkt nicht abwegig ist, läßt sich am Beispiel der Auslösung von Genmutationen zeigen. Hier können wir in getrennten Versuchen mit Röntgenstrahlen einerseits den formalen Treffbereich v_{C1}

für die Summe aller im X-Chromosom ausgelösten feststellbaren Genmutationen und andererseits den formalen Treffbereich v_E einzelner bestimmter Mutationsschritte für im selben Chromosom lokalisierte Gene unter Anwendung von Gleichung (12) bestimmen, da die Wirkungsgleichheit der Röntgenstrahlung verschiedener Härte eine Überlappung der Treffbereiche ausschließt ($F = 1$, Fig. 6). Für die Gesamtheit der feststellbaren Genmutationen im X-Chromosom liegen aber auch Versuche mit sehr dicht ionisierenden Strahlen vor (Fig. 7), deren Ergebnisse die Berechnung eines formalen Treffbereiches v_{C2} nach Gleichung (14) erlauben. Es zeigt sich nun, daß v_{C2} mit dem Mittelwert aus mehreren Bestimmungen von v_E sehr gut übereinstimmt (s. Tabelle 2). Da in diesem Falle bekannt ist, daß v_{C1} gleich der Summe aller v_E im X-Chromosom ist, zeigt die gute Übereinstimmung zwischen v_{C2} und v_E die Berechtigung der Annahme, daß Gleichung (14) das mittlere Teilvolumen des nach Gleichung (12) berechneten formalen Treffbereiches der Einheit liefert. Gleichzeitig wird wahrscheinlich gemacht, daß die Wirkungswahrscheinlichkeit p in diesem Falle nicht sehr von 1 verschieden ist. Die bemerkenswertesten Ergebnisse der angestellten Betrachtungen sind also folgende: Für den formalen Treffbereich des einzelnen Mutationsschrittes ergibt sich nach zwei voneinander unabhängigen Bestimmungen-

Tabelle 2. Vergleich der nach Gleichung (12) berechneten formalen Treffbereiche v_E für einzelne Mutationsschritte bei *Drosophila melanogaster* mit dem nach Gleichung (14) aus der Gesamtheit der im CIB-Versuch beobachteten Mutationen berechneten Treffbereich v_{C2} . (Nach LEA, 1940, aus Versuchen von TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. DELBRÜCK, 1936, und von TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. ZIMMER, 1938.)

Mutationsschritt	Wahrscheinlichkeit der Mutation bei Bestrahlung mit 1 kr	Formaler (kugelförmiger) Treffbereich:	
		Berechnet nach Gleichung *)	Radius in cm
+ → w ^e	2,6 · 10 ⁻⁵	12	2,22 · 10 ⁻⁷
w → w ^e	0,3 · 10 ⁻⁵	12	1,08 · 10 ⁻⁷
w ^e → +	0,8 · 10 ⁻⁵	12	1,50 · 10 ⁻⁷
+ → m	2,4 · 10 ⁻⁵	12	2,15 · 10 ⁻⁷
m → +	1,0 · 10 ⁻⁵	12	1,61 · 10 ⁻⁷
+ → f	6,6 · 10 ⁻⁵	12	3,06 · 10 ⁻⁷
f → +	2,4 · 10 ⁻⁵	12	2,15 · 10 ⁻⁷
Mittelwert aus vorstehenden Mutationsschritten	—	Arithmet. Mittel	1,97 · 10 ⁻⁷
Mittelwert für einen Mutationsschritt aus allen im CIB-Versuch beobachteten Mutationen	—	14	1,89 · 10 ⁻⁷

*) Unter Zugrundelegung des Wertes von 5,7 · 10¹⁴ für die Anzahl der von 1 kr in 1 ccm Gewebe erzeugten Ionenhäufchen.

methoden der praktisch gleiche Wert. Außerdem ist der für die Gesamtmutationsrate geltende formale Treffbereich gleich der Summe der für die einzelnen Mutationsschritte geltenden formalen Treffbereiche. Schließlich ist es wahrscheinlich, daß p nicht wesentlich von 1 verschieden ist und somit die beiden obigen Ergebnisse im wesentlichen auch für die wahren Treffbereiche gelten.

Weniger leicht deutbar sind die Ergebnisse desselben Rechenverfahrens bei Anwendung auf den Bakteriophagen C_{16} . Auch hier kann man, da die Gleichheit der Wirkung der harten und weichen Röntgenstrahlen die Abwesenheit einer Überlappung der Treffbereiche ($F = 1$) anzeigt, die mit Röntgenstrahlen gewonnene Inaktivierungskurve nach Gleichung (12) auswerten und den so erhaltenen formalen Treffbereich v_1 mit dem aus dem Quotienten der Wirksamkeit von Röntgen- und Alphastrahlung nach Gleichung (14) berechneten formalen Treffbereich v_2 vergleichen. Man findet, daß $v_1 \approx 250 v_2$ ist, so daß die Annahme einer Unterteilung des Treffbereiches auch in diesem Falle wahrscheinlich ist. Doch könnte das Ergebnis, wenigstens zum Teil, auch auf der Unzulässigkeit der der Rechnung zugrunde liegenden Annahmen (Kugelgestalt des Treffbereichs und Wirkungswahrscheinlichkeit $p = 1$) beruhen.

Die gleichen Bedenken sind auch gegen den Versuch einer Größenbestimmung von Bakteriophagen und Viren aus der Neigung der Kurve der Strahleninaktivierung zu erheben. Auf das ungefähre Parallelgehen der Kurvenneigung mit der durch Ultrafiltration oder Ultrazentrifugation bestimmten Teilchengröße ist schon bei Fig. 9 hingewiesen worden. Die quantitative Auswertung dieses Befundes ist aber dadurch gehemmt, daß die Neigung der Kurven nur dem formalen Treffbereich v entspricht, während der wahre Treffbereich τ , solange die Wirkungswahrscheinlichkeit p nicht bekannt ist, unbestimmbar bleibt. Bei manchen Bakteriophagen scheint p von 1 nicht allzusehr verschieden zu sein, da der aus den Röntgenstrahlversuchen berechnete formale Treffbereich mit der durch Ultrafiltration und Ultra-

zentrifugation bestimmten Größe des Teilchens ganz gut übereinstimmt (Tabelle 3). Die bei anderen Phagen auftretenden Unterschiede hängen vielleicht mit der Form der wahren Treffbereiche zusammen, worauf näher im Abschnitt 4c eingegangen wird; denn neben einer Verschiedenheit der Wirkungswahrscheinlichkeit p bei den einzelnen Phagenarten könnte sich auch eine verschiedene gute Übereinstimmung der Form der Phagen mit der der Berechnung zugrunde gelegten Kugelgestalt auswirken.

Von großem Interesse wäre die Durchführung einer gleichen Analyse bei Viren. Doch liegen, wie bereits oben erwähnt, hierfür bei weitem noch nicht genügend experimentelle Daten vor.

Bei *Bacterium coli*, dessen Abtötungskurven bezüglich ihrer Neigung sehr stark von der Ionisationsdichte abhängen, ist die Berechnung der formalen Treffbereiche nach den Gleichungen (12) und (14) ebenfalls durchgeführt worden und hat zwei um einen Faktor von etwa 1150 verschiedene Treffbereiche ergeben. Auch hier muß betont werden, daß das Ergebnis durch das Nichtzutreffen der der Berechnung zugrunde gelegten Annahmen beeinflußt werden könnte. Dennoch erscheint es lohnend, Überlegungen anzustellen, welche biologische Bedeutung den vielen kleinen Untertreffbereichen zukommen könnte. Es wäre z. B. denkbar, daß es bei Bakterien viele lebenswichtige, mit Genen vergleichbare Strukturen gibt, trotzdem, im Gegensatz zu höheren Zellen, ein geordnetes Kerngebilde bei Bakterien nicht nachgewiesen werden konnte.

Abschließend sei noch kurz auf das den an anderen Objekten gewonnenen Ergebnissen widersprechende Verhalten der Sporen von *Bacterium mesentericus* gegenüber Strahlungen von verschiedener Ionisationsdichte eingegangen. Es war oben schon darauf hingewiesen worden, daß die stärkere Wirkung dicht ionisierender Strahlung durch eine Zunahme der Wirkungswahrscheinlichkeit p mit der Ionisationsdichte erklärt werden kann. Dabei bleibt aber zu erklären, aus welchem Grunde p mit der Ionisationsdichte ansteigt; insbesondere bei den hier nachweislich vorliegenden Eintreffvorgängen ist dies nicht leicht verständlich. Eine mögliche Annahme würde darin bestehen, daß zur Erzielung des Effekts Ionenhäufchen durchschnittlicher Größe nicht ausreichen, sondern größere erforderlich sind. Diese sind zwar nach unserer anfangs festgelegten Anschauung bei allen Strahlungen annähernd gleich häufig; bei sehr dicht ionisierender Strahlung könnte aber der Fall eintreten, daß, wenn in einem Treffbereich überhaupt ein Ionenhäufchen erzeugt wird, mit größerer Wahrscheinlichkeit mehrere erzeugt werden und gemeinsam den Effekt bewirken. Diese Deutung der Änderung der Wirkungswahrscheinlichkeit mit der Ionisationsdichte würde auf die Annahme einer Änderung des als Treffer anzusehenden physikalischen Vorgangs mit der Ionisationsdichte hinauskommen und bedarf noch

Tabelle 3. Vergleich des durch Ultrafiltration und Ultrazentrifugation bestimmten Durchmessers einiger Phagen mit dem Durchmesser des aus Inaktivierungskurven berechneten kugelförmig angenommenen formalen Treffbereichs.

(Nach Versuchen von WOLLMAN u. LACASSAGNE, 1940.)

Phagenart	Durch Ultrafiltration und Ultrazentrifugation bestimmter Durchmesser	Durchmesser des nach Gl. (12) *) berechneten formalen (kugelförmigen) Treffbereichs
Dysenterie S 13 .	10—20 m μ	16 m μ
Coli 36.	20—30 m μ	25 m μ
Dysenterie C 16 .	50—75 m μ	32 m μ
Subtilis	80—120 m μ	31 m μ

*) Unter Zugrundelegung des Wertes von $5,7 \cdot 10^{14}$ für die Anzahl der von 1 kr in 1 ccm Gewebe erzeugten Ionenhäufchen.

weiterer Untersuchungen. Derselbe Effekt ist aber auch denkbar bei Annahme eines sehr kleinen Wertes von p .

b) *Ionenausbeute radiochemischer Reaktionen.* Die Ausführungen des vorigen Abschnitts lassen klar erkennen, daß die Auswertung der aus dem Experiment berechenbaren formalen Treffbereiche v eine wesentliche Verbesserung erfahren könnte, wenn Angaben über die Wirkungswahrscheinlichkeit p verfügbar wären. Die Wirkungswahrscheinlichkeit p steht nun offenbar in gewisser Analogie zur *Ionenausbeute* m/n (m = Zahl der umgesetzten Moleküle, n = Zahl der durch die Bestrahlung erzeugten Ionenpaare), deren Bestimmung zu den wesentlichen Aufgaben der Radiochemie gehört. Aus der Vielzahl der über die Ionenausbeute radiochemischer Reaktionen vorliegenden Angaben ist die Tatsache bemerkenswert, daß Reaktionen, bei denen m/n sehr viel kleiner als 1 ist, nicht vorkommen. Ionenausbeuten $m/n > 1$ sind meist aus dem Reaktionsmechanismus durch Kettenreaktionen oder dgl. zu erklären. Einer Deutung bedarf noch der in vielen Fällen beobachtete nicht festgelegte, sondern nur zwischen 2 Grenzen eingeschlossene formale Treffbereich. In solchen Fällen ist die Ausbeute der Reaktionen von der Konzentration der Lösung unabhängig (was nur eine andere Darstellungsweise des nicht festgelegten formalen Treffbereichs bedeutet), und außerdem nimmt die Zahl der umgesetzten Moleküle mit der Dosis im geprüften Bereich nicht nach Gleichung (8), sondern streng linear zu (s. ZIMMER, 1940). Diese auffallende Tatsache kann durch Besonderheiten der Energieleitung im Treffbereich möglicherweise erklärt werden.

Für die Frage der Bestimmung der Wirkungswahrscheinlichkeit besonders wichtig ist noch der Befund, daß zwei sehr einfache und gut untersuchte radiochemische Reaktionen, die Zersetzung extrem gereinigten flüssigen Wassers und der Zerfall gasförmigen Jodwasserstoffs, bei Röntgenstrahlung und bei Alphastrahlung mit konstanter Ionenausbeute (s. Tabelle 4) verlaufen; denn damit

Tabelle 4. Ionenausbeute m/n (m = Zahl der umgesetzten Moleküle, n = Zahl der erzeugten Ionenpaare) einiger radiochemischer Reaktionen bei Bestrahlung mit Strahlungen verschiedener räumlicher Ionisationsdichte.

Reaktion	Alphastrahlen		Röntgenstrahlen	
	Autor	m/n	Autor	m/n
Zersetzung von Jodwasserstoffgas	BRATTAIN, 1938	6	GÜNTHER u. LEICHTER, 1936	6,2
Zersetzung von flüssigem Wasser	DUANE u. SCHEUER, 1913	1,1	GÜNTHER u. HOLZAPFEL, 1939	1,0
	LANNING u. LIND, 1938	1,0		
Zersetzung von Eis	DUANE u. SCHEUER, 1913	0	GÜNTHER u. HOLZAPFEL, 1939	0

ist die gelegentlich geäußerte Erklärung der oben für biologische Reaktionen beschriebenen Abnahme der Strahlenwirkung bei hoher Ionisationsdichte aus der höheren Rekombinationswahrscheinlichkeit bei dichter Ionisation experimentell widerlegt.

Wenn oben von der Analogie zwischen Wirkungswahrscheinlichkeit p und Ionenausbeute m/n die Rede war, muß doch betont werden, daß die an sich in vielen Fällen mögliche Bestimmung der Ionenausbeute (Zahl der pro Ionenpaar erfolgten Reaktionseinheiten) für strahlenbiologische Reaktionen nicht die Wirkungswahrscheinlichkeit p im wahren Treffbereich liefert, sondern nur eine Angabe über den Mittelwert der Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine im Gesamtvolumen V der biologischen Einheit erzeugte Ionisation den beobachteten Effekt zur Folge hat. Daher erscheint die Bestimmung der Ionenausbeute für strahlenbiologische Reaktionen nur in den Fällen lohnend, in denen der formale Treffbereich v angenähert gleich dem Volumen V der biologischen Einheit ist; denn dann ist, falls sich für die Ionenausbeute ein Wert nahe gleich 1 ergibt, $v \approx \tau \approx V$ und die Ionenausbeute gleich der Wirkungswahrscheinlichkeit p .

c) *Energiewanderung im Treffbereich.* Während die genaue Berechnung des wahren Treffbereichs nur in einzelnen Fällen und nur unter gewissen, wenn auch wahrscheinlichen Voraussetzungen möglich ist, so ist die Abschätzung der Mindestgröße der wahren Treffbereiche auf Grund der Gleichung (8) bzw. (12) vollkommen sicher, da sie ja nicht kleiner als die Größe des entsprechenden formalen Treffbereiches sein kann. Man erhält z. B. bei der Erzeugung von Genmutationen für die Mindestgröße des Treffbereiches Werte von 100—2000 Atomen je nach Art des Mutations-schrittes. Dies gilt für $p = 1$; bei $p < 1$ würde man für die wahren Treffbereiche noch größere Werte erhalten. Es muß daher die Frage gestellt werden, auf welche Weise die an irgendeiner Stelle eines relativ so großen Treffbereiches aufgenommene Energie zu der Stelle gelangt, an der die eigentliche Reaktion ausgelöst wird („empfindliche Stelle“ oder „empfindliches Volumen“, das nur eine Ausdehnung von atomarer Dimension haben kann, da ja die Veränderung, z. B. Mutation, in diesem Volumen durch einen einzigen Elementarprozeß im Sinne der Quantentheorie bewirkt wird). Die Energie muß daher irgendwie über eine recht große Anzahl von Atomen hinweg von dem Ort der Absorption zu dem Ort der Reaktion wandern.

Die Annahme einer solchen *Energiewanderung* begegnet heute keinerlei Schwierigkeiten, da auch auf anderen Gebieten der Strahlenphysik und -chemie eine solche Energiewanderung gefunden und zum Teil schon theoretisch gedeutet worden ist.

Dies ist z. B. bei der Lumineszenz von Kristallphosphoren der Fall. Bekanntlich sind diese nur dann leuchtfähig, wenn sie eine winzige Menge von Fremdatomen („Phosphorogenen“) enthalten (bei

ZnS; ist z. B. Cu als Phosphorogen wirksam); die Lumineszenzstrahlung geht von diesen Fremdatomen aus. Nun konnte aber nachgewiesen werden, daß bei Erregung bestimmter Kristallphosphore mit α -Strahlung oder mit UV.-Strahlung gewisser Wellenlängen die erregende Energie zunächst nicht von dem Phosphorogenatom, sondern von jedem beliebigen Atom der Grundsubstanz aufgenommen wird. Andererseits liefert der Kristallphosphor eine fast 100-prozentige Quantenausbeute, d. h. auf ein absorbiertes Quant kommt ein emittiertes Lumineszenzquant. Man muß also annehmen, daß das an beliebiger Stelle der Grundsubstanz absorbierte erregende Quant über sehr viele Netzebenen hinweg zu einem der wenigen in der Grundsubstanz verstreuten Phosphorogenatome verlustfrei wandert und dieses zum Leuchten bringt. Es läßt sich dabei zeigen, daß diese Energieübertragung über große Strecken nicht etwa durch irgendeine zwischengeschaltete Sekundärstrahlung besorgt wird. Ebenso zwingend ergibt sich die Annahme einer Energiewanderung aus den Beobachtungen an gewissen polymerisierten Farbstoffen. Die Fluoreszenz dieser Farbstoffe wird nämlich durch bestimmte Zusätze ausgelöscht, und zwar genügt schon 1 Molekül der Lösungs- substanz auf etwa 10^3 bis 10^6 Farbstoffmoleküle, um eine merkliche Löschung zu erzielen. Die Lichtenergie, die an beliebiger Stelle der durch Polymerisation entstandenen langen Molekülkette aufgenommen wird, muß also längs der Kette an das Löschmolekül gelangen können, d. h. es muß eine Energiewanderung über Tausende von Farbstoffmolekülen hinweg möglich sein. Auch die Beobachtungen über die Assimilation von Kohlensäure durch grüne Pflanzen zwingen zu ähnlichen Annahmen. Bekanntlich bedarf es zur Reduktion eines Kohlensäuremoleküls der Wirkung von 4 Lichtquanten. Man muß auf Grund der Versuchsergebnisse annehmen, daß einige tausend Chlorophyllmoleküle sich zu einem Aggregat („Assimilationseinheit“) zusammenfügen und dieses Aggregat nacheinander 4 Quanten empfängt, wonach es die aufgenommenen Quanten dem an irgendeiner Stelle an die Einheit angelagerten Kohlensäuremolekül (bzw. seinen Reaktionspartnern) zuleitet.

Eine theoretische Deutung der Energiewanderung über so große Strecken ergibt sich aus dem quantenmechanischen Modell vom energetischen Aufbau von großen Molekülen, Kristallen und anderen durch periodische Aneinanderlagerung von Atomen entstandenen Gebilden (z. B. Molekülkomplexen). Diese Vorstellung beruht darauf, daß man die Elektronen in einem periodisch aufgebauten Gitter nicht den einzelnen Atomen zuordnen darf, sondern daß sie in gewissem Umfang als zu dem ganzen Gitter gehörig anzusehen sind. An Fig. 12 sei der Mechanismus der Energiewanderung für den Fall der Kristallphosphore erläutert. Nach der Elektronentheorie der Kristalle sind die den einzelnen Atomen eigenen Energieniveaus (Terme) beim Zusammenfügen vieler Atome zu einem Kri-

stall in eine Vielzahl von dicht nebeneinanderliegenden Energietermen aufgespalten. Die Gesamtheit solcher nebeneinander liegender Energie-terme ergibt ein sog. Energieband. Bei einem Isolator gibt es Energiebänder, die vollständig von Elektronen besetzt sind, und solche, die gar nicht besetzt sind. In Fig. 12 sind z. B. das Band B und die darunterliegenden voll besetzt, das Band A dagegen unbesetzt. Die dazwischenliegenden Kurven sollen den Potentialverlauf der einzelnen Atome darstellen. Die hochgelegenen Bänder sind breiter als die tiefer gelegenen. Die Breite des Bandes ist gleichzeitig ein Maß für die Wechselwirkung mit den benachbarten Atomen. Je breiter das Band, um so weniger kann man die in ihm befindlichen Elektronen einem bestimmten Atom zuordnen, d. h. sie gehören um so mehr dem Kristallgitter als Ganzem. Wird in einem solchen ideal aufgebauten Kristall durch ein eingestrahletes

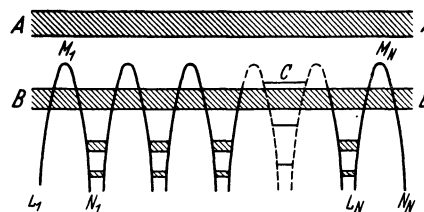


Fig. 12. Energiemodell eines Kristalls mit Störstelle (lineares Schema). A: unterstes unbesetztes (Leitfähigkeits-)Band. B: oberstes besetztes Band. C: Störterm. (Aus RIEHL, 1940.)

Quant ein Elektron aus dem besetzten Band B in das unbesetzte Band A gehoben, so kann aus bestimmten, hier nicht näher zu erläuternden Gründen das Elektron nicht unter Aussendung von Lumineszenzstrahlung auf seinen früheren Ort wieder zurückfallen. Beim Idealkristall tritt daher keine Lumineszenz auf. Wohl aber sind strahlende Übergänge von dem Band A auf irgendeinen zwischen A und B gelegenen diskreten Term möglich. Solche diskreten Terme (Störterme) treten auf, wenn in das Gitter der Grundsubstanz einzelne Fremdatome (Phosphorogenatome) eingelagert werden. Es ist anzunehmen, daß jeder solche Störterm (Term C in Fig. 12) von einem Elektron besetzt ist. Für den Lumineszenzvorgang der Kristallphosphore ergibt sich somit folgendes Bild. Nach der Absorption eines Quants im Grundgitter des Kristallphosphors wird ein Elektron aus dem obersten besetzten Band B in das unbesetzte Leitfähigkeitsband A gehoben, wo es in einer gegen die Verweilzeit im oberen Band kleinen Zeit (unter Abgabe eines gewissen Teils seiner Energie an die umgebenden Atome) an den unteren Rand diffundiert. Das Loch im unteren Band wird entweder sofort oder nach der Diffusion nach dem oberen Rand des Bandes B aus dem Störterm C aufgefüllt. Die Strahlungsemission findet beim Übergang des Elektrons aus dem Leitfähigkeitsband A in den freigewordenen Stör-

term C statt. Diese Vorstellung hat die Erklärung sehr vieler Erscheinungen aus dem Gebiet der Lumineszenz möglich gemacht. Die uns hier interessierende Energiewanderung erklärt sich aus dieser Vorstellung vollkommen zwanglos, denn das an irgendeiner Stelle aus dem besetzten Band B durch den Absorptionsakt herausgelöste Elektron gelangt ja gemäß diesem Modell ins Leitfähigkeitsband A. Innerhalb dieses unbesetzten Leitfähigkeitsbandes kann es nun über beliebige Strecken innerhalb des Atomverbandes an die Störstelle wandern und dort auf den unbesetzt gewordenen Störterm herunterfallen. So erklärt sich also sowohl die Tatsache der Energiewanderung als solche, als auch der Umstand, daß die Energie nicht irgendwohin, sondern gerade zu der Störstelle wandert und dort den Emissionsvorgang verursacht.

Es liegt nahe, auch bei der Wanderung der Energie von irgendeiner Stelle des wahren Treffbereichs zu dem empfindlichen Volumen einen im Prinzip ähnlichen Mechanismus anzunehmen. Versucht man die Energieübertragung ohne Annahme einer solchen Energiewanderung zu erklären, so stößt man auf Schwierigkeiten. Man könnte versuchen, die Energieübertragung durch die Annahme zu erklären, daß Wassermoleküle, die das Genmolekül umgeben, durch die Strahlung in einen aktivierten Zustand gebracht werden, diesen aktivierten Zustand über längere Zeiten beibehalten und ihre Energie erst dann an das empfindliche Volumen durch Stoß zweiter Art abgeben, wenn sie bis zu diesem durch Diffusion hingelangt sind. Dieser Vermutung widerspricht jedoch erstens der exponentielle Anstieg des Umsatzes mit der Dosis, der bei vielen strahlenbiologischen Reaktionen beobachtet wird, und zweitens die Abhängigkeit der Mutationsrate von der Ionisationsdichte. Bei einem insgesamt großen aber nicht strukturierten und äußerst fein verteilten Treffbereich, wie ihn etwa die zu aktivierenden Wassermoleküle darstellen, müßte die Ionisationsdichte ohne Bedeutung sein. Ein tiefergreifender Einwand gegen die Energiewanderung bei Genmutationen kann gemacht werden, wenn man annimmt, daß das Gen ein multimolekulares Gebilde ist, d. h. aus einer großen Anzahl gleicher Moleküle besteht, und daß zum Zustandekommen einer Mutation nur eines von den vielen Molekülen getroffen zu werden braucht. Gegen eine solche Annahme spricht jedoch insbesondere die Größenordnung der Häufigkeit des Auftretens von Rückmutationen; denn von den vielen im Gen angenommenen gleichartigen Molekülen würde in diesem Falle ja nur ein einziges für die Rückmutation in Frage kommen, nämlich das, welches vorher mutiert ist. Hierdurch wäre man aber gezwungen, eine Häufigkeit der Rückmutationen zu erwarten, die um Zehnerpotenzen niedriger liegt, als die tatsächliche beobachtete Häufigkeit.

Es ist zunächst noch nicht mit Sicherheit zu entscheiden, ob die Energiewanderung im Treff-

bereich innerhalb von dreidimensional ausgebauten Riesenmolekülen erfolgt, bei denen man eine ähnliche Struktur und daher auch ähnliche Vorgänge wie bei einem Kristall erwarten kann, oder ob die Energiewanderung längs vorzugsweise eindimensionaler, fadenförmiger Leitwege erfolgt, wie sie etwa bei den obengenannten polymerisierten Farbstoffen vorliegen. Es ist vermutungsweise ausgesprochen worden, daß es bei Genen die Thymonucleinsäuren sind, die zu Ketten zusammentreten, und daß die Energiewanderung längs dieser Ketten erfolgen könnte. Mit den bisher bekannten chemischen Erfahrungen würde weder die eine noch die andere Anschauung in Widerspruch stehen.

5. *Schlußbemerkungen.*

Die vorhergehenden Ausführungen haben gezeigt, daß das Trefferprinzip der biologischen Strahlenwirkungen sich zu einem in sich abgeschlossenen Gedankengebilde zusammenfügen läßt, welches in gutem Einklang mit den bisherigen experimentellen Befunden steht und die Durchführung einer Reihe von speziellen quantitativen Auswertungen gestattet.

Dabei muß aber nochmals hervorgehoben werden, wie in der Einleitung schon betont wurde, daß eine strenge Analyse, die zu zwanglosen und einheitlichen Vorstellungen führt, zunächst nur bezüglich des Primärvorgangs durchgeführt werden kann, der zur Auslösung wohldefinierter Reaktions-einheiten bei übersichtlichem, aus elementaren Einheiten bestehendem biologischen Material führt. Dieser Primärvorgang besteht in einem Elementarprozeß im Sinne der Quantentheorie, der in einem Treffbereich von molekularer Größe stattfindet. Die bisher berechneten Größen der Treffbereiche sowie die vorhin entwickelten Vorstellungen über die Energieleitung im Treffbereich deuten darauf hin, daß der Vorgang sich in einem wohldefinierten molekulartypigen Atomverband abspielt. Bei den vorher von uns untersuchten verschiedenen strahlenbiologischen Reaktionen handelte es sich durchweg um Eintreffervorgänge; man muß deshalb annehmen, daß sowohl bei Genmutationen als auch bei der Inaktivierung von Viren und Phagen und bei der Tötung von Bakterienzellen durch ionisierende Strahlungen der jeweils beobachtete Effekt durch Änderung bzw. Zerstörung eines Moleküls oder eines Teiles eines molekulartypigen Atomverbandes zustande gebracht wird. Es muß aber betont werden, daß dieser Schluß zwar nahe liegend, aber zunächst noch nicht unbedingt zwingend ist, da wir über den eigentlichen Reaktionsmechanismus, der durch den strahlenbiologischen Primärvorgang ausgelöst wird, noch nichts Genaues wissen. Für Phagen und Viren kann die eben angedeutete Vorstellung mit Sicherheit angenommen werden, da ja diese biologischen Gebilde selbst monomolekulare Strukturen im weiteren Sinne des Wortes sind; für Gene erscheint diese Annahme aus einer Reihe verschiedener Gründe

sehr wahrscheinlich (TIMOFÉEFF-RESSOVSKY 1940). Es wäre deshalb verlockend, auch bei den Zellen im allgemeinen, für die auf dem gleichen Elementarprozeß beruhenden verschiedenen Reaktionen einen im Prinzip ähnlichen „monomolekularen“ Reaktionsmechanismus und entsprechende monomolekulare reagierende Einheiten anzunehmen; ob es in allen Fällen die uns aus Kreuzungsversuchen bekannten im Kern lokalisierten Gene sind, oder ob es auch außerhalb des Genotyps in gewissen Eigenschaften den Genen ähnliche Strukturen in den Zellen gibt, muß zunächst unentschieden bleiben (JORDAN 1938, 1939).

Mangels entsprechenden Versuchsmaterials, an Hand dessen eindeutige Entscheidungen getroffen werden könnten, muß auch zunächst die Frage offen gelassen werden, inwiefern die an einem übersichtlichen Material gewonnenen Vorstellungen über den Primärvorgang der biologischen Strahlungswirkung und die daraus folgenden Konsequenzen auf das ganze strahlenbiologische Material bzw. einen wesentlichen Teil davon grundsätzlich verallgemeinert werden können. Bei der Darstellung der Grundlagen des Trefferprinzips wurde angedeutet, daß schon bei der rein formalen treffertheoretischen Deutung von Mehrtrefferreaktionen verschiedene Interpretationen möglich sind: es kann sich um einen wirklichen Mehrtreffervorgang innerhalb desselben Treffbereiches, um mehrere Eintreffervorgänge innerhalb verschiedener Treffbereiche in derselben reagierenden Einheit, um mehrere Eintreffervorgänge innerhalb verschiedener reagierender Einheiten (bei mehrzelligen Gebilden) und schließlich um verschiedene Kombinationen dieser Möglichkeiten handeln. Eine klare Entscheidung zwischen diesen Annahmen ist in den allermeisten Fällen zunächst nicht möglich. Selbstverständlich können über den eigentlichen Reaktionsmechanismus und das weitere Schicksal des erfolgten Treffers in verschiedenen Fällen sehr verschiedene Annahmen gemacht werden. Das Vorhandensein eines Einflusses des Zeitfaktors bei manchen physiologischen Strahlenreaktionen deutet jedenfalls darauf hin, daß es sich nicht immer bei strahlenbiologischen Reaktionen primär um die Änderung bzw. Zerstörung von elementaren „genartigen“ Strukturen handelt; in diesen Fällen müssen es quantitative, zum Teil restituierbare chemisch-physiologische Vorgänge sein. Eine Klärung dieser Frage wird erst nach Bearbeitung eines weiteren experimentellen Materials und nach sorgfältiger Analyse der Ergebnisse möglich sein.

Eine Reihe weiterer Aufgaben ergibt sich aber auch auf dem Gebiet, das unmittelbar mit dem Problem des Primärvorgangs bei der Erzeugung von Strahlenreaktionen an biologischen Elementar-einheiten zusammenhängt. Wir greifen hier nur einige, die uns als besonders wichtig erscheinen, heraus. Es müssen Versuchsanordnungen und analytische Methoden gefunden werden, die es gestatten würden, die wahren Treffbereiche (τ)

festzustellen; man könnte z. B. daran denken, sie aus den Kurven der verschiedenen „Sättigungseffekte“ (Wirkungsabnahmen) bei Anwendung gleicher Dosen verschieden dicht ionisierender Strahlungen zu bestimmen. Damit hängt unmittelbar zusammen die Frage nach der Bestimmung der Wirkungswahrscheinlichkeiten bzw. Ionenausbeuten p ; bei Kenntnis von τ kann p einfach aus dem Verhältnis v/τ bestimmt werden; und bei der Kenntnis von p ergibt sich τ aus dem Verhältnis v/p . Besonders interessant wäre eine eingehende Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften von Treffbereichen, vor allem ihrer Form und ihrer Unterteilungen, und gewissen Struktureigenschaften entsprechender biologischer Gebilde. In ganz allgemeiner Form und erster Annäherung tauchte diese Frage bei schon im Zusammenhang mit den Treffbereichen eines Chromosoms und der einzelnen Mutations-schritte, sowie bei der Unterteilung des Gesamttreffbereiches bei der Inaktivierung von Phagen und der Tötung von Bakterienzellen auf. Es wäre interessant, diese Frage weiter zu verfolgen, besonders an Phagen und Viren, bei denen evtl. Zusammenhänge mit Svedberg-Einheiten sich herausstellen könnten. Die Klärung dieser Frage würde auch sicherlich weiteres Licht sowohl auf die Struktur der biologischen Elementar-einheiten, als auch auf den Mechanismus der Energiewanderung im Treffbereich werfen. Schließlich bleibt, wie vorher schon erwähnt wurde, die Frage nach dem Mechanismus der durch den Primärvorgang ausgelösten Reaktionen noch unerforscht; erst ihre Klärung, wenigstens in erster Annäherung, durch Entwicklung entsprechender prüfbarer Modellvorstellungen, würde auch die Frage nach der Natur der biologischen Elementar-einheiten und Elementarvorgänge weiter fördern.

Literatur.

J. ALEXANDER u. C. B. BRIDGES, Some physico-chemical aspects of life, mutation, and evolution. Coll. Chemistry N. Y. 2, 9 (1928). — L. E. ARNOW, Effects produced by the irradiation of proteins and amino-acids. Physiologic. Rev. 16, 671 (1936). — H. BAUER, Die Chromosomenmutationen. Z. indukt. Abstammungslehre 76, 309 (1939) — Röntgenauslösung von Chromosomenmutationen bei Drosophila. Chromosoma 1, 343 (1939). — H. BAUER, M. DEMEREC u. B. KAUFMANN, X-ray induced chromosomal alterations in Drosophila. Genetics 23, 610 (1938). — M. BLAU u. K. ALTENBURGER, Über einige Wirkungen von Strahlen II. Z. Physik 12 (1922). — K. G. BRATTAIN, Decomposition and synthesis of hydrogen iodide by alpha particles. J. physic. Chem. 42, 617 (1938). — T. CASPERSSON, Studien über den Eiweißumsatz der Zelle. Naturwiss. 29, 33 (1941). — I. A. CROWTHER, The action of X-rays on Colpidium Colpoda. Proc. roy. Soc. B 100, 390 (1926). — H. DÄNZER, Über einige Wirkungen von Strahlen VII. Z. Physik 89, 421 (1934). — M. DEMEREC, The effect of X-ray dosage on sterility and number of lethals in Drosophila melanogaster. Proc. nat. Acad. Sci U. S. A. 19, 1015 (1933) — Hereditary effects of X-ray radiation. Radiology 30, 212 (1938). — F. DESSAUER, Über einige Wirkungen von Strahlen I. Z. Physik 12, 38

- (1922) — Über die biologische Strahlenwirkung. Fortschr. Röntgenstr. **32** (1924) — Untersuchungen über das Grundproblem der biologischen Strahlenwirkungen. I. Problemstellung und Theorie. Zehn Jahre Forsch. Physik.-Med. Grenzgeb. Leipzig 1931. — F. DESSAUER, Quantenphysik der biologischen Röntgenstrahlenwirkungen. Z. Physik **84**, 218 (1933). — W. DUANE u. O. SCHEUER, Recherches sur la décomposition de l'eau par les rayons alpha. Le Radium **10**, 33 (1913). — R. EMERSON u. W. ARNOLD, J. gen. Physiol. **16**, 191 (1932). — H. FRICKE, The chemical and physical foundation for the biological effects of X-rays. Libro de oro pro Prof. ANGEL H. ROFFO 1936, 404. — H. FRICKE u. M. DEMEREC, The influence of wavelength on genetic effects of X-rays. Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **23**, 320 (1937). — H. GAFFRON u. K. WOHL, Zur Theorie der Assimilation. Naturwiss. **24**, 81 u. 103 (1936). — R. GLOCKER, Quantenphysik der biologischen Röntgenstrahlenwirkung. Z. Physik **77**, 653 (1932). — J. W. GOWEN, Inactivation of Tobacco-Mosaic virus by X-rays. Science (N. Y.) **84**, 536 (1936) — The size of the tobacco mosaic particle from X-ray determinations. Genetics **26**, 8 (1940). — J. W. GOWEN u. E. H. GAY, Gene number, kind, and size in *Drosophila*. Genetics **18**, 1 (1930). — P. GÜNTHER, Reaktionsanregung durch Röntgenstrahlen und durch Ionen. Erg. techn. Röntgenkunde **4**, 100. Leipzig 1934. — P. GÜNTHER u. L. HOLZAPFEL, Die Röntgenempfindlichkeit von flüssigem Wasser und Eis. Z. physik. Chem. **44**, 374 (1939). — P. GÜNTHER u. G. LEICHTER, Der Zerfall von Jodwasserstoff und die Bildung von Bromwasserstoff unter dem Einfluß von Röntgenstrahlen. Z. physik. Chem. **34**, 443 (1936). — F. B. HANSON u. F. HEYS, An analysis of the effects of the different rays of radium in producing lethal mutations in *Drosophila*. Amer. Naturalist. **63**, 201 (1929) — Radiation and lethal mutations in *Drosophila*. Amer. Naturalist. **66** (1932). — F. B. HANSON, F. HEYS u. E. STANTON, The effect of increasing X-ray voltages on the production of lethal mutations in *Drosophila*. Amer. Naturalist **65**, 134 (1931). — F. HOLWECK, S. LURIA u. E. WOLLMAN, Recherches sur le mode d'action des radiations sur les bactériophages. Acad. Sciences **210**, 639 (1940). — P. JORDAN, Anschauliche Quantentheorie. Berlin 1936 — Die Verstärkertheorie der Organismen in ihrem gegenwärtigen Stand. Naturwiss. **26**, 537 (1938) — Biologische Strahlenwirkung und Physik der Gene. Physik. Z. **39**, 345 (1938) — Die Stellung der Quantenphysik zu den aktuellen Problemen der Biologie. Arch. ges. Virusforsch. **1**, 1 (1939) — Zur Quantenbiologie. Biol. Zbl. **59**, 1 (1939) — Strahlenbiologie der Bakterien. Protoplasma (Berl.) **32**, 464 (1939) — Über die Spezifität von Antikörpern, Fermenten, Viren, Genen. Naturwiss. **29**, 89 (1941). — R. KAPLAN, Zur Frage der physikochemischen Struktur des Chromosoms. Naturwiss. **28**, 79 (1940). — N. K. KOLTZOFF, Physikalisch-chemische Grundlage der Morphologie. Biol. Zbl. **48** (1928) — The structure of the chromosomes and their participation in cell-metabolism. Biol. Z. **7** (1938). — F. C. LANNING u. S. C. LIND, Chemical action of alpha particles from radon on aqueous solutions. J. phys. Chem. **42**, 1229 (1938). — D. E. LEA, A theory of the action of radiations on biological materials capable of recovery. Brit. J. Radiol. **11**, 489, 554 (1938) — Determination of the sizes of viruses and genes by radiation methods. Nature (Lond.) **146**, 137 (1940) — Radiation method for determining the number of genes in the X-Chromosome of *Drosophila*. J. Genet. **39**, 181 (1940). — D. E. LEA, R. B. HAINES u. C. A. COULSON, The mechanism of the bactericidal action of radioactive radiations. Proc. roy. Soc. **120**, 47 (1936) — The action of radiations on bacteria. Proc. roy. Soc. **123**, 1 (1937). — S. C. LIND, The chemical effects of alpha particles and electrons. New York 1928. — W. H. LOVE, On the existence of critical intensity. Brit. J. Radiol. **11**, 686 (1938). — A. S. MACFARLANE, Chemistry of the plant viruses. Biol. Rev. Cambridge philos. Soc. **14** (1939). — W. V. MAYNEORD, The physical basis of the biological effects of high voltage radiations. Proc. roy. Soc. A **146**, 876 (1934). — W. MINDER, Über die Intensitätsabhängigkeit der Strahlenschädigung. Radiologica clinica (Basel) **8**, 138 (1939). — F. MÖGLICH und R. ROMPE, Zur Theorie fester Isolatoren. Naturw. **29**, 105 u. 129 (1941). — F. MÖGLICH u. M. SCHÖN, Zur Frage der Energiewanderung in Kristallen und Molekülkomplexen. Naturwiss. **26**, 199 (1938). — H. J. MULLER, The problem of genic modification. Verh. 5. internat. Kongr. Vererbgs., Berlin 1 (1928) — The production of mutations by X-rays. Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **14**, 714 (1928) — The gene as the basis of life. Proc. 4. int. Congr. Plant. Sci. Ithaca **1** (1929) — Radiation and genetics. Amer. Naturalist **64**, 220 (1930) — Further studies on the nature and causes of mutations. Proc. 6. int. Congr. Genet., Ithaca **1** (1932) — The effect of X-rays on the hereditary material. Sci of Radiology **3**, 305. Springfield 1933 — On the dimensions of chromosomes and genes in dipteran salivary glands. Amer. Naturalist **69** (1935). — The biological effects of radiations with special reference to mutation. Réun. Int. Physique, Chimie et Biologie, Paris (1937) — The present status of the mutation theory. Current Sci. **1938**, 4 — An analysis of the process structural change in chromosomes of *Drosophila*. J. Genet. **40**, 1 (1940). — H. J. MULLER and S. M. MOTT-SMITH, Evidence that natural radioactivity is inadequate to explain the frequency of natural mutations. Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. **16**, 277 (1930). — W. MUND, L'action chimique des rayons alpha. Paris 1935. — C. P. OLIVER, An analysis of the effect of varying the duration of X-ray treatment upon the frequency of mutations. Z. indukt. Abstammungslehre **61**, 447 (1932). — B. RAJEWSKY, Weitere Untersuchungen an der Strahlenreaktion des Eiweißes. Strahlenther. **33**, 362 (1929) — Die Wirkungen der kurzwelligeren Strahlen auf Eiweißkörper. Biochem. Z. **227**, 272 (1930) — Untersuchungen über das Grundproblem der biologischen Strahlenwirkung. II. Physikalische Darstellung des Schädigungsvorgangs und ihre experimentelle Prüfung. Zehn Jahre Forsch. Physik.-Med. Grenzgeb. Leipzig 1931 — Theorie der Strahlenwirkung und ihre Bedeutung für die Strahlentherapie. Wissenschaftliche Woche Frankfurt a. M. **2**, 75 (1934). — B. RAJEWSKY u. H. DÄNZER, Über einige Wirkungen von Strahlen VI. Z. Physik **89**, 412 (1934). — B. RAJEWSKY u. N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Höhenstrahlung und die Mutationsrate von *Drosophila*. Z. indukt. Abstammungslehre **77**, 488 (1939). — J. REBOUL, Théorie générale de l'action des rayons X sur les éléments biologiques. C. r. Acad. Sci. Paris **208**, 17 (1939) — Le facteur de récupération. C. r. Acad. Sci. Paris **208**, 541 (1939). — P. REISS, L'action biologique des rayons X et γ . Paris 1935. — N. RIEHL, Über die Zerstörung von Zinksulfidphosphoren durch α -Strahlung. Ann. Physik (5) **11**, 103 (1931) — Aufbau und Wirkungsweise leuchtfähiger Zinksulfide und anderer Luminophore. Ann. Physik **29**, 636 (1937) — Fortschritte auf dem Gebiete der Lumineszenz fester Stoffe. Angew. Chem. **51**, 301 (1938) — New results with luminescent zinc sulphide and other luminous substances. Trans. Faraday Soc. **35**, 135 (1939) —

Die Energiewanderung in Kristallen und Molekülkomplexen. *Naturwiss.* **28**, 601 (1940) — Physik und technische Anwendungen der Lumineszenz. Berlin: Julius Springer 1941. — N. RIEHL u. M. SCHÖN, Der Leuchtmechanismus von Kristallphosphoren. *Z. Physik* **114**, 682 (1939). — O. RISSE, Die physikalischen Grundlagen der Photochemie. *Erg. Strahlenforsch.* **5**, 71 (1931). — G. SCHEIBE, Reversible Polymerisation als Ursache neuartiger Absorptionsbanden von Farbstoffen. *Kolloid-Z.* **82**, 1 (1938) — Energiefortleitung in Molekülen. *Umschau* **45**, 161 (1941). — G. SCHEIBE u. L. KANDLER, Anisotropie organischer Farbstoffmoleküle. Nebenvaleanz-Bindung als Energieüberträger. *Naturwiss.* **26**, 412 (1938). — G. SCHEIBE, A. SCHÖNTAG u. F. KATHEDER, Fluoreszenz und Energiefortleitung bei reversibel polymerisierten Farbstoffen. *Naturwiss.* **27**, 499 (1939). — K. SOMMERMEYER, Quantenvorgänge bei der biologischen Strahlenwirkung. *Z. Physik* **109**, 332 (1938) — Zur statistischen Analyse der Wirkung harter Strahlen auf biologische Objekte I. *Strahlenther.* **68**, 645 (1940). — L. J. STADLER, Some genetic effects of X-rays in plants. *J. Hered.* **21** (1930) — The experimental modification of heredity in crop plants, I. and II. *Sci. Agricult.* **11** (1931). — L. J. STADLER and G. F. SPRAGUE, Genetic effects of ultraviolet radiation on Maize. *Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A.* **22** (1936) — Contrasts of the genetic effects of ultraviolet radiation and X-rays. *Science (N. Y.)* **85** (1937). — W. M. STANLEY, The biophysics and biochemistry of viruses. *J. appl. Physics* **9** (1938) — The reproduction of virus proteins. *Amer. Naturalist* **72** (1938). — G. STUBBE, Spontane und strahleninduzierte Mutabilität. Leipzig 1937 — Genmutation. *Handbuch Vererbungswissenschaft* **23**. Berlin 1938 — Neue Forschungen zur experimentellen Erzeugung von Mutationen. *Biol. Zbl.* **60**, 113 (1940). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Der Stand der Erzeugung von Genovariationen durch Röntgenbestrahlung. *J. Psychol. u. Neur.* **39** (1929) — Die bisherigen Ergebnisse der Strahlen-genetik. *Erg. Strahlenforsch.* **5**, 130 (1931) — Mutations of the gene in different directions. *Proc. 6. Internat. Congr. Genet., Ithaca* **1**, 308 (1932) — The experimental production of mutations. *Biol. Rev. Cambridge philos. Soc.* **9**, 411 (1934) — Experimentelle Mutationsforschung in der Vererbungslehre. Leipzig u. Dresden 1937 — Auslösung von Mutationen durch Neutronenbestrahlung. *Forsch. u. Fortschr.* **14** (1938) — Le mécanisme des mutations et la structure du gène. Paris: Hermann 1939 — Eine biophysikalische Analyse des Mutationsvorganges. *Nova Acta Leopoldina (Halle)* **9**, Nr 60 (1940). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY und M. DELBRÜCK, Strahlen-genetische Versuche über sichtbare Mutationen und die Mutabilität einzelner Gene

bei *Drosophila melanogaster*. *Z. induct. Abstammungslehre* **71**, 322 (1936). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY u. K. G. ZIMMER, Strahlen-genetische Zeitfaktorversuche an *Drosophila melanogaster*. *Strahlenther.* **53**, 134 (1935) — Wellenlängenunabhängigkeit der mutationsauslösenden Wirkung der Röntgen- und Gammastrahlen bei *Drosophila*. *Strahlenther.* **54** (1935) — Neutronenbestrahlungsversuche zur Mutationsauslösung bei *Drosophila*. *Naturwiss.* **26**, 362 (1938) — Mutationsauslösung durch Röntgenbestrahlung unter verschiedener Temperatur bei *Drosophila*. *Biol. Zbl.* **59** (1939) — Strahlen-genetik. *Strahlentherapie* **66**, 684 (1939). — N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, K. G. ZIMMER u. M. DELBRÜCK, Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen VI*, Nr F. 1, Nr 13 (1935). — J. VANDAMME, La décomposition et la synthèse radiochimique de l'acide iodehydrique. *Bull. Soc. Chim. Belgique* **41**, 597 (1932). — F. D. WARD, The production of mutations in *Drosophila melanogaster* by irradiation with alpha-rays. *Genetics* **20**, 230 (1935). — W. WIEBE, Die Grundvorgänge der biologischen Strahlenwirkung. *Strahlenther.* **67**, 69 (1940). — K. WOHL, Zur Theorie der Assimilation. V. Gesamtübersicht. *Z. physik. Chem. (B)* **37**, 209 (1936). — E. WOLLMANN, F. HOLWECK and S. LURIA, Effect of Radiations on Bacteriophage C₁₆. *Nature (Lond.)* **145**, 935 (1940). — E. WOLLMANN et A. LACASSAGNE, Evaluation des dimensions des Bactériophages au moyen des rayons X. *Ann. Inst. Pasteur* **64**, 5 (1940). — R. W. G. WYCKOFF, The killing of certain bacteria by X-rays. *J. of exper. Med.* **52**, 435 (1930) — The killing of colon bacilli by X-rays of different wave lengths. *J. of exper. Med.* **52**, 769 (1930). — R. W. G. WYCKOFF and T. M. RIVERS, The effect of cathode rays upon certain bacteria. *J. of exper. Med.* **51**, 921 (1936). — K. G. ZIMMER, Ein Beitrag zur Frage nach der Beziehung zwischen Röntgenstrahlendosis und der dadurch ausgelösten Mutationsrate. *Strahlenther.* **51** (1934) — Dosimetrische und strahlenbiologische Versuche mit schnellen Neutronen. I. *Strahlenther.* **63**, 517 (1938) — Zur biophysikalischen Analyse des Vorgangs der Tötung von *Drosophila*-eiern durch Strahlung. *Biol. Zbl.* **60**, 287 (1940) — Über eine evtl. Beteiligung radiochemischer Reaktionen in wässrigen Lösungen an biologischen Strahlenwirkungen. *Fundam. radiol. (Berl.)* **5**, 168 (1940) — Zur Berücksichtigung der biologischen Variabilität bei der Treffertheorie der biologischen Strahlenwirkung. *Biol. Zbl.* **61**, 208 (1941). — K. G. ZIMMER u. N. W. TIMOFÉEFF-RESSOVSKY, Dosimetrische und strahlenbiologische Versuche mit schnellen Neutronen. II. *Strahlenther.* **63**, 528 (1938) — Note on the biological effects of densely ionizing radiation. *Physic. Rev.* **55**, 411 (1939).

Mitteilungen aus der Enzymchemie.

Neuere Arbeiten über proteolytische Enzyme.

Die Substrate der proteolytischen Enzyme sind die natürlichen Eiweißkörper und ihre nächsten Spaltprodukte, die Peptide. Die proteolytischen Enzyme gliedern sich demgemäß auch in zwei große Gruppen, in Enzyme, die die natürlichen Proteine in Peptide zu zerlegen vermögen — die Proteinasen —, und in Enzyme, die die verschiedenen Peptide in Aminosäuren aufspalten — die Peptidasen. Weiter unten in diesem Bericht wird dargelegt, wie weit diese Anschauung den heutigen Forschungsergebnissen noch entspricht.

Über die spezifische Wirkungsweise der Peptidasen sind wir schon längere Zeit ziemlich gut orientiert. Aus

Arbeiten von WALDSCHMIDT-LEITZ, GRASSMANN, BERGMANN u. a. ging hervor, daß die Peptidasen die Spaltung solcher Säureamidbindungen bewirken können, in deren Nähe polare Gruppen — also NH₂- oder COOH-Gruppen bzw. beide Gruppen — lokalisiert sind; man kann deshalb unterscheiden zwischen Aminopeptidasen, die Peptide vom Tripeptid aufwärts vom Aminoende der Peptidkette her hydrolysieren, und Carboxypeptidasen, die umgekehrt Peptide vom Carboxylende her aufspalten. Zu diesen beiden Peptidasegruppen gesellt sich die Dipeptidase, spezifisch eingestellt auf die Spaltung von Dipeptiden, Peptide also, in denen der CO-NH-Bindung sowohl

eine Carboxyl- als auch eine Aminogruppe benachbart ist. Als spezifische Peptidasen sind dann noch die Prolinase zu erwähnen, die Prolinpeptide vom Typus Prolylglycin angreift, und die Prolidase, die Prolinpeptide vom Typus Glycylprolin zu hydrolysieren vermag.

Die Erforschung der spezifischen Wirkungsweise der Proteinase stieß auf größere Schwierigkeiten, vor allem aus dem Grund, weil keine strukturell definierten, synthetischen Substrate zur Verfügung standen, weil man über den Aufbau der natürlichen Proteine durchaus nicht genügend orientiert war und immer wieder im Eiweißmolekül nach besonderen Strukturelementen fahndete, denen auch die besondere Wirkung der Proteinase entsprechen sollten. Es fehlte auch nicht an Bemühungen, die fermentative Spaltbarkeit solcher besonderer Strukturelemente nachzuweisen; so hatten japanische Forscher¹⁾ vor einigen Jahren berichtet, daß Dioxopiperazine mit carboxylhaltigen Seitenketten, wie z. B. Dioxopiperazin-monoessigsäure, abweichend von dem Verhalten der unsubstituierten Dioxopiperazine durch gereinigtes Pankreastrepsin gespalten würden und umgekehrt Dioxopiperazine mit freie Aminogruppen enthaltenden Seitenketten, z. B. Argininanhydrid oder Lysin-anhydrid, spezifisch durch Pepsin hydrolysiert würden. Einer Nachprüfung²⁾ konnten diese Beobachtungen indes nicht standhalten.

So war man — um Aussagen über die spezifische Wirkungsweise der Proteinase zu machen — zunächst auf die Erfahrungen angewiesen, die man bei der stufenweisen enzymatischen Hydrolyse von Eiweißkörpern, vor allem der Protamine, machte. Das Auftreten äquivalenter Mengen Carboxyl- und Aminogruppen bei der Einwirkung von gereinigten, enzymatisch einheitlichen Proteinase auf Eiweißkörper sprach einmal dafür, daß die Leistung dieser Enzymgruppe genau so wie die der Peptidasen in der Lösung von Peptidbindungen besteht³⁾. Aber auch die Anschauung, daß im Proteinmolekül Dioxopiperazine ein wesentliches Strukturelement sind, findet in den Ergebnissen der enzymatischen Hydrolyse des Clupeins keinen Anhaltspunkt. Es zeigte sich vielmehr, daß die Spezifität einer echten Proteinase ebenso wie die der Peptidasen allein von der Natur und Anordnung der Bausteine in einem Peptid bestimmt wird, daß auch z. B. Trypsin Peptidbindungen in offenen Peptidketten zerlegt. WALDSCHMIDT-LEITZ und KOFRANYI⁴⁾ konnten es wahrscheinlich machen, daß Trypsin Peptidbindungen zwischen zwei Argininresten im Innern der Peptidkette zu hydrolysieren vermag. Die Analyse der durch Einwirkung von Proteinase auf Proteine gewonnenen Abbauprodukte ist heute noch nicht soweit fortgeschritten, daß eine vollkommen sichere Isolierung und Kennzeichnung dieser Abbauprodukte, der Peptide, möglich ist. Man wird deshalb zu definitiven und exakten Aussagen über die spezifische Wirkungsweise der Proteinase auf diesem Wege erst gelangen können, wenn eine solche Analyse an vielen Beispielen durchgeführt werden kann. Das ist bisher

nicht in dem Maße der Fall, daß man die Bindungen, die von den einzelnen Proteinase bevorzugt gespalten werden, mit Sicherheit kennzeichnen könnte. Es sei aber doch darauf hingewiesen, daß nunmehr eine Methode zur Verfügung zu stehen scheint, die eine solche Analyse ermöglicht. Mittels der Methode der chromatographischen Adsorptionsanalyse ist es WALDSCHMIDT-LEITZ und TURBA¹⁾ gelungen, das Gemisch der aus dem Clupein durch tryptischen Abbau gebildeten Peptide in wenigen Schritten und in nahezu quantitativer Ausbeute in seine Bestandteile zu zerlegen. Die Charakterisierung der isolierten Bruchstücke des Protamins, die nicht leicht ist, die aber doch keine unüberwindlichen Schwierigkeiten bereiten dürfte, ist noch nicht vollendet. Man wird aber hoffen können, daß auf diesem Wege einerseits eine weitgehende Strukturaufklärung der Eiweißkörper, andererseits ein Einblick in die spezifische Wirkungsweise der Proteinase erfolgen kann.

Dabei darf man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, daß sich die einzelnen Aminosäuren in der Peptidkette des Proteins in bestimmten Abständen wiederholen und der Bau des Makromoleküls eine große Regelmäßigkeit aufweist. BERGMANN und NIEMANN²⁾, die auf dieses Bauprinzip der Proteine neuerdings wieder hinweisen und neue experimentelle Gesichtspunkte für diese Anschauung beibringen können, sprechen von „periodisch strukturierten Peptidketten im Eiweißmolekül“. Die zu erwartende Regelmäßigkeit des Proteinmoleküls verspricht, daß eine Auswertung der Ergebnisse, die bei der Isolierung und Charakterisierung der durch Proteinaseeinwirkung entstehenden Spaltprodukte gewonnen werden, für die Kenntnis der Eiweißstruktur und der Spezifität der Proteinase möglich sein wird, die sonst durch die große Mannigfaltigkeit zunächst ziemlich aussichtslos erscheinen möchte.

Auf ganz anderem Wege haben uns nun vor allem Arbeiten von M. BERGMANN und seinen Mitarbeitern weitere Kenntnisse über die spezifische Wirkungsweise der Proteinase vermittelt. Pepsin, Trypsin, Chymotrypsin, Papain und Kathepsin galten — wie weiter oben ausgeführt wurde — als Enzyme, die lediglich hochmolekulare Eiweißkörper zu spalten vermögen. Sie wurden als Proteinase den Peptidasen gegenübergestellt, welche nur niedermolekulare Peptide hydrolysieren. BERGMANN³⁾ suchte indes nach einfachen Substraten für Proteinase, an denen sich möglicherweise die strukturellen Bedingungen für die spezifische Proteinasewirkung erkennen lassen. Das ist nun auch tatsächlich bis zu einem gewissen Grade gelungen. In der folgenden Tabelle sind Substrate zusammengestellt, aus deren Verhalten gegenüber Pepsin sich die spezifische Wirkungsweise dieses Enzyms zu einem guten Teil erkennen läßt.

So besteht eine deutliche Abhängigkeit der Spaltbarkeit der CO-NH-Bindung im Peptid von der Natur der beiden Aminosäurereste, die an der Peptidbindung beteiligt sind. Tyrosin und Phenylalanin wurden bisher als für die Pepsinwirkung maßgebende Aminosäuren erkannt (1—7). Es ergeben sich aber noch weitere Struktureinflüsse: wird im Carbobenzoxy-

¹⁾ T. ISHIYAMA, J. of Biochem. 17, 285 (1933). — Y. TAZAWA, Acta phytochim. (Tokyo) 8, 331 (1935). — K. SHIBATA, Acta phytochim. (Tokyo) 8, 173 (1935).

²⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ u. M. GÄRTNER, Hoppe-Seylers Z. 244, 221 (1936).

³⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ, A. SCHÄFFNER u. W. GRASSMANN, Hoppe-Seylers Z. 156, 68 (1926).

⁴⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ u. E. KOFRANYI, Hoppe-Seylers Z. 236, 181 (1935).

¹⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ u. F. TURBA, J. prakt. Chem. 156, 55 (1940). — E. WALDSCHMIDT-LEITZ, J. RATZER u. F. TURBA, J. prakt. Chem. 158, 72 (1941).

²⁾ M. BERGMANN u. C. NIEMANN, J. of biol. Chem. 110, 471 (1935); 118, 301 (1937); 122, 577 (1938).

³⁾ J. S. FRUTON u. M. BERGMANN, J. of biol. Chem. 127, 627 (1939).

Die Wirkung des Pepsins auf synthetische Substrate.

Nr	Substrat	Spaltbarkeit	
1	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-tyrosin . . .	+++	
2	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-phenylalanin .	+++	
3	Carbobenzoxy-l-glutamyl-l-dijodtyrosin .	—	
4	Carbobenzoxy-l-glutamyl-glutaminsäure .	—	
5	Carbobenzoxy-l-glutamyl-glycin	—	
6	Carbobenzoxy-glycyl- β -l-tyrosin	++	
7	Carbobenzoxy-l-tyrosyl- β -l-tyrosin	++	
8	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-tyrosinamid .	+	
9	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-phenylalanin	+	
10	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-tyrosinamid	—	
11	Carbobenzoxy-l-glutamyl- β -l-tyrosin-glycin	++	
12	l-Glutamyl-l-tyrosin	—	
13	Glycyl-l-glutamyl- β -l-tyrosin	+++	
14	Carbobenzoxy-l-phenylalanin- β -l-glutaminsäure	+	

+++ leicht spaltbar, ++ mäßig spaltbar, + schwer spaltbar, — unspaltbar; β gibt die Angriffsstelle des Enzyms an.

glutamyl-tyrosin (1) eine Carboxylgruppe amidiert, so wird die Spaltbarkeit stark herabgesetzt (8 und 9), werden beide Carboxyle maskiert, so erfolgt keine Pepsinwirkung (10). Die Gegenwart freier Carboxyle ist für die Pepsinwirkung günstig. Liegt die freie α -Carboxylgruppe in größerer Entfernung von der Peptidbindung, so wird auch dadurch die Spaltungsgeschwindigkeit verringert (11). Neben dem günstigen Einfluß der freien Carboxyle zeigt es sich, daß die Pepsinwirkung durch eine der Peptidbindung benachbarte freie Aminogruppe verhindert werden kann (12). Dagegen wird das Tripeptid (13) unter Abspaltung von Tyrosin leicht angegriffen. Außerdem hängt die Spaltbarkeit auch von der Reihenfolge der Aminosäuren ab; (14) wird langsamer hydrolysiert als (2).

Ganz ähnlich lassen sich auch für die pankreatischen Proteinase, Trypsin und Chymotrypsin, Anhaltspunkte für ihre spezifische Wirkungsweise aus dem Verhalten gegenüber synthetischen Substraten gewinnen¹⁾.

Die Wirkung des Trypsins und des Chymotrypsins auf synthetische Substrate.

Nr	Substrate	Spaltbar durch	
		Trypsin	Chymotrypsin
1	α -Benzoyl-l-arginin- β -amid . . .	+++	—
2	Benzoyl-l-lysin- β -amid	+	—
3	α -Hippuryl-l-lysin- β -amid	+++	—
4	α -Hippuryl- ϵ -carbobenzoxy-l-lysin- β -amid	—	—
5	Benzoyl-l-tyrosyl- β -glycinamid .	—	+++
6	Carbobenzoxy-glycyl-l-tyrosyl- β -glycinamid	—	+++
7	Carbobenzoxy-glycyl-l-phenylalanin- β -glycinamid	—	+
8	Glycyl-l-tyrosyl- β -glycinamid . .	—	+++

¹⁾ M. BERGMANN u. J. S. FRUTON, J. of biol. Chem. **118**, 405 (1937); **124**, 321 (1938). — M. BERGMANN, J. S. FRUTON u. H. POLLOK, J. of biol. Chem. **127**, 643 (1939). — K. HOFMANN u. M. BERGMANN, J. of biol. Chem. **130**, 81 (1938).

Alle untersuchten synthetischen Substrate des kristallisierten Trypsins enthalten eine basische Amino- oder Guanidinogruppe, jedoch keine freie Carboxylgruppe. So wird z. B. Hippuryllysinamid (3), das durch Trypsin sehr leicht spaltbar ist, durch Maskierung der freien ϵ -Aminogruppe des Lysins mit der Carbobenzoxygruppe unspaltbar (4). Die basische Gruppe scheint für die Wirkung des Trypsins unerlässlich, ein Befund, der sich recht gut mit den Beobachtungen von WALDSCHMIDT-LEITZ und KOFRANYI (siehe oben) vereinbaren läßt. Als einzige Peptidbindungen in synthetischen Verbindungen, welche durch Chymotrypsin gespalten werden, wurden bisher nur solche erkannt, in denen Tyrosin oder Phenylalanin das Peptidcarboxyl liefert.

Auch für die intrazellulären Proteinase — die pflanzlichen Proteinase des Papaintypus und die tierischen Zellproteinase, das Kathepsin — sind eine Reihe synthetischer Substrate aufgefunden worden; weiter unten wird in einem anderen Zusammenhange darauf eingegangen werden.

Aus den Versuchen mit synthetischen Substraten geht einmal hervor, daß die Proteinase echte Peptidase sind, und weiterhin, daß im allgemeinen durch diese Fermente Peptidbindungen in der Mitte der Peptidkette gespalten werden, Peptidbindungen also, denen weder Carboxylgruppen noch Aminogruppen benachbart sein müssen. BERGMANN¹⁾ bezeichnet deshalb die Proteinase als „Endopeptidase“, während er die Peptidase (Dipeptidase, Aminopeptidase usw.) mit den Namen „Exopeptidase“ belegt. Diese Scheidung der proteolytischen Enzyme in Endo- und Exopeptidase, die sich mit der alten Einteilung in Proteinase und Peptidase im übrigen deckt, trifft wohl den Kern der Sache; indes hat es sich bei weiterer Untersuchung herausgestellt, daß doch auch Überschneidungen möglich sind. Aus dem Tripeptid Glycylglutamyl-tyrosin wird durch Pepsin ziemlich leicht Tyrosin in Freiheit gesetzt. Es zeigt sich also, daß das Pepsin nicht nur im Innern einer Peptidkette liegende Peptidbindungen zu spalten vermag, sondern auch solche, welche am Carboxylende der Kette liegen. Hiermit in Übereinstimmung ist die von CALVERY²⁾ und früher von anderen Autoren beobachtete Abspaltung von Tyrosin aus Eialbumin durch Pepsin. Auch andere Proteinase, z. B. das Papain, liefern bei Einwirkung auf Eiweißkörper freie Aminosäuren. Man kommt also zu dem Schlusse³⁾, daß der Beginn des Abbaus von Proteinen, die infolge ihres hohen Molekulargewichtes nur geringe Mengen an freien α -Amino- und α -Carboxylgruppen enthalten, nur von solchen Enzymen durchgeführt wird, welche diese Gruppen nicht benötigen, nämlich von Proteinase (Endopeptidase). Das Ausmaß der Spaltung von Proteinen durch Proteinase ist bestimmt durch die Struktur des Proteins und durch die Spezifität der Proteinase. In manchen Fällen verläuft der Abbau unter Bildung von großen Mengen von Aminosäuren. Jedoch ist die Spezifität der Proteinase derart, daß sie ein Protein nicht vollständig in Aminosäuren zerlegen können. Um dies zu erreichen, muß die Wirkung der Proteinase ergänzt werden durch die von Exopeptidase.

Die Erforschung der spezifischen Wirkungsweise

¹⁾ M. BERGMANN, ZERVAS u. J. S. FRUTON, J. of biol. Chem. **116**, 189 (1936); **118**, 405 (1937). — M. BERGMANN u. C. NIEMANN, J. of biol. Chem. **118**, 781 (1937).

²⁾ CALVERY u. SCHOCH, J. of biol. Chem. **113**, 21 (1940).

³⁾ M. BERGMANN u. C. NIEMANN, J. of biol. Chem. **122**, 572 (1938).

der Proteinase kann heute von zwei Seiten her vorwärtsgetrieben werden: mit Hilfe von Spezifitätsuntersuchungen an synthetischen Substraten und durch das Studium der Spaltprodukte, die bei der Einwirkung des betreffenden Enzyms auf Eiweißkörper entstehen. Das läßt hoffen, daß wir über die strukturellen Bedingungen der Proteinasewirkung bald ein genaues und zuverlässiges Bild gewinnen werden, wenn gleich auf beiden Wegen noch große Hindernisse zu überwinden sein werden; denn in dem einen Fall sind die Möglichkeiten der Peptidsynthesen nicht unbeschränkt (z. B. können Argininpeptide bisher nicht synthetisch gewonnen werden), im anderen Fall ist die Trennung und Charakterisierung der Proteinspaltprodukte eine noch nicht zur vollen Zufriedenheit gelöste Problem.

Vorbereitet und ermöglicht werden sind die Untersuchungen über die Spezifität proteolytischer Enzyme erst durch die Darstellung der Enzyme in enzymatisch einheitlicher Form (WALDSCHMIDT-LEITZ, GRASSMANN, NORTHROP u. a.). Besonders die NORTHROPsche Schule¹⁾ hatte darin durch Darstellung kristallisierter Proteinase (Pepsin, Trypsin, Chymotrypsin) einen ganz großen Fortschritt errungen. Papain konnte durch BALLS²⁾ kristallisiert erhalten werden.

Unbefriedigt sind unsere Kenntnisse hingegen über das Kathepsin — das Proteinasesystem tierischer Zellen. Man konnte bis vor kurzem annehmen, daß sich das proteolytische System der Zellen und Gewebe aus einer Proteinase — dem Kathepsin, das sein Wirkungsoptimum in schwachsaurem Gebiet bei p_H 4–5 besitzt, — und aus Peptidasen (Exopeptidasen), und zwar aus einer sog. katheptischen Carboxypolypeptidase und aus den ereptischen Enzymen—Aminopolypeptidase und Dipeptidase — zusammensetzt. Von der Proteinase, die man unter dem Papaintypus einreichte, konnte gezeigt werden, daß sie durch reduzierende Stoffe, wie Sulfhydrylverbindungen, Blausäure u. a., in ihren maximalen Aktivierungszustand versetzt wird³⁾. Ebenso wie die Wirkung der Proteinase, erschien die der katheptischen Carboxypolypeptidase von der Anwesenheit reduzierender Stoffe abhängig.

Einige neuere Arbeiten scheinen dafür zu sprechen, daß die Proteinase der tierischen Zelle sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Ergebnisse einer Arbeit von ANSON⁴⁾ gipfeln darin, daß entgegen früherer Befunde die eigentliche Proteinase der tierischen Zelle nicht abhängig von der Anwesenheit reduzierender Stoffe sei. Der Einfluß, den diese Stoffe auf die Gesamtproteolyse ausüben, rührt nach der Ansicht ANSONS nicht von der Aktivierung einer Proteinase her, sondern von der einer spezifischen Peptidase. Diese Ansicht gründet sich auf Ergebnisse, die mittels einer Methode gewonnen wurden, die nicht die Gesamtproteolyse erfaßt — wie es bei der üblichen Bestimmung des Carboxyl- oder Aminogruppenzuwachses der Fall ist —, sondern die ersten Stadien der Proteolyse gesondert von einem etwaigen weiteren Abbau zu erfassen erlaubt.

Auch Arbeiten von M. BERGMANN⁵⁾, die die Spezifi-

tätsuntersuchungen der katheptischen Enzyme auf weitere Grundlage zu stellen versuchen, sprechen dafür, daß das proteolytische System der tierischen Zelle komplizierter zusammengesetzt ist, als man bisher annahm. Danach muß man mindestens zwischen 3 Typen proteolytischer Wirksamkeit in der tierischen Zelle (Rindermilz) unterscheiden. Der erste Typ wirkt auf Substrate (wie z. B. Carbobenzoxy-l-glutamyl-l-tyrosin), von denen bekannt ist, daß sie spezifisch durch kristallisiertes Pepsin bei p_H 4 gespalten werden. Von beiden Enzympräparaten wird dabei die Bindung zwischen dem Glutamyl- und dem Tyrosinrest hydrolysiert. Diese Spaltung erfolgt auch in Abwesenheit von SH-Verbindungen; Jodessigsäure ist ohne Einfluß. Eine zweite Gruppe von Substraten ist diejenige, die auch durch Papain hydrolysiert wird; die Substrate dieser Gruppe werden von Milzextrakt nur in Gegenwart von Cystein und Glutathion gespalten. Jodessigsäure hemmt diese Hydrolyse. Ein dritter Enzymtyp spaltet Substrate mit freier α -Aminogruppe, wobei Aktivierung durch Ascorbinsäure erfolgt. Substitution der Aminogruppe durch den Carbobenzoxyrest verhindert die aktivierende Wirkung der Ascorbinsäure.

Man kann also danach zwischen zwei Endopeptidasen unterscheiden, von denen die eine durch Sulfhydrylgruppen und Jodessigsäure nicht beeinflusst wird, die andere durch reduzierende Stoffe aber aktiviert und von Jodessigsäure in ihrer Wirksamkeit gestört wird. Die Isolierung der einzelnen Enzymtypen ist bis jetzt nicht durchgeführt. Erst wenn das gelungen ist, wird eine gesicherte Grundlage für die weitere Erforschung der spezifischen Wirkungsweise der Proteinase der tierischen Zelle gegeben sein.

Trotz vieler Arbeiten über die Aktivierung der papainähnlichen Enzyme durch Sulfhydrylverbindungen und Blausäure kann über den Mechanismus dieser Aktivierung noch keine endgültige Aussage gemacht werden. Daß es sich hierbei wohl nicht allein um eine Beseitigung von Hemmungskörpern (Schwermetallhemmung) handelt, steht fest. Nach BERSIN¹⁾ sind die papainähnlichen Enzyme selbst Proteine mit S-S bzw. SH-Systemen und deshalb reversible Thiol-systeme. Der Vorgang der Papain- oder Kathepsinaktivierung entspricht dann folgender Reaktion: $\text{Enz-S-S-Enz} + 2 \text{R-SH} \rightarrow 2 \text{Enz-SH} + \text{R-S-S-R}$. Voll bewiesen konnte diese an sich sehr einleuchtende Vorstellung bis jetzt nicht werden; aber viele experimentelle Befunde sprechen dafür.

In letzter Zeit haben FRUTON und BERGMANN²⁾ gegen die BERSINSche Anschauung Stellung genommen. Mit Blausäure oder Thiolen aktiviertes Papain konnte von ihnen durch Fällung mit Isopropylalkohol in inaktive Form übergeführt werden, die mit Blausäure neuerdings aktiviert werden konnte. Würde die Aktivierung nur auf einer Reduktion von S-S-Gruppen beruhen, so — schließen FRUTON und BERGMANN — ist es nicht verständlich, warum diese Aktivierung durch Ausfällung völlig beseitigt werden sollte. Die Beobachtungen würden einfacher zu verstehen sein, wenn statt einer Aktivierung durch Reduktion eine solche durch die Bindung von Blausäure an das Ferment angenommen wird. Blausäure und Thiole hätten dann Co-Fermentfunktion. Würden diese verschiedenen, aktivierenden Verbindungen als Co-Ferment gebunden, so wäre es möglich, daß die Aktivität

¹⁾ NORTHROP u. KUNITZ, J. gen. Physiol. **16**, 267 (1932); **17**, 165 (1933); **18**, 433 (1935).

²⁾ A. K. BALLS, LINEWEAVER u. THOMPSON, Science (N. Y.) **86**, 379 (1937).

³⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ, A. SCHÄFFNER, J. BEK u. E. BLUM, Hoppe-Seylers Z. **188**, 17 (1930).

⁴⁾ M. L. ANSON, J. gen. Physiol. **20**, 561 (1937).

⁵⁾ M. BERGMANN, J. S. FRUTON u. H. FRAENKEL-CONRAT, J. of biol. Chem. **119**, 35 (1937). — J. S. FRUTON u. M. BERGMANN, J. of biol. Chem. **130**, 19 (1939).

¹⁾ T. BERSIN u. Mitarbeiter, Hoppe-Seylers Z. **220**, 209 (1933); **222**, 177 (1933); **233**, 59 (1935).

²⁾ J. S. FRUTON u. M. BERGMANN, J. of biol. Chem. **133**, 153 (1940).

des Fermentes mit verschiedenen Co-Fermenten verschieden sein würde. In der Tat konnte auch bei Verwendung von synthetischen Substraten eine stärkere Aktivität von Papain-Cystein als von Papin-Blausäure beobachtet werden. Wieweit diese Schlußfolgerung berechtigt ist, wird man weiteren experimentellen Arbeiten überlassen müssen.

Die enzymatische Peptid- und Eiweißsynthese. Das Gleichgewicht zwischen Aminosäuren und Peptiden, wie offenbar auch zwischen Peptiden und Proteinen, liegt weit auf der Seite der Spaltung. Das ist der Grund, warum eine fermentative Synthese von Peptiden und Proteinen *in vitro* bisher nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, obwohl es in der Literatur eine ganze Reihe von Beobachtungen gibt, nach denen eine enzymatische Eiweißsynthese stattfinden kann. Theoretisch wichtig sind vor allem Arbeiten von VOEGLIN¹⁾, BERSIN²⁾ und RONDONI³⁾. VOEGLIN findet in Gegenwart von Papain bei relativ hohem Sauerstoffdruck, bei einem p_H in der Gegend des Neutralpunktes, bei anfänglich hoher Konzentration von Thiolen, die zur Bildung genügend großer Disulfidmengen führt und zuletzt bei einer genügenden Konzentration an Proteinspaltprodukten eine Proteinsynthese. Ihr Eintritt wurde sowohl an der Zunahme von Proteinstickstoff in den mit Trichloressigsäure fällbaren Produkten als auch durch Abnahme der Zahl der freien Aminogruppen nachgewiesen. Die Versuche werden im allgemeinen so ausgeführt, daß Proteine (Fibrin, Eieralbumin, Casein u. a.) mit Papain bei Anwesenheit von Glutathion als Aktivator bis zu einem nicht zu überschreitenden, bestimmten Punkt abgebaut werden, worauf dann durch Belüftung und Einhaltung der übrigen, angegebenen Bedingungen die Proteolyse zum Teil wieder rückgängig gemacht werden soll. Unter aeroben Bedingungen, nach BERSIN besonders in Gegenwart von Oxydationskatalysatoren würde demnach eine Umkehrung der Proteolyse eintreten, wobei also nicht mit Sulfhydrylgruppen aktiviertes Papain, sondern Papain + S-S-System die synthetische Leistung vollbringen soll.

Auch Beobachtungen an lebenden Objekten sprechen im allgemeinen für diese Anschauung. Von MOTHES⁴⁾ ist mit Hilfe der Methode der Vakuuminfiltration gezeigt worden, daß die Lage des Redoxpotentials dafür entscheidend ist, ob in der lebenden Pflanze aus zugeführten Aminosäuren eine Proteinsynthese stattfindet oder ob Proteolyse eintritt. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Hefe, die bekanntlich bei großer Sauerstoffzufuhr um ein Vielfaches schneller wächst (Eiweißsynthese) als unter anaeroben Bedingungen. Doch sind gerade Beobachtungen an lebenden Objekten nicht leicht einer eindeutigen Erklärung zu unterwerfen.

Trotz dieser Befunde von VOEGLIN, BERSIN u. a. ist das Problem der enzymatischen Eiweißsynthese *in vitro* und *in vivo* noch in einem wenig befriedigenden Zustand. Zunächst haben in der letzten Zeit die

Beobachtungen VOEGLINS durch LINDERSTRÖM-LANG¹⁾ und seine Mitarbeiter Widerspruch gefunden. Diese Forscher haben die Resultate der Amerikaner keineswegs reproduzieren können; sie haben auch deren Messungen einige kritische Bedenken entgegengesetzt. So kann der Schwund von Aminogruppen in Gewebeatolysaten, die Zucker enthalten, nicht als ein strenges Kriterium für eine Proteinsynthese angesehen werden, weil Zucker Aminogruppen — bestimmt nach VAN SLYKE — zum Verschwinden bringt. Andererseits geben Abbauprodukte aus Proteinen mit höheren S-Gehalt (Keratin) bei Belüftung ein geringes aber deutliches Anwachsen der mit Trichloressigsäure fällbaren Verbindungen zugleich mit einem schwachen Abfall der Carboxylgruppen (gemessen nach WILLSTÄTTER und WALDSCHMIDT-LEITZ). Der Wechsel der Löslichkeit in Trichloressigsäure wird aller Wahrscheinlichkeit nach der Bildung von S-S-Brücken zwischen den Peptiden, der Abfall des Titrationswertes dem Schwund der SH-Gruppen, die zu einem geringen Teil in alkoholischer Lösung erfaßt werden, zuzuschreiben sein. Wie leicht Gemische von Proteinen und Proteinabbauprodukten durch chemische Einflüsse so verändert werden, daß eine Zunahme der mit Trichloressigsäure fällbaren Verbindungen eintritt, zeigte RONDONI²⁾. Alles in allem sind also enzymatische Proteinsynthesen *in vitro* und die Bedingungen unter denen sie *in vivo* stattfinden sollen, keineswegs gesichert.

M. BERGMANN³⁾ versuchte der Frage der enzymatischen Synthese von Peptidbindungen durch Proteinase mittels Verwendung einfacher Aminosäuren und Peptidderivate als Substrate beizukommen. Tatsächlich gelang es in zahlreichen Beispielen, eine Synthese von Peptidbindungen zu erreichen. So wurde z. B. unter Einwirkung von mit Cystein aktiviertem Papain auf Benzoyl-l-leucin und Leucinanilid das Peptidderivat Benzoyl-l-leucyl-l-leucinanilid gebildet. Die Synthesen erfolgen nur, wenn das Papain seine natürlichen Aktivatoren noch enthält. Die Reaktion wird durch Cystein, Glutathion und Blausäure (das sind Aktivatoren der Spaltung) gefördert, nicht aber durch Cystin. p_H , Aktivatoren und Temperatur sind identisch mit den Bedingungen, welche für die enzymatische Hydrolyse optimal sind. Ob Synthese oder Hydrolyse vorherrscht, hängt von der Natur der Substrate ab; verhältnismäßig kleine Strukturunterschiede können hier ausschlaggebend sein. So wird Hippurylamid unter den gleichen Bedingungen vollkommen zu Hippursäure und Ammoniak hydrolysiert, unter denen Hippurylanilid aus Hippursäure und Anilid synthetisiert wird. Die Synthese der Peptidbindung gelingt besonders leicht, wenn substituierte Aminosäuren verwendet werden, deren Peptide sehr wenig löslich sind. Diese synthetischen Reaktionen sind nun nicht allein auf die papainähnlichen (intrazellulären) Enzyme beschränkt; auch mit anderen Proteinase, wie mit Chymotrypsin aus Pankreas, kann unter geeigneten Bedingungen die Synthese von Peptidbindungen erreicht werden.

¹⁾ C. VOEGLIN, M. E. MAVER u. J. M. JOHNSON, *Science* (N. Y.) **77**, 92 (1933) — *J. of Pharmacol.* **48**, 241 (1933). — M. E. MAVER u. C. VOEGLIN, *Enzymologia* **6**, 219 (1939).

²⁾ T. BERSIN u. H. KÖSTER, *Hoppe-Seylers Z.* **233**, 59 (1935).

³⁾ P. RONDONI u. L. POZZI, *Hoppe-Seylers Z.* **219**, 22, (1933); **235**, 81 (1935).

⁴⁾ MOTHES, *Naturwiss.* **20**, 102 (1932); **21**, 883 (1933) — *Planta* (Berl.) **19**, 117 (1933).

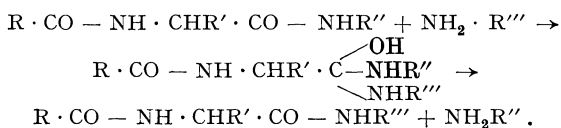
¹⁾ K. LINDERSTRÖM-LANG u. G. JOHANSEN, *Enzymologia* **7**, 239 (1939). — H. H. STRAIN u. K. LINDERSTRÖM-LANG, *Enzymologia* **7**, 241 (1939). — H. H. STRAIN, *Enzymologia* **7**, 133 (1939). — H. H. STRAIN u. K. LINDERSTRÖM-LANG, *C. r. Lab. Carlsberg* **23**, 168 (1940).

²⁾ P. RONDONI u. L. POZZI, *Hoppe-Seylers Z.* **235**, 81 (1935).

³⁾ M. BERGMANN u. H. FRAENKEL-CONRAT, *J. of biol. Chem.* **119**, 707 (1937); **124**, 1 (1938).

Synthetische Vorgänge spielen auch bei einer merkwürdigen Beobachtung, die BEHRENS und BERGMANN¹⁾ bei Spaltungsversuchen mit synthetischen Substraten machen konnten, eine Rolle. Peptide und Peptidderivate, wie Glycinanilid, Glutaminsäuremonoanilid, Glycyl-leucin, die absolut resistent gegen Papain sind, werden überraschenderweise bei Gegenwart von Serum, das selbst enzymatisch inaktiv ist, gespalten. Auf der Suche nach ähnlichen Aktivatoren bekannter Zusammensetzung zeigte es sich nun, daß Acetyl-phenylalanyl-glycin ebenfalls die Spaltung dieser Substrate durch Papain aktiviert. Aus den bei diesen Umsetzungen entstehenden Produkten folgt, daß z. B. Acetyl-phenylalanyl-glycin mit Glycyl-leucin unter der Wirkung des Papains zuerst peptidartig zu Acetyl-phenylalanyl-glycyl-glycyl-leucin zusammentritt, worauf dann dieses neu entstandene Peptid so vom Ferment gespalten wird, daß nacheinander Leucin und 1 Mol Glycin abgespalten werden.

An dieser Stelle sei auch auf eine andere interessante und neuartige Reaktionsweise des Papains hingewiesen, von der M. BERGMANN und Mitarbeiter²⁾ berichten. Außer hydrolysierende und synthetisierende Eigenschaften besitzen die intrazellulären Enzyme vom Typus des Papains nämlich auch die Fähigkeit, Umamidierungen hervorzurufen, etwa wie es folgendes Schema wiedergibt.



So bildet z. B. Hippursäureamid und Anilin in Anwesenheit von Papain Hippurylanilid und Ammoniak; oder es findet zwischen Benzoyl-l-leucin und Glycinanilid eine Umsetzung statt, die zu Benzoyl-l-leucinanilid und Glykokoll führt. Es erfolgt also dabei ein Ersatz des Glycinrestes durch Benzoyl-leucin.

Vergleicht man die Bedingungen unter denen BERGMANN bei seinen Syntheseversuchen arbeitet mit denen VOEGTLINS, so ergibt sich ein großer Unterschied; die Synthese erfolgt nach BERGMANN unter den nämlichen Bedingungen wie die Hydrolyse; maßgebend ist allein die Lage des natürlichen Gleichgewichtes, eine ohne jede zusätzliche Annahme verständliche Tatsache. BERGMANN³⁾ vertritt darüber hinaus die Ansicht,

¹⁾ O. K. BEHRENS u. M. BERGMANN, J. of biol. Chem. **129**, 587 (1939).

²⁾ M. BERGMANN u. H. FRÄNKEL-CONRAT, J. of biol. Chem. **119**, 707 (1937); **124**, 1 (1938).

³⁾ M. BERGMANN u. H. FRAENKEL-CONRAT, J. of biol. Chem. **119**, 707 (1937). — M. BERGMANN u. C. NIEMANN, Science (N. Y.) **86**, 187 (1937).

daß der Aufbau eines Proteins durch Fermente so verläuft, daß das Reaktionsprodukt einer Synthese gleich wieder Substrat für eine neue Reaktion ist, somit fortgeschafft wird und weitere fermentative Synthesen zuläßt. Es ist nach BERGMANN wahrscheinlich, daß der Prozeß der Proteinsynthese und Proteinhydrolyse in vivo unter identischen Bedingungen verläuft und oft gleichzeitig; es muß ferner die Proteinsynthese in vivo nicht notgedrungen auf solche Weise fortschreiten, daß ein Aminosäurerest nach dem anderen zusammengekettet wird, man kann auch an die Möglichkeit denken, daß das Enzym eine Anzahl von Proteinbruchstücken von verschiedener Größe und struktureller Verschiedenheit zur Verfügung hat und diese Bruchstücke einer Reihe von Umwandlungen aussetzt (Abbau, Synthese und Substituierung), bis jener strukturelle Typus des Proteins gebaut worden ist, der in Gegenwart des Enzyms stabil ist.

Nach VOEGTLIN, BERSIN u. a. tritt dagegen eine Eiweißsynthese nur dann ein, wenn das Enzymsystem in einem oxydierten Zustand vorliegt, eine Annahme, die nicht ohne Zuhilfenahme von Zusatzhypothesen verständlich erscheint; denn durch eine Änderung des Fermentes allein wird keine Änderung im Gleichgewicht der zu katalysierenden Reaktion hervorgerufen, es sei denn, daß eine Änderung des Gleichgewichtes durch eine zusätzliche Energieänderung des Systems eintritt. Beobachtungen am lebenden Objekt (MOTHS) sprechen dafür, daß die Eiweißsynthese mit Oxydationsvorgängen gekoppelt ist, daß also eine solche geforderte Energieänderung möglicherweise eintreten kann, sie sagen aber nichts darüber aus, wie diese Koppelung zustande kommt.

Ist demgemäß schon das Zustandekommen der Peptidbindung im Eiweißmolekül noch kein befriedigend gelöstes Problem, so verschärfen sich die Schwierigkeiten, wenn man darüber hinaus nach einer Erklärung der spezifisch geordneten Aneinanderlagerung der einzelnen Bausteine in der außerordentlichen Mannigfaltigkeit der Proteine sucht. Bei dem embryonalen Wachstum sucht man die dirigierenden Einflüsse aus den Genen und aus den nacheinander eingeschalteten Organismen herzuleiten, bei der Neubildung von Gewebeeiweiß können vielleicht die schon bestehenden Zellproteine mit ihren speziellen Gittern intermolekularer Kräfte als Vorbilder dienen, oder es können — wie BERGMANN und NIEMANN meinen — die intrazellulären Proteinase eine so hohe Spezifität haben, daß sie neben ihrer Funktion Peptidbindungen zu synthetisieren auch als echte Organisatoren bei der Proteinsynthese gelten. Auf die Gedanken, die in dieser Beziehung heute aktuell sind näher einzugehen, ist in diesem Rahmen nicht möglich; experimentell gesicherte Befunde liegen auch noch nicht vor.

A. SCHÄFFNER, Prag.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Modellbetrachtungen zur HF—HF-Bindung.

An Hand von Dampfdichtemessungen von FREDENHAGEN¹⁾ an Fluorwasserstoffdämpfen konnte gezeigt werden²⁾, daß im HF-Dampf *Einer-* und *Mehrfach-*Moleküle aller höherer Zähligkeiten miteinander im Gleichgewicht stehen, somit HF das erste bekannte Beispiel einer Kettenassoziation im Gaszustand ist.

Die aus der *T*-Abhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten berechnete Bildungswärme eines Doppelmoleküls (HF)₂ ist: $W_{HF+HF} \rightarrow (HF)_2 = 28 \pm 3$ kcal. Die Kettenverlängerung durch Anlagerung weiterer HF-Moleküle erfolgt ziemlich

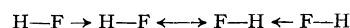
unabhängig von der Kettenlänge mit: $W_{(HF)_n+HF} \rightarrow (HF)_{n+1} \approx 5$ kcal \pm 50 %.

Die Elektronenbeugungsmessungen³⁾ zeigen, daß die (HF)_n-Ketten Zickzackketten sind mit einem Kettenwinkel von etwa 135°—145° und einem F—F-Abstand von 2,5 bis 2,6 Å.

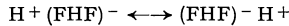
Zur Deutung der HF—HF-Bindung.

A. Quantenmechanische Resonanz.

Weder kann es sich um eine Elektronenisomerie:



oder $(\text{HFH})^+ \text{F}^- \leftrightarrow \text{F}^- (\text{HFH})$
noch um eine Protonenmesomerie: z. B.



handeln, da zu den beiden Formen verschiedene Kernanordnungen gehören und schon bei einer Resonanzenergie von 10 kcal, die durch solch einen Platzwechsel erklärt werden sollen, die Platzwechselfrequenz ν , gemäß $U = h\nu$, etwa 10^{14} sec^{-1} sein müßte, was völlig ausgeschlossen ist⁴). Dazu kommt die Schwierigkeit, daß bekanntermaßen das Proton in die Elektronenhülle des F^- eindringt, was die Annahme einer Mesomerie (Resonanz) zwischen polaren Formen sehr fraglich erscheinen läßt. Zum Beispiel ist die Bildung von $\text{F}^- (\text{HFH})^+$ aus zwei HF mit 140 kcal endotherm

B. Dipolanziehung.

Die Annahme einer Dipolanziehung mit überlagerter Induktion gibt auch bei Mitberücksichtigung des Dispersions-effektes zu kleine Wechselwirkungsenergien, wie Tabeller zeigt, in der $W_{\rightarrow\rightarrow}$ und $W_{\leftrightarrow\leftrightarrow}$ nach Gl. (1) und (2) mit $\mu = 2 \cdot 10^{-18}$ und einem Abstoßungsexponenten $n = 9$ berechnet sind⁵).

$$W_{\rightarrow\rightarrow} = + \frac{4}{3} \mu^2 \frac{(r^3 - \alpha_{\text{HF}})}{(r^3 - 2\alpha_{\text{HF}})^2} + \frac{1}{3} \frac{C^6}{r^6} \quad (1) \text{ ?}$$

$$W_{\leftrightarrow\leftrightarrow} = + \frac{1}{3} \mu^2 \frac{(2r^3 - 3\alpha_{\text{HF}})}{(r^3 - \alpha_{\text{HF}})^2} + \frac{1}{3} \frac{C^6}{r^6} \quad (2) \text{ ?}$$

Tabelle 1.

$r_{\mu - \mu}$	α_{HF}	$W_{\rightarrow\rightarrow}$	$W_{\leftrightarrow\leftrightarrow}$
$2,5 \cdot 10^{-8}$	$0,9 \cdot 10^{-24}$	6,8 kcal	3,2 kcal

C. Elektrostatisches Näherungsmodell.

(COULOMBSche Wechselwirkung mit überlagerter Polarisation.)

I. Die H-F-Bindung nach BORN-HEISENBERG⁸).

Man betrachtet modellmäßig und näherungsweise HF aus H^+ und F^- zusammengesetzt, wobei H^+ die Elektronenhülle des F^- stark polarisiert. Die Polarisierbarkeit soll für $r < r_{\text{F}^-}$ unsteig auf α_{eff} abfallen. Das von H^+ in F^- induzierte Moment $p_{\text{F}^-} = \alpha_{\text{eff}} \cdot \frac{e}{r_{\text{0HF}}^2}$ ist dem ursprünglichen Moment $\mu_{\text{H}^+ - \text{F}^-}$ entgegengesetzt gerichtet. Es ist:

Das Gesamtmoment:

$$\mu_{\text{HF}} = e \cdot r_{\text{0HF}} - \alpha_{\text{eff}} \frac{e}{r_{\text{0HF}}^2} \quad (3) \text{ ?}$$

Die Bildungswärme:

$$\left. \begin{aligned} W_{\text{H}^+ + \text{F}^- \rightarrow \text{HF}} &= + \frac{4}{5} \frac{e^2}{r_{\text{0HF}}} \\ + \frac{1}{5} \frac{e^2 \alpha_{\text{eff}}}{2 r_{\text{0HF}}^4} + \frac{e^2 (\alpha_{\text{F}^-} - \alpha_{\text{eff}})}{2 r_{\text{F}^-}^4} \end{aligned} \right\} \quad (4) \text{ ?}$$

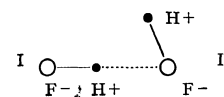
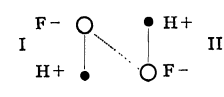
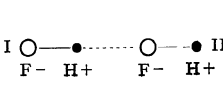
Aber auch eine mehr summarische Beziehung:

$$W_{\text{H}^+ + \text{F}^- \rightarrow \text{HF}} = + \frac{6}{7} \frac{e^2}{r_{\text{0HF}}} + \frac{3}{7} \frac{\alpha_{\text{eff}} e^2}{2 r_{\text{0HF}}^4} \quad (4')$$

Tabelle 2.

r_{0HF}	μ_{HF}	α_{eff}	r_{F^-}	W (Gl. 4)	W (Gl. 4')	W (exper.)
$0,92 \cdot 10^{-18}$	$(2,0) \cdot 10^{-18}$	$0,43 \cdot 10^{-24}$	$1,33 \cdot 10^{-8}$	338 kcal	351 kcal	365 kcal

Tabelle 3. Bildungswärmen $W_{2\text{HF} \rightarrow (\text{HF})_2}$.

	A Potentialminimum	B Antiparallel-Orientier.	C Parallel-Orientier.
$W_{2\text{HF} \rightarrow (\text{HF})_2}^{12}$	19 kcal	11 kcal	5 kcal
COULOMB-Anteil	13 „	21 „	41 „
Polarisationsanteil	6 „	-10 „	-36 „
			

mit einem Abstoßungsexponenten $n = 7$ gibt die experimentellen Werte W befriedigend wieder⁵) [Tabelle 2⁹].

II. Die HF-HF-Bindung in den $(\text{HF})_n$ -Übermolekülen.

a) Berechnungen: Auf dieselbe Weise bekommt man für beliebig wählbare Orientierungen der HF-Moleküle zueinander folgende Wechselwirkungsenergien⁵):

Doppelmoleküle¹⁰).

$$W_{2\text{HF} \rightarrow (\text{HF})_2} = e^2 \left[\frac{1}{r_{14}} + \frac{1}{r_{23}} - \frac{1}{r_{13}} - \frac{1}{r_{24}} \right] + \frac{\alpha_{\text{eff}}}{2} \left(\frac{e^2}{r_{12}^2} - \frac{e^2}{r_{21}^2} \right) + \frac{\alpha_{\text{eff}}}{2} \left(\frac{e^2}{r_{11}^2} - \frac{e^2}{r_{22}^2} \right) + \frac{p_{\text{I}} \cdot p_{\text{II}}}{r_{2,4}^2} [2 \cos(180 - \varphi_{\text{I}}') \cos \varphi_{\text{II}}' - \sin(180 - \varphi_{\text{I}}') \sin \varphi_{\text{II}}'] \quad (5)$$

Driermoleküle.

$$W_{3\text{HF} \rightarrow (\text{HF})_3} = e^2 \left[\frac{1}{r_{23}} + \frac{1}{r_{25}} + \frac{1}{r_{14}} + \frac{1}{r_{16}} + \frac{1}{r_{45}} + \frac{1}{r_{36}} - \frac{1}{r_{13}} - \frac{1}{r_{35}} - \frac{1}{r_{24}} - \frac{1}{r_{48}} - \frac{1}{r_{15}} - \frac{1}{r_{26}} \right] + \frac{\alpha_{\text{eff}}}{2} \left(\frac{e^2}{r_{12}^2} - \frac{e^2}{r_{21}^2} \right) + \frac{\alpha_{\text{eff}}}{2} \left(\frac{e^2}{r_{11}^2} - \frac{e^2}{r_{22}^2} \right) + \frac{\alpha_{\text{eff}}}{2} \left(\frac{e^2}{r_{33}^2} - \frac{e^2}{r_{55}^2} \right) + U_{p_{\text{I}} p_{\text{II}} p_{\text{III}}} \quad (11)$$

b) Ergebnisse der Berechnungen:

1. Für $r_{\text{0H-F}} = 0,92 \text{ \AA}$ und $r_{\text{F-F}} = 2,5 \text{ \AA}$ und beliebige Winkel φ_{I} und φ_{II} ist für $(\text{HF})_2$ die Konfiguration minimaler potentieller Energie die, bei der $\varphi_{\text{I}} = 0^\circ$ und $\varphi_{\text{II}} = 83^\circ$ ist. Die parallele und antiparallele Orientierung liefert kleinere Energiewerte (Tabelle 3).

2. Die Konfiguration minimaler potentieller Energie im $(\text{HF})_3$ bzw. in den $(\text{HF})_n$ -Molekülen ist die, bei der die HF-

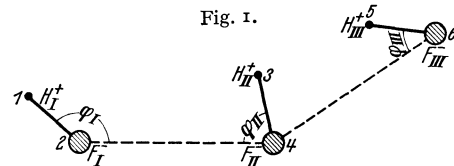


Fig. 1.

Moleküle antiparallel gelagert sind (Tabelle 4). In bemerkenswerter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Elektronenbeugungsmessungen bekommt man bei dieser Konfiguration mit $r_{\text{F-F}} = 2,5$ bis $2,6 \text{ \AA}$ und $r_{\text{H-F}} = 0,92$ bis $0,95 \text{ \AA}$ einen Kettenwinkel von $135 \pm 3^\circ$ (Fig. 2).

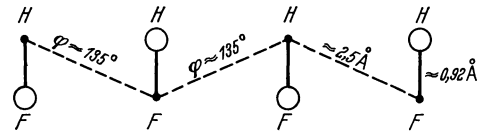


Fig. 2. Modell eines $(\text{HF})_n$ -Ketten-Übermoleküls.

3. Die berechneten Absolutwerte der Bildungswärmen $W_{(\text{HF})_2}$ und $W_{(\text{HF})_3}$ sind innerhalb der in solchen Rechnungen enthaltenen Ungenauigkeiten in guter Übereinstimmung mit den aus den Dampfdichten²) berechneten Werten.

Tabelle 4.

	I Antiparallel-Orientier.	II Parallel-Orientier.	III
$W_{3HF \rightarrow (HF)_3}$	24 kcal	7,5 kcal	18 kcal
COULOMB-Anteil	39 „	87,5 „	86 „
Polarisationsanteil	-15 „	-80 „	-68 „
$W_{(HF)_2 + HF \rightarrow (HF)_3}$ *)	5 „	-11,5 „	-1 „

*) Bezogen auf die stabile Konfiguration (Tab. 3 A) minimaler potentieller Energie von $(HF)_2$.

Tabelle 5. Einfluß einer Gleichgewichtsabstandsvergrößerung von $r_{0HF} = 0,92 \text{ \AA}$ auf $0,95 \text{ \AA}$ auf die Bindungsenergien¹⁵⁾.

$W_{HF^* + HF \rightarrow (HF-HF^*)}$	$W_{H^+ + F^- \rightarrow HF^*}$	$W_{H^+ + F^- \rightarrow HF}$	$W_{HF \rightarrow (HF^*)}$	$W_{2HF \rightarrow (HF^*-HF)}$
26 kcal	341 kcal	352 kcal	-11 kcal	15 kcal

4. Ebenfalls in Übereinstimmung mit den Rechnungen aus den Dampfdichtemessungen erklärt das elektrostatische Modell den *Abfall* der HF—HF-Bindungsenergien von $(HF)_2$ nach $(HF)_3$ von 28 ± 3 kcal auf 15 ± 3 kcal (aus den D.D.) bzw. von 19 auf 12 kcal (ber. aus dem elektrost. Modell). Gleichmaßen wird die aus den D.D. festgestellte annähernde Konstanz der Bildungswärme $W_{(HF)_n + HF \rightarrow (HF)_{n+1}} \approx 5$ kcal für $n > 2$ durch das elektrostatische Modell wiedergegeben.

5. Der Einfluß der Polarisation ist bemerkenswert. Die beim Zusammenführen von nH^+ und nF^- zu $(HF)_n$ freierwende Polarisationsenergie kann sogar infolge teilweiser Kompensation der an den F^- angreifenden Felder im Vergleich zur Pol.En. bei der Bildung von HF aus H^+ und F^- *endotherm* sein, wodurch eine starke Verkleinerung der durch die COULOMBSche Anziehung gewonnenen Energien eintreten kann (Tabelle 3 und 4). Durch die Überlagerung der an den F^- angreifenden Felder wird der Bindungszustand und das Dipolmoment⁵⁾ der HF-Bindung im $(HF)_n$ -Molekül im Vergleich zum freien HF verändert, in Übereinstimmung mit der spektroskopisch festgestellten Frequenzverkleinerung der Valenzschwingungsfrequenz einer —XH-Bindung, wenn diese eine „Wasserstoffbindung“ eingeht¹³⁾. Auch diese Frequenzverschiebung ist im elektrostatischen Modell deutbar¹⁴⁾, unter Berücksichtigung des Umstandes, daß ein H^+ im $(HF)_n$ nicht mehr unter dem Einfluß eines F^- allein, sondern im Zusatzpotential aller benachbarten H^+ und F^- schwingt. Dieser Effekt erklärt nicht nur die spektroskopische Valenzschwingungsfrequenzvergrößerung, sondern läßt auch eine geringe Vergrößerung des Gleichgewichtsabstandes r_{0HF} um wenige Procente erwarten. Tabelle 5¹⁵⁾ zeigt beispielhaft den Einfluß einer solchen Abstandvergrößerung, und zwar für den Fall, daß im $(HF)_2$ ein HF seinen Gleichgewichtsabstand von $0,92$ auf $0,95$ vergrößert, modellmäßig gesprochen dadurch, daß H_1^+ von F_{II}^- angezogen wird.

6. In großen Zügen ist es berechtigt, die Abnahme der Neigung zur Übermolekülbildung von HF nach HJ im Sinne der elektrostatischen Näherungsbetrachtungen damit in Zusammenhang zu bringen, daß *cet. par.* für die Wechselwirkungsenergie in erster Linie der Einfluß des Abstandes ausschlaggebend ist. Daher kommt es, daß trotz Zunahme der Polarisierbarkeit von HF nach HJ der die HHal—HHal-Bindungsenergie verkleinernde Einfluß einer Zunahme des Abstandes $r_{0HHal-HHal}$ überwiegt. Gleichmaßen erscheint es verständlich, daß die Neigung zur Assoziation von HF und H_2O nach NH_3 , von H_2O nach H_2S usw. und von NH_3 nach PH_3 usw. abnimmt.

Gehen wir somit zur Deutung der besonderen Neigung gewisser XH-Bindungen zur Assoziation auf ganz einfache, leicht angebbare Molekülgrößen zurück, wie Ladung, Abstand und Polarisierbarkeit, so erfassen wir damit natürlich

vorerst nur die größten Zusammenhänge und Effekte, denen weitere überlagert sind. Darauf soll später nach Abschluß entsprechender Untersuchungen vor allem an organischen Molekülen in einem anderen Zusammenhange eingegangen werden.

Würzburg, Physikalisch-Chemische Abteilung des chemischen Institutes, den 21. August 1941.

GÜNTHER BRIEGLEB.

1) K. FREDENHAGEN, Z. anorg. u. allg. Chem. **218**, 161 (1934).

2) G. BRIEGLEB, Naturwiss. **29**, 420 (1941).

3) H. BAUER, I. Y. BEACH u. I. H. SIMONS, J. amer. chem. Soc. **61**, 19 (1939).

4) Für diesen Hinweis möchte ich Herrn E. HÜCKEL herzlich danken.

5) Vgl. ausführliche Mitteilung in Z. physik. Chem. (B).

6) C ist eine Konstante, die nach LONDON die Dispersionsfrequenzen der Dispersionsgleichung eingehen.

7) Die Gl. (1) und (2) gelten nur unter der Voraussetzung, daß der Ladungsschwerpunktsabstand sehr viel kleiner ist als der Abstand der Dipole, was im vorliegenden Falle zutrifft: $r_{8e^+ - 8e^-} = 0,052 \text{ \AA}$ und $r_{\mu - \mu} = 2,5 \text{ \AA}$.

8) M. BORN u. W. HEISENBERG, Z. Physik **23**, 388 (1924).

9) Die Unterschiede zwischen Rechnung und Experiment nehmen erwartungsgemäß nach HJ hin zu, da die modellmäßige Annäherung einer an und für sich kovalenten Bindung durch einen heteropolaren Bindungsmechanismus um so schlechter werden muß, je polarisierbarer das Anion ist. Dasselbe gilt für den Übergang von $HF(F^-)$ zu $H_2O(O^-)$.

10) Bezeichnungsweise, wie in Fig. 1. \mathcal{E}_I und \mathcal{E}_{II} sind die in F_I^- und F_{II}^- angreifenden resultierenden Felder, die für die einzelnen Konfigurationen jeweils besonders berechnet werden müssen. φ'_I und φ'_{II} sind die Winkel der durch \mathcal{E}_I und \mathcal{E}_{II} in F_I^- und F_{II}^- induzierten Momente mit der F—F-Verbindungsline.

11) $U_{p_I p_{II} p_{III}}$ ist die Wechselwirkungsenergie der drei induzierten Momente unter Berücksichtigung der gegenseitigen Orientierung.

12) Der Einfluß des Dispersionseffektes ist gering, nur etwa 1—2 kcal.

13) Zum ersten Male wurde in G. BRIEGLEB, Zwischenmolekulare Kräfte und Molekülstruktur (Stuttgart: Enke 1937) mit besonderem Nachdruck darauf hingewiesen, daß eine mit der Assoziation Hand in Hand gehende Änderung im Bindungszustand der an der Assoziation beteiligten Bindungen insbesondere für die sog. „Wasserstoffbindung“ als wesentlicher Anhaltspunkt für eine Deutung genommen werden muß.

14) Näheres in einer besonderen Mitteilung.

15) HF* bedeutet ein im Abstand und Bindungszustand verändertes HF-Molekül.

Verbesserung der Elektronenoptik für Interferenzversuche.

In der jüngsten physikalischen Literatur ist des öfteren von sehr feinen Elektronenstrahlen die Rede gewesen. Es gelang H. BOERSCH¹⁾ mittels kleinster Blendenbohrungen den Durchmesser des üblichen Parallelstrahls von 0,1 mm auf 0,005 mm zu verringern. Er erzielte damit neue und

haben wir so enge Bündel innerhalb einer verbesserten Apparatur zur Beobachtung von Interferenzen im konvergenten Elektronenbündel angewandt.

Durch zweistufige Verkleinerung einer Blende mittels starker magnetischer Linsen wird eine Elektronensonde von knapp 1μ im Durchmesser hergestellt. Dies bedeutet gegenüber den rund $100 \mu^4$) bzw. $40 \mu^5$) der ersten Anordnung die folgenden Fortschritte: Es wird 1. das Auflösungsvermögen

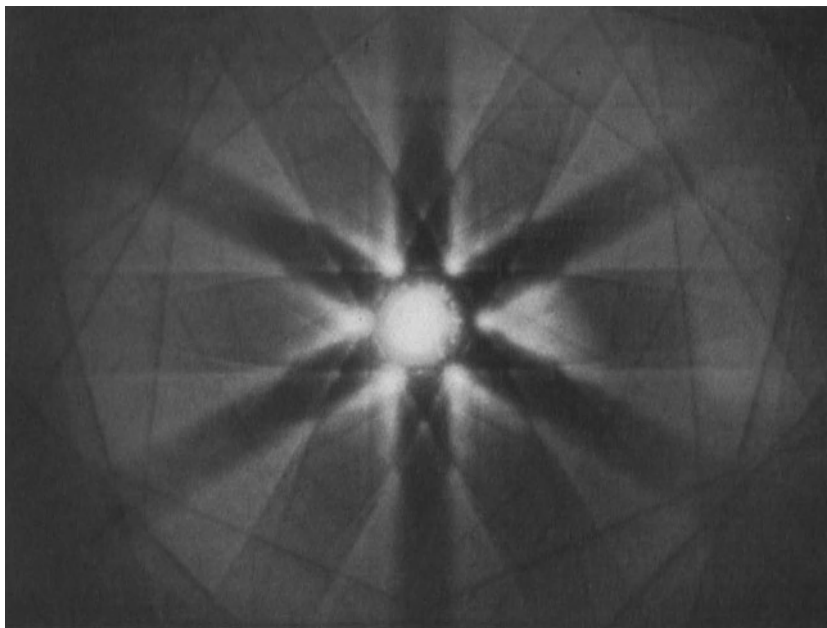


Fig. 1. Bleijodid. 50μ -Sonde; Strahlspannung 54,7 kV; Abstand: Kristall-Photoplatte 27 cm, Vergr.: 1,25fach.

interessante Beugungserscheinungen. M. v. ARDENNE²⁾ setzte für den Gedanken, Beugungsdiagramme von kleinsten Bereichen der im übermikroskopischen Bild sichtbaren Teilchen zu erhalten, die volle Leistungsfähigkeit des modernen Übermikroskops ein, und es gelang ihm, das durch-

der photographischen Platte voll ausgenutzt, 2. die Winkelbreite der im konvergenten Bündel auftretenden Feinstrukturen (10^{-3}) um mehr als eine Zehnerpotenz unterschritten, also wesentlich intensitätstreuere Wiedergabe ermöglicht, 3. erheblich mehr Kristallmaterial zugänglich

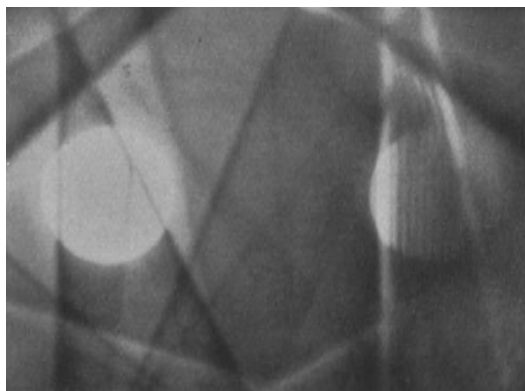


Fig. 2. Bleijodid. 1μ -Sonde; Strahlspannung 75,2 kV; Abstand: Kristall-Platte 34 cm, Dicke des Kristalls 1100 ÅE; Vergr. 3,30fach.

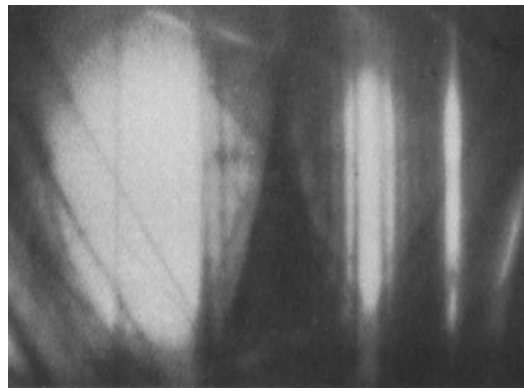


Fig. 3. Molybdänglanz. 1μ -Sonde; Strahlspannung 74,4 kV; Abstand: Kristall-Platte 34 cm; Dicke des Kristalls 850 ÅE; Vergr. 2,46fach.

strahlte Gebiet auf 0,001 mm und darunter im Durchmesser zu begrenzen. Die Interferenzerscheinungen wurden visuell beobachtet, jedoch liegen bisher noch keine Aufnahmen vor. Im Weitergehen auf dem schon früher³⁾ eingeschlagenen Wege, möglichst kleine Kristallbereiche zu durchstrahlen,

gemacht, da die hohen Anforderungen der Methode an Planparallelismus nur in kleinen Bereichen des Kristallkörpers erfüllt zu sein brauchen. Versuche an den der Theorie weit besser als Glimmer zugänglichen einfachen Schichtgittern vom Typ AX_2 , die nur in kleinen Blättchen

zu erhalten sind, ergaben nun an Vertretern verschiedener Ordnungszahl vollwertige Diagramme. In Fig. 1 zeigen wir zunächst eine charakteristische Beugungsaufnahme von Bleijodid (PbJ_2). Sie wurde noch mit der ersten Anordnung bei rund 50μ großer Elektronensonde erhalten. Das Diagramm enthält, wie zu erwarten, Paare von hellen und dunklen Kikuchi-Linien. Daneben zeichnen die senkrecht zur Oberfläche stehenden Netzebenen in besonderer Schönheit dunkle Bänder auf hellem Untergrund. Daß diese vom Glimmer her bekannten Intensitätsstufen hier besonders betont sind, hängt vermutlich mit der hohen Ordnungszahl des PbJ_2 zusammen. Unsere besondere Aufmerksamkeit galt aber den durch das konvergente Bündel erschlossenen neuen Erscheinungen⁴), den einen Bragg-Reflex begleitenden Nebenminima und den mehrfach auftretenden dynamischen Effekten. Sie sind zudem, wie C. H. MACGILLAVRY⁵) gezeigt hat, ein ausgezeichnetes Hilfsmittel zur Bestimmung der Atomanordnung innerhalb der Elementarzelle. Hier bewährte sich die äußerst feine Sonde. Während bei dem alten Strahlengang die Deutlichkeit und Schärfe der Nebenminima bei den neuen Kristallen noch nicht ausreichend war, gelang es mit der neuen Anordnung, einheitliche Kristallbereiche aufzufinden, die vollwertige Bilder ergaben (Fig. 2 und 3). Die Herstellung ausreichend dünner Kristalle von Bleijodid gelang durch Auskristallisieren aus Lösungen bestimmter Konzentration. Bei Molybdänglanz (MoS_2) und Brucit ($\text{Mg}[\text{OH}]_2$) wurden mit dem Mikrotom dünne Splitter von einem großen Einkristallblock abgespalten. Zuweilen entdeckt man daran unter dem Mikroskop lichtdurchlässige bzw. Interferenzfarben zeigende Bereiche. Sie sind meist von sehr geringer Größe (etwa $0,03 \times 0,05 \text{ mm}$) und noch keineswegs von einheitlicher Dicke, wie man durch Umschalten zu elektronenschattenmikroskopischer Aufnahme zeigt. Jedoch lassen sich mit der Sonde von 1μ Durchmesser einheitliche Bereiche herausgreifen, wie die scharf gezeichneten Nebenstreifen in den Fig. 2 und 3 von PbJ_2 und MoS_2 zeigen. Es sind damit andere, einfachere als Glimmer gebaute Kristalle für die Methode des konvergenten Bündels zugänglich gemacht, so daß die Abhängigkeit der neuen Beugungserscheinungen von Gitterbau und Ordnungszahl an diesem für die Theorie durchsichtigeren Material studiert werden kann.

Danzig-Langfuhr, Physikalisches Institut der Techn. Hochschule, den 23. August 1941.

G. MÖLLENSTEDT. ILSE ACKERMANN.

¹) H. BOERSCH, Z. Physik 116, 469 (1940).

²) M. v. ARDENNE, Z. Physik 117, Nr 7 u. 8, 515 (1941).

³) G. MÖLLENSTEDT, Verh. dtsch. Phys. Ges. (3) 20, 1, I (1939).

⁴) W. KOSSEL u. G. MÖLLENSTEDT, Natuwiss. 26, 660 (1938) — Ann. Physik (5) 36, 113 (1939).

⁵) C. H. MACGILLAVRY, Physica 7, 329 (1940).

Diskrete Energieverluste schneller Elektronen in Festkörpern.

Energieverluste schnellerer Elektronen beim Durchgang durch Festkörper sind bisher meist nur an Folien von mehreren 1000 \AA . Dicke beobachtet worden¹). Dabei tritt als Folge von Vielfachprozessen ein kontinuierliches Geschwindigkeitsspektrum auf, dessen Intensitätsmaximum von dem bekannten WHIDDINGTONSchen Gesetz ($v_0^4 - v_x^4 = a \cdot d$ angegeben wird²).

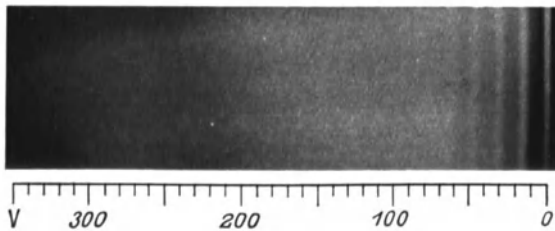


Fig. 1. Geschwindigkeitsspektrum von 5,3 eKV-Elektronen nach dem Durchgang durch eine etwa 300 \AA . dicke Aluminiumschicht. 5fache Vergrößerung der Originalaufnahme. Darunter als Maßstab die Energieverluste in eV.

Aus mehreren Gründen interessieren die Folgen von Einzelvorgängen. Solche sind bisher an Festkörpern nur in Reflexion und bei höchstens einigen Hunderten Volt Geschwindigkeit beobachtet worden. Praktisch ist aber gerade das Verhalten bei höherer Primärenergie von Interesse. Hierher gehört z. B. die Frage, welche Rolle verzögerte Elektronen bei Interferenzvorgängen spielen können, die meist im Durchgang an so dünnen Folien studiert werden, daß die Verzögerungen sehr klein gegen die Primärenergie sind; ferner interessiert der Einfluß, den Verzögerungen auf Elektronenmikroskopuntersuchungen haben können.

Um Aussicht zu haben, solche Einzelvorgänge zu beobachten, waren äußerst dünne Schichten und ein hohes Auf-

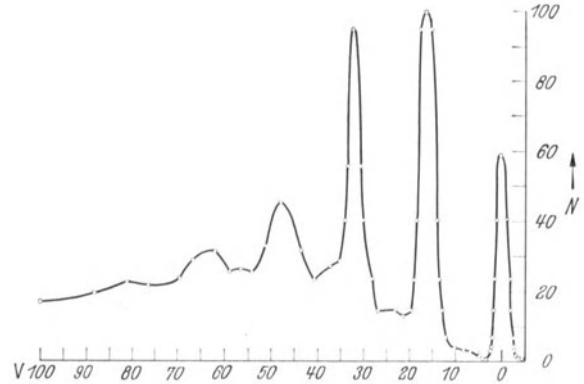


Fig. 2. Auswertung der obigen Aufnahme an Al bei 5,3 kV. 15fache Vergrößerung der Originalaufnahme. Zahl der Elektronen als Funktion ihres Energieverlustes. Nach links wachsender Verlust. Die Zahl der um 1×15 Volt verzögerten Elektronen willkürlich als 100 zugesetzt. Dem Maximum bei 0 Volt entsprechen unverzögerte Elektronen.

lösungsvermögen erforderlich. Es wurde daher die früher beschriebene verschärfte Halbkreismethode³) angewandt und an Schichten von wenigen 100 \AA . Dicke das Geschwindigkeitsspektrum von hindurchgehenden Elektronen von $3000-8000 \text{ eV}$ Primärenergie aufgenommen.

Es fanden sich an Kollodium, Al_2O_3 , Be, Al und Ag diskrete Energieverluste, die unabhängig von Spannung und Schichtdicke sind und am schärfsten an Be und vor allem an Al auftreten. Die Fig. 1 zeigt ein Spektrum und Fig. 2 die zugehörige Intensitätsverteilung, die aus der Photometerkurve mit Hilfe der Schwärzungskurve ermittelt wurde. Es ist bemerkenswert, daß die Verluststufen glatte Mehrfache eines Elementarbetrages sind, der sich z. B. bei Al aus einer Reihe von Messungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten zu $15,1 \pm 0,2 \text{ Volt}$ ergibt. Die naheliegende Frage, ob hier dasselbe Elektron mehrere gleich große Verluste nacheinander erlitten hat, oder ob es in diesen Festkörpern Einzelstöße gibt, deren Verluste in ganzzahligen Verhältnissen stehen, scheint nach Versuchen an Material verschiedener Dicke im ersten Sinne beantwortet werden zu müssen.

Eingehend soll an anderer Stelle berichtet werden.

Danzig-Langfuhr, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, den 29. August 1941. G. RUTHEMANN.

¹) P. LENARD, Quantitatives über Kathodenstrahlen aller Geschwindigkeiten. Heidelberg 1918, S. 49 ff.

²) Vgl. P. LENARD, A. BECKER, Handbuch der Experimentphysik 14, 101 ff. (1926). — W. BOTHE, Handbuch der Physik 22, 2, 29 (1933). — A. BECKER, Phys. in regeln. Ber. 2, 55 (1934).

³) H. VOGES u. G. RUTHEMANN, Z. Physik 114, 709 (1939).

Die Veratmung verschiedener Zuckerarten in der Oberfläche des Protoplasmas.

Untersuchungen über die Grenzflächenpotentiale zwischen einer lebenden Wurzel und der umgebenden Lösung¹) haben gezeigt, daß die Oberfläche des Protoplasmas stark saure Bestandteile enthält, welche H-Ionen abdissoziieren.

Die Zelloberfläche nimmt hierdurch normal eine negative Ladung (PD) im Vergleich zum Medium an. Durch Austausch der H-Ionen mit metallischen Kationen einer Salzlösung sinkt der PD-Wert, ein Vorgang, der aus bekannten chemisch-physikalischen Gesetzmäßigkeiten erklärt werden kann²). Auch die Anionen des Mediums haben — obwohl in schwächerem Grade — einen potentialbestimmenden Einfluß.

Neben dieser Abhängigkeit des PD-Wertes vom Ioneninhalt des Mediums besteht auch eine Relation zur Zellatmung, derart, daß gesteigerte aerobe Atmung eine PD-Senkung zur Folge hat. Diese partielle Entladung bzw. positive Aufladung der Plasmamembran unter dem Einfluß der Sauerstoffatmung wird von mir als eine partielle Abschirmung der negativen Valenzpunkte aufgefaßt³). Die Größe der PD-Senkung kann u. a. durch Zufuhr von Glucose gesteigert werden. Nicht verbrennbare Verbindungen, wie Glycerin und Mannit, hatten diesen Effekt nicht.

In neuen Versuchen mit verschiedenen Zuckerarten wurde der Zeitverlauf der PD-Änderung mittels des Kathodenstrahlscillographen registriert. Als Eichflüssigkeit diente 0,0001 m-HCl. Diese wurde nach einer gewissen Zeit blitzschnell gegen eine Lösung von 0,0001 m-HCl + 0,02 m-Zucker ausgewechselt. Auf dem Registrierfilm kann so der Verlauf der eintretenden PD-Änderung in Intervallen von 0,75 Sekunden verfolgt werden. Als Material dienten junge Weizenwurzeln.

Zuckerart	PD-Änderung in positiver Richtung	
	In 0—5 Sek.	In 15 Sek.
Glucose	11 Millivolt	15 Millivolt
Mannose	15 „	17 „
Fructose	4 „	8 „
Galaktose	— „	7 „
Maltose	17 „	18 „
Lactose	11 „	16 „
Saccharose	9 „	15 „
d-Xylose	8 „	13 „
l-Arabinose	12 „	17 „

Wie die Tabelle zeigt, tritt die PD-Änderung in Kontakt mit der Zuckerlösung sehr schnell ein. Der Zeitverlauf stimmt mit den Berechnungen über die Diffusionsgeschwindigkeit durch die Zellulosemembran der Epidermiszellen der Wurzeln⁴) überein. Der potentialbestimmende Prozeß findet also in der physikalischen Oberfläche des lebenden Protoplasmas statt. Von den Monosacchariden haben Fructose und Galaktose eine unbedeutende Wirkung im Vergleich zu Glucose und Mannose. Es kann vermutet werden, daß nur die letzteren in nennenswertem Grade an der Oberflächenatmung des Protoplasmas teilnehmen. Betreffs Glucose und Fructose wird diese Annahme durch die Beobachtungen BURSTRÖMS⁵) über die Verarbeitung verschiedener Zuckerarten in Weizenwurzeln gestützt. Fructose wird nach ihm langsamer als Glucose und nach seiner Annahme erst nach Umwandlung in diese Zuckerart verarbeitet. Die Galactose, die ebenfalls eine sehr schwache PD-Wirkung hat, wird nach BURSTRÖM überhaupt nicht verarbeitet. Über Mannose und die Pentosen liegen keine Angaben vor. Ich möchte aber darauf hinweisen, daß Mannose und Arabinose chemisch der Glucose nahe stehen, während dies mit Xylose nicht der Fall ist. Die PD-Werte gehen in ähnlicher Richtung.

Von den Disacchariden wirkt, wie die Tabelle zeigt, Saccharose ähnlich wie Glucose (die Millivoltwerte sind von fast derselben Größe). BURSTRÖM fand, daß die Saccharose an der Kontaktfläche zwischen Wurzel und Lösung invertiert wird. Es wird aber nur die Glucose verarbeitet. Maltose wird nach BURSTRÖM besser als Saccharose ausgenützt, obwohl die Hydrolyse langsamer verläuft. Man kann sich vorstellen, daß die zwei Glucosegruppen, ohne vorherige Aufspaltung, direkt in den Atmungsmechanismus hineingezogen werden. Von der Lactose kann aber gegebenenfalls nur die Glucosehälfte des Moleküls ausgenützt werden, weil die Galactose nicht verarbeitet wird. Der Parallelismus zwischen PD-Änderungen und chemischem Reaktionsvermögen der Zuckerarten ist also weitgehend.

Die Beobachtungen bringen weitere Belege für die von mir aufgestellte Theorie von der Oberfläche des Protoplasmas als Sitz eines aeroben Atmungsvorgangs, der auf Grund seiner Kopplung mit dem Grenzflächenpotential der Zelle in den Prozeß der Ionenaufnahme eingreift (Theorie der Anionenatmung). Das überraschende Verhalten der Fructose, die ja im Hinblick auf die Zymasegärung mit der Glucose als gleichwertig betrachtet wird, deutet darauf hin, daß der betreffende Atmungsmechanismus, wenigstens bei Weizenwurzeln, sehr spezifisch arbeitet, indem nur Moleküle oder Molekülgruppen von der Konfiguration der Glucose oder ähnlicher Aldosen in das System aktiv hineintreten. Als begrenzender Faktor für die Verarbeitung der anderen Zuckerarten würde dann die Geschwindigkeit wirken, mit welcher dieselben in Glucosegruppen umgewandelt werden.

Upsala (Schweden), Pflanzenphysiologisches Institut in Ultuna-Upsala, 3. September 1941. H. LUNDEGÄRDH.

¹) H. LUNDEGÄRDH, Biochem. Z. 298, 51 — Nature (Lond.) 143, 203; 145, 114 — Ann. Agric. Coll. Sweden 8, 233.

²) H. LUNDEGÄRDH, Protoplasma (Berl.) 35, 556.

³) Ann. Agric. Coll. Sweden 8, 233.

⁴) Protoplasma (Berl.) 35, 556.

⁵) H. BURSTRÖM, Ann. Agric. Coll. Sweden 9 (im Druck).

Decarboxylierung von Dioxypyphenylalanin (Dopa) und Histidin *in vivo*.

In unseren Untersuchungen über Organdecarboxylasen¹) wiesen wir in Niere, Leber und Darm verschiedener Tierarten *decarboxylierende Fermente* nach, die, bei substratspezifischer Einstellung auf die natürlich vorkommende l-Form der einzelnen Aminosäuren, *Histidin* in *Histamin*, *Tyrosin* in *Tyramin* und *Dopa* in *Oxytyramin* umwandeln. In diesen Versuchen gelangten Phosphatextrakte aus den zu untersuchenden Organen in sauerstofffreier Atmosphäre (um eine oxydative Zerstörung der entstehenden Amine zu verhindern) zur Einwirkung auf die Aminosäuren. Die gebildeten Amine

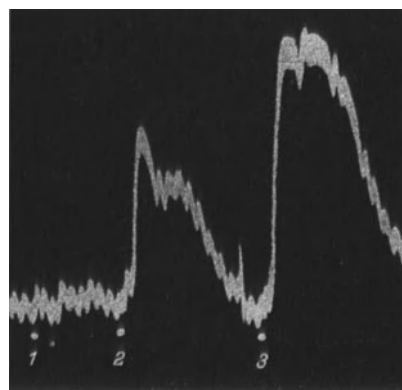


Fig. 1. Katzenblutdruck. 1 = 1 ccm Meerschweinchenharn (vor der Injektion von Dopa), 2 = 0,5 ccm Meerschweinchenharn (nach intramuskulärer Injektion von Dopa), 3 = 1,0 ccm Meerschweinchenharn (wie 2).

ließen sich wegen ihrer ausgeprägten pressorischen bzw. depressorischen Wirkung, durch die sie sich von den pharmakologisch unwirksamen Aminosäuren unterscheiden, im Blutdruckversuch an der Katze nachweisen. Die wirksamsten Fermentextrakte wurden aus Meerschweinchenorganen erhalten.

Um die Möglichkeit einer Aminbildung durch Organdecarboxylasen auch *in vivo* zu beweisen, injizierten wir 400—600 g schweren Meerschweinchen l-Dioxypyphenylalanin und l-Histidin und untersuchten den anschließend sezernierten Harn an der Katze auf seinen Gehalt an blutdruckwirksamen Aminen. Bei dieser Versuchsanordnung werden deutlich nachweisbare Mengen blutdrucksteigernder (*Oxytyramin*) bzw. blutdrucksenkender Substanz (*Histamin*) in den Harn ausgeschieden.

Fig. 1 erläutert das Ergebnis eines Versuches, in dem ein Meerschweinchen von 500 g Körpergewicht 25 ccm Wasser mit der Schlundsonde, darauf 18 mg 1-Dioxyphenylalanin intramuskulär erhielt. Von der nach ungefähr 25 Minuten ausgeschiedenen Harnportion (9 ccm) wurde 0,5 ccm Harn einer narkotisierten Katze, deren Blutdruck wir aus der Art. femoralis registrierten, in die V. jugularis injiziert. — *Von dem im Organismus gebildeten Oxytyramin ist also ein beträchtlicher Teil in den Harn übergetreten.*

Mitunter ist der nach der Applikation von 1-Dopa sezernierte Harn *weniger* wirksam als in dem mitgeteilten Versuchsbeispiel. In mehreren dieser Fälle erlangten die nur wenig wirksamen Harnproben durch Ansäuern und Erhitzen eine deutlich stärkere pressorische Wirksamkeit. Die nächstliegende Erklärung für dieses Verhalten würde sein, daß unter bestimmten Verhältnissen ein mehr oder weniger großer Teil des aus der Aminosäure entstandenen Amins in *gebundener, pharmakologisch unwirksamer Form* zur Ausscheidung gelangt, aus der beim Erhitzen mit Säure das pharmakologisch wirksame Amin in Freiheit gesetzt wird. Seine *Phenolnatur* läßt vermuten, daß die Bindung in Analogie zur entgiftenden Bindung anderer Phenole und phenolartiger Körper an Schwefelsäure erfolgt, das aus Dopa entstandene Oxytyramin demnach zum Teil als *gepaarte Schwefelsäure* in den Harn übertritt.

Die ausführliche Arbeit erscheint in Naunyn-Schmiedeberg's Archiv.

Rostock, Physiologisch-chemisches Institut der Universität, den 10. September 1941. P. HOLTZ. K. CREDNER.

1) Zusammenfassende Darstellung bei P. HOLTZ: „Organ-decarboxylasen“ in Methoden der Fermentforschung 1941, S. 2547. — „Fermentative Aminbildung aus Aminosäuren“ in Ergebn. der Physiol 1941, Bd. 44.

Anläßlich des Absterbens der ersten Dauerreinkultur von Säugetier-Carcinomzellen in vitro.

Durch ein Zusammenspiel verschiedener Umstände ist unser mehr als 14jähr. Stamm von Carcinomzellen in vitro eingegangen. In den Händen nicht geschulter Assistenten sind sämtliche Kulturen Anfang Juli d. J. einer Generalinfektion erlegen. Die Züchtungstechnik, aufgebaut auf reichen Erfahrungen, war zwar einfach genug, aber die Erhaltung des Stammes müßte doch dem damit vertrauten Assistenten übergeben werden. Um eine Generalinfektion (die größte Gefahr!) zu vermeiden, hatten wir die Vorsichtsmaßregel aufgestellt, daß nie alle Kulturen gleichzeitig in neue Medien umgepflanzt werden durften, sondern daß immer ein Teil davon so lange bei Zimmertemperatur im Dunkeln aufgehoben werden mußte, bis man sich davon überzeugt hatte, daß die umgepflanzten Kulturen nicht infiziert waren. Die Nichtbeachtung dieser Vorschrift war der direkte Grund für die allgemeine Infektion sämtlicher Kulturen.

Am 23. Februar 1927 wurden in der Gastabteilung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biologie, Berlin-Dahlem, 5 Kulturen aus dem Mäusecarcinom EHRLICH'S (Frankfurter Stamm) angelegt. Die Zusammensetzung des gleich von Anfang an gewählten heterologen Züchtungsmediums erwies sich als günstig und wurde auch die vielen Jahre hindurch unverändert beibehalten. Diese 5 Kulturen wurden im Laufe der inzwischen verfloßenen 14¹/₂ Jahre auf etwa 13000 Kulturen vervielfacht, mit 725 Deckglaspassagen (jede Passage 3—4 Tage) und 105 Flaschenpassagen (jede 3—4 Wochen). Mit diesen ersten Reinkulturen von Säugetiercarcinomzellen sind viele Untersuchungen ausgeführt worden, über die in etwa 50 Publikationen berichtet wurde.

Der oben erwähnte Kniff, die Kulturen im Dunkeln und bei Zimmertemperatur aufzubewahren (bis zu einem Monat ohne Umpflanzung), erwies sich auch in anderer Beziehung als sehr nützlich: wir konnten die Kulturen als Briefsendung beinahe über die ganze Welt hinaus schicken. Die meisten Länder Europas, ferner Nordamerika, Japan u. a. haben auf solche Weise unser Material bekommen.

Das Arbeiten mit den Ca.-Zellen erbrachte verschiedene Ergebnisse, abgesehen von der sehr wichtigen Erkenntnis, daß die Malignität jeder Zelle unabhängig von humoralen und zellularen Einflüssen erhalten bleibt. Eine Übertragung

von gezüchteten Ca.-Zellen auf Mäuse wurde von Zeit zu Zeit ausgeführt und zeigte bis zuletzt regelmäßiges Angehen um etwa 80—100% herum.

Die wichtigsten Untersuchungen betrafen Wachstumsvorgänge und Lebensbedürfnisse: das relative Wachstum von Ca.-Zellen in homologen und heterologen Medien; das Infiltrationsvermögen von Ca.-Zellen in homologen und heterologen Geweben; die humoralen und zellularen Wachstumsfaktoren; die Wechselbeziehungen zwischen normalen und malignen Gewebezellen; Regenerationsvermögen nach Verletzungen; das Wachstum in Plasma- und Serumbestandteilen; den Einfluß der Konzentration embryonaler Gewebsextrakte im Medium; das Wachstum und die Wasserstoffionenkonzentration des Mediums; den Einfluß verschiedener Sauerstofftensionen; die Wirkung der Röntgen- und Radiumbestrahlung; Stoffwechseluntersuchungen (Atmung und Glykolyse); Chromosomenstudien.

Von Zeit zu Zeit wurde über den Zustand des Ca.-Stammes berichtet, nämlich nach 1, 3, 6 und 12 Jahren¹⁻⁴).

In Wirklichkeit spielt der Verlust dieses Stammes keine große Rolle. Die Züchtung hat jedoch die vielen Jahre hindurch ihren Wert gehabt, denn sie hat reichlich dokumentiert, daß das Leben in dieser Weise unbegrenzt fortgesetzt werden kann. Für uns aber besaß der Stamm einen größeren Wert als den eines bloßen historischen Kuriosums. Die Eigenschaften dieser Zellen waren ja durch die Züchtung in einem Medium von konstanter Zusammensetzung und ohne Beeinflussung durch fremde Zellen fixiert und sehr homogen geworden, und das verschaffte den sehr großen Vorteil, daß man den Versuchsgegenstand sehr genau kennengelernt hat.

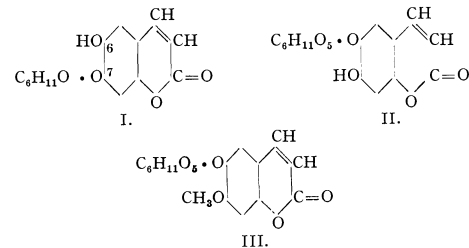
Kopenhagen (Dänemark), Biologisches Institut der Carlsberg-Stiftung, den 16. September 1941.

ALBERT FISCHER.

1) Münch. med. Wschr. 1928, 651. — 2) Z. Krebsforsch. 32, 99 (1930). — 3) Z. Krebsforsch. 39, 1 (1933). — 4) Nature (Lond.) 143, 436 (1939).

Synthese des Äsculins.

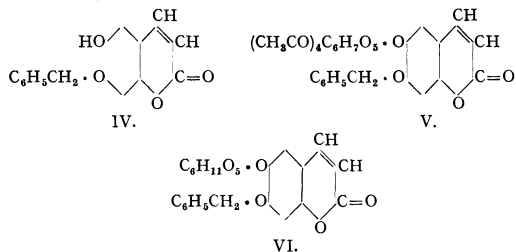
Vor einiger Zeit ist gezeigt worden¹), daß bei der Glukosidierung von Äsculetin (6,7-Dioxyumarin) ausschließlich Cichoriin (o⁷-Gluko-6,7-dioxyumarin (I)) entsteht, während Äsculin [o⁶-Gluko-6,7-dioxyumarin (II)] so nicht erhalten werden kann. Ist hingegen das Hydroxyl in Stellung 7 verschlossen (z. B. durch Methylierung), so tritt die Kondensation von Acetobromglukose auch mit der in Stellung 6 des Äsculetins stehenden Hydroxylgruppe ein, wie durch die Synthese des Äsculinmethyläthers (III) gezeigt werden konnte.



Die Möglichkeit zur Synthese des Äsculins selbst war also dann gegeben, wenn es gelang, vor der Einführung des Glukoserestes in das Äsculetin dessen Hydroxylgruppe in Stellung 7 mit einem solchen Substituenten zu veräthern, der nach der Glukosidierung ohne weitere Veränderung des Moleküls wieder entfernt werden konnte. Die Entmethylierung des Äsculinmethyläthers (III) mit Aluminiumbromid in Benzol^{2, 3, 4}) führte nicht zum Ziel, ebensowenig wie bei den mit β -Phenylglukosid und Guajakolglukosid angestellten Modellversuchen.

Veräthert man hingegen in geeigneter Weise das Äsculetin mit Benzylchlorid in karbonat-alkalischer Methanollösung, so erhält man einen o⁷-Monobenzyläther (IV) vom Schmp. 195—196° (neben dem Dibenzyläther). Dieser läßt sich in der üblichen Weise in ätzalkalischer wässriger Azetonlösung¹) mit Acetobromglukose kuppeln. Das entstandene o⁷-Benzyl-6-glukotetrazetat des Äsculetins (V) schmilzt

bei 160° und liefert bei der Entazetylierung in mit Ammoniak gesättigtem Methanol den Äsculinbenzyläther (VI) vom Schm. 186°.



Bei der Hydrierung dieses Produkts mit 2,5proz. Palladium-Bariumsulfat wurde der Benzylrest abgespalten⁵⁾ und eine Substanz erhalten, die die Eigenschaften des natürlichen Äsculins (II) aufwies. Auch der Schmelzpunkt des synthetischen Pentacetyl-Äsculins stimmte mit dem aus natürlichem Äsculin hergestellten Pentazetylderivat (166°) überein.

Ausführliche Mitteilung der Versuche erfolgt zu gegebener Zeit an anderer Stelle.

Königsberg i. Pr., Pharmazeutisch-Chemisches Institut der Universität, den 16. September 1941.

K. W. MERZ. W. HAGEMANN.

- 1) MERZ, Arch. Pharmaz. 270, 476 ff. (1932).
- 2) PFEIFFER u. LOEWE, J. prakt. Chem. 147 (II), 293 (1937).
- 3) PFEIFFER u. HAACK, Liebigs Ann. 460, 156 (1928).
- 4) BÖHME, Ber. dtsh. chem. Ges. 72, 2130 (1930).
- 5) C. SCHÖPF, BRASS u. Mitarbeiter, Liebigs Ann. 544, 30 (1940).

Ein neuer Phosphatester und seine Wirkung im Brei von Seeigeleiern.

Der Phosphatester wird aus Schweineleber isoliert. Nach Zermahlen der Leber und Fällen mit Trichloressigsäure erhält man einen Extrakt, der abzentrifugiert und sodann mit Barium, Blei und Quecksilber behandelt wird. Aus dem eingedunsteten Rückstand wird der Phosphatester mit wasserfreiem Methylalkohol gelöst. Durch Fällen mit wasserfreiem Äther erhält man ein klebriges Öl, welches mit Alkohol und Äther getrocknet wird. Dieses Produkt enthält ungefähr 1,5% P. Die weitere Reinigung, welche infolge der hygroskopischen Eigenschaften der Substanz sehr beschwerlich ist, geschieht durch wiederholtes Umfällen. Auf diese Weise erhält man ein Produkt mit 7,6% P. Dieses ist jedoch noch mit einer geringen Menge von Alkalisalzen verunreinigt. Die Substanz ist ungeladen und enthält einen oxydierbaren Benzolring, jedoch weder Hexose- noch Pentosereste. Sie ist frei von Stickstoff. Weiterhin ist sie äußerst hygroskopisch. Durch 3 Stunden lange Hydrolyse bei 100° in 1n-Schwefelsäure werden 20% P in Freiheit gesetzt. Ein 3 Minuten langes Kochen in 0,2n-NaOH spaltet kein Phosphat ab. Die Untersuchung zwecks besserer Reinigung und genauerer Bestimmung der Zusammensetzung wird fortgesetzt.

Der Phosphatester kommt in *Noctiluca* sp., *Eumenia crassa*, in Eiern von Seeigeln (*Echinus esculentus*, *Psamm-echinus miliaris*, *Echinocardium cordatum* und *Brissopsis*) sowie in der Leber von Säugetieren (Kuh, Kaninchen, Schwein) vor.

In dem durch Zerreiben mit destilliertem Wasser hergestellten Brei aus Seeigeleiern wird Glykogen¹⁾ am raschesten über Hexosen, Phosphoglukonsäure und Pentosen²⁾ abgebaut. Dem Ablauf dieser Reaktion kann man durch Bestimmen der reduzierenden Zucker⁴⁾ und Pentosen⁵⁾ folgen. Zusatz von Phosphoglukonsäure zu dem Brei erhöht die Bildung der Pentosen stark. Dagegen hat Zusatz von Glukonsäure keine Wirkung. Setzt man zu 1 ccm Eibrei 0,1 mg Phosphatester, so wird der Kohlehydratumsatz beschleunigt. Wird der Ablauf dieser Reaktion vermittels Zusatz von Methylenblau verfolgt, so wird die Probe mit Zusatz von Phosphatester aerob in einigen Minuten entfärbt, während die Kontrolle zum mindesten mehrere Stunden blau bleibt. Auch Phosphoglukonsäure — jedoch

nicht Glukonsäure — ist sehr aktiv im Dehydrasesystem (Entfärbung innerhalb 40 Minuten, Kontrolle 3 Stunden). Die Phosphatasewirkung im Eibrei ist bedeutend. Nach Zusatz des oben beschriebenen Phosphatesters wird die Abspaltung anorganischen Phosphats vermindert, was darauf hindeutet, daß dieses zur Phosphorylierung (Phosphoglukonsäure?) in Anspruch genommen wird.

Das in Trichloressigsäure lösliche Phosphat des Seeigeleies besteht zu 54% aus anorganischem Phosphat, zu 31,5% aus Adenosintriphosphorsäure und zu 14,5% aus dem oben beschriebenen Chinophosphat. Die Angaben beziehen sich auf den Gehalt an P und stellen Mittelwerte aus 8 Analysen dar.

Stockholm (Schweden), Wenner-Gren-Institut der Universität, den 24. September 1941. OLOV LINDBERG.

- 1) ÖRSTRÖM u. LINDBERG, Enzymologia (Haag) 8, 367 (1940).
- 2) WARBURG, Biochem. Z. 257, 492 (1933).
- 3) DICKENS, Biochemic. J. 32, 1628 (1938).
- 4) MEYERHOF-LEHMAN, Biochem. Z. 171, 358 (1926).
- 5) MEJBAUM, Hoppe-Seylers Z. 258, 118 (1939).

Über die Katalyse der Phosphatübertragung durch Metallionen.

OHLMEYER und OCHOA¹⁾ machten den merkwürdigen Befund, daß in einem Mg-freien dialysierten Mazerations-saft die Phosphatübertragung aus Phosphobrenztraubensäure auf Glucose mittels Adenylsäure katalysiert wird durch Spuren Mangan. Wir haben noch mehrere Metallionen in diesem System untersucht und gefunden, daß Cobalt, Nickel, Zink*, zweiwertiges Eisen und Cadmium in einer

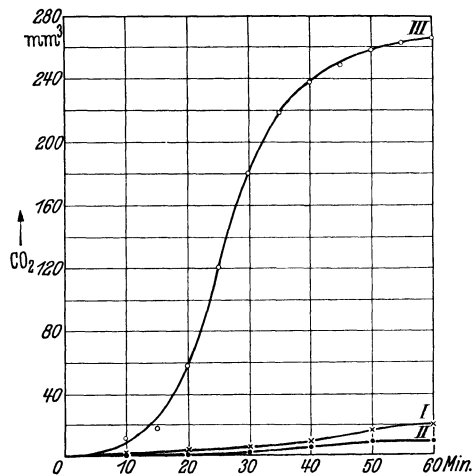


Fig. 1. Aktivierung von Adenylsäure zur Phosphatübertragung durch Ni 10⁻³M. Ordinate cmm CO₂ aus Phosphobrenztraubensäure. Ansatz: 0,5 ccm dialysierter Mazerations-saft, Phosphobrenztraubensäure mit 0,50 mg P, $\frac{M}{20}$ -KH₂PO₄, Glucose, auf 2 ccm aufgefüllt; I mit Adenylsäure (0,04 mg), II mit Ni 10⁻³M, III mit Adenylsäure (0,04 mg) und mit Ni 10⁻³M.

Konzentration 10⁻³ M eine starke Aktivierung der Phosphatübertragung hervorrufen, während Magnesium unter denselben Umständen nur sehr schwach wirksam war. Andere Metallionen, wie dreiwertiges Eisen, Calcium, Beryllium, Vanadium, Kupfer, sind inaktiv. Ein Beispiel gibt Fig. 1.

Es ist auffallend, daß gerade alle diese Metallionen auch die Carboxylasewirkung beschleunigen²⁾ und in jüngster Zeit auch als Aktivatoren der Phosphatasen³⁾ und Dipeptidasen⁴⁾ bekannt geworden sind. Betreffs der Phosphatübertragung muß jedoch dem Mangan die größte Bedeutung zugeschrieben werden. Schon früher haben wir die Meinung geäußert, daß dem Mangan eine größere allgemeine Bedeutung zu-

kommen muß⁵⁾. Auch Zn soll, wie LOHMAN²⁾ betont, im Hefemetabolismus eine wichtige Rolle spielen.

Gent (Belgien), Physiologisch-chemisches Laboratorium der Tierärztlichen Schule der Universität, den 5. September 1941.
R. DUFAIT — L. MASSART.

*) VON EULER hat auch schon mit Zn eine Aktivierung in diesem System beobachtet; cf. VON EULER und Mitarb.: Z. physiol. Chem. **247**, 127 (1937).

¹⁾ P. OHLMEYER, S. OCHOA, Naturwiss. **25**, 253 (1937).

²⁾ K. LOHMAN, J. KOSSEL, Naturwiss. **27**, 595 (1939).

³⁾ L. MASSART, L. VANDENDRIESSCHE, Naturwiss. **28**, 143 (1940).

⁴⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. **28**, 765 (1940).

⁵⁾ L. MASSART, R. DUFAIT, Enzymologia **6**, 2 (1939).

Der Aufbau typischer Adsorbentien.

(Nach Untersuchungen mit dem Übermikroskop.)

Im SIEMENSschen Übermikroskop wurde eine Anzahl hochaktiver Adsorbentien untersucht. Es handelt sich um 8 Aktivkohlen¹⁾, 5 Silikagele²⁾ und 3 Al₂O₃-Präparate.



Fig. 1. Pulverkohle A (Lurgi) (Vergr. 43000:1).

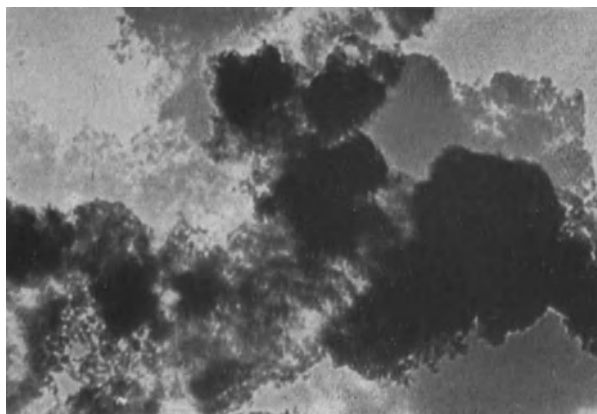


Fig. 2. Pulverkohle C (Lurgi), deutlich sind die übereinandergeschobenen Platten (Vergr. 43000:1).

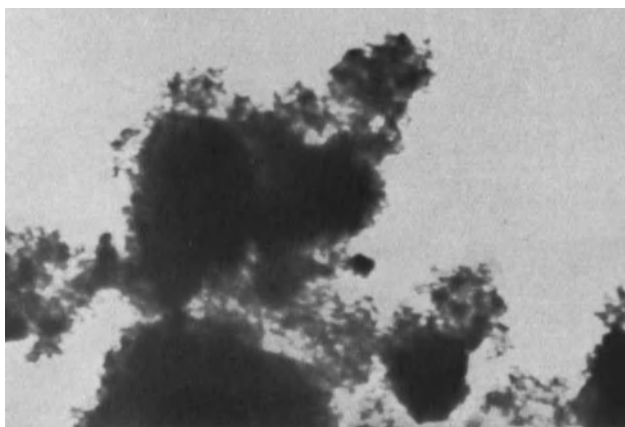


Fig. 3. Silikagel A (Herrmann) (Vergr. 43000:1).



Fig. 4. Aluminiumoxyd (Vergr. 43000:1).

¹⁾ Die Kohlen wurden größtenteils von der Fa. Lurgi freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

²⁾ Die Silikagele wurden teils von der Fa. Herrmann, Köln, und der I.G., Ludwigshafen, freundlichst zur Verfügung gestellt.

Die Aktivität der Adsorbentien gegenüber Methylenblau wurde mittels eines kolorimetrischen Verfahrens gemessen und etwa in der gleichen Größenordnung befunden.

Es ergibt sich folgendes Bild:

Deutlich zeigen alle untersuchten Präparate einen Aufbau aus netz- oder wabenartigen Platten (s. Fig. 2). Die Porengröße in diesen Platten schwankt von Fall zu Fall.

Fig. 1—4 zeigen typische Aufnahmen.

Wesentliche Unterschiede zwischen den drei verschiedenen Adsorbentien sind nicht feststellbar. Das legt den Schluß nahe, daß die Adsorptionseigenschaften einer Substanz in erster Linie von der Erscheinungsform abhängen. Grundsätzlich scheint einem guten Adsorbens netzförmige Tracht der festen Substanz zugeordnet zu sein. Bei dem netzartigen Aufbau kann weiter angenommen werden, daß die Porenabmessungen ganzzahlige Vielfache der Primärkristallitabmessungen sind. Nach vorläufigen Messungen bei den Aktivkohlen dürfte die Größe der die Netze aufbauenden Einzelkristallite etwa zwischen 20 und 30 Å schwanken, was mit den röntgenographischen Befunden³⁾ recht gut übereinstimmt.

Weiter kann festgestellt werden, daß Aktivkohle in keiner Weise als reiner Kohlenstoff angesehen werden kann.

Bei allen hochaktiven Kohlen sind Fremdkörper, offensichtlich Schwermetalle oder deren Oxyde, bereits in das Netz-

³⁾ Siehe U. HOFMANN u. D. WILM, Z. Elektrochem. **42**, 504 (1936).

werk eingebaut. Die normalerweise anfallenden Präparate müssen demnach als Trägerkatalysatoren⁴⁾ angesprochen werden. Dies zeigt besonders deutlich Fig. 5. Nur selten



Fig. 5. Pulverkohle B (Lurgi). Deutlich sind die zahlreichen eingelagerten, die Elektronenstrahlen absorbierenden Kriställchen, vermutlich Schwermetalle oder deren Oxide (Vergr. 43 000 : 1).

sind ganz saubere Netze aus Kohlenstoff ohne Einlagerungen aufzufinden. In weit geringerem Maße trifft diese Feststellung auch auf die Silikagele und Al_2O_3 zu.

Die Veröffentlichung des Gesamtmaterials wird in Bälde erfolgen.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, im September 1941.

TH. SCHOON. H. KLETTE.

⁴⁾ Siehe auch TH. SCHOON u. E. BEGER, Z. physik. Chem. 189, 171 (1941).

Untersuchungen über den Adsorptionsvorgang.

Das Auftreten treppenförmiger Adsorptionsisothermen wurde des öfteren in der Literatur als Besonderheit vermerkt¹⁾. Weiterhin wurden auch solche Isothermen gemessen, ohne daß besonders auf die Stufen hingewiesen wurde²⁾. Es scheint möglich, daß der treppenförmige oder stufenförmige Aufbau eine wesentliche Eigenschaft jeder Adsorptions-

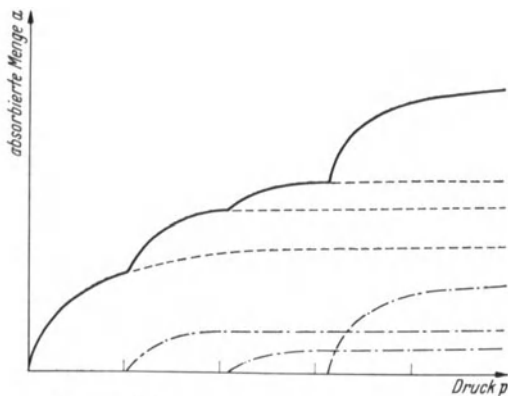


Fig. 1. Schema einer Adsorptionsisotherme.

isotherme sei. Um diese Frage zu klären, wurden sehr genaue Messungen der Adsorption von H_2 an einer Aktivkohle, einem Silikagel, Al_2O_3 und einem Pt-Asbest gemacht, deren Aufbau bereits aus übermikroskopischen Untersuchungen^{3, 4)} bekannt war. Bei nicht zu hohem Wert der Gesamtadsorption konnten in allen Fällen deutliche Stufen in den Adsorptionsisothermen gefunden werden.

Die von DOHSE und MARK⁵⁾ angeführte Erklärung für das Auftreten der Stufen reicht auch nach Ansicht dieser Verfasser selbst nicht aus.

Eine Erklärung wurde auf folgendem Wege gesucht: Aus der trichtermäßigen Ausbildung der Einzelkristallite eines Adsorbens folgt eine endliche Zahl kristallographisch und energetisch voneinander verschiedener Oberflächen. Man kann für jede dieser Oberflächenarten in erster Näherung die Gültigkeit einer Langmuir-Isotherme voraussetzen.

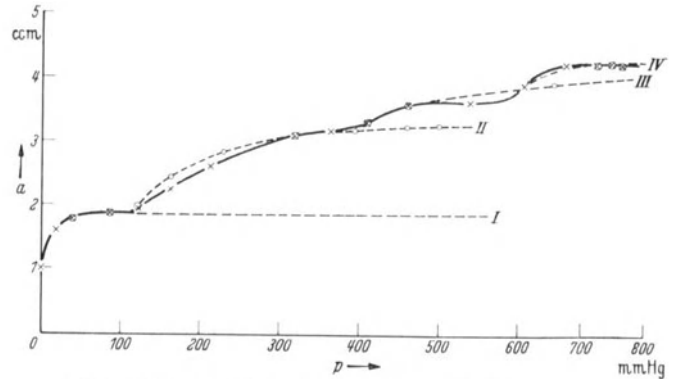


Fig. 2. Adsorptionsisotherme von H_2 an Nickel.

VOLMER⁶⁾ und Mitarbeiter haben gezeigt, daß eine in einer Oberfläche adsorbierte Molekel in dieser Oberfläche beweglich ist. Es ist nun anzunehmen, daß eine auf irgendeinen Teil der Gesamtoberfläche des Adsorbens auftretende Molekel, die dort frei beweglich ist, sich bevorzugt auf den Flächen aufhält, auf welchen sie die stärkste Verminderung der freien Oberflächenenergie erreicht. Das bedeutet, daß die Fläche mit der höchsten Oberflächenenergie zuerst abgesättigt wird, dann folgen nacheinander sämtliche anderen Flächen.

Für die Absättigung jeder einzelnen solchen Fläche geht von den VOLMERSchen Überlegungen und die von ihm abgeleitete Isotherme, die angenähert gleich der Lang-

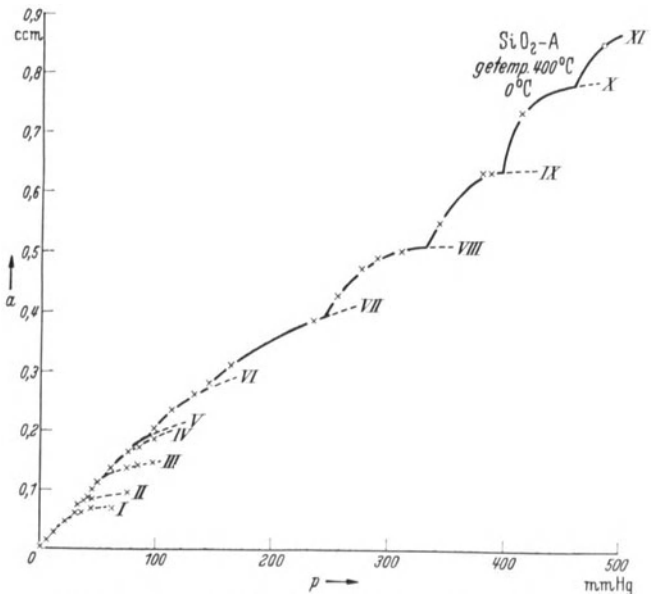


Fig. 3. Adsorptionsisotherme von H_2 an Kieselgel.

muir-Isotherme ist. Damit zerfällt jetzt der gesamte Adsorptionsvorgang in eine Folge von Einzeladsorptionen an einheitlichen Oberflächen. Die resultierende, meßbare Adsorptionsisotherme ergibt sich dann als eine Summation von einzelnen Langmuir-Isothermen, wie schematisch Fig. 1 zeigt. Jede in der Isotherme auftretende Stufe entspricht damit einer im Adsorbens vorhandenen Oberflächenart.

Die von BENTON und WHITE⁷⁾ gemessene Isotherme von H_2 an Ni bei -190° wurde nach diesen Gesichtspunkten betrachtet (Fig. 2). Die Gesamti Isotherme setzt sich aus

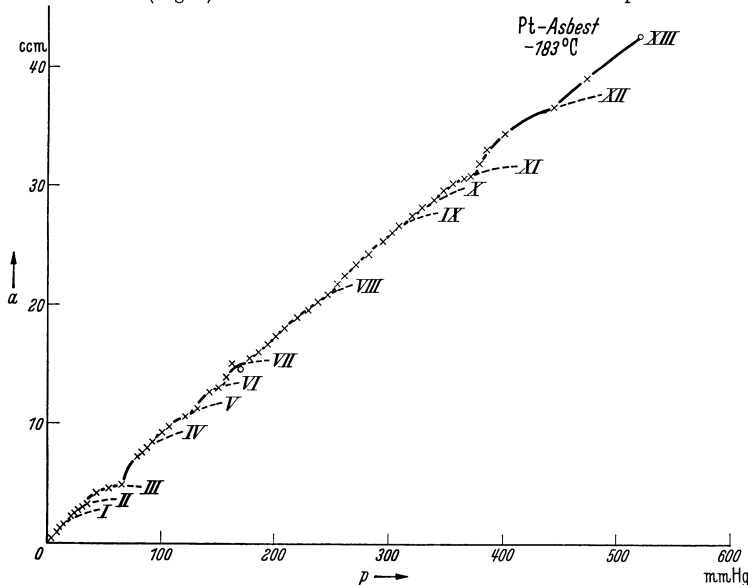


Fig. 4. Adsorptionsisotherme von H_2 an Pt-Asbest.

5 LANGMUIRSCHEN zusammen. Die erste Stufe dürfte bei sehr kleinen Drucken auch bereits komplex sein (Anteil von Ecken und aktiven Zentren).

Eine ähnliche Analyse ließ sich auch für H_2 an SiO_2 bei 0° durchführen (Fig. 3). Bis zu einem Druck von 400 mm Hg besteht die Isotherme aus 9 Einzelisothermen. Es läßt sich zeigen, daß die Effekte bei -180° wegen der hohen Adsorption bei dieser Temperatur nicht meßbar sind. In diesem Fall, ebenso auch bei Aktivkohle, sind die Knicke nur sehr schwach. Aktivkohle bei 0° zeigt ebenfalls deutliche Aufspaltung in Einzelisothermen, ebenso Al_2O_3 .

Bei Pt-Asbest sind Stufen mit verschiedener Krümmung unterscheidbar; die stärker gekrümmten Einzelisothermen sind vermutlich Pt-Flächen, die schwächer gekrümmten den Asbestflächen zuzuordnen (Fig. 4). Die Zahl der Knicke ist von der Temperatur unabhängig und beim gleichen Präparat konstant. Jedoch verschiebt sich der Einsatzzpunkt mit steigender Temperatur zu größeren Druckwerten.

Die Ausdehnung der Messungen auf andere Gase als Adsorbat und möglichst einheitliche und gut kristallographisch definierte Kristallpulver ist vorgesehen.

Die Veröffentlichung des Gesamtmaterials erfolgt demnächst.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, im September 1941.

TH. SCHOON. H. KLETTE.

¹⁾ A. I. ALMAND, L. Z. BURRAGE u. R. CHAPLIN, Trans. Far. Soc. 28, 218 (1932). — A. F. BENTON, Trans. Far. Soc. 28, 202 (1932) u. a.

²⁾ Z. B.: B. A. TALMUD u. P. L. TALMUD, Acta physicochim. (Moskva) 8, 171 (1938).

³⁾ TH. SCHOON u. E. BEGER, Z. physik. Chem. (A) 189, 171 (1941).

⁴⁾ TH. SCHOON u. H. KLETTE, vorstehende Mitteilung.

⁵⁾ H. DOHSE u. H. MARK, Adsorption von Gasen und Dämpfen an festen Körpern, S. 62ff.

⁶⁾ Z. B.: M. VOLMER u. O. ADHIKARI, Hoppe-Seylers Z. 119, 46 (1926) u. a. Arbeiten.

⁷⁾ A. F. BENTON u. T. A. WHITE, J. amer. chem. Soc. 52, 2325 (1930).

Die Kristallstruktur von Al_2La .

Röntgenographische Untersuchungen im System Al-La bestätigen das Bestehen der von CANNERI¹⁾ angegebenen Verbindung Al_2La . Sie kristallisiert in einem zur Struktur von Cu_2Mg ²⁾ [C-15 Typ³⁾] isomorphen Gitter mit einer Gitterkonstanten $a_w = 8,160 \text{ \AA}$.

Die Verbindung ist, ähnlich wie die verwandten, isomorphen Verbindungen Al_2Ca ⁴⁾ und Al_2Ce ⁵⁾, sehr stabil und besitzt keinen merklichen Homogenitätsbereich. Das für diesen Gittertyp charakteristische Volumenverhältnis der reinen Metalle liegt bei 2,25, in der Verbindung bei etwa 1,85, also um 2; es erfolgt eine Kontraktion auf Kosten des Lanthans.

Stuttgart, Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung, den 6. Oktober 1941.

H. NOWOTNY.

¹⁾ G. CANNERI, Metallurgia (ital.) 24, 2 (1932).

²⁾ J. B. FRIAUF, J. amer. chem. Soc. 49, 3107 (1927).

³⁾ Bezeichnung nach Strukturbericht Bd. 1, P. P. EWALD, C. HERMANN. Leipzig: Akad. Verlagsges. 1931.

⁴⁾ H. NOWOTNY, A. MOHRNHEIM, Z. Kristallogr. (A) 100, 540 (1939).

⁵⁾ H. J. WALLBAUM, Z. Kristallogr. (A) 103, 147 (1940).

Besprechungen.

SCHNEIDERHÖHN, HANS, **Lehrbuch der Erzlagertstättenkunde**. 1. Band: die Lagerstätten der magmatischen Abfolge. XXIV, 858 Seiten, 1 Titelbild, 264 Abbild. im Text und auf Tafeln. Jena: Gustav Fischer 1941. 17,5 cm \times 25,5 cm. Preis geb. RM 52.— brosch. RM 48.—

Das größte Lob für dieses Lehrbuch liegt wohl in der Tatsache, daß es nicht nur zum „Pauken“ und Nachschlagen zu benutzen ist, sondern auch mit Interesse laufend gelesen werden kann. Damit bildet es einen ganz wesentlichen Fortschritt gegenüber älteren Lehrbüchern der Lagerstättenkunde, deren trockene Beschreibung und Systematik oft langweilig wirken. Dieser Fortschritt, verbunden mit einer klaren und übersichtlichen Gliederung des Stoffes, wurde erreicht durch starke Betonung des genetischen Momentes, d. h. der Fragen, welche ja bei der Lagerstättenkunde im Vordergrund des Interesses stehen. Nur wenn man, im Sinne des Verf., die Lagerstättenlehre als Teilgebiet der Gesteinskunde überhaupt auffaßt, gewinnt man

den höheren Blickpunkt, welcher es ermöglicht, „zu unterscheiden und dann zu verbinden“, um das vom Verf. eingangs angeführte Goethewort zu wiederholen, eine Forderung, die sich wie ein roter Faden durch die ganze Darstellung hindurchzieht. Es darf indessen nicht verkannt werden, daß diese Darstellungsart erst durch die neuen Fortschritte der Petrographie ermöglicht wurde, an denen der Verf. durch viele Spezialarbeiten und umfassende eigene Untersuchung vieler Lagerstätten der Welt wesentlich beteiligt war. Es darf auch nicht verkannt werden, daß viele genetische Fragen noch offen sind und daß man bei manchen Deutungen und Eingliederungen auch einen anderen Standpunkt vertreten kann, als der Verf. es tut. Aber absolute Objektivität ist im letzten Grunde doch immer steril und ein Lehrbuch soll nicht nur Wissen, sondern auch Denken, d. h. aus den Tatsachen Folgerungen ziehen, lehren; wenn dann der Befund möglichst vollständig herausgearbeitet ist, wird die Summe an Anregungen zur Meinungsbildung höher zu werten

sein, als ein Sammelsurium von widersprechenden Ansichten, in denen sich der Lernende schließlich überhaupt nicht mehr auszukennen vermag.

Die Grundeinteilung in Lagerstätten der magmatischen, metamorphen und sedimentären Abfolge (von denen die beiden letzten im zweiten Band behandelt werden sollen), entspricht der allgemeinen Gepflogenheit und ist auch kaum zu vermeiden, obwohl auch hier Grenzfälle vorhanden sind, welche die Zuweisung eines bestimmten Lagerstättentypus zu einer der 3 Gruppen erschweren. Die grundlegenden Tatsachen sind in einer sehr lesenswerten Einleitung zusammengestellt. Von überragendem Interesse ist der den ersten Teil einleitende Abschnitt über die Bildung magmatischer Lagerstätten überhaupt, welcher eine sehr geschickte und anregende Übersicht der modernen Gesteinsgenetik bringt. Hieraus, besonders aus einer vertieften Einsicht in den Differentiationsprozeß des Magmas, ergibt sich dann die erste Einteilung in liquidmagmatische, pneumatolytische und hydrothermale Lagerstätten, wobei die geologischen Bedingungen mit Recht besondere Betonung erfahren. Wesentlich und zum Teil neu ist die Verknüpfung der Stockwerkslage der Lagerstätten, d. h. ihrer Beziehung zum Herd (hypobatholithisch, endobatholithisch, embatholithisch, epibatholithisch, akrobatholithisch, kryptobatholithisch) mit der Position des Herdes selbst, d. h. mit seinem Intrusionsniveau (abyssisch, hypoabyssisch, subvulkanisch). Nicht minder bedeutsam ist dann die schärfere Unterscheidung der Temperaturbedingungen, besonders bei den hydrothermalen Lagerstätten (Kata-, meso-, epi-, tele-thermal).

Jeder der 3 Hauptgruppen (liquidmagmatisch, pneumatolytisch, hydrothermal) ist noch ein Abschnitt mit allgemeinen Erläuterungen vorangestellt, so daß der großzügige Zusammenhang immer gewahrt bleibt. Es wird dadurch eine sehr übersichtliche Gliederung erzielt, welche übrigens die noch vorhandenen Unsicherheiten keineswegs verschweigt und damit zur Weiterarbeit anregt.

Auf die Spezialdarstellungen einzugehen, ist auf kleinem Raume unmöglich. Meist ist bei den einzelnen Typen eine bestimmte, besser bekannte Lagerstätte ausgewählt und ausführlicher dargestellt. Hervorzuheben sind die vorzüglichen und durch ausgezeichnete Karten erläuterten Darstellungen des Buschveld-Massivs in Südafrika mit seinen Platin- und Nickelvorkommen, der Erzgänge des Schwarzwaldes und Rheinischen Schiefergebirges (jeweils mit guter geologischer Übersicht), vieler wichtiger amerikanischer Lagerstätten. Diese Spezialschilderungen enthalten eine ungeheure Fülle von neuem, oft selbst erarbeitetem Material. Interessant, wenn auch in ihrem heutigen Wissensgehalt nicht restlos befriedigend, ist die tektonische und stoffliche Schilderung der Gangbildung.

Wie schon gesagt, sind in manchen Fällen heute noch abweichende Ansichten möglich; so in der Frage der Zugehörigkeit einiger Kieslagerstätten zu basischen Magmen, in dem Problem des Alters mancher hydrothermalen Lagerstätten, wo die auch schon von Ref. geäußerte Ansicht einer sekundären hydrothermalen Entstehung durch Auslaugung älterer Erzlager betont zu werden verdient und vielleicht einer weiteren Ausdehnung fähig ist, in der Deutung der ostalpinen Erzvorkommen, endlich in der Zuweisung einiger Lagerstätten zu dem magmatischen, metamorphen oder sedimentären Bereich überhaupt. Die gut begründete Stellungnahme des Verf. verschließt aber nirgends den Weg zu einer weiteren Diskussion, ja regt sogar oft in ausgezeichneter Weise dazu an.

Die Auswahl der behandelten Lagerstätten ist im allgemeinen sehr gut getroffen. Eine vollständige Aufzählung war ja im Rahmen eines Lehrbuches nicht möglich und auch nicht notwendig; vielleicht hätten die primären Golderze des Urals eine etwas ausführlichere Schilderung verdient, die wohl an der Unzugänglichkeit des neueren Schrifttums scheiterte. Der an sich schon sehr große Umfang des Werkes machte in mancher Hinsicht eine Beschränkung notwendig; daraus erklärt sich wohl auch die leider verhältnismäßig kurze Behandlung der erzmikroskopischen Methoden und Ergebnisse, d. h. des eigenen Arbeitsgebietes des Verf., welche an dem erreichten Hochstande der Lagerstättenforschung einen wesentlichen Anteil haben.

Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß das SCHNEIDERHÖHNSCHE Werk weit mehr ist, als ein einfaches Lehrbuch, da es, als erstes zusammenfassendes Werk deutscher Sprache, die Lagerstättenforschung auf eine exakte moderne Basis im Rahmen allgemeinetpetrographischer Erkenntnisse stellte. Der Fülle der im Werk enthaltenen Anregungen, die auch stoffmäßig ungeheure Arbeitsleistung und nicht zuletzt die vorzügliche Ausstattung mit Bildern, Profilen und Diagrammen erfordern den uneingeschränkten Dank der Leser.

S. VON BUBNOFF, Greifswald.

Die Binnengewässer. Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten. Unter Mitwirkung von Fachgenossen herausgegeben von AUGUST THIENEMANN. Band XVI, 2. Teil, 1. Hälfte. G. HUBER-PESTALOZZI, *Das Phytoplankton der Süßwasser, Systematik und Biologie.* Teil 2, 1. Hälfte. Chrysophyceen, farblose Flagellaten, Heterokonten. Stuttgart: E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung (Erwin Nägele) 1941. V, 366 S. und 443 Abbild. 16 cm × 24 cm. Preis brosch. RM 54.—, geb. RM 56.—.

Der 1. Band dieses Werkes, über den in den Naturwiss. 27, 80 (1939) berichtet wurde, enthielt einen umfangreichen allgemeinen Teil sowie die Einzeldarstellung von 3 „Klassen“ des Phytoplanktons, den Blaualgen, Bakterien und Pilzen. Daran schließen sich nunmehr 3 weitere Klassen, die Chrysophyceen, farblosen Flagellaten und Heterokonten. Waren dort die Grundgedanken des Verf. über das Phytoplankton überhaupt und die Leitgedanken dieses Werkes ausführlich dargelegt, so ist der nun vorliegende 2. Teil ganz der Weiterleitung des Lesers durch die unendliche Fülle der Formen gewidmet. Nur am Schluß jeder der 3 Klassen, am ausführlichsten bei der ersten, wird rückblickend jeweils noch einmal die Ausprägung der planktischen Lebensweise innerhalb der betreffenden Gruppe erörtert. Das hindert jedoch nicht, daß auch hier das Biologische voll zur Geltung kommt, nur gebunden an die einzelnen Gattungen und Arten, so das Ganze durchsetzend und den Eindruck der „trockenen Systematik“ zerstörend.

Die Schwierigkeiten, welche dadurch entstehen, daß die ökologisch bestimmte Umgrenzung des Planktons mit den systematischen Umgrenzenungen nicht zusammenfällt, sind hier besonders groß. Der Verf. sucht ihrer in der Weise Herr zu werden, daß er, um „die Planktonorganismen nicht sinnlos aus ihren systematischen Bindungen herauszureißen, sondern möglichst im Zusammenhang mit ihrer natürlichen Verwandtschaft zur Darstellung zu bringen“, die Grundübersichten über den Gesamtbereich der betreffenden Gruppen ausdehnt. Er stellt so das Plankton aus seinem Ursprungsbereich, seinem „Mutterboden“ her-

aus dar. Ferner ist auch die Entscheidung, ob einzelne Arten als Planktonorganismen oder Bodenformen zu betrachten seien, oft kaum durchführbar. Meroplanktische, tychoplanktische und vor allem auch epiplanktische Arten werden ausgiebig mit behandelt, um auch in dieser Hinsicht nichts fehlen zu lassen. Damit ist für den „Leser“ gut gesorgt. Aber auch die besonderen Bedürfnisse des „Bestimmers“ sind sorgfältig berücksichtigt. Nicht nur die gebräuchlichen Bestimmungsschlüssel, oft neue oder verbesserte, sondern auch Nebenübersichten, z. B. nach der Größe der Arten, Diskussionen über schwierige Bereiche des Systems, Angaben über Verwandtschaft, über Verwechslungsmöglichkeiten, Erörterungen über „Formen“, Bewertungen der Merkmale, insbesondere neu eingeführter, u. dgl. m., erleichtern wo irgendmöglich die Benutzung des Werkes.

Artenreiche Gattungen erfahren eine ausführliche morphologisch-ökologische Allgemeinkennzeichnung. Sie umfaßt z. B. bei Dinobryon: Aufbau der Kolonien, Gestalt und Struktur der Gehäuse, Chromatophoren, Vermehrung, Gehäusebildung, Cystenbildung, Zerfall der Kolonien, Wohngewässer, geographische Verbreitung, jahreszeitliches Vorkommen, Vertikalverteilung, Temporalvariationen, Schweben und Bewegung. Was die großen Grundzüge des Systems betrifft, so wird das Problem der systematischen Stellung der farblosen

Flagellaten, die mit gewissen Vorbehalten als selbständige „Klasse“ im Anschluß an die Chrysomonaden behandelt werden, eingehend erörtert. Die Fortentwicklung der Systematik und ihrer Methoden in den letzten Jahren kommt überall gut zur Geltung.

Naturgemäß ist die Morphologie der behandelten Gruppen in ihre Systematik mit eingebaut. Das physiologische Wissen über sie erscheint im allgemeinen in den Beschreibungen der einzelnen Arten, wo z. B. Angaben über Bewegung, Gestaltwandel, Reizempfindlichkeit, Ruhestadien, Ernährung, Reservestoffe, Funktion besonderer Organellen, Zellteilung u. dgl. m. auftreten. Ebenso durchsetzen Angaben über die Ökologie der Wohngewässer überall die Darstellung. Die Bedürfnisse der Arten in bezug auf Temperatur und Licht, auf den Chemismus des Wassers, auf die Nahrung, ihr Verhalten gegen Verunreinigungen, gegen Brackwasser, ihr Einfluß auf die Beschaffenheit des Wassers, seine Farbe, seinen Geruch, die Wasserblütenbildung werden an den betreffenden Stellen behandelt, auch die Vergesellschaftung der Arten berücksichtigt, und gelegentlich werden quantitative Angaben über das Vorkommen gemacht. So ist die biologische Reichhaltigkeit auch an diesem Teile des Werkes, der wieder einen höchst wertvollen Zuwachs der Fachliteratur darstellt, besonders hervorzuheben.

E. HENTSCHEL, Hamburg.

Zur 50. Wiederkehr des Promotionstages von A. Sommerfeld.

Am 24. Oktober 1891 wurde ARNOLD SOMMERFELD in Königsberg zum Doktor der Philosophie promoviert. Wären nicht heute die meisten deutschen Physiker an Hochschulen und in der Industrie durch die ihnen gestellten Gegenwartsaufgaben in der Bestimmung über ihre Zeit beschränkt, so würde wohl ein wesentlicher Teil von ihnen gemeinsam diesen Tag festlich begehen, an welchem eine wissenschaftliche Laufbahn begann, die in seltenem Maße Gründlichkeit und Mannigfaltigkeit, wissenschaftliche und technische Fruchtbarkeit, literarische und pädagogische Vielseitigkeit vereinigt. Die Unmöglichkeit eines äußeren Festes gibt um so mehr den deutschen Physikern, denen die Pflege ihrer Wissenschaft am Herzen liegt, eine Gelegenheit zu innerer Besinnung über Gehalt und Bedeutung dieses Forscherlebens.

Wir sehen nicht nur die Begründung neuer, die Förderung alter Probleme der reinen Forschung, welche für SOMMERFELD erstes und letztes Ziel war; wir erinnern uns auch, welchen Nutzen technische Entwicklungen aus dieser wissenschaftlichen Arbeit gezogen haben, sei es dadurch, daß er selbst solche Anwendungen aufzeigte und weiter verfolgte, sei es, daß die Technik die Ergebnisse seiner Forschung aufnahm: Theorie des Kreisels als Grundlage für die immer vielseitiger werdenden Anwendungen, denen selbst das unmittelbare Interesse SOMMERFELDS geglont hat — Kreselkompaß, Fliegerhorizont, Torpedogradlauf, Lavalturbine —; die turbulente Strömung, eine der Grundlagen für die technische Meisterung der Bewegung großer Flüssigkeits- und Gasmengen; die Theorie zur allgemeinen Beherrschung der Vorgänge in geschmierten Lagern und damit Grundlagen der Schmiermittelreibung; die bis in die neueste Zeit fortgeführten Untersuchungen über die Ausbreitung langer und kurzer Wellen bei der drahtlosen Nachrichtenübermittlung. Allein diese Befruchtung der Technik wäre schon Anlaß genug, des Beginns seiner akademischen Laufbahn zu gedenken.

Aber für die deutschen Physiker, die alle direkt oder indirekt bei SOMMERFELD gelernt haben oder durch ihn in ihrer Arbeit gefördert oder beeinflußt wurden, und von denen viele auch in persönlicher Anhänglichkeit und Schülertreue ihm verbunden sind, steht doch an erster Stelle die Hochachtung vor der geistigen Leistung, die Erkenntnis der Bedeutung seines eigentlichen Lebenswerkes, der Bereicherung der Physik durch die Arbeiten, die mit seinem Namen verbunden sein werden, und auch der Dank für das, was er zur Förderung unserer Wissenschaft und zur Weltgeltung deutscher Forschungsarbeit getan hat.

Wir fühlen die Verpflichtung, welche ein solches Erbe uns auferlegt.

WALTHER GERLACH.

Trockengrenzen in Algerien.

Von FRITZ JAEGER, Basel.

Wärme und Feuchtigkeit sind die wichtigsten physikalischen Grundlagen des organischen Lebens. Nur da, wo beide ausreichend vorhanden sind, kann das Leben auf der Landoberfläche der Erde gedeihen, können Pflanzen- und Tierwelt, menschliche Siedlung, Wirtschaft und Kultur sich recht entfalten. Die Kältegebiete in polaren Breiten und in den Hochgebirgen und die Trockengebiete in gemäßigten und warmen Zonen schränken das Leben ein, ja schließen es vollständig aus. Auch die vom Klima abhängigen anorganischen Erscheinungen, wie Gewässer, Kräfte der Verwitterung und Bodengestaltung, Bodenbeschaffenheit, sind hier von anderer Art als in den wärmeren und feuchteren Teilen der Erde. Daraus entspringen die größten Verschiedenheiten der Landoberfläche: der Gegensatz zwischen den lebens- und kulturarmen Kälte- und Trockenzonen und den Zonen reicher Entfaltung des Lebens, das in der Landschaft namentlich durch die üppige Vegetation, das Vorhandensein von Wäldern sichtbar wird. Die Erscheinungen des Lebens sind durch Kältengrenzen gegen die Polargebiete und die großen Höhen, durch Trockengrenzen gegen die Trockengebiete abgegrenzt. Man pflegt die Kältengrenze des Nadelwaldes, die etwa mit der Isotherme des wärmsten Monats von 10° zusammenfällt, als die Grenze der Polarwelt gegen den Waldgürtel der gemäßigten Zone anzusehen. Für den Menschen und die Kultur ist die Kältengrenze des Ackerbaues, die nirgends so weit polarwärts vorstößt wie der Wald, noch wichtiger, denn sie besagt, bis wohin stärkere Besiedlung und Kulturlandschaft sich ausdehnen können.

Viel weniger geklärt ist die Abgrenzung der feuchten Gebiete der gemäßigten und der tropischen Zone gegen den Trockengürtel. Sie ist physikalisch verwickelter, weil nicht nur eine meteorologische Größe sie bestimmt, sondern mindestens zwei, Niederschlag und Temperatur, von der ja die Verdunstung wesentlich abhängt. Man hat verschiedene Abgrenzungen vorgeschlagen. W. KÖPPEN (Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. Petermanns Mitt. 1918, 193f.) begrenzt das Trockenklima, seine Zone B, durch die Beziehung $n = 2(t + 10)$, wo n den jährlichen Niederschlag in Zentimetern, t die Temperatur in Celsiusgraden bedeutet. A. PENCK (Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeograph. Grundlage. Abh. preuß. Akad. Wiss., Berlin, Math.-nat. Klasse 1910, 236 bis 246) wählt die Linie, an der Niederschlag und Verdunstung sich das Gleichgewicht halten, $n = v$, als Grenze zwischen den feuchten Gebieten, wo

$n > v$, und den trockenem, wo $n < v$. Er bezeichnet sie als die Trockengrenze schlechtweg. Wir wollen sie die PENCKsche *Trockengrenze* nennen. Die KÖPPENSche Grenze, die mit der PENCKschen ziemlich übereinstimmt, kann man auf Grund von Messungen des Niederschlags und der Temperatur auf der Karte einzeichnen. Bei der PENCKschen Trockengrenze ist das nicht möglich, weil die in der Natur wirklich stattfindende Verdunstung sich durch unsere Verdunstungsmesser nicht ermitteln läßt. Während aber die KÖPPENSche Grenze ein willkürlich festgesetzter Schwellenwert ist, hat die PENCKsche Grenze eine unmittelbare Bedeutung in der Natur. Die Gewässer, die Verwitterungsvorgänge und damit die Bodenbildung verhalten sich verschieden, je nachdem im Durchschnitt die Verdunstung oder der Niederschlag überwiegt. Die PENCKsche Trockengrenze ist eine Gleichgewichtsgrenze, ähnlich wie die Schneegrenze, welche das Gleichgewicht zwischen festem Niederschlag und Abschmelzung anzeigt. Aber leider ist die PENCKsche Trockengrenze in der Natur nicht sichtbar. Man kann sie nur bestimmen, indem man nach den dafür gültigen Merkmalen feststellt, welche Gegenden trocken und welche feucht sind, und sich von beiden Seiten der Grenze nähert. So wurde ihr Verlauf auf Grund der Literatur in verschiedenen Erdteilen bestimmt und auf Karten eingezeichnet (J. PITTELKOW, Die Trockengrenze Nordamerikas. Diss. Berlin 1928; E. SORGE, Die Trockengrenze Südamerikas. Z. ges. Erdkunde Berlin 1930, 277—287; F. JAEGER, Die Gewässer Afrikas. Z. ges. Erdkunde Berlin, Jub.-Bd. 1928, 158ff.; F. JAEGER, Die Gewässer Eurasiens, Petermanns Mitt. 1935, Tafel 1; F. JAEGER, Die Gewässer Australiens. Petermanns Mitt. 1939, Tafel 31). Die Unsicherheit der Grenzbestimmung fällt bei dem kleinen Maßstab der Erdteilkarten nicht viel ins Gewicht. Die *Trockengrenze des Ackerbaues* ist noch wenig untersucht worden (F. JAEGER, Trockengrenzen in Algerien, Petermanns Geogr. Mitt., Erg.-H. 223, Gotha 1936; F. R. FALKNER, Die Trockengrenze des Regenfeldbaus in Afrika. Petermanns Mitt. 1938, 201—214). Aus der Literatur ist sie schwierig zu konstruieren, weil bei Angaben über den Ackerbau in Trockengebieten sehr oft nicht mitgeteilt wird, ob es sich um Anbau mit oder ohne Bewässerung handelt. Wenn örtliche Wasservorräte die künstliche Bewässerung ermöglichen, dann kann auch im trockensten Wüstenklima Pflanzenbau, und zwar sehr durchgreifender (intensiver) Anbau getrieben werden. Solche Oasenkulturen sind aber immer auf kleine Flecken beschränkt. Nur wo der Anbau auf Regenfall, ohne

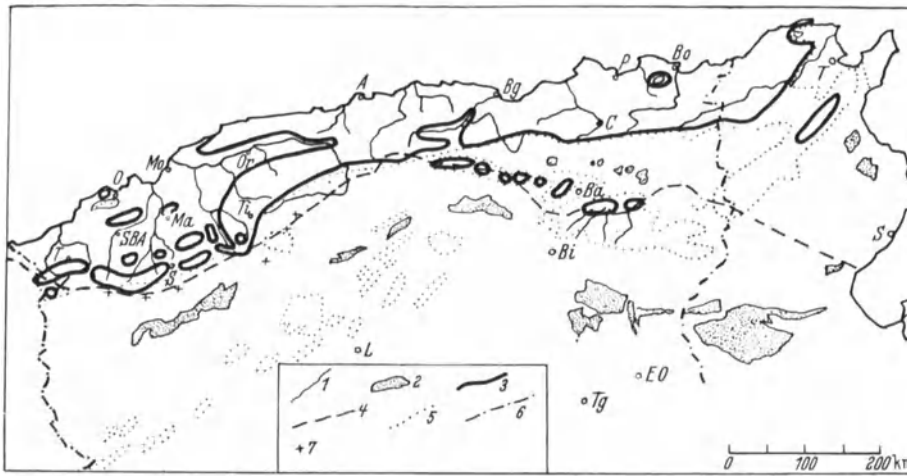
künstliche Bewässerung möglich ist, da kann der Mensch, soweit nicht die Bodenbeschaffenheit es verhindert, die ganze Fläche des Landes bebauen, nur da ist eine flächenhaft verbreitete Kulturlandschaft und dichtere Bevölkerung möglich. Deswegen ist die Trockengrenze des Ackerbaus ohne Bewässerung von großer geographischer Bedeutung.

Noch eine andere Trockengrenze, die das Aussehen der Landschaft wesentlich bestimmt, ist diejenige der geschlossenen Baumbestände, der *Wälder* — wieder abgesehen von Oasenvorkommen. An der polaren Seite des Trockengürtels dürfte sie vom biogeographischen Standpunkt die geeignetste Abgrenzung des Trockengürtels gegen den Waldgürtel der gemäßigten Zone sein. An der äquatorialen Seite, gegen die feuchten Tropen hin, ist sie

Algerien ermöglichte mir, diese Abwandlungen der Landschaft je nach dem feuchteren oder trockneren Klima zu studieren. Es war der erste Versuch, die PENCKSche Trockengrenze und die Trockengrenze des Ackerbaus im Gelände festzulegen. Die Freiwillige Akademische Gesellschaft zu Basel und der Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt haben mich dabei durch Geldbeträge, die Behörden und landwirtschaftlichen Sachverständigen Algeriens und die Kollegen der Universität Algier durch freundliches Entgegenkommen und vielseitige Auskünfte sehr wesentlich unterstützt. Ihnen allen sage ich auch hier meinen herzlichsten Dank.

Die Pencksche Trockengrenze.

Um die PENCKSche Trockengrenze, die Linie des Gleichgewichts zwischen Niederschlag und Ver-



Trockengrenzen in Algerien. 1. Dauernde Flüsse; 2. Schott oder Sebka; 3. PENCKSche Trockengrenze; 4. Trockengrenze des Ackerbaus; 5. Trockengrenze der Wälder; 6. Politische Grenze Algeriens; 7. Aufgegebene Ackerbausiedlungen.

schwer zu ziehen und nicht als Abgrenzung des Trockengürtels geeignet, weil Dorngehölze sich bis in recht trockne Gebiete erstrecken.

Zur Untersuchung von Trockengrenzen ist Algerien ein besonders günstiges Land. Denn von der feuchten Mittelmeerküste bis zur Vollwüste der Sahara wird das Klima immer trockener. Das ist die grundlegende Tatsache der Geographie Algeriens, aus der die größten landschaftlichen Unterschiede hervorgehen. Die für die feuchteren Teile des Landes charakteristischen Erscheinungen der Gewässer, des Bodens, der Vegetation, der Landwirtschaft, der Besiedlung hören weiter südlich auf, und andere treten an ihre Stelle, die an größere Trockenheit angepaßt sind. Jede Erscheinung findet irgendwo ihre Trockengrenze. Umgekehrt finden die charakteristischen Erscheinungen der Trockengebiete nach Norden zu die Feuchtgrenze ihrer Verbreitung. Aus den schönen Karten des Atlas d'Algérie et de Tunisie können wir zahlreiche Trockengrenzen und Feuchtgrenzen entnehmen.

Eine im Jahre 1935 unternommene Reise durch

dunstung, im Gelände zu finden, müssen wir feststellen, bis wohin einerseits die Kennzeichen der feuchten, andererseits die Kennzeichen der trockenen Gebiete reichen. In den feuchten Gebieten, wo im Durchschnitt des Jahres der Niederschlag über die Verdunstung überwiegt, sinkt das Regenwasser im Boden ein, bis es auf eine undurchlässige Schicht kommt und über dieser einen Grundwasserspiegel bildet. Dabei werden die oberen Bodenschichten ihrer löslichen Bestandteile beraubt, es entstehen Auslaugungsböden. Das Grundwasser speist die Flüsse auch in regenarmen Zeiten, diese fließen daher dauernd. Jede geschlossene Hohlform mit undurchlässigem Boden muß sich mit Wasser anfüllen bis zum Überlaufen, sie wird zu einem See mit Abfluß. In trockenen Gebieten dagegen, wo die Verdunstung überwiegt, wird das den Boden durchfeuchtende Regenwasser durch Verdunstung wieder entfernt, die gelösten Bestandteile werden in den oberen Bodenschichten angereichert und lassen oft Krusten oder Konkretionen im Boden entstehen. Grundwasser kann

sich in der Regel nicht bilden¹⁾, die Flüsse trocknen daher in längeren Trockenzeiten aus, sie fließen nur periodisch oder episodisch. Rings umschlossene Becken werden nur vorübergehend überschwemmt; wenn sie starken Zufluß haben, bringt auch dieser das Becken meist nicht zum Überfließen, sondern es bildet sich ein abflußloser See, der durch Anreicherung der vom Zufluß herbeigebrachten gelösten Stoffe mit der Zeit salzig wird. Dauernde Flüsse, flächenhafter Grundwasserspiegel, Süßwasserseen mit Abfluß, Auslaugungsböden sind also die Kennzeichen der feuchten, periodische oder episodische Flüsse, abflußlose Salzseen und Trockenseen (Pfannen mit südafrikanischem Ausdruck), Anreicherungsböden und Krusten die Kennzeichen der trockenen Gebiete.

Danach werden wir sagen, daß der Tellatlas feucht, das Steppenhochland mit dem Saharaatlas und die Sahara trocken sind. Denn alle etwas größeren Flüsse führen nicht nur im östlichen, sondern auch im trockeneren westlichen Teil des Tellatlas dauernd Wasser, wenn auch ihre Wassermenge im Sommer sehr gering ist: Tafna, Sig, Habra, Chélif. Kleine Bäche trocknen zwar aus, aber viele der kleinsten pflegen auch in unzweifelhaft feuchten Gebieten Mitteleuropas auszutrocknen, wir brauchen sie also nicht zu berücksichtigen.

Der Annahme, daß der westliche Tellatlas feucht sei, widersprechen aber andere Beobachtungen: Im Tiefland von Oran treten nicht nur überall im Boden Kalkkrusten auf, die aus den Weinfeldern herausgeholt und an ihren Grenzen zu großen Mauern aufgehäuft werden, sondern wir finden auch abflußlose und periodisch austrocknende Salzseen, die Sebkhä von Oran, el Mellaha, Sebkhä ben Ziane im unteren Chélifital. In der Ebene des Oued Sig wird der Boden wegen ungenügenden Abflusses salzig, so daß Örtlichkeiten, wo vor 30 Jahren Weizen gebaut wurde, heute nicht mehr anbaufähig sind. Das alles sind unzweifelhafte Kennzeichen trockenen Klimas. Wie erklärt sich der Widerspruch zwischen diesen Erscheinungen und den Dauerflüssen? Müssen wir daraus schließen, daß entweder die Dauerflüsse keine zuverlässigen Kennzeichen des feuchten oder die Kalkkrusten keine sicheren Merkmale des trockenen Klimas sind? Nein! Die Dauerflüsse sind hier offenbar Fremdlingflüsse, die ihr Wasser aus Gebieten feuchteren Klimas beziehen, wie der Nil in Ägypten. Sie beweisen nur, daß ihre Ursprungsgebiete, die höheren bewaldeten Gebirge des westlichen Tellatlas, feucht sind; sie besagen aber nichts über das Oranische Tiefland. Es ergibt sich also, daß das Oranische Tiefland einschließlich des Chélifitals zu den Trockengebieten gehört. Die jährliche Niederschlagsmenge bleibt hier überall unter 400 mm. Die Gebirge von

Tlemcen, Daia, Saida und Ouarsénis aber, in denen die Dauerflüsse entspringen, haben feuchtes Klima. Ebenso sind die Gebirgsinseln von Tessala und der östliche Teil der Beni Chougran-Berge feucht, da sie dauernde Bäche speisen. Die regenreichsten meteorologischen Stationen in diesen Gebirgen, die natürlich meist in den Tälern liegen und schwerlich gerade die regenreichsten Stellen erfassen werden, verzeichnen nach dem Atlas d'Algérie et de Tunisie: Tlemcen 672, Hafir 758, Franchetti 509, Tiaret 686 mm Jahresniederschlag. Der Regenkarte des Atlas des Colonies Françaises entnehmen wir ferner die Ziffern: Tessalaberge über 600, westliche Beni-Chougranberge 437, östliche (Mascara) 491 mm. Daraus ergibt sich, daß für feuchtes Klima im westlichen Tellatlas ein Jahresniederschlag von mindestens 500 mm erforderlich ist.

Auch in den südlichen Gebirgen von Tlemcen, Daia, Saida und Ouarsénis gibt es noch Trockengebiete. Längs unseres Reisewegs von Tlemcen nach Seb dou, Sidi Bel Abbès, Télagh, Saida, Frenda, Tiaret haben wir immer wieder Kalkkrusten angetroffen, mit Ausnahme der Strecke von Tlemcen nach Seb dou, die größtenteils über 1100 m liegt und auf 1400 m ansteigt. Die Straßen folgen natürlich meist den tieferen Tallandschaften, die im Regenschatten der Gebirge liegen und daher trockener sind. Nur die höheren Teile der Gebirge, die die Flüsse ernähren, haben feuchtes Klima, das beweisen schon die Regenmessungen: Auf der Höhe des Berglandes von Tlemcen, wo ich keine Kalkkrusten gefunden habe, obwohl viel Kalkgestein ansteht, verzeichnet die Station Hafir 758 mm. Etwa 15 km weiter hat Seb dou, in einem an Kalkkrusten reichen Talkessel gelegen, nur 371 mm. Feuchte Gebirgshöhen und trockne Talsohlen durchdringen sich hier mannigfach. Auf dem 1200 m hohen, 20 km langen Tafelberg südlich von Frenda entspringt eine Anzahl dauernder Quellen, z. B. beim Forsthaus Aine Kalfa. Krusten sah ich hier keine, wohl aber beim Abstieg am Nordhang in 950 m. Hier dürfte also die Trockengrenze in etwa 1000 m Meereshöhe liegen.

Die Quellflüsse des dauernden Oued Mina, von dessen Wasserfall die Stadt Tiaret ihre Elektrizität bezieht, kommen nicht aus den bewaldeten Bergen von Saida, sondern aus dem Steppenhochland südlich von Tiaret. Hier ist wohl in jeder Talmulde eine kleine Quelle vorhanden, der der Farmer das Wasser für den Hausbedarf, zum Viehtränken und zum Bewässern kleiner Gemüse- und Obstgärten entnimmt. Kalkkrusten habe ich hier nicht gefunden. Tiaret erhält 686, Palat 586 mm Jahresniederschlag. Hier ist also ein feuchtes Gebiet, das einzige feuchte Stück der Steppenhochfläche! Die Höhengichtenkarte 1:1000000 des Atlas des Colonies Françaises läßt erkennen, warum: Die Hochfläche östlich von Frenda und südlich von Tiaret hat 1000—1283 m Meereshöhe und bildet den orographischen Nordrand des Steppenhochlandes. Nach N und W hin ist sie von der Mina und ihren Nebenbächen zerschnitten zu einem

¹⁾ PENCKs ursprüngliche Ansicht, daß sich in Trockengebieten durch Einsickern des Regens überhaupt kein Grundwasser bilden könne, trifft nicht zu, wie unsere Untersuchungen klar erwiesen haben.

waldigen Bergland, das niedriger ist als der unzerschnittene Teil der Tafel. Der Tellatlas überragt also hier nicht die Steppenhochfläche, sondern steigt zu ihr an und läßt den vom Mittelmeer kommenden feuchten Winden die Bahn frei bis zum Rande des Steppenhochlands. Eine Ausnahme in diesem feuchten Gebiet bildet ein besonders ebenes Stück der Hochfläche, halbwegs zwischen Tiaret und Freneda, das so reichlich Kalkkrusten trägt, daß der Ackerbau meist unmöglich wird und Weideflächen, Nomadenzelte und Schafherden an die Stelle der Farmen treten. Die Topographie gibt keinen Grund zur Annahme, daß hier weniger Regen falle als in der Umgebung. Es könnte sein, daß auf der besonders ebenen Fläche der Wind ungehinderter weht und die Verdunstung erhöht.

In der Küstenkette nördlich des Chéliftales entspringen aus den höheren Bergen eine Anzahl dauernder Bäche, also ist mindestens der höhere Teil dieses Gebirges feucht. In der Gegend von Algier kommen aus der Küstenkette ebenfalls zahlreiche dauernde Bäche. Als Gebiet trockenen Klimas kommt nur der östliche Teil der Mitidjabene in Frage, wo die Station Kap Matifou 564 mm Regen erhält. Zweifelsfreie Kalkkrusten habe ich aber dort nicht gesehen. Im Regenschatten des Djurdjurgebirges ist das breite Oued Sahel trocken, wie man an Kalkkrusten erkennt. Der östliche Teil des Tellatlas ist überall feucht, er hat auch überall mehr als 500 mm Jahresniederschlag. Auch die kleineren Flüschen sind dauernd, Kalkkrusten habe ich hier nirgends gesehen.

Das ganze *Steppenhochland* mit dem Saharaatlas liegt jenseits der PENCKschen Trockengrenze. Das beweisen uns die Kalkkrusten, die abflußlosen Becken, die Salzböden und der Mangel an dauernden Flüssen. Nur von den Höhen der Hodnaberger und des Aurèsgebirges kommen dauernde Bäche, diese Höhen sind also *feuchte Gebirgsinseln* im Trockengebiet. Von den Flüssen des Aurès sind das Oued el Abiod, O. el Abdi, O. Bouzina, O. el Arab, O. Guechtane wenigstens in ihren oberen Läufen dauernd. Demnach haben wenigstens die höchsten Teile, etwa von 1800 m an, feuchtes Klima. In den Hodnabergen haben wir das Bou Taleb-Gebirge (1890 m) bestiegen. Es ist mit Kiefern- und Steineichenwald, in den höheren Teilen mit Zedernwald bedeckt. Dauernde Quellen und Bäche ermöglichen die Bewässerung der Gärten in den Dörfern Bou Taleb und Hammam. Der Bach von Hammam treibt sogar eine Anzahl kleiner Getreidemühlen der Eingeborenen. Nach J. SAVORNIN wird das Oued Ksob, das die Reihe der Hodnaberger durchbricht, weiter unterhalb durch Dämme in Bewässerungskanäle aufgespalten, es fließt also dauernd. Danach haben wohl alle die bewaldeten Gebirgsinseln der Hodnaberger in ihren höheren Teilen, etwa von 1500 m an, feuchtes Klima.

Wo höhere Gebirge aus trockenen Gebieten in feuchte aufragen, ist die Höhenlage der PENCK-

schen Trockengrenze von Bedeutung. An der Küste zwischen Cherchel und Mostaganem entsteigt sie dem Meeresspiegel. Bei Oran ist der 589 m hohe Djebel Murdjadjo mit seinem Kork-eichenbestand feucht, so daß man die Trockengrenze hier nicht höher als 500 m, nicht tiefer als 300 m ansetzen kann. Weiter im Innern ist die Ebene von Sidi Bel Abbès in 500—600 m noch trocken. Bei Tlemcen trafen wir nahe der Stadt noch Kalkkrusten, die Trockengrenze wird hier kaum unter 800 m liegen. In den Bergländern von Tlemcen, Daia und Saïda trafen wir in den Talflächen immer wieder Kalkkrusten und können daher die Trockengrenze nicht unter 1000 m ansetzen. Am Südrand dieser Gebirge erreicht die trockne Steppenhochfläche schon 1200 m, das wäre also hier die Mindesthöhe der Trockengrenze. In den Hodnabergen mag sie in 1500 m, im Aurès in 1800 m Meereshöhe liegen.

Ein Vergleich unserer Trockengrenze mit der Regenkarte und der Karte des Trockenheitsindex im Atlas d'Algérie et de Tunisie zeigt, daß sie annähernd zusammenfällt mit der Regenlinie von 500 mm und mit dem Trockenheitsindex von 78 %.

Grundwasser in Trockengebieten.

Nach PENCK vermag das Regenwasser nur in feuchten Gebieten in die Tiefe zu sickern und Grundwasser zu bilden, in trockenen wird es durch Verdunstung wieder aus dem Boden entfernt. Deshalb gäbe es da, wo die Verdunstung überwiegt, kein Grundwasser, es sei denn, daß Wasser aus abkommenden Flüssen versickert. Das Vorhandensein eines flächenhaft verbreiteten Grundwasserspiegels wäre ein Kennzeichen feuchter Gebiete. Meine Beobachtungen in Südwestafrika und auch gewisse Beobachtungen in Algerien schienen diese Auffassung zu bestätigen. Aber die Brunnen in Algerien geben uns über die Ausdehnung des Grundwasserspiegels eine andere Auskunft. In den durch Kalkkrusten als trocken gekennzeichneten Ackerbauländern, dem Oranischen Tiefland, der Sersouhochebene und dem Hochland von Constantine lehren uns die zahlreichen Brunnen der Farmen, daß überall ein Grundwasserspiegel vorhanden ist. Hier besteht die Möglichkeit, daß dieses Grundwasser durch Einsickern der von den umgebenden Gebirgen kommenden periodischen Bäche entstanden ist.

Aber auch mitten in der Vollwüste der Sahara, im Sanddünengebiet des Östlichen Großen Erg, ist ein flächenhafter Grundwasserspiegel vorhanden. An beliebiger Stelle kann man im Erg Brunnen graben und trifft auf Grundwasser. Außerhalb der Oasen liegen gegen 500 Brunnen im ganzen Erg zerstreut, in den Oasen selbst vielleicht 5000. Niemals hat man im Erg unter Wasserknappheit gelitten. Je höher nach Süden und Osten das Gelände ansteigt, desto tiefer unter der Oberfläche liegt der Grundwasserspiegel: Im Norden bei den Schotts 1—2 m, in El Oued 14—15 m, in Fatima 350 km südlich von El Oued 48 m. Der Salzgehalt des Grund-

wassers nimmt im allgemeinen nach Norden, gegen die Schotts hin, zu; 120—170 km südlich von El Oued ist das Wasser sehr gut. Im Norden, nahe den Schotts, aber auch am südlichen und östlichen Rande des Ergs sind die Brunnen salzhaltig, stellenweise so stark, daß die Kamele das Wasser nicht trinken. Die Schwankungen des Grundwasserspiegels sind jedenfalls nicht auffallend, da darüber fast nichts bekannt ist. Die einzige Beobachtung, die mir darüber mitgeteilt wurde, ist folgende: In El Rhaude, etwa 30 km nordöstlich von El Oued, begann man vor etlichen Jahren neue Oasen anzulegen. Man traf das Wasser über einer harten (Gips?)-Schicht und pflanzte Palmen. Etwa im Jahre 1929 hatte das Wasser sich unter die harte Schicht zurückgezogen, so daß diese gesprengt werden mußte. Etwa Anfang 1934 stieg das Wasser wieder auf die frühere Höhe.

Woher kommt dieses Grundwasser? Ist es vielleicht fossiles Grundwasser, das sich aus der Pluvialzeit erhalten hat, aber jetzt keine Zufuhr mehr erhält? Oder ist es landfremdes Grundwasser, das aus dem Saharaatlas stammt, wie offenbar das Grundwasser des Oued Saoura und der Touat-oasen weiter westlich? Oder entsteht es durch Versinken abkommender Oueds aus der Sahara? Oder wird es aus artesischem Wasser des tieferen Untergrundes gespeist?

Der Grundwasserspiegel ist nicht streng waagrecht, sondern hat von Oued bis El Biban am Schott Melrhir 134 m Gefälle auf 117 km. Obwohl etwa 5000 Brunnen und viele Tausende von Palmen seit Jahrhunderten an ihm zehren, nimmt das Wasser nicht ab, ja in El Rhaude wurde nach vorübergehender Abnahme eine Zunahme beobachtet. Das alles beweist, daß das Grundwasser gegenwärtig Zufuhr erhält, also nicht fossil ist. Vom Atlas geht kein Grundwasser führendes Trockenbett über die Depression der Schotts nach dem Erg. Nach den Untersuchungen von J. SAVORNIN (Les eaux artésiennes du Sahara, Bull. acad. sciences col., März 1928) ist die mit tonigen Neogensichten von bedeutender Mächtigkeit erfüllte Senke der Schotts eine unbedingte Schranke, welche verhindert, daß unterirdisch irgendwelches Wasser vom Atlas nach dem Erg gelangt. Wenn das Grundwasser von dem im Osten und Süden nach dem Erg hin gehenden Trockenbetten stammte, so müßte sein Salzgehalt um so mehr zunehmen, je weiter man sich vom Ost- und Südrand entfernt. Tatsächlich ist es aber am Ost- und Südrand viel größer als in der Mitte des Ergs, also kann das Grundwasser nicht von diesen Oueds herkommen. Auch aus dem artesischen Wasser kann der Grundwasserspiegel nicht entstanden sein, denn artesisches Wasser ist nach den Bohrungen nur im untersten Teil des Erg, in der Nähe der Schotts vorhanden, der Grundwasserspiegel aber liegt im größten Teil des Erg viel höher. Es bleibt also keine andere Möglichkeit, als daß der im Dünengebiet des Erg selbst fallende Regen im Sande einsickert und das Grundwasser

speist. Das Vorhandensein eines flächenhaft ausgedehnten Grundwasserspiegels kann also nicht mehr als Kennzeichen feuchten Klimas angesehen werden.

Die Trockengrenze des Ackerbaus auf Regenfall.

Die Trockengrenze des Ackerbaus ohne Bewässerung ist in der Natur sichtbar und deshalb viel leichter zu bestimmen als die PENCKSche Trockengrenze. Sie schließt in Algerien nicht nur den ganzen Tellatlas ein, sondern auch Teile der Steppenhochfläche, die Sersouebene und das Hochland von Constantine bis an die Hodnaberge, ja bis Ngaous in der Hodnassenke und bis auf die Höhen des Aurèsgebirges. Sie fällt etwa mit der Regenlinie von 350 mm zusammen, reicht sogar stellenweise in noch trocknere Gebiete. Der Ackerbau reicht also in unzweifelhaft aride Gebiete hinein.

Unter den harten Lebensbedingungen an der Grenze der Anbaumöglichkeit können nur wenige Kulturgewächse mit Sicherheit gedeihen. Die Landschaft ist daher viel einförmiger als in den gesegneten Gefilden der mediterranen Küstenlandschaften. Der Getreidebau, Weizen und Gerste, herrscht ausschließlich. Das Hochland von Constantine scheint ein zusammenhängendes Getreidefeld zu sein, das nur durch die aufragenden Berginseln und durch die Schotts und die Salzbuschflächen ihrer Umgebung unterbrochen wird. Es gedeihen allerdings auch noch andere Pflanzen ohne Bewässerung: Aprikosen- und Mandelbäume, verschiedene Leguminosen, stellenweise Wein. Ja mit Tabak hat man im Sersou befriedigende Versuche gemacht. Zur römischen Zeit war das numidische Hochland nicht nur eine Kornkammer, sondern auch ein Land der Ölbäume. Es ist wohl nicht nur das Klima, die physische Möglichkeit des Anbaus, welche die Auswahl der Kulturgewächse hier bestimmt, sondern auch die Rentabilität. Unter den gegenwärtigen Bedingungen des Weltmarkts — von Krise und Krieg ganz abgesehen — lohnt hier nur der Getreidebau. Obst und Leguminosen werden nur für den Eigenbedarf oder für den örtlichen Bedarf in kleinem Maße angebaut. Die klimatische Ungunst, welche dem Ackerbau eine Schranke setzt, ist nicht so sehr die geringe Niederschlagsmenge als die Unsicherheit des Regenfalls und die Unregelmäßigkeit seiner zeitlichen Verteilung, das Ausbleiben der Frühjahrsregen, daneben Spätfröste und früher Scirocco. Um sich dagegen zu schützen ist es nötig, das Wasser so gut wie möglich im Boden aufzuspeichern, indem man jedes zweite Jahr ein Brachejahr einschaltet, in diesem aber den Boden sorgfältig bearbeitet. Dieses Verfahren der „labours préparatoires“, dasselbe wie das amerikanische dry farming, hat ermöglicht, daß das Hochland von Constantine und die Sersouhochebene, die in arabischer Zeit Weideland gewesen waren, wieder wie in römischer Zeit zu Ackerland wurden und eine dichtere Bevölkerung ernähren.

Die Aufspeicherung des Wassers im Boden ist um so vollkommener und der Ernteertrag um so

sicherer und größer, je mächtiger die Bodenschicht ist, die zur Wasserspeicherung und zur Ernährung der Pflanzen dienen kann. Die Kalkkruste, die hier fast überall im Boden vorhanden ist, ist für Wasser und für Pflanzenwurzeln undurchlässig. Sie beeinträchtigt die Wasserspeicherung um so mehr, in je geringerer Tiefe sie sich befindet, denn nur der über der Kruste liegende Teil des Bodens, meist 20—60 cm, kommt für Wasserspeicherung und Ernährung der Pflanzen in Frage. Für tief wurzelnde Gewächse, wie Wein und Ölbaum, zerstört und entfernt man die Kruste. Für den Getreidebau ist das zu kostspielig. Doch beweist die Beobachtung eines Farmers bei Behagle, daß der Weizen da, wo die Kalkkruste entfernt ist, viel üppiger gedeiht als sonst. Das war auf seinem Acker in ganz regelmäßigen Abständen der Fall, anscheinend waren es Pflanzlöcher für Ölbäume aus der römischen Zeit. Würde man überall durch große Kultivatoren die Kalkkruste zerstören und entfernen, so würde der Ertrag der Ernten bedeutend gesichert und vermehrt. Das wäre eine Kulturmaßnahme großen Stils, die die Ertragsfähigkeit des Landes steigern würde und mit der Zunahme der Bevölkerung doch notwendig werden wird. Sie wird nicht von einzelnen Bauern, sondern entweder auf genossenschaftlichem Wege oder mit staatlichen Mitteln ausgeführt werden müssen. Man sollte daher einstweilen durch sorgfältige Versuche feststellen, was man von der Zerstörung und Entfernung der Kalkkruste erhoffen darf.

Bis zur Trockengrenze des Ackerbaus auf Regenfall reicht die mehr oder weniger geschlossene Kulturlandschaft, das dichter besiedelte Land, das Land der Bauern. Jenseits derselben gibt es in der Steppe zerstreut noch einzelne kleine Äcker, auf denen die Nomaden Weizen oder Gerste bauen. Man wählt dazu Stellen aus, die eine hinreichende Schicht pflügbaren Bodens haben und von dem aus der Nachbarschaft zusammenfließenden Regen etwas stärker durchfeuchtet zu werden pflegen, z. B. kleine Talmulden. Diese Äcker sind nicht etwa Grundeigentum des Nomaden, der sie bestellt, sondern irgendein Stückchen des öffentlichen oder des Gemeindelandes. Sie werden auch nicht regelmäßig bestellt, sondern man sät ein Jahr auf diesem, ein anderes auf jenem Fleck. Nur in guten Regenjahren geben solche Äcker eine Ernte. Die Nomaden können daher nicht von diesem Ackerbau leben, er ist nur ein recht unsicherer Nebenerwerb. Bis weit in die Sahara hinein haben wir solche Regenäcker getroffen, namentlich sind sie häufig in den Daias der Gegend zwischen Laghouat und Ghardaia. Wenn diese im Herbst vom zusammenfließenden Regen überschwemmt und gut durchfeuchtet wurden, so sät der Nomade seinen Weizen hinein und erhält eine bescheidene Ernte, selbst wenn im Frühjahr kein Regen mehr fällt. Kommen Frühjahrsregen hinzu, so kann es eine sehr gute Ernte geben. Das ist also Ackerbau auf Bodenfeuchte, aber nicht auf Grundwasser, sondern ganz und gar vom örtlichen

Regen abhängig. Dieser unregelmäßige Ackerbau auf regenbedingte Bodenfeuchte, so nützlich er dem Nomaden sein kann, ist bei der Spärlichkeit solcher Äcker nur eine sehr untergeordnete Erscheinung der Landschaft. Die geographisch wichtige Grenze, bis zu der die Kulturlandschaft reicht, ist die Trockengrenze des *regelmäßigen* Ackerbaus auf Regenfall.

Die Trockengrenze des Waldes.

Ebenfalls eine wichtige geographische Grenze ist die Trockengrenze des Waldgürtels der gemäßigten Breiten gegen den Steppen- und Wüstengürtel. Die ausgezeichnete Carte Phytogéographique von MAIRE im Atlas d'Algérie et de Tunisie erlaubt, sie genau festzustellen. Man kann allerdings bei einigen Pflanzenassoziationen im Zweifel sein, ob man sie den Wäldern oder den Steppen zurechnen will. Der dichte Busch aus wilden Ölbäumen, *Pistacia lentiscus* u. a., ist eine typische mediterrane Hartlaubmachie und gehört zum Waldgürtel; das zeigt schon seine Verbreitung zwischen den Wäldern des Tellatlas. Die Assoziation des laubwerfenden Dornstrauchs *Zizyphus lotus* und die des Wacholders (*Juniperus phoenicea*) dagegen finden sich im Steppengürtel. Wacholdergehölze bekleiden die aus der Steppe aufragenden Gebirgszüge des Saharaatlas. So locker ihre Bäumchen stehen, so wird man sie doch als Vorposten des Waldes ansehen, zumal die Juniperusformation mit dem Aleppokiefernwald viel Gemeinsames hat. Die Bestände von *Zizyphus lotus* dagegen, die heute meist durch Getreideland ersetzt sind, bekleideten weite Flächen des Steppenhochlands. Sie sind wohl auch im Naturzustand kaum jemals dichter Dornbusch gewesen, sondern Dornbuschsteppe, so daß wir diese Assoziation der Steppe zurechnen. Dann ergibt sich eine klare Grenze des Waldgürtels. Sie fällt etwa mit dem Südrande des Tellatlas zusammen. Die aus der Steppe aufragenden Gebirge gehören jedoch dem Wald an. Die Reihe der Hodnaberge, das Auresgebirge und das tunesische Mittelgebirge (Dorsale Tunisienne) bilden einen nur durch schmale Steppenlücken unterbrochenen Waldstreifen, der durch die Steppen des Hochlandes von Constantine vom Waldgebirge des Tellatlas getrennt ist. Die Käme des westlichen Saharaatlas mit ihren Wacholderbeständen sind nur isolierte Vorposten des Waldes.

Am Südrande des Tellatlas fällt die Waldgrenze nahe zusammen mit der PENCKschen Trockengrenze. Im Saharaatlas dagegen reicht sie noch weit über die Trockengrenze des Ackerbaus hinaus. Diese überraschende Verschiedenheit beruht hauptsächlich darauf, daß es sich im Tellatlas um *Quercus ilex*- und *Pinus halepensis*-Wald handelt, im Saharaatlas aber um Bestände von *Juniperus phoenicea*. Dazu kommt wohl noch, daß am Südrand des Tellatlas der Wald durch die Bodenbeschaffenheit weiter zurückgedrängt ist, als die Trockenheit allein es erforderte. Er ist auf die Berghänge beschränkt. Auf der Hochfläche macht er dem *Zizyphus*bestand und den Kornfeldern Platz.

Elektroöfen in der Metallurgie.

VON KARL WILLY WAGNER, Berlin.

1. Überblick.

Die elektrische Heizung der in der Metallurgie verwendeten Öfen hat gegenüber der Heizung mit Brennstoff (Kohle, Öl oder Gas) eine Reihe von Vorteilen, die ihr wichtige Anwendungsgebiete erschlossen haben; die Hauptvorteile sind:

1. Die Wärme wird unmittelbar am Ort ihres Bedarfs erzeugt, so daß die Wärmeverluste auf ein Mindestmaß herabgesetzt sind und ein guter Wirkungsgrad erzielt wird.

2. Die Temperatur kann dem Erfordernis des jeweiligen Arbeitsvorganges genau angepaßt werden.

3. Die Wärmezufuhr läßt sich leicht feinstufig einstellen, so daß schädliche Überhitzung und Wärmeverluste vermieden werden.

4. Die leichte Regelbarkeit der Wärmezufuhr und der Temperatur sichert die gleichmäßige Durchführung des Arbeitsganges beim Legieren und Schmelzen und bietet hiermit die Gewähr für die Erzeugung eines Werkstoffes von gleichmäßig hoher Güte.

5. Durch die einfache und leichte Bedienung der Elektroöfen wird der Betrieb vereinfacht; die Lohnkosten werden vermindert und die Erzeugung gesteigert.

6. Es tritt keine chemische Verunreinigung des Heiz- oder Schmelzgutes durch Verbrennungsgase oder unverbrannten Brennstoff ein; auch kann man das Heizen oder Schmelzen erforderlichenfalls im Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre vornehmen.

7. Da im Betrieb der Elektroöfen sehr viel weniger schädliche Gase und Metaldämpfe entstehen und entweichen als bei der Verbrennungsheizung, werden die gesundheitlichen Betriebsverhältnisse wesentlich verbessert.

In ihrer Gesamtheit wirken sich die genannten Vorteile vor allem in einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Betriebes und einer Verbesserung der Erzeugnisse aus.

Daher hat sich die elektrische Heizung besonders in der Herstellung von hochwertigen Metallegierungen und für das Umschmelzen von Metallen und Legierungen in großem Maßstabe eingeführt. So ist z. B. die Herstellung von Elektrostahl in Deutschland 1938 auf mehr als das Zehnfache der im Jahre 1932 erzeugten Menge gestiegen.

Die elektrische Heizung wird hauptsächlich in den folgenden Formen angewandt:

- a) Im Widerstandsofen,
- b) im Lichtbogenofen,
- c) im Induktionsofen; von diesem sind zwei Arten im Gebrauch:

1. Der Niederfrequenzofen mit Eisenkern.
2. Der kernlose oder Hochfrequenzofen.

Im *Widerstandsofen* wird die Wärme in einem vom elektrischen Strom durchflossenen Heizkörper erzeugt. Von diesem wird die Wärme entweder durch Strahlung unmittelbar auf das Heizgut übertragen oder mittelbar durch Heizung des Behälters, in dem sich das Heizgut befindet.

Im *Lichtbogenofen* entsteht die Wärme in einem elektrischen Lichtbogen, den man entweder zwischen besonderen Elektroden oberhalb des Heizgutes brennen läßt, oder zwischen einer Elektrode und dem Heizgut.

Der *Induktionsofen* ist ein elektrischer Transformator. Der Schmelztiegel ist von einer Primärwicklung umgeben. Der in ihr fließende elektrische Strom er-

zeugt in dem Schmelzgut im Innern des Tiegels Induktionsströme, die das Schmelzgut heizen und schmelzen; dieses bildet somit den Sekundärkreis des Transformators.

2. Der Widerstandsofen.

Der Widerstandsofen wird zum Schmelzen, vor allem zum Umschmelzen von Leichtmetallen, namentlich von Aluminium, sowie für die verschiedensten anderen Heizzwecke benutzt; z. B. zum Härten, Glühen, Anlassen, Emaillieren und Trocknen.

Fig. 1 zeigt als Beispiel die grundsätzliche Anordnung eines kippbaren *Aluminium-Tiegelschmelzofens*¹⁾. Man erkennt in der Mitte den Graphittiegel mit dem

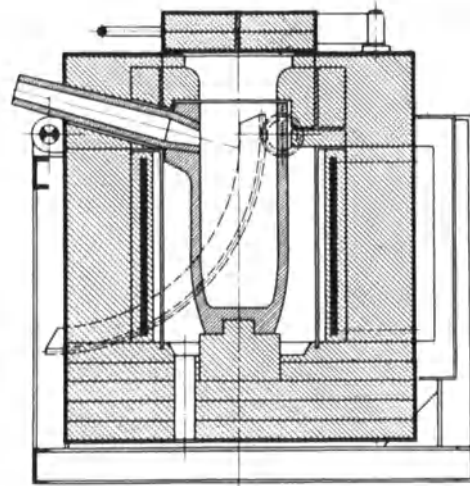


Fig. 1. Kippbarer Tiegelschmelzofen für Aluminium mit Graphittiegel. (Werkzeichnung Russ-Elektroöfen.)

Ausgußstutzen, umgeben von der Heizwicklung (der stark schwarz gezeichnete Zylinder). Die Heizwiderstände vertragen Temperaturen von 1150–1200°; bei Badtemperaturen bis 900° und einem Gefälle von 150° zwischen Bad und Heizkörper sind sie also noch nicht bis zur zulässigen Grenze belastet. Bei Leichtmetallen mit meistens wesentlich niedrigeren Schmelztemperaturen ist die Beanspruchung entsprechend geringer und die Lebensdauer der Widerstände sehr hoch.

Das Fassungsvermögen solcher Öfen ist auf etwa 100 kg begrenzt, weil der Tiegel beim Kippen eine höhere Belastung nicht aushält. Das Schmelzen dauert etwa 1½ Stunde und erfordert 65–70 kWh für 100 kg Aluminium. Der Abbrand ist mit 0,4–0,5% sehr gering.

Als *Vakuum-Schmelzofen* wurde der Widerstandsofen besonders von W. ROHN²⁾ (*Heraeus Vacuum-*

¹⁾ Russ-Berichte 8, H. 1, 7 (1939).

²⁾ W. ROHN, Technische Eigenschaften vakuumgeschmolzener Metalle. Z. Metallkde. 1929, H. 1. — „Elektrische Öfen“. Chem. Fabrik 5, 113 (1932). — „Die Entwicklung der Heraeus-Vacuumschmelze A.-G. von 1923–1933.“

W. EILENDER, A. v. BOHLEN u. HALBACH u. O. MEYER, „Zur Erschmelzung von Stählen im Vakuum“. Arch. Eisenhüttenw. 7, 493 (1933/34).

schmelze A.G.) ausgebildet und zur Herstellung von Legierungen mit besonderen Eigenschaften verwendet; so z. B. Chrom-Nickellegierungen für Thermoelemente als Ersatz für Platin-Rhodium; Nickel-Eisenlegierungen für Stromeinführungen in Vakuumröhren an Stelle von Platin, zur Herstellung von Stählen, die weitgehend von Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff und Wasserstoff befreit sind, und für andere Zwecke. Für Temperaturen bis 2100° lassen sich Heizelemente aus

körpern unterhalten, wodurch eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung herbeigeführt wird¹⁾.

3. Der Lichtbogenofen.

Schon 1879 hat WILLIAM SIEMENS in einem Patent einen Lichtbogenofen beschrieben, aber erst 1906 ging der von HEROULT entwickelte erste praktisch verwertbare Ofen in Betrieb. Heute werden Öfen bis zu 40 t Fassung gebaut. Fig. 2 zeigt einen Drehstrom-Licht-

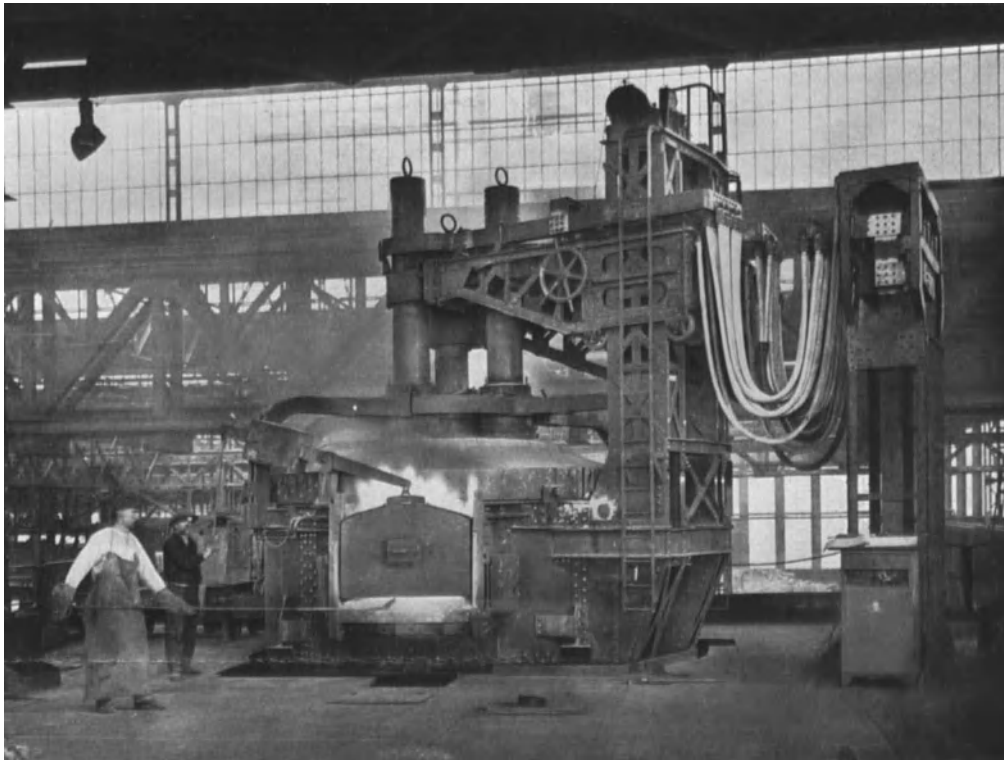


Fig. 2. Lichtbogen-Drehstromofen für 15 t Fassung. (Werkphoto Siemens.)

Molybdän, bis 2800° solche aus Wolfram, bis 3000° solche aus Kohle oder Graphit verwenden.

In sehr großem Umfang wird der elektrische *Widerstandsofen zur Warmbehandlung von Leichtmetallen* verwendet. Sie ist u. a. für die folgenden Arbeitsgänge und Zwecke erforderlich:

1. Zur Warmverformung werden die rohen Werkstücke auf Temperaturen von $300-520^{\circ}$ angewärmt.
2. Kaltverformtes Halbzeug wird weichgeglüht, um die weitere Verformbarkeit zu erreichen.

3. Um hohe Festigkeit zu erzielen, werden bestimmte Legierungen einer meistens mehrstufigen Wärmebehandlung unterzogen; man glüht sie bei $500-560^{\circ}$, schreckt sie danach ab und „altert“ sie anschließend bei Temperaturen von $100-200^{\circ}$.

Es kommen Temperaturen unter 600° in Frage, wobei es meistens auf eine sehr genaue Einstellung und Einhaltung der Temperatur ankommt. Die elektrischen Heizkörper werden zweckmäßig in einer Nebenkammer eingebaut, so daß das Heizgut nicht von der Strahlung getroffen werden kann. Mittels Lüfters wird ein gleichförmiger Umlauf der Luft zwischen dem Ofenraum und der Kammer mit den Heiz-

bogenofen für 15 t. Der Ofen wird über Umspanner aus dem Drehstrom-Hochspannungsnetz gespeist. Die

¹⁾ E. GRIMM, „Gesichtspunkte beim Bau elektrischer Widerstandsöfen“. Siemens-Z. 17, 285 (1937).

K. TAMELE, „Elektrische Warmbehandlungsöfen für die Stahlverarbeitung“. Siemens-Z. 17, 291 (1937).

U. ASCHMANN, „Leichtmetallverarbeitung und Elektrowärme“. Siemens-Z. 17, 300 (1937).

E. SCHMIDT, „Widerstandsbeheizte Industrieöfen“. AEG-Mitt. 1938, 133.

K. A. LOHAUSEN u. G. SCHUMANN, „Berechnungsgrundlagen von elektrischen Widerstandsöfen, insbesondere mit Luftumwälzung“. AEG-Mitt. 1939, 392.

K. A. LOHAUSEN u. G. SCHUMANN, „Temperatur-Regleinrichtungen und Schaltanlagen für elektrische Öfen“. AEG-Mitt. 1939, 415.

G. SIMON, „Das Arbeiten mit Schutzgasen im elektrischen Ofen“. AEG-Mitt. 1939, 407.

Russ-Elektroöfen K.G., „Das elektrische Schmelzen und Warmbehandeln in Leichtmetallwerken“. Russ-Berichte 8, 1 (1939).

G. SIMON, „Das Hartlöten im elektrischen Ofen“. AEG-Mitt. 1941, 20.

Lichtbögen brennen zwischen den drei Elektroden, die an je einer Phase angeschlossen sind, und dem Schmelzgut. Die Spannung zwischen den Elektroden beträgt, je nach der Ofengröße, zwischen 120 und 240 Volt für das Einschmelzen und zwischen 60 und 140 Volt für das Fertigmachen. Der Umspanner ist mit Anzapfungen versehen, denen mittels eines Regelschalters die erforderliche Spannung entnommen wird. *Drossel-spulen*, die zwischen Ofen und Netz geschaltet sind, mildern die beim Einschmelzen auftretenden Stromstöße. Wenn mit Rücksicht auf den Strompreis ein hoher Leistungsfaktor erstrebt werden muß, werden *Kondensatoren* zur Hergabe der erforderlichen Blindleistung hinzugeschaltet. Diese haben außerdem die Wirkung, die Stromstöße weiter herabzusetzen, was zur Verminderung der Schwankungen der Netzspannung manchmal notwendig ist.

Der Lichtbogenofen hat zwei Hauptanwendungsgebiete, nämlich

- a) als Schmelzofen,
- b) als Reduktionsofen.

Beim *Schmelzofen* zur Stahlbereitung wird der Lichtbogen meistens zwischen Elektrode und Schmelzgut erzeugt, während zum Schmelzen von hochwertigem Grauguß und von Kupferlegierungen der Lichtbogen zwischen den Elektroden oberhalb des Schmelzguts brennt und dieses also indirekt durch Strahlung heizt. Dadurch wird örtliches Überhitzen der Schmelze und unnötiges Verdampfen oder unerwünschte chemische Reaktion vermieden. Öfen dieser Art werden häufig mit drehbarem oder hin- und herschwingendem Herd (sog. Schaukelöfen) ausgeführt, um eine gleichmäßigere Beheizung und gutes Durchmischen der Schmelze zu erzielen.

Wesentlich verbessert wurde der Betrieb des Lichtbogenofens durch die sog. *Korbbesickung*. Hierbei wird die ganze aus Schrott, Blöcken usw. bestehende Charge mittels eines eisernen Korbes von der Größe des inneren Ofenraumes auf einmal eingebracht. Der Korbboden besteht aus Lamellen; diese lösen sich bei der Berührung mit dem heißen Ofenboden, worauf der Korb herausgezogen wird. Dadurch wird das Besicken auf 2–3 Minuten abgekürzt, das Ofenfutter wird geschont, man kann sperrigen Schrott mitverwenden und braucht nicht nachzufüllen. Während des Schmelzvorganges wird der Korb neu gefüllt.

Zum Besicken wird der Ofendeckel mit den Elektroden hochgezogen und dann zur Seite gefahren oder ausgeschwenkt; oder das Ofengefäß wird ausgefahren.

Der *Reduktionsofen* dient zur Herstellung von Ferrolegerungen, wie Ferrosilizium, Ferrochrom, Ferrowolfram, Ferrovandium, Ferrotitan und Ferromolybdän, ferner von Korund, Kalziumkarbid, zur Reduktion von Zinnerzen, zur Bereitung von Ferromangan aus Manganerz und anderen elektrochemischen Produkten.

Lichtbogenöfen werden in Größen bis 7500 kW vielfach gebaut; Höchstleistungen sind 20 000 kW und mehr¹⁾.

¹⁾ R. GROSS, „Die neuzeitlichen metallurgischen Elektroschmelzöfen“. Siemens-Z. 17, 259 (1937).

F. WALTER, „Wissenschaftliche Grundlagen der Lichtbogenheizung“. Siemens-Z. 17, 275 (1937).

M. KAUCHTSCHISCHWILI, „Aufgaben des Lichtbogen-Reduktionsofens in der Eisen-, Metallhütten- und chemischen Industrie“. Siemens-Z. 17, 281 (1937).

A. DRILLER, „Die Entwicklung des Lichtbogen-Stahlofens im letzten Jahrzehnt“. AEG-Mitt. 1939, H. 9, 422.

R. DURRER, „Die elektrische Verhüttung von Eisenerzen“. ETZ 1940, 1065.

4. Der Niederfrequenz-Induktionsofen.

Den Aufbau eines solchen Ofens zeigt Fig. 3.

Um bei der Netzfrequenz von 50 Hertz hinreichend starke Induktionsströme in dem Schmelzgut zu erhalten, muß man für einen kräftigen magnetischen Fluß und einen den Fluß umschließenden gut leitenden Stromweg im Schmelzgut sorgen. Das Magnetfeld wird in einem magnetisch geschlossenen Eisenkern *a* erzeugt. Der Kern trägt die Primärwicklung *b*; außerdem läuft um den Kern eine röhrenförmige Schmelzrinne. Die beiden Enden der Schmelzrinne münden in den Boden des eigentlichen Schmelztiegels. Die Schmelzrinne muß stets mit Metall gefüllt sein, und auch im Tiegel muß ein Rest von Metall stehenbleiben, damit der sekundäre Stromweg nicht unterbrochen wird.

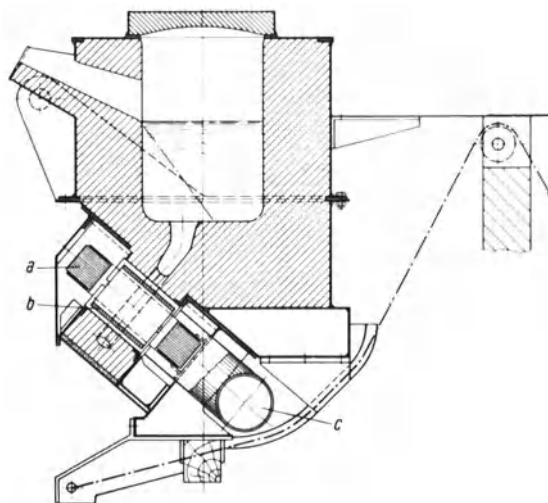


Fig. 3. Schnitt durch einen Niederfrequenz-Induktionsofen. (Werkzeichnung Siemens.)

Der in ihm induzierte Strom erwärmt das Metall in der Rinne und auf dem Boden des Tiegels; von dort überträgt sich die Wärme auf das übrige Schmelzgut. Dadurch, daß das erhitzte Metall aus der Rinne nach oben strömt und durch absinkendes kälteres Metall ersetzt wird, wird die ganze Schmelze rasch und gründlich durchgemischt. Dies ist besonders für die Herstellung von Legierungen wertvoll.

Die Heizleistung wird durch einen Stufentransformator geregelt. Da der Ofen ein Transformator mit geschlossenem Eisenkern ist und die Belastung durch den Sekundärkreis im wesentlichen eine Wirklast darstellt, ist der Leistungsfaktor nicht schlecht. Durch Zuschalten einer Kondensatorbatterie kann man ihn noch verbessern, was in der Praxis auch häufig geschieht.

Der Niederfrequenz-Induktionsofen dient hauptsächlich zum Schmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen, insbesondere Messing, Tombak, Neusilber und Kupfernickel. Hier hat er den öl-, koks- oder gasbeheizten Tiegelschmelzöfen stark zurückgedrängt, vor allem dort, wo es sich um das Schmelzen größerer Mengen im Dauerbetrieb handelt. Ferner verwendet man ihn zum Schmelzen von Leichtmetallen (Reinaluminium und Aluminiumlegierungen, wie Silumin, Hydronalium u. a.) und zur Bereitung von hochwertigem Gußeisen durch Überhitzen von Grauguß und legiertem Sonderguß. Hierbei betreibt man den Induktionsofen vorteilhaft in Verbindung mit einem

gewöhnlichen Kupolöfen. Das in diesem geschmolzene Gußeisen wird im Induktionsofen durch Überhitzen veredelt. Dabei wird die Graphitverteilung im Eisen verfeinert und die Festigkeit erhöht. Ferner kann man durch Zusetzen von Flußeisen den Kohlenstoffgehalt auf ein bestimmtes Maß bringen oder andere Zuschläge, wie Mangan und Chrom, begeben.

Die Größen der Niederfrequenz-Induktionsöfen gehen von etwa 50 kg nutzbarem Abstichgewicht bis 2000 kg für Kupferlegierungen und Leichtmetalle und bis 3000 kg für Gußeisen. Man kann auch größere Öfen herstellen, jedoch liegen die Betriebsverhältnisse meistens so, daß die Öfen mittlerer Größe am wirtschaftlichsten arbeiten.

In geeigneten Fällen werden auch viel größere Öfen als Sonderausführungen gebaut. So z. B. wurde zum Schmelzen von Zink ein N.F.-Induktionsofen für 20 t Fassung erstellt, mit einer Leistung von 550 kVA. Der Ofen ergibt bei 24stündigem Betrieb eine Tagesleistung von 70–80 t Zink und verbraucht eine Energie von 97 kWh je Tonne.

Als besondere Vorteile des Induktionsofens sind das saubere Arbeiten, die große Treffsicherheit bei der Herstellung von Legierungen vorgeschriebener Zusammensetzung und die gleichmäßige Güte des erzeugten Produktes sowie die sehr geringen Verluste durch Abbrand zu nennen.

Die folgende Tafel gibt einige kennzeichnende Betriebszahlen:

	Energieverbrauch kWh/t	Abbrand %	Zahl der Schmelzen mit einem Ofenfutter (24-Std.-Betrieb)
Für Kupfer-Zink-Legierungen bis 72%	190–230	0,6–0,9	3000–10000
Für hochprozentige Kupferlegierungen . .	270–330	0,5–0,7	600–3000
Für Reinaluminium und Aluminiumlegierungen	460–560	0,4–0,5	5000–10000

Der Energieverbrauch für das Schmelzen und Überhitzen von Gußeisen beträgt etwa 450 kWh/t, für das Überhitzen allein etwa 50–80 kWh/t.

Ein Nachteil des Niederfrequenz-Induktionsofens besteht darin, daß er als einphasiger Apparat das Drehstromnetz einseitig belastet. In größeren Betrieben, in denen immer mehrere Öfen gleichzeitig laufen, kann man die Belastung durch den Anschluß der Öfen an verschiedene Netzphasen mehr oder weniger ausgleichen. Auch hat man neuerdings Öfen mit zwei oder drei Schmelzrinnen zum Anschluß an Drehstrom entwickelt¹⁾.

¹⁾ E. FR. RUSS, „Die elektrodynamischen Badbewegungen bei Induktionsöfen“. Arch. Eisenhüttenw. 4, 277 (1930/31).

J. TOSTMANN u. F. WALTER, „Die Entwicklung neuzeitlicher Metallschmelzöfen“. Siemens-Z. 17, 18 (1937).

R. GROSS, „Die neuzeitlichen metallurgischen Elektroschmelzöfen“. Siemens-Z. 17, 259 (1937).

Russ-Berichte 6, H. 2 (1937) (Niederfrequenz-Induktionsschmelzöfen für Schwermetalle, Leichtmetalle und Eisen); 7, H. 2 (1938) (Niederfrequenz-

5. Der Hochfrequenz-Induktionsofen.

Der Hochfrequenz-Induktionsofen (Fig. 4) heißt auch kernloser Induktionsofen, weil er keinen Eisenkern hat. Die vom Netz gespeiste Primärspule umgibt den Tiegel und erzeugt durch Induktion in dem im Tiegel befindlichen leitenden Schmelzgut Wirbel-



Fig. 4. Hochfrequenz-Induktionsofen für 5 t Fassung. (Werkphoto AEG.)

ströme, die es erhitzen und schmelzen (Fig. 5). Die Spule wird aus Kupferrohr von rechteckigem Querschnitt ausgeführt und mit Wasser gekühlt. Für einen Ofen mit 6 t Fassungsvermögen hat die Spule 1160 mm Innendurchmesser, 1230 mm Höhe und wiegt 2,5 t.

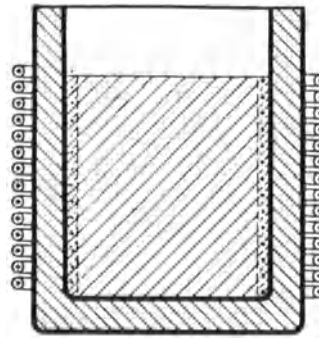


Fig. 5. Primär- und Sekundärstrom im kernlosen Induktionsofen.

Damit hinreichend starke Wirbelströme entstehen, muß die Frequenz innerhalb eines gewissen Bereichs liegen; die günstigste Frequenz steht im umgekehrten Verhältnis zur Ofengröße und zu den Abmessungen des zu schmelzenden Einsatzes. Man verwendet¹⁾

Induktionsschmelzöfen für Eisenguß); 8, H. 1 (1939) (Das elektrische Schmelzen und Warmbehandeln in Leichtmetallwerken).

F. ESSMANN, „Niederfrequenz-Induktionsschmelzöfen für Leichtmetalle“. Metallwirtsch. 17, H. 9 (1938).

M. KRÜGER, „Niederfrequenz-Induktionsöfen“. AEG-Mitt. 1939, 419.

¹⁾ W. ESMARCH, „Zur Theorie der kernlosen Induktionsöfen“. Wiss. Veröff. Siemens-Konzern 10, 172 (1931); desgl. Siemens-Z. 17, 269 (1937).

für kleinste Laboratoriumsöfen . . . 10^5 — 10^6 Hz,
für mittlere Laboratoriumsöfen bis
10 l Fassung 6000—10000 Hz,
für mittlere Öfen, 15—20 l Fassung etwa 2000 Hz,
für große Öfen (100 l und mehr) 500—1000 Hz.

Die ersten industriellen Hochfrequenzöfen wurden in Deutschland 1926 aufgestellt. 1931 wurde bei Friedr. Krupp, Essen, ein H.F.-Ofen für 750 kg Einsatz mit einer Leistung von 300 kW und der Frequenz 450 Hz in Betrieb genommen. Um 1933/34 wurden schon Öfen für 4 t Einsatz gebaut; 1936 Öfen für 6 t und 1938 solche für 8 t¹⁾.

¹⁾ Einen Überblick über die Entwicklung des Hochfrequenz-Induktionsofens gibt die nachstehende Liste von Veröffentlichungen, die aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt; die Arbeiten selbst enthalten weitere Schrifttumhinweise.

F. KÖRBER, F. WEVER u. H. NEUHAUSS, „Über die Verwendung des H.I.O. für die Edeltahlerzeugung“. Stahl u. Eisen **46**, 1641 (1926).

F. WEVER u. W. FISCHER, „Zur Kenntnis des H.I.O., Teil I“. Mitt. K. Wilh.-Inst. Eisenforsch. **8**, 149 (1926).

F. WEVER u. K. NEUHAUSS, „Zur Kenntnis des

Nicht nur die Größe, sondern auch die Anzahl der in Betrieb genommenen Hochfrequenzöfen hat von Jahr zu Jahr sehr stark zugenommen.

Das Hauptanwendungsgebiet dieses Ofens ist die Herstellung von Edeltahl aller Art.

Der zum Betrieb des kernlosen Induktionsofens nötige Hochfrequenzstrom wird in einer Umformeranlage erzeugt, bestehend aus dem vom Netz gespeisten Motor und dem vom Motor angetriebenen Hochfrequenzgenerator. Diese Generatoren werden bei Leistungen bis etwa 300 kW und für Frequenzen von 1000 Hertz aufwärts als Gleichpolmaschinen, für Frequenzen unter 1000 Hertz als Wechseipolmaschinen gebaut¹⁾.

Da die Ofenspule keinen geschlossenen Eisenkreis hat, ist der Leistungsfaktor sehr niedrig und muß durch Kondensatoren verbessert werden, die zur Ofenspule parallel geschaltet werden. Die von den Kondensatoren herzugebende Blindleistung liegt zwischen dem 11- und 15fachen der Generatorleistung.

Die Leistungsaufnahme und der Leistungsfaktor unterliegen während einer Schmelzperiode erheblichen Schwankungen. Zu Beginn des Schmelzens von Schrott ist der innere Widerstand des Einsatzes hoch und die aufgenommene Leistung klein; diese steigt während des Schmelzens auf einen Höchstwert und nimmt dann

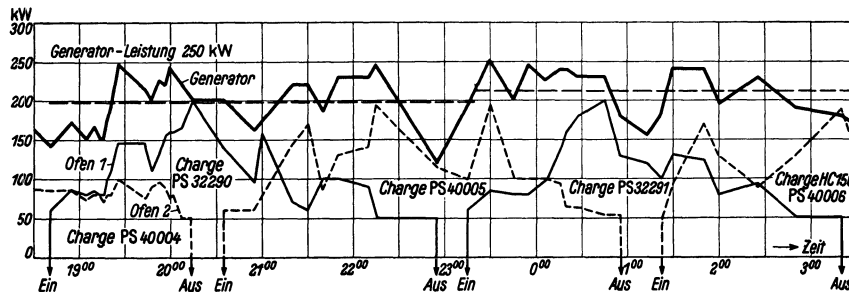


Fig. 6. Belastungsdiagramm des Hochfrequenzgenerators während des Arbeitens der beiden angeschlossenen Öfen. (Werkzeichnung Siemens.)

H.I.O., Teil II“. Mitt. K. Wilh.-Inst. Eisenforsch. **8**, 171 (1926).

F. WEVER u. G. HINDRICH, „Zur Metallurgie d. H.I.O.“. Arch. Eisenhüttenw. **1**, H. 5 (1927).

M. TAMA, „Fortschritte im Bau von Hochfrequenz-Ofenanlagen“. Stahl u. Eisen **1929**, H. 15.

H. NEUHAUSS, „Fortschritte in Metallurgie und Betrieb des Hochfrequenzofens“. Stahl u. Eisen **1929**, H. 19.

O. DÖRRENBURG u. N. BROGLIO, „Die Erzeugung von Edeltählen im kernlosen Induktionsofen“. Stahl u. Eisen **1930**, H. 19.

C. TAMA, „Das Feinen von Ferrochrom im kernlosen I.O.“. Arch. Eisenhüttenw. **4**, 55 (1930/31).

N. BROGLIO, „Fortschritte in Bau und Betrieb des kernlosen I.O. zur Stahlerzeugung“. Stahl u. Eisen **51**, 605 u. 635 (1931).

H. SIEGEL, „Die Herstellung schlackenbeständiger Tiegel für den kernlosen I.O.“. Arch. Eisenhüttenw. **7**, 21 (1933/34).

P. BARDENHEUER u. W. BOTTENBERG, „Die Entphosphorung und Entschwefelung im kernlosen I.O.“. Arch. Eisenhüttenw. **7**, 229 (1933/34).

W. BOTTENBERG, „Bau und Betrieb eines kernlosen Vakuum-Induktionsofens“. Arch. Eisenhüttenw. **7**, 233 (1933/34).

A. E. G., ABT. INDUSTRIE, „Hochfrequenz-

wieder ab, weil der flüssige Einsatz einen sehr kleinen inneren Widerstand hat und fast wie eine kurzgeschlossene Schmelzöfen für je 4 t Einsatz bei der Friedr. Krupp A.G. Essen“. AEG-Mitt. **1934**, 33.

P. BARDENHEUER u. W. BOTTENBERG, „Die Erzeugung von Werkzeugstahl im kernlosen I.O.“. Arch. Eisenhüttenw. **8**, 1 (1934/35).

F. PÖLZGUTER, „Über die Bauart und Anwendung des kernlosen Induktionsofens im Elektrostahlbetrieb“. Stahl u. Eisen **55**, 773 (1935).

F. BADENHEUER, „Bau und Betrieb großer kernloser Induktionsöfen“. Stahl u. Eisen **55**, 821 (1935).

BOER, „Aus der Praxis mit großen Hochfrequenzöfen“. Siemens-Z. **16**, 255 (1936).

R. GROSS, „Die neuzeitlichen metallurgischen Elektroschmelzöfen“. Siemens-Z. **17**, 259 (1937).

H. BECKMANN, „Der Hochfrequenzschmelzöfen“. Druckschr. d. AEG v. Febr. 1939.

O. DÖRRENBURG u. W. BOTTENBERG, „Verbesserte Schmelztechnik im kernlosen Induktionsofen“. Stahl u. Eisen **60**, 116 (1940).

C. W. PFANNENSCHMIDT, „Eignung des Hochfrequenzofens für Eisengießereien“. Mitt. Forschungsanst. Gutehoffn.-H. Oberhausen **8**, 71 (1940). AEG-Mitt. **1940**, 133.

¹⁾ H. BECKMANN, „Der Hochfrequenzschmelzöfen“. Druckschrift der A.E.G. vom Februar 1939.

sene Sekundärspule wirkt. Die Leistungsaufnahme braucht dann auch nur noch die Wärmeverluste zu decken.

Die große Veränderlichkeit der vom Ofen aufgenommenen Leistung bewirkt, daß der Hochfrequenzgenerator nur schlecht ausgenutzt ist. Um dies zu verbessern, werden dort, wo der Betrieb es zuläßt, zwei Öfen an den Generator angeschlossen und so betrieben, daß die Leistungsminima des einen mit den Leistungsmaxima des anderen Ofens zusammenfallen. Das folgende Betriebsbeispiel¹⁾ zeigt den Nutzen dieser Maßnahme (Fig. 6). Bei einem Ofen mit einer Höchstaufnahme von 200 kW schwankt die Aufnahme von Null in der Zeit des Ausgusses und Neubeschickens bis 200 kW auf dem Höhepunkt des Schmelzvorgangs. Die Durchschnittsbelastung ist 100 kW. Der für 200 kW gebaute Generator wird also nur halb ausgenutzt. Speist man dagegen 2 Öfen, wie vorher angegeben, aus einem Generator für 250 kW, so erzielt man eine Durchschnittsbelastung von 200 kW (= 80% Ausnutzung) mit Schwankungen von nur ± 50 kW.

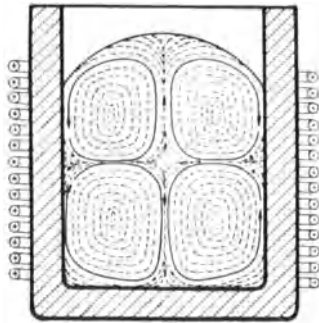


Fig. 7. Schematische Darstellung der Badbewegung im Tiegel des Hochfrequenzofens.

Wegen der mit den Leistungsschwankungen einhergehenden Schwankungen des Leistungsfaktors wird die Kondensatorbatterie regelbar eingerichtet. Gewöhnlich ist die Hälfte der Batterie in 6–8 Gruppen schaltbar; die kleinste Gruppe hat 3% der Gesamtkapazität, und die übrigen Gruppen sind so bemessen, daß jeweils 3% zu- oder abgeschaltet werden können.

Das hochfrequente Streufeld der Ofenspule erzeugt in der eisernen Tragkonstruktion des Ofens Wirbelströme, die zu unzulässiger Erwärmung und entsprechenden Leistungsverlusten führen können. Um diesen Nachteil zu vermeiden, hat man verschiedene Wege beschritten. Bei der einen Bauweise werden die in der Nähe der Ofenspule befindlichen Tragbalken aus unmagnetischem Stahl hergestellt; sie sind mit dem übrigen Gestell, das aus Profileisen besteht, isoliert verschraubt, damit keine geschlossenen Stromwege im Gestell entstehen. Nach der anderen Bauweise wird die ganze Tragkonstruktion durch einen *geschlossenen Kupfermantel* abgeschirmt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß das Traggestell im wesentlichen nach rein mechanischen Gesichtspunkten gebaut werden kann; nur dort, wo die Abschirmung nicht ausreicht, ist unmagnetischer Werkstoff zu verwenden.

Das magnetische Feld im Innern des Tiegels übt auf den von den Wirbelströmen durchsetzten geschmolzenen Einsatz starke elektrodynamische Kräfte aus. Unter dem Einfluß dieser Kräfte bewegt sich die

Flüssigkeit in der Mitte des Tiegels radial nach der Achse hin; dort quillt sie teils nach oben, teils fällt sie nach unten und strömt dann an der Tiegelwand von oben fallend, bzw. von unten steigend wieder zur Mitte hin (Fig. 7). Diese Badbewegung ist sehr lebhaft und bewirkt ein gründliches Durchmischen des Tiegelinhalts innerhalb kürzester Zeit. Das ist für die Herstellung vieler Legierungen vorteilhaft und gewährleistet ein sehr gleichmäßiges Erzeugnis.

Der Hochfrequenzofen hat innerhalb weniger Jahre besonders zur Herstellung von Edeltählen ein ausgedehntes Anwendungsfeld gefunden. Hier hat er gegenüber allen anderen Ofenarten entscheidende Vor-

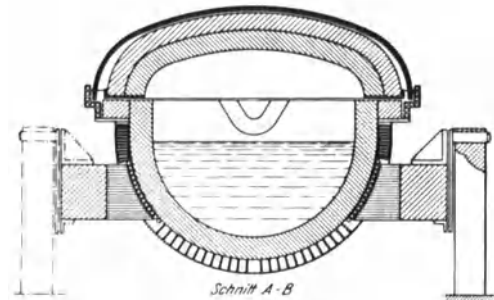


Fig. 8. Dreipoliger Induktionsofen (1,75 t Fassung) für normalen Drehstrom (50 Hz). (Werkzeichnung Heraeus-Vacuumschmelze.)

teile. Der geringe Abbrand und die Abwesenheit schädlicher Ofengase gewährt die Sicherheit, daß die gewünschte Zusammensetzung der Legierung viel besser eingehalten wird als in anderen Öfen; durch die Badbewegung werden die Bestandteile gut durchgemischt; man kann die Temperatur genau einstellen und leicht einhalten. So leistet der Hochfrequenzofen im rauen industriellen Massenbetrieb dieselbe metallurgische Präzisionsarbeit im großen wie ein fachmännisch überwachter Laboratoriumsofen im kleinen.

Ein Vorteil des kernlosen Hochfrequenzofens gegenüber dem Niederfrequenzofen besteht auch darin, daß man nach einer verhältnismäßig einfachen Reinigung des Tiegels verschiedene Arten von Legierungen hintereinander schmelzen kann. Beim Niederfrequenzofen erfordert hingegen der Übergang zu einem anderen Einsatz eine vollständige Entleerung und umständliche Reinigung der engen Schmelzrinne; außerdem muß diese mit flüssigem Einsatz neu gefüllt werden.

¹⁾ R. GROSS, a. a. O. S. 268.

Obleich H.F.-Öfen bis zu 8 t Einsatz im Betrieb sind und noch größere Öfen ohne weiteres gebaut werden können, überwiegen die Öfen mittlerer Größe bei weitem. Der Energieverbrauch beträgt etwa

beim Ofen zu 0,5 t . .	850 kWh/t
1 t . .	775 kWh/t
4 t . .	600—700 kWh/t
6 t . .	500—600 kWh/t.

Die Schmelzzeit liegt zwischen $1\frac{3}{4}$ und $2\frac{1}{2}$ Stunden; im fortlaufenden Betrieb kann man in Öfen bis 6 t Einsatz in 24 Stunden 5—10 Chargen verfahren, je nach Art und Güte des gewünschten Erzeugnisses.

Der Betrieb des Hochfrequenzofens läßt mancherlei Abwandlungen zu; so hat es sich als nützlich erwiesen, bei der Stahlbereitung den Hochfrequenzstrom nur zum Einschmelzen zu benutzen, dagegen für den anschließenden Feinungsprozeß den Ofen auf Netzfrequenz (50 Hertz) umzuschalten.

Eine bemerkenswerte Sonderausführung eines Induktionsofens für Drehstrom der gewöhnlichen Netzfrequenz 50 Hz rührt von W. ROHN¹⁾ her und ist in Fig. 8 veranschaulicht. Der an das Netz angeschlossene Primärteil entspricht in seiner Bauart etwa dem Ständer eines Drehstrominduktionsmotors mit ausgeprägten Polen. Der Einsatz bildet den Kurzschlußanker. Vor den Polen befindet sich ein Gitterwerk von Wasserkühlröhren. In diesem Ofen kann auch im Vakuum oder in einer Schutzgasatmosphäre geschmolzen werden. Die Schmelze führt in dem magnetischen Drehfeld eine langsame Umlaufbewegung um die senkrechte Mittelachse aus, der sich eine turbulente Strömung längs der drei neutralen Mittellinien des Magnetfeldes überlagert (s. Fig. 9). Diese Badbewegung ist besonders günstig, wenn es auf die Durchführung von größeren Schlackenreaktionen ankommt. Bei dem Hochfrequenz-Induktionsofen wird die Schlacke durch eigentümliche Badbewegung (s. Fig. 7) nach außen

¹⁾ W. ROHN, „Induktionsofen für Drehstrom von Netzfrequenz“. Druckschrift der Heraeus-Vacuumschmelze A.G. in Hanau.

gegen die Tiegelwand getrieben, staut sich dort, kühlt ab und greift unter Umständen die Zustellung an. Dagegen sammelt sich im vorliegenden Falle die

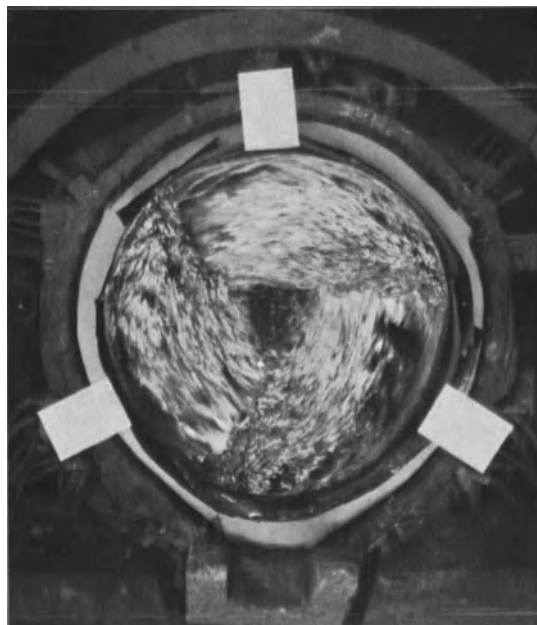


Fig. 9. Badbewegung beim Ofen nach Fig. 8. (Werkphoto Heraeus-Vacuumschmelze.)

Schlacke in der flachen schüsselförmigen Vertiefung, die die rotierende Badoberfläche bildet; an den Stellen der turbulenten Badbewegung wird sie fein zerteilt und in das Bad gerührt, was die Reaktion sehr beschleunigt.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Zur Frage des biologischen Wirkungsmechanismus der Strahlung.

Die Erforschung der biologischen Strahlenwirkung hat eine grundsätzliche Schwierigkeit zu überwinden, die darin besteht, daß zwischen den Primärvorgängen bei der Aufnahme der Strahlenenergie durch die Atome bzw. Moleküle des lebenden Objektes und der an diesem abgelesenen Testreaktion gewöhnlich eine Reihe von unbekanntem, nicht ohne weiteres erfassbaren Vorgängen liegt, die physikochemischer oder biologischer Natur sein können. Es war deshalb auch nur in relativ seltenen Fällen möglich, in einwandfreier, d. h. völlig zwingender Weise aus der Testreaktion auf die Primärvorgänge zu schließen. Erstmals hat dies GLOCKER¹⁾ in seinen bekannten Untersuchungen über die Abhängigkeit der Strahlenschädigungskurve von der Wellenlänge der angewandten Röntgenstrahlen getan.

Versuche, aus der Temperaturabhängigkeit der biologischen Strahlenreaktion auf den der Reaktion zu Grunde liegenden photochemischen Prozeß zu schließen, waren dagegen bisher erfolglos. Es ergab sich bei allen untersuchten Reaktionen stets ein mehr oder weniger großer Temperaturkoeffizient, der durch Zwischenprozesse chemischer bzw. biologischer Natur bedingt sein kann. Ob dies der Fall ist, kann durch Untersuchung der Wellenlängenabhängigkeit des Temperaturkoeffizienten entschieden werden, doch ist diese Möglichkeit bisher noch nicht ausgenutzt worden.

Ich habe seit längerer Zeit Versuche mit dem Lebermoos *Sphaerocarpus Donnellii* laufen. Als Testobjekt dienten die Spermatozoiden dieses Mooses, die in wässriger Aufschwemmung — also unter vollkommen physiologischen Verhältnissen — mit Ultraviolettlicht bestrahlt wurden. Der Strahlentest war die Beweglichkeit der Spermatozoiden. Ihre Beeinflussung wurde durch Auszählung in einer Zählkammer eigener Konstruktion festgestellt. Die Objekte wurden aus arbeitstechnischen Gründen dabei „optisch gefärbt“ (Opticolor von REICHERT). Zur Bestrahlung wurden aus methodischen Gründen die beiden Wellenlängen 265 m μ und 302 m μ verwendet; in der Gegend von etwa 302 m μ liegt die langwellige Grenze der biologischen Wirksamkeit.

Fig. 1 zeigt die Ergebnisse nach einer Beobachtungszeit von 15 Minuten. Die Ordinate gibt das Verhältnis der „Überlebenden“ in Versuch zu Kontrolle an; die Abszisse die Versuchstemperaturen.

Der Verlauf der Kurven zeigt, daß der Temperaturkoeffizient der beobachteten Testreaktion eine Wellenlängenabhängigkeit besitzt. Er kann also nicht auf die normalen Dunkelreaktionen zurückgeführt werden. Vielmehr muß man annehmen, daß — in Analogie zu anderen bekannten Fällen in der Photochemie — hier der photochemische Primärprozeß temperaturabhängig ist. Man erklärt dies bekanntlich durch eine Änderung des Absorptionsspektrums mit der Temperatur, indem bei höheren Temperaturen nicht mehr alle absorbierenden Moleküle als im schwingungslosen Zustand befindlich betrachtet werden

dürfen. Wenn nun die Absorption von angeregten Schwingungszuständen zu den gleichen höheren Niveaus erfolgt, so resultiert hieraus eine Rotverschiebung des ganzen Spektrums. Die gleiche Wellenlänge, die vorher das Molekül nur anzuregen vermochte, kann daher jetzt unter Umständen eine Dissoziation hervorrufen.

Es ist klar, daß sich in diesem Falle der Temperaturkoeffizient abhängig von der Wellenlänge ergeben muß. Da dies bei meinen Versuchen der Fall ist, glaube ich, daß

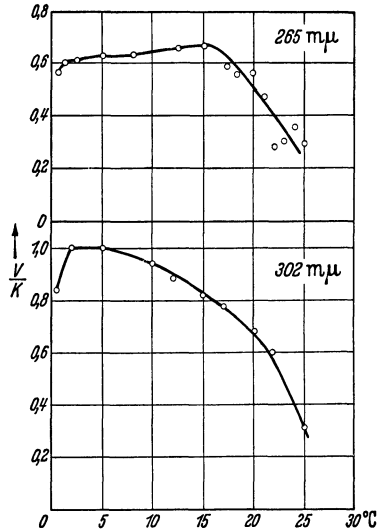


Fig. 1. Temperaturabhängigkeit der Spermatozoidenschädigung bei Bestrahlung mit verschiedenen Wellenlängen.

in den Kurven bzw. in der gewählten Testreaktion direkt der Primärprozess zum Ausdruck kommt. Noch unveröffentlichte Versuche, die gemeinsam mit Herrn KNAPP durchgeführt wurden, haben aus dem Wirkungsspektrum ergeben, daß die Hemmung der Beweglichkeit der Spermatozoiden höchstwahrscheinlich auf einen Strahlenangriff am Eiweiß zurückzuführen ist. Man kann sich mit anderen Autoren vorstellen, daß er z. B. darin besteht, daß irgendeine Bindung im Molekül zerstört wird. Dann könnte man den Verlauf der Kurve bei 302 mμ zum Teil dadurch erklären, daß hier die Erscheinung der Prädissoziation des Eiweißmoleküls zur Geltung kommt, und zwar um so mehr, je höher die Versuchstemperatur ist.

Gegen die zweite Möglichkeit, die Wellenlängenabhängigkeit des Temperaturkoeffizienten dadurch zu erklären, daß man bei den verschiedenen Wellenlängen verschiedene Reaktionsketten im Objekt annimmt, spricht der einfache Verlauf des Wirkungsspektrums der Reaktion.

Das Ergebnis der Versuche deutet also darauf hin, daß der beobachteten Strahlenreaktion ein einfacher Vorgang zu Grunde liegt. Es sind hier Schlüsse auf das Primärgeschehen möglich. Ich habe deshalb das benutzte Testobjekt zu weiteren strahlenbiologischen Versuchen benutzt, deren Auswertung zur Zeit noch im Gange ist.

Eine ausführliche Veröffentlichung erfolgt demnächst an anderer Stelle.

Berlin, Institut für Strahlenforschung der Universität, im September 1941. H. SCHREIBER.

¹⁾ R. GLOCKER, Z. Physik 77, 653 (1932).

Über die enzymatische Hydrolyse von d-Peptiden.

Vor kurzem veröffentlichten E. BAMANN und O. SCHIMKE¹⁾ in dieser Zeitschrift Versuche über die Spaltung von d- und d,l-Leucylglycin durch Glycerinextrakte aus Organen, die uns veranlassen, einige Befunde mitzuteilen, die sich im Laufe unserer Untersuchungen über die enzymatische Hydrolyse von d-Peptiden ergeben haben. Die oben erwähnten Autoren fanden, daß d-Leucylglycin durch Glycerinextrakte aus menschlichen Ovarien bereits nach 10 Stunden zu 60 %

hydrolysiert wird, während das racemische Peptid auch nach langen Versuchszeiten (240 Stunden) nicht über 50 % gespalten wird. BAMANN und SCHIMKE schließen hieraus: „Die Spaltung bleibt nach Aufspaltung des l-Anteils, also bei 50 % praktisch stehen.“ Die Hemmung der Hydrolyse der d-Komponente wird von den Autoren darauf zurückgeführt, daß das bei der zuerst eintretenden Spaltung der l-Komponente im d,l-Peptidversuch entstehende Spaltungsprodukt l-Leucin die Hydrolyse der d-Komponente „völlig unmöglich“ macht.

In einer größeren Reihe von Versuchen mit Glycerinextrakten aus normalen und bösartigen Geweben²⁾ haben auch wir feststellen können, daß die Hydrolyse von d,l-Leucylglycin unter den unten angegebenen Versuchsbedingungen den Wert von 50 % tatsächlich nicht in nennenswertem Maße überschreitet.

Die Herstellung der Extrakte wurde in folgender Weise vorgenommen: Die Gewebe wurden frisch im Mörser mit Quarzsand zerrieben, mit 2 Gewichtsteilen Glycerin und 1 Teil Phosphatpuffer (0,15 m, p_H = 7,4) versetzt, geschüttelt und 24 Stunden bei 0° extrahiert. Anschließend wurde der Extrakt $\frac{1}{2}$ Stunde bei 5000 Umdrehungen zentrifugiert. Besonderer Wert wurde auf die Einhaltung steriler Versuchsbedingungen gelegt.

Versuchsansatz: 1,0 ccm Glycerinextrakt, 2,0 ccm Phosphatpuffer (p_H = 7,4) 1,0 ccm $\frac{m}{10}$ d,l-Leucylglycin. Titriert wurde nach dem Verfahren von GRASSMANN und HEYDE³⁾ mit $\frac{m}{100}$ KOH. Bei jeder Bestimmung wurden 0,5 ccm des Ansatzes vorgelegt. Versuchstemperatur während der Fermenteinwirkung 37,5°.

Tabelle 1. Hydrolyse von d,l-Leucylglycin durch Glycerinextrakte.

Gewebe	Zeit in Std.	ccm verbr. KOH	Proz. Spaltung
1. Magen-Ca.	24	0,52	41,4
	48	0,69	55,2
2. Magen-Ca.	24	0,58	46,4
	48	0,56	44,8

Aus diesen Ergebnissen kann man aber nun nicht den Schluß ziehen, daß hier nur der l-Anteil des Peptids hydrolysiert wird, wenn der Nachweis der Spaltung mit der „unspezifischen“ Titrationsmethode geführt wird. Bei Untersuchungen über das Vorkommen von d-Peptide spaltenden Fermenten im Serum konnten wir bereits früher die Feststellung machen, daß bei einer Gesamtaufspaltung des d,l-Leucylglycins von 49,6 % der d-Anteil zu 3 % hydrolysiert wird⁴⁾. Wir haben daher die gleichen Ansätze der Tabelle 1 mit der von uns angegebenen manometrischen Methode⁵⁾ untersucht, mit der nur die Spaltung der d-Komponente des Peptids erfaßt wird.

Von den oben beschriebenen Ansätzen wurden 2 ccm in kegelförmige Warburg-Gefäße eingefüllt. Die Konzentra-

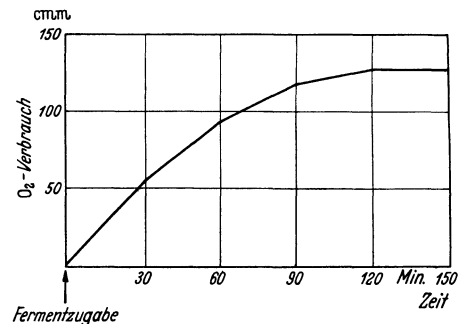
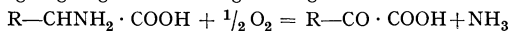


Fig. 1.

tion des d-Anteils des Peptids betrug 0,350 mg dN. Im Einsatz des Gefäßes 0,2 ccm 10proz. KOH. In den seitlichen Anhang des Gefäßes wurde 0,5 ccm d-Aminosäureoxydase Lösung einpipettiert. Die Herstellung der Fermentlösung ist in einer früheren Arbeit beschrieben worden⁶⁾. Untersuchung in reinem Sauerstoff. Temperatur 37,5°. Als

Thermobarometer diente der gleiche Ansatz ohne Peptid. Nach Temperatur- und Druckausgleich wurde die d-Aminosäureoxydase in den Hauptraum des Gefäßes eingekippt. Wie Fig. 1 zeigt, tritt nach Zugabe des Fermentes ein erheblicher Sauerstoffverbrauch auf.

Da die d-Aminosäureoxydase nur freie d-Aminosäuren desaminieren kann (nicht die im Peptid gebundenen), so ergibt sich hieraus, daß eine beträchtliche Spaltung der im racemischen Peptid enthaltenen d-Komponente eingetreten sein muß. Aus dem im Warburg-Respirometer gemessenen O₂-Verbrauch läßt sich aus der für unsere Versuchsbedingungen gültigen Reaktionsgleichung



der Prozentsatz der Peptidspaltung errechnen.

Tabelle 2. Spaltung der d-Komponente von d, l-Leucylglycylglycin durch Gewebeextrakte.

Gewebe	Zeit in Std.	O ₂ -Verbrauch in cmm	mg dN berechnet aus O ₂ -Verbrauch	Proz. Spaltung
1. Magen-Ca.	48	153,5	0,192	55
2. Magen-Ca.	48	127,2	0,159	45,5

Die Hälfte der mit der Titrationsmethode gemessenen Hydrolyse entfällt also in diesen Versuchen auf die Spaltung des d-Anteiles des Peptids. Da l-Leucylglycylglycin durch Dipeptidase in der gleichen Versuchszeit quantitativ aufgespalten wird, so wird also nicht nur die Hydrolyse der d-Komponente, sondern auch die des l-Anteiles bei Versuchen mit racemischem Peptid gehemmt. Welche Vorgänge hierfür verantwortlich sind, konnte noch nicht geklärt werden. Man wird an die Möglichkeit denken, daß sich die Spaltungsprodukte von zwei Fermenten gegenseitig im Reaktionsablauf der Peptidhydrolyse stören. Die Gegenwart von freiem l-Leucin schließt, wie folgende Versuche zeigen, jedenfalls nicht aus, daß die d-Komponente des Dipeptids hydrolysiert wird.

Tabelle 3. Spaltung der d-Komponente von d, l-Leucylglycylglycin durch Gewebeextrakte in Gegenwart von l-Leucin.

Ansätze: 1,0 ccm Glycerinextrakt, 1,0 ccm ^m/₁₀ d, l-Leucylglycylglycin, 0,5 ccm ^m/₁₀ l-Leucin, 1,5 ccm Phosphatpuffer. Als Thermobarometer diente ein Ansatz, in dem an Stelle des Peptids 1,0 ccm Phosphatpuffer zugegeben wurde. In die Warburg-Gefäße wurden 2 ccm eingefüllt, sie enthielten 0,350 mg dN.

Gewebe	Zeit in Std.	O ₂ -Verbrauch in cmm	mg dN berechnet aus O ₂ -Verbrauch	Proz. Spaltung
Milz . . .	48	71	0,0885	25,3
Niere . . .	48	126	0,157	45

Wie weitere Versuche gezeigt haben, können fast alle normalen Organe d-Leucylglycylglycin hydrolysieren. Eine Ausnahme hiervon scheint bisher nur der Muskel zu machen.

Von besonderer Wichtigkeit ist nun die Klärung der Frage, ob für die d-Peptidspaltung besondere d-Peptidasen nötig sind. Für die Hydrolyse von d-Leucylglycylglycin braucht dies unserer Ansicht nach nicht der Fall zu sein. Bei Untersuchungen mit Glycerinextrakten aus Organen muß berücksichtigt werden, daß hier Fermentgemische vorliegen, die neben Aminopolypeptidase und Dipeptidase auch Fermente vom Typ der Carboxypeptidase enthalten. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß das verwendete Peptid vom Carboxylende her aufgespalten werden kann. In diesem Zusammenhang sind Versuche von Interesse, in denen gezeigt werden konnte, daß auch solche Peptide durch Carboxypeptidase hydrolysiert werden können, die am Carboxylende eine natürliche Aminosäure aber in direkter Nachbarschaft dazu den Antipoden einer natürlichen Aminosäure enthalten⁷)*. Man wird daher die Frage nach dem Vorkommen von d-Peptidasen am besten mit einem Substrat entscheiden, das eine d-Aminosäure am Aminoende und am

*) Nach Angaben von FRUTON soll die von ANSON kristallisierte Carboxypeptidase allerdings nicht in der Lage sein, α, l-Leucylglycylglycin in titrimetrisch meßbaren Mengen zu spalten.

Carboxylende enthält. Ein geeignetes Substrat würde z. B. d-Leucyl-d-Leucin sein. d-Dipeptide aus kurzkettingen d-Aminosäuren (z. B. aus d-Alanin) werden nicht so brauchbar sein, da hier die Möglichkeit besteht, daß sie von den l-Peptidasen angegriffen werden⁸).

Essollen aber hier noch einige Versuche mit einem Tripeptid (d- und d, l-Leucylglycylglycin) angeführt werden, die vielleicht schon eine gewisse Aufklärung in dieser Frage geben. Mißt man die Spaltung dieses d-Tripeptids manometrisch mit Hilfe von d-Aminosäureoxydase, so tritt nur dann ein Sauerstoffverbrauch auf, wenn das Peptid durch Aminopolypeptidase in d-Leucin und Glycylglycylglycin zerlegt wird. Die oben diskutierte mögliche Spaltung eines Peptids vom Carboxylende her — das Tripeptid würde hierdurch in Leucylglycylglycin und Glycin zerlegt —, die beim Dipeptid eine Spaltung durch d-Peptidase vortäuschen könnte, wird bei dieser Versuchsordnung nicht störend in Erscheinung treten, da die d-Aminosäureoxydase mit dem im Peptid gebundenen d-Leucin nicht reagieren kann. Tatsächlich erhält man hier nun ganz andere Ergebnisse, als bei den d-Dipeptid-Versuchen.

Ansätze wie oben beschrieben. Als Substrat diente d, l-Leucylglycylglycin. Die Konzentration geht aus der Tabelle 4 hervor.

Tabelle 4. Spaltung der d-Komponente von d, l-Leucylglycylglycin durch Glycerinextrakte, Versuchszeit 48 Stunden.

Gewebe	Peptid-Konzentration	O ₂ -Verbrauch in cmm	mg dN berechnet aus O ₂ -Verbrauch	Proz. Spaltung
1. Metastasen v. Magen-Ca.	0,175	8,3	0,0104	5,9
2. Benzpyrentumor	0,350	12,4	0,0155	4,4
3. Ulcus callosum	0,350	0	—	0
4. Prostatahypertrophie	0,350	2,0	0,00250	0,7

Zwischen den Hydrolysewerten des d-Dipeptids und des d-Tripeptids zeigen sich also ganz beträchtliche quantitative Unterschiede. Die niedrige Spaltung der d-Komponente des d, l-Leucylglycylglycyls kann aber nicht darauf zurückgeführt werden, daß die Peptid-Hydrolyse durch die Spaltungsprodukte des l-Anteils gehemmt wird, denn wir erhielten mit d-Leucylglycylglycylglycin die gleichen Resultate.

Tabelle 5. Spaltung von d-Leucylglycylglycylglycin durch Gewebeextrakte. Versuchszeit 48 Stunden.

Gewebe	Peptid-Konzentration	O ₂ -Verbrauch in cmm	mg dN berechnet aus O ₂ -Verbrauch	Proz. Spaltung
1. Metastasen v. Magen-Ca.	0,350	10,9	0,0137	3,9
2. Magen-Ca.	0,700	19,1	0,0239	3,4
3. Ulcus callosum	0,350	0	—	0
4. Prostatahypertrophie	0,700	3,5	0,00437	0,6

Im gleichen Umfange können auch Milz, Leber und Niere dieses d-Tripeptid spalten. Negative Resultate erhielten wir dagegen mit Glycerinextrakten aus Gehirn, Herzmuskel, Pankreas, Darm- und Magenschleimhaut, Nebenniere und Skelettmuskulatur. Diese Befunde scheinen für die oben

1) Naturwiss. 29, 515 (1941).
2) A. SCHMITZ, Z. exper. Med. (im Druck).
3) Hoppe-Seylers Z. 183, 34 (1929).
4) H. HERKEN u. H. ERXLEBEN, Hoppe-Seylers Z. 264, 251 (1940).
5) H. HERKEN u. H. ERXLEBEN, Hoppe-Seylers Z. 269, 47 (1941).
6) Ebenda S. 51.
7) M. BERGMANN, H. ZERVAS u. H. SCHLEICH, Hoppe-Seylers Z. 224, 47 (1934).
8) Vgl. H. HERKEN u. R. MERTEN, Hoppe-Seylers Z. (im Druck).

geäußerte Vermutung zu sprechen, daß die Hydrolyse von d-Leucylglycin nicht durch d-Peptidasen hervorgerufen wird. Denn wir halten es für unwahrscheinlich, daß ausschließlich für die d-Dipeptidhydrolyse ein besonderes Ferment in solcher Menge vorkommt, während d-Tripeptide von einem großen Teil der Organextrakte gar nicht und von den anderen nur in sehr geringem Umfange gespalten werden können.

Köln, Medizinische Universitätsklinik, den 22. September 1941. H. HERKEN. A. SCHMITZ. R. MERTEN.

Photochemische Spaltung von Kohlenoxyd-Myoglobin.

Myoglobin, der rote Farbstoff des Muskels [den HUGO THEORELL 1932 isoliert hat¹⁾] unterscheidet sich von Hämoglobin, dem roten Farbstoff des Blutes, wesentlich dadurch, daß es eine nichtpolymerisierte Häm-in-Eiweißverbindung ist. Myoglobin enthält also nicht 4, sondern nur *einen* Häminkern. Sein Molekulargewicht ist nur $\frac{1}{4}$ vom Molekulargewicht des Hämoglobins²⁾.

Wir haben die Ausbeute bei der photochemischen Spaltung des Kohlenoxyd-Myoglobins gemessen und bei Bestrahlung mit der Quecksilberlinie 546 m μ bei 4° und p_H 8,2 gefunden:

	Lichtquanten, von Kohlenoxyd-Myoglobin absorbiert
	Moleküle Kohlenoxyd, abgespalten
1. Versuch	1,12
2. Versuch	1,07
3. Versuch	1,06
4. Versuch	1,11

Das Ergebnis bestätigt also³⁾, daß die photochemische Ausbeute bei der Spaltung von Kohlenoxyd-Hämverbindungen vom Polymerisationsgrad abhängt. Denn die photochemischen Ausbeuten betragen bei 4° und p_H 8,2:

Farbstoff	Polymerisationsgrad	Lichtquanten, von der Kohlenoxyd-Hämverbindung absorbiert
		Moleküle Kohlenoxyd, abgespalten
Hämoglobin	4	3,7
Hämoglobin in starker Salzlösung	etwa 2	2,6
Myoglobin	1	1,1

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie, den 3. Oktober 1941.

ERWIN NEGELEIN. THEODOR BÜCHER.

¹⁾ A. HUGO T. THEORELL, *Biochem. Z.* 252, 1 (1932).

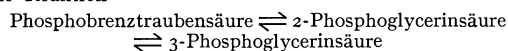
²⁾ A. G. POLSON, siehe THE SVEDBERG u. K. O. PEDERSEN, *Die Ultrazentrifuge* 1940.

³⁾ TH. BÜCHER u. E. NEGELEIN, *Naturwiss.* 29, 591 (1941).

Wirkung einseitiger Elektrodialyse auf Enzyme.

Nachdem L. MASSART und R. DUFAYT¹⁾ die Fluoridhemmung, die an verschiedenen Enzymen beobachtet wird, mit der Annahme gedeutet hatten, daß ein Metall als integrierender Bestandteil des Enzyms komplex gebunden wird, versuchten wir festzustellen, ob bei der Wirkung der fluoridempfindlichen Enolase²⁾ ein Metall beteiligt ist.

Wir verwandten zunächst Muskelextrakt (vom Schwein), der neben Enolase Phosphoglyceromutase³⁾ enthält und die Reaktion



katalysiert. Die Geschwindigkeit der Gleichgewichtseinstellung, gemessen an dem Schwund von Phosphobrenztraubensäure, diente zur Aktivitätsbestimmung der Enzyme. Es gelang uns, durch kathodische Elektrodialyse eine Inaktivierung zu erzielen, die durch Zusatz von Magnesiumsalz aufgehoben wurde und also auf Magnesium als Fermentbestandteil schließen läßt. Die Apparatur gibt Fig. 1 schematisch wieder; ein Kollodiumzylinder nimmt die Anode und den Extrakt auf, die Kathode hängt in Wasser. Beim

Anlegen einer Spannung (20—60 Volt) ändert sich der Lösungszustand der Fermentkolloide, infolge der Schwerkraft sinken sie ab, und im Verlauf von 1—2 Stunden haben sich scharf getrennte, an begleitenden Farbstoffen des Muskels erkennbare Schichten ausgebildet. Eine ähnliche Beob-

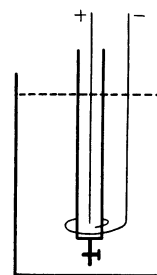


Fig. 1.

achtung hat Wo. PAULI gemacht⁴⁾. Unsere scheidetrichterähnliche Zelle ermöglicht eine bequeme Abtrennung einzelner Schichten, die sich durch Wiederholung des Verfahrens weiter konzentrieren lassen. Wir verglichen die Fraktionen kolorimetrisch und im Fermentversuch mit der Originallösung und fanden ungefähr parallele Anreicherung von Farbstoff und Fermentprotein:

	Original- lösung	Konzentrat		
		ohne Zusatz	+ 10 ⁻³ mol. Mg	+ 2 · 10 ⁻³ mol. Ca (Sr)
Farbtiefe	1	12	12	12
Aktivität	1	3	10,5	0

Aus der Tabelle geht hervor, daß Magnesium aktiviert, während Calcium und Strontium hemmen. Die Hemmung ist wohl kompetitiver Natur; sie läßt sich durch Magnesium teilweise rückgängig machen.

Während wir mit der Untersuchung der isolierten Reaktionen des Gleichgewichts beschäftigt waren, teilten O. WARBURG und W. CHRISTIAN mit⁵⁾, daß sie mit kristallisiertem Fermentprotein Magnesium als Bestandteil von Enolase und die Fluoridhemmung als Folge der Bildung von komplexem Magnesium-Fluorid-Phosphat erkannt haben. Die von uns im Juni getroffene Feststellung der Aktivierung durch Magnesium steht also in Einklang mit dem Befund der genannten Autoren⁶⁾.

Tübingen, Physiologisch-Chemisches Institut der Universität, den 6. Oktober 1941.

P. OHLMEYER. R. DUFAYT (Gent).

¹⁾ R. DUFAYT u. L. MASSART, *Enzymol.* 7, 337 (1939).

²⁾ K. LOHMANN u. O. MEYERHOF, *Biochem. Z.* 273, 60 (1934).

³⁾ R. AKANO, *Biochem. Z.* 280, 110 (1935).

⁴⁾ Vgl. F. BLANK u. E. VALKÓ, *Biochem. Z.* 195, 220 (1928).

⁵⁾ O. WARBURG u. W. CHRISTIAN, *Naturwiss.* 29, 589 u. 590 (1941).

⁶⁾ Eine Notiz über die oben beschriebene Magnesium-Aktivierung hat R. DUFAYT am 9. August 1941 an die *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, Gent*, geschickt. Sie erschien am 31. August 1941 [23, Nr. 3—5, 77 (1941)].

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

29. Jahrgang

7. November 1941

Heft 45/46

Physiologische Probleme der Entwicklung und Formbildung des Seeigelkeimes.

Von Per ERIC LINDAHL, Stockholm.

Einleitung.

Die Formbildungsphysiologie ist einer der jüngsten Zweige der Biologie. Sie hat zum Ziel eine Analyse der physiologischen Vorgänge, die die Formbildung in der Ontogenese und der Regeneration bedingen, und steht, soweit sie sich mit der Formbildung in der Ontogenese befaßt, in engster Beziehung zu der Entwicklungsmechanik und zu der allgemeinen Entwicklungsphysiologie. Erstere stellt ihr zum großen Teil die Probleme wie auch manche technischen Mittel zu deren Lösung. Da die Physiologie der Formbildungsvorgänge sich mit speziellen Problemen der allgemeinen Entwicklungsphysiologie befaßt, die nicht außerhalb ihres weiteren Zusammenhanges betrachtet werden können, müssen die Formbildungsphysiologie und die allgemeine Physiologie der Entwicklung meistens parallel dargestellt werden.

Wie das Amphibienei und das Seeigelei im Zentrum der entwicklungsmechanischen Forschung gestanden haben, spielen diese beiden Objekte auch für die Fortschritte der Formbildungsphysiologie eine hervorragende Rolle. Das Seeigelei hat als Versuchsobjekt viele Vorteile vor dem Amphibienei, wenn auch einige Nachteile. Vorteilhaft ist die Durchsichtigkeit, die die Beobachtung aller morphologischen Einzelheiten der verschiedenen Entwicklungsstadien ohne Fixieren und Schneiden erlaubt, weiter die relativ große Armut an Dotter, wodurch die durch den Stoffwechsel entstandene Veränderung des Keimmaterials verhältnismäßig viel größer ist. Nachteilig ist die Kleinheit des Seeigeleies, welche Isolierungen und Transplantationen von Keimteilen unter einer gewissen Größe unmöglich macht und Stoffwechsellmessungen an kleineren isolierten Keimteilen eine Grenze setzt. Zwar zeigen die Seeigel- und die Amphibienentwicklung gewisse allgemeine Züge, die auf gemeinsame formbildungsphysiologische Probleme zurückgehen; sie unterscheiden sich jedoch in anderen wesentlichen Punkten, so daß die an dem Amphibienkeim gewonnenen Ergebnisse kaum zur Aufklärung entsprechender Fragen in der Seeigelentwicklung herangezogen werden können und umgekehrt.

Die Gefälletheorie und ihre weitere Ausformung.

Die Worte des englischen Forschers NEEDHAM in einem Jahresbericht über Entwicklungsphysiologie (1): „Instead of primary and secondary organisers, workers on echinoderm development prefer to speak of a double gradient system —“, machen es wünschenswert, die Entwicklung der Gefällehypothese und ihre Bedingungen kurz darzustellen. Die ersten Gedanken über ein Gefälle im Seeigelei

wurden von BOVERI im Jahre 1901 geäußert und gründen sich auf Studien über die Differenzierung isolierter Fragmente. Außer morphogenetischen Kriterien für Gefälle oder Gradienten sind auch solche physiologischer und plasmastruktureller Art herangezogen worden. Durch 1. Empfindlichkeit gegen destruirende Agentien (2, 3), 2. Veränderung der Differenzierungsrichtung des Keimmaterials bei geeigneter chemischer Beeinflussung (4, 5), und 3. durch Potenzverteilung und Induktionsvermögen (6)¹⁾ unterscheiden sich die verschiedenen Keimteile voneinander. Es ist nun auffallend, daß sich alle diese Funktionen mit ausgesprochener Kontinuität in dem Keimkörper abstufen. Soll z. B. mit HÖRSTADIUS von einem „vegetativen Organisator“ die Rede sein²⁾, so ist es vollkommen unmöglich, seine Ausdehnung auch nur annähernd anzugeben, denn einige seiner Wirkungen erstrecken sich — wenn auch mit abnehmender Stärke — durch die ganze vegetative Hälfte. Deswegen ziehen auch die Seeigelforscher vor, von Gefällen oder Gradienten und nicht von „Organisatoren“ zu sprechen. Es muß betont werden, daß die Konzeption der Gefälle zwar den Determinationsproblemen der Frühentwicklung des Seeigelkeimes angepaßt ist, daß aber wahrscheinlich auch gewisse entsprechende Verhältnisse in der Amphibienentwicklung bei der Determination in Richtung der Eiachse vorliegen (5, 7).

Das Wesentliche und Neue in der Ausformung der Gefällehypothese durch RUNNSTRÖM ist der *Antagonismus* (4) *zwischen zwei* in Richtung der Eiachse gefällemäßig abgestuften *Prinzipien*. Sie stützte sich ursprünglich darauf, daß Entfernung oder Schädigung (durch K⁻- oder SO₄⁻-Mangel) der vegetativen Keimhälfte zu einer übermäßigen Ausbreitung der animalsten Differenzierung, des Wimperschopfes, führt, sowie auf die durch Li⁻-Behandlung bewirkte Vergrößerung der vegetativen Differenzierungen, Mesenchym und Entoderm, die in einer Hemmung des animalen Keimmaterials begründet zu sein schien. Später hat sich allerdings herausgestellt, daß dieser Mechanismus der Li⁻-Wirkung noch nicht für bewiesen gehalten werden kann. Nichtsdestoweniger hat diese Hypothese eine glänzende Bestätigung vor allem durch die Transplantationsversuche von HÖRSTADIUS (vgl. 7, Zusammenfassende Darstellung) gefunden.

¹⁾ Der Benennung „Induktion“ muß hier eine weitere Bedeutung als in der Amphibienforschung erteilt werden, vgl. unten.

²⁾ Diese Auffassung wird jetzt nicht mehr von HÖRSTADIUS vertreten.

Die Wirkung des vegetativen Prinzips auf das animale Material kommt auf zweierlei Weise zum Ausdruck: 1. in einer Induktion entodermaler Differenzierungen, 2. in einem Zurückhalten der Ausbreitungstendenzen der animaleren Differenzierungen. Hierin unterscheidet sich eben das vegetative Material von einem Organisator in der Amphibienentwicklung, der nur eine bestimmte Differenzierung induziert. Lassen wir die induzierende Fähigkeit des vegetativen Materials in diesem Zusammenhang außer acht und wenden uns der zurückhaltenden Wirkung der transplantierten vegetativen Teile auf die Ausbreitungstendenz der animalen Differenzierungen in einer animalen Hälfte zu, so zeigen Versuche von HÖRSTADIUS, daß Mikromerenmaterial doppelt so wirksam ist, wie Makromerenmaterial und daß dieselbe Wirkung in dem vegetativen Teil des Ektoderms noch vorhanden ist, allerdings in wesentlich geringerem Maße. Entsprechend kommt die Abnahme des animalen Prinzips in Richtung der Eiachse durch die Anzahl Mikromeren zum Ausdruck, die einem der beiden animalsten Zellkränze des 32-Zellenstadiums implantiert werden müssen, um diese Fragmente zur Ausdifferenzierung eines normalen Pluteus zu veranlassen. Diese Anzahl ist für den animalsten Kranz 4 und für den nächst-animalsten 2.

Die Ausbreitungstendenz der animalen Differenzierungen ist eben der Ausdruck des oben angeführten Antagonismus. Daß eine entsprechende, obwohl weniger auffällige Tendenz den vegetativen Differenzierungen und damit dem vegetativen Prinzip innewohnt, kann an der Vergrößerung des Entoderms in isolierten vegetativen Hälften (7) erkannt werden. Daß die Ausbreitungstendenz des vegetativen Prinzips in so viel geringerem Maße als die des animalen zur Geltung kommt, findet durch die nachgewiesene frühere Festlegung der Determination (8, 7) in der vegetativen gegenüber der animalen Eihälfte eine Erklärung. Abgesehen von der zurückhaltenden Wirkung des animalen Prinzips auf die Ausbreitungstendenz des vegetativen kommt seine organisierende Fähigkeit auch in Transplantationsversuchen zum Ausdruck, indem eine animale Hälfte, mit einer invertierten vegetativen verschmolzen, letzterer ihre Polarität weitgehend aufdrückt (9).

Außer dem Antagonismus zwischen dem animalen und dem vegetativen Prinzip, der bei extremem Übergewicht des einen zu vollständiger Unterdrückung des anderen führen kann, kommt auch in den Isolierungs- und Transplantationsversuchen ein anderer Vorgang zum Ausdruck, der als „polare Dominanz“ bezeichnet werden kann und für die räumliche Auswirkung der beiden Prinzipien von größter Bedeutung zu sein scheint. Entfernt man das animalste Material, das normalerweise den Wimperschopf ergibt, so wird diese Differenzierung stattdessen von dem nächst animalsten Material gebildet. Dasselbe gilt mutatis mutandis für das Skelettbildnermaterial und die Skelettbildner sowie für äquatoriale isolierte Fragmente,

die sich in ihrem animalen Teil viel animaler und in ihrem vegetativen Teil viel vegetativer entwickeln als der prospektiven Bedeutung des betreffenden Materials entspricht. Offenbar gehen von den die beiden Prinzipien in höchster Intensität enthaltenden Teilen des Keimes Hemmungswirkungen aus, die das Auswirken desselben Prinzips in Keimteilen mit niedrigerer Intensität zurückhalten (5). Am auffälligsten ist dieser Vorgang bei der Entwicklung des isolierten präsumptiven Entomesoblastes; hier wird sogar Ektoderm ausgebildet (6).

Diese Gesetzmäßigkeit, die ich „polare Dominanz“¹⁾ nenne, wurde schon von BOVERI 1901 für den vegetativen Keimteil erkannt. Derselbe Vorgang wurde später von HÖRSTADIUS (6) als „Neukonzentration der Gefälle“, und von v. UBISCH (10) als „Entmischung“ bezeichnet, Benennungen, die diese Verhältnisse nur rein formal beschreiben.

Die animalen und vegetativen Prinzipien, der zwischen beiden bestehende Antagonismus und die innerhalb beider herrschende „polare Dominanz“ sind die Grundlagen aller Regulationserscheinungen in Richtung der Eiachse und bedingen das, was in der Entwicklungsmechanik des Seeigeleies als „Ganzfaktor“²⁾ und „harmonische Entwicklung“ bezeichnet worden ist. Außer diesen Faktoren ist der Zeitpunkt der endgültigen Festlegung der Determination in den verschiedenen Keimgebieten entscheidend für die Ausgestaltung isolierter Keimfragmente sowie ihrer verschiedensten Kombinationen.

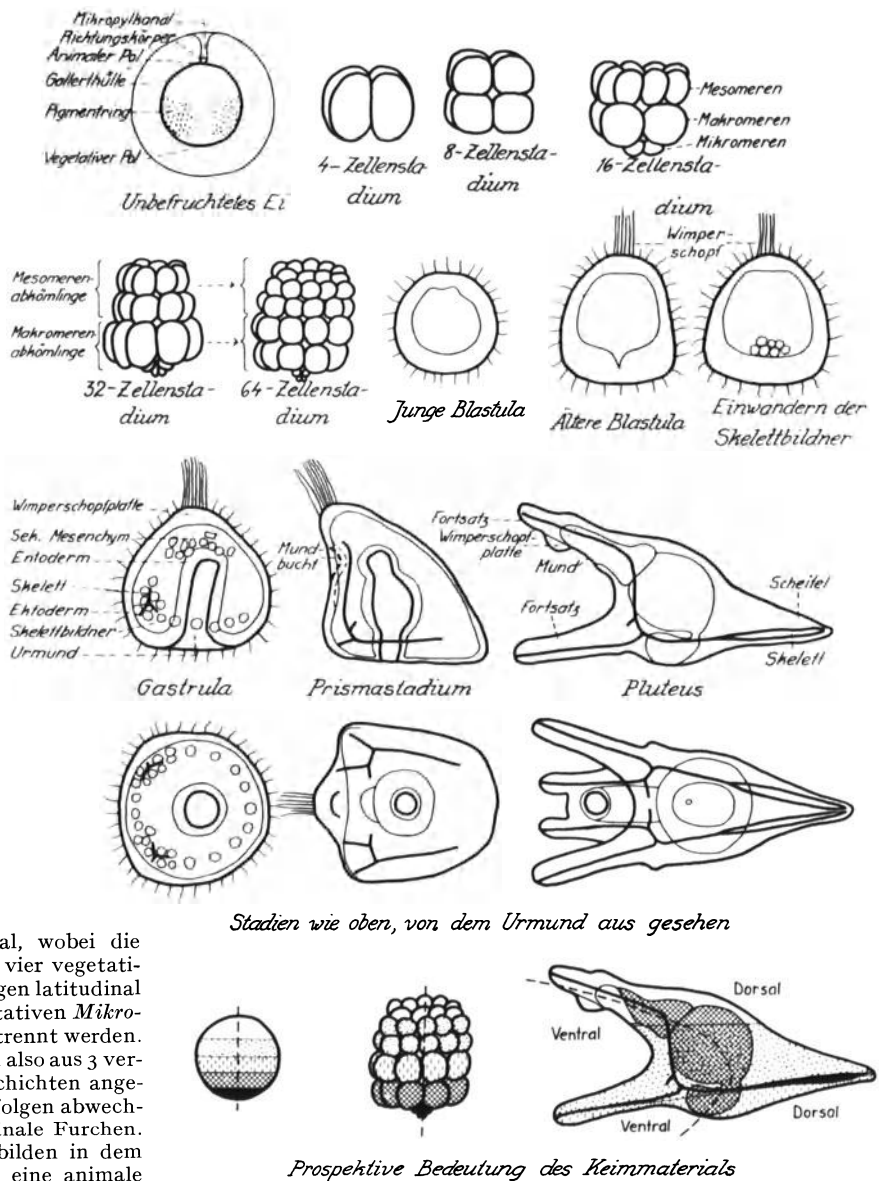
Es muß betont werden, daß die hier besprochenen gefällemäßig abgestuften animalen und vegetativen Prinzipien bisher nur durch mikroskopische Versuche demonstriert worden sind und demgemäß am besten als *morphogenetische Gefälle* bezeichnet werden.

Die Ausbildung eines Keimes oder Keimfragmentes ist, — wie oft von HÖRSTADIUS hervorgehoben —, von der quantitativen Abstimmung der beiden Prinzipien zueinander abhängig. Aber auch ihre räumliche Anordnung und Möglichkeiten, sich gegenseitig zu beeinflussen, scheinen von großer Bedeutung zu sein. So führt eine Streckung des Eies in Richtung der Eiachse (5) oder eine äquatoriale Schnürung (7) zu einer Vergrößerung des Wimperschopfes. Die nächstliegende Erklärung dieses Phänomens wie auch anderer ähnlicher Erscheinungen gibt die Annahme, daß das vegetative Prinzip das animale auf dem Wege eines diffundierenden Stoffes beeinflusst und daß der Diffusionsweg durch die genannten Eingriffe weniger günstig geworden ist (5). Dies bedeutet

¹⁾ Nicht mit dem CHILDSchen Begriff „physiologische Dominanz“ zu verwechseln, der einen viel weiteren Inhalt hat.

²⁾ Statt die „Ganzheit“ als teleologischen Begriff zur Erklärung gewisser Regulationserscheinungen heranzuziehen, wie dies vielfach geschehen ist und immer noch geschieht, machen wir ihren Mechanismus zum Gegenstand unserer Forschung [vgl. auch SCHLEIP, (40)].

Fig. 1. Übersicht über die Entwicklung des Seeigelkeimes. (Als Beispiel ist *Paracentrotus lividus* gewählt. Der Pigmentring ist nur bei dem ungefruchteten Ei dargestellt.) Das unfruchtete Seeigelei ist ein monaxonales Gebilde, das in eine schützende Gallerthülle eingeschlossen ist. Diese Hülle wird von einem Kanal, dem sog. Mikropylkanal, durchzogen, in den die Richtungskörper ausgestoßen werden. Mikropylkanal und Richtungskörper markieren den *animalen Pol*, der in der fertigen Larve zum vorderen Ende wird. Der dem animalen Pol gegenüberliegende Punkt auf der Eioberfläche wird als *vegetativer Pol* bezeichnet. Sämtliche Figuren, mit Ausnahme der 4. Reihe von oben, sind mit dem animalen Pol nach oben gezeichnet. Die beiden ersten Furchen gehen durch die Eiachse und stehen rechtwinklig zueinander. Die 3. Furchung verläuft äquatorial. Das 8-Zellenstadium besteht also aus gleich großen Zellen in 2 Schichten. Bei dem 4. Teilungsschritt furchen sich die animalen Zellen meridional, wobei die *Mesomeren* entstehen. In den vier vegetativen verläuft diese Teilung dagegen latitudinal und inäqual, wodurch die vegetativen *Mikromeren* von den *Makromeren* getrennt werden. Das 16-Zellenstadium setzt sich also aus 3 verschiedenen Zellgrößen, in 3 Schichten angeordnet, zusammen. Hiernach folgen abwechselnd meridionale und latitudinale Furchen. Die Mesomerenabkömmlinge bilden in dem 32-Zellenstadium 2 Schichten, eine animale und eine vegetative, während eine entsprechende Gliederung bei den Makromerenabkömmlingen erst in dem 64-Zellenstadium zustande kommt. Die Anordnung der Zellen in Schichten ist von größter Bedeutung für die Isolierung und Transplantation verschiedener Embryonalteile. Die Furchungszellen schließen sich zu einem epithelialen Verband zusammen und bilden die junge bewimperte *Blastula*, die einen Hohlraum, das *Blastocöl*, enthält. Die Blastula differenziert am animalen Pol einen *Schopf aus steifen Wimpern*, von einer Verdickung, der *Wimperschopfplatte*, getragen. Auch der vegetative Teil der Blastula ist stark verdickt und zeigt an der inneren Fläche eine tiefe, trichterförmige Einsenkung am vegetativen Pol. Hier wandern die *primären Mesenchymzellen*, die Nachkommen der Mikromeren und künftigen Skelettbildner, in das Blastocöl ein. Der dicke vegetative Boden der Blastula stülpt sich durch allmähliches Strecken als *Urdarm* ein. Gleichzeitig hiermit tritt die bilaterale Symmetrie zuerst in Erscheinung. Während die Skelettbildner sich um den Urdarm in einen Ring ordnen und sich auf der Ventralseite an 2 Stellen anhäufen, wo die beiden Skelettstücke angelegt werden, wandert das *sekundäre Mesenchym* aus der Darmkuppe aus. Die etwas eckige späte Gastrula geht durch eine Biegung zur Ventralseite hin in das *Prismastadium* über. In unmittelbarer Nähe des Wimperschopfes wird die *Mundbucht* angelegt, die, nachdem der Urdarm *Cöloblasten* (in den Figuren nicht eingezeichnet) abgeschnürt und sich zu gliedern angefangen hat, mit diesem zur Bildung des Mundes zusammentritt. Die den Mund umgebende, leicht eingesenkte Fläche wird von einem *Flimmerband* umsäumt. Dieses zieht sich auch über die vier später auf der Ventralseite auswachsenden Fortsätze hin, die, wie auch der dorsal auswachsende Scheitel, von *Skelettstäben* gestützt werden. Die Differenzierung zur Seeigellarve, dem *Pluteus*, vollzieht sich zum großen Teil durch Wachstum des Skeletts und Vergrößerung der Körperoberfläche, wobei Zellstreckung eine wesentliche Rolle spielt. — Die normale *prospektive Bedeutung* des Materials (nach HÖRSTADIUS), sowie die Eiachse und ihre Biegung wird durch die unterste Reihe von Figuren veranschaulicht.



aber nicht, daß dieser hypothetische Stoff mit dem vegetativen Prinzip selbst identifiziert wird (Vgl. 11).

Über Eingriffe in die Determination durch chemische Mittel.

Heutzutage wird wohl niemand bestreiten, daß die oben besprochenen vegetativen und animalen Prinzipien als der morphogenetische Ausdruck besonderer Stoffwechselvorgänge anzusehen sind (10).

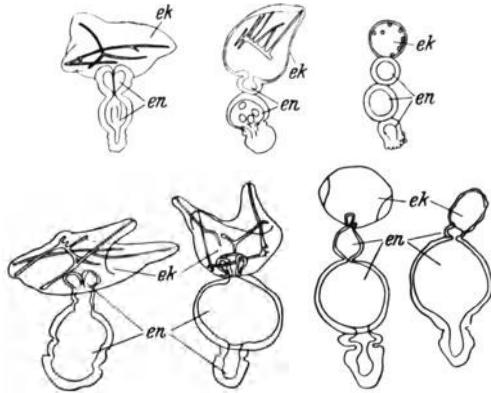


Fig. 2. Vegetativ betonte Keime von *Paracentrotus lividus*; obere Reihe durch Verminderung des animalen Materials [nach HÖRSTADIUS (6)], untere Reihe durch Lithiumbehandlung [nach LINDAHL u. ÖHMAN (14)] erhalten. *ek* Ektoderm, *en* Entoderm.

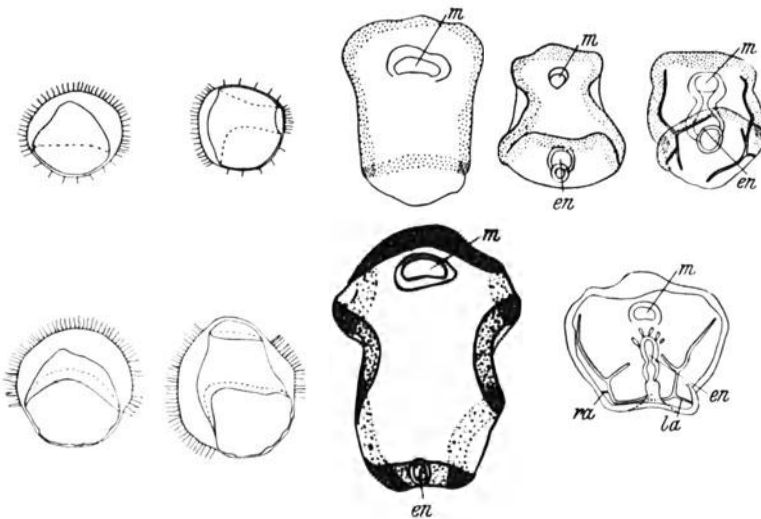


Fig. 3. Animal betonte Keime von *Paracentrotus lividus*; obere Reihe durch Verminderung des vegetativen Materials [nach HÖRSTADIUS (6) und Arch. Entw.mechan. 135, 40 (1936)], untere Reihe durch animalisierende Vorbehandlung [nach LINDAHL (5)] erhalten. *en* Entoderm, *m* Mundeinstülpung.

Es muß eine der nächstliegenden Aufgaben der Formbildungsphysiologie sein, diese Stoffwechselvorgänge zu erforschen.

Die Abstimmung der animalen und vegetativen Prinzipien gegeneinander kann außer durch mi-

krurgische Methoden auch durch Destruktion gewisser Keimgebiete oder durch Eingriffe in die den beiden Prinzipien zugrunde liegenden Stoffwechselvorgänge verändert werden. Eine derartige lokale Destruktion trifft, wenn sie durch Milieubedingungen verursacht wird, vor allem das vegetative Keimmaterial und kann z. B. durch Mangel an K-Ionen (3), durch Einwirkung von SCN' in hypotonischer Lösung (4) oder durch eine kurze Behandlung mit schwachen Hg'-Konzentrationen erzielt werden (5). Hierher gehört auch die Veränderung des vegetativen Keimmaterials an den zuerst von HERBST in SO₄'-freiem Meerwasser gezüchteten Keimen (S. weiter unten S. 682). In allen Fällen ist infolge eines teilweisen oder vollständigen Ausfallens des vegetativen Prinzips ein vergrößerter Wimperschopf vorhanden. Mit „Destruktion“ wird hier eine Veränderung des Keimmaterials gemeint, die zu einer mehr oder weniger weitgehenden Herabsetzung der Lebensvorgänge führt.

Die andere und weitaus interessantere Gruppe von Erscheinungen spielt sich an *ganzen Keimen* ab, die ohne lokal destruiert zu sein unter der Einwirkung einer Behandlung mit gewissen chemischen Agentien „vegetativisiert“ oder „animalisiert“, d. h. vegetativer bzw. animaler differenziert als normal, geworden sind. Da hierbei die Keime bei geeigneter Dosierung ihre Lebens- und Differenzierungsfähigkeit vollkommen beibehalten, wird gefolgert, daß die betreffende Behandlung hauptsächlich gewisse Stoffwechselvorgänge von morphogenetischer Bedeutung fördert oder hemmt und andere lebenswichtige Prozesse verhältnismäßig unbeeinflusst läßt. Der am eingehendsten untersuchte Eingriff, der zu einer Vegetativisierung führt, ist die Behandlung des befruchteten Seeigeleies nach HERBST mit Li-Ionen. Das Hervorrufen einer Animalisierung ohne Destruktion vegetativer Keimteile geschieht durch Behandlung des unbefruchteten Eies in Ca'-freiem Medium mit SCN- oder J-Ionen und wurde zuerst von LINDAHL (5) durchgeführt.

Eine große Schwierigkeit bei der Beurteilung der Entwicklungsergebnisse von Versuchen dieser Art entsteht dadurch, daß die eine Veränderung der morphogenetischen Abstimmung im Keim bezweckenden chemischen Eingriffe nicht nur diese Wirkung haben, sondern auch die determinationsgemäße Differenzierung mehr oder weniger weitgehend hemmen, ohne eine Destruktion zu veranlassen. Das Erkennen solcher Verhältnisse ist, obwohl nicht immer

möglich, außerordentlich wichtig, da sonst fehlerhafte Schlußfolgerungen gezogen werden können.

Die große Übereinstimmung zwischen den Formen, die einerseits durch Li⁻ bzw. animalisierende Behandlung, andererseits durch mikrurgische Eingriffe erzielt werden können (s. Fig. 2 und 3) ist von größter Bedeutung für die Analyse der von den genannten Behandlungen bewirkten Stoffwechselveränderungen. Durch diese Übereinstimmung erscheint die Schlußfolgerung berechtigt, daß die Li⁻-Behandlung die Abstimmung der beiden Prinzipien derart verändert, daß das animale Prinzip geschwächt, oder das vegetative verstärkt wird, wobei eine Kombination dieser beiden Vorgänge natürlich auch denkbar wäre. Für die animalisierten Keime muß in derselben Weise gelten, daß die Vorbehandlung entweder das vegetative Prinzip schwächt oder das animale verstärkt.

Stoffwechsel und Determination.

Da der Seeigelkeim als ein ausgesprochen aerober Organismus anzusprechen ist, steht zu erwarten, daß eine große Anzahl Stoffwechselvorgänge direkt oder indirekt mit der Sauerstoffaufnahme verknüpft sind. Es besteht also die Möglichkeit, daß die Herabsetzung oder Förderung gewisser Stoffwechselvorgänge in einer Veränderung der O₂-Aufnahme zum Ausdruck kommt und somit Atmungsmessungen eine Orientierung über die Wirkungen der Eingriffe in den Stoffwechsel geben könnten.

Die zeitliche Veränderung der Normalatmung.

Wenden wir uns zuerst der Atmung des sich unter normalen Bedingungen entwickelnden Keimes zu. Diese wurde zuerst in großen Zügen von WARBURG (12) untersucht. Er zeigte, daß die Oxydationsgeschwindigkeit nach der sprunghaften Zunahme bei der Befruchtung „dauernd im Laufe von 24 Stunden“ wächst: „Wir haben kein Maximum, keine S-förmige Kurve und keine ‚rhythmische‘ Atmung“. Spätere Detailuntersuchungen haben etwas andere Einzelheiten ergeben. So steigt die Atmungsintensität während der ersten 6 Furchungszyklen nach einer exponentiellen Funktion der Zeit. (13, 14). Diese Steigerung hört allmählich auf, und die Oxydationsgeschwindigkeit bleibt 2—2,5 Stunden konstant (15). Während dieses ersten Entwicklungsabschnittes, der sich bis kurz vor dem Einwandern des primären Mesenchyms erstreckt, liegt also tatsächlich eine S-förmige Kurve (Fig. 4) vor. Der Endpunkt dieses Abschnittes wird durch eine plötzlich einsetzende Steigerung der Atmungsintensität markiert, die bis zu dem Abschluß der Gastrulation fort dauert (15). Dieser zweite Entwicklungsabschnitt ist durch etwa geradlinige Zunahme der Sauerstoffaufnahme und durch Einwandern des Mesenchyms sowie Gastrulation charakterisiert. Während des folgenden, dritten Entwicklungsabschnittes steigt die Atmungsintensität zwar immer noch weiter,

jedoch wesentlich langsamer als vorher. Ferner findet die Differenzierung der Gewebe und die Ausbildung der Körperform hier statt. Aus Gesichtspunkten der Stoffwechselphysiologie wird

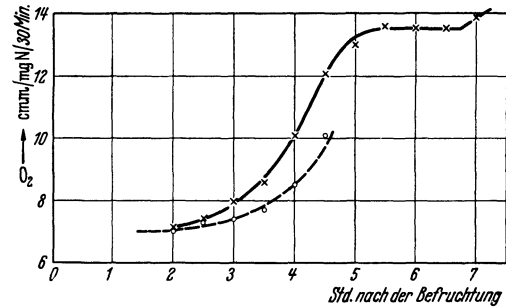


Fig. 4. Atmungsintensität eines Eiermaterials von *Paracentrotus lividus* bei 26,0° als Funktion der Zeit. Ausgezogene Kurve Normalatmung; gestrichelte Kurve Atmung in 0,081 Mol LiCl [nach LINDAHL (15)].

der Durchbruch des Mundes als Abschluß dieses letzten Abschnittes bezeichnet, weil hiernach die Aufnahme von Nahrung anfängt, und der Stoffwechsel nicht mehr ausschließlich auf körpereigene Substrate angewiesen ist (15). Fig. 5 gibt

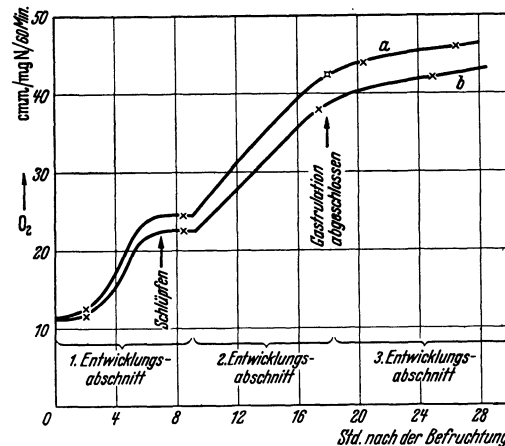


Fig. 5. Die Veränderung der Atmungsintensität der Eier zweier Weibchen von *Paracentrotus lividus*. $t = 22,0^\circ$ [nach LINDAHL (15)].

einen Überblick über den Verlauf der Normalatmung während der drei Entwicklungsabschnitte.

Die Wirkung von Lithiumionen auf Stoffwechsel, Protoplasmastruktur und Morphologie.

Da die Festlegung der Determination progressiv von dem vegetativen Pol in Richtung des animalen während der 12.—16. Entwicklungsstunde fortschreitet (7), und eine Vegetativisierung nur bei Einsetzen der Li⁻-Behandlung in früheren Stadien erzielt wird, hat sich das Interesse vor allem auf die Stoffwechselvorgänge des ersten Entwicklungsabschnittes konzentriert. Werden Li-Ionen hier in dem Zeitabschnitt der exponentiellen Zu-

nahme der Atmung einer Eiersuspension zugesetzt, so bewirken sie eine Hemmung der weiteren Zunahme der Atmungsintensität, ohne die schon vorhandene herabzusetzen (s. Fig. 4). Die quantitative Beziehung zwischen der Hemmung und der Li'-Konzentration macht eine dem Gesetz der Massenwirkung gehorchende Reaktion zwischen Li' und irgendeinem Aktivator in dem Keim wahrscheinlich (5). Die ähnliche Hemmung von Gärung und Atmung in Hefezellen durch Li' sowie die Hemmung der Dehydrierung von Hexosemono- und Hexosediphosphorsäure mit zersprengten Eiern als Enzymmaterial im Thunbergversuch (5) oder in Gegenwart von Pyocyanin und Sauerstoff als Acceptor (14) legte den Gedanken nahe, es handle sich auch in dem lebenden Seeigelkeim um die Hemmung einer Kohlehydratoxydation.

Schon GRAY hatte zur Demonstration des exponentiellen Anstieges der Atmungskurve die Annahme gemacht, daß die Atmung in diesem Entwicklungsabschnitt aus zwei Anteilen, einem konstanten und einem wachsenden, bestehe. Da die früheren Atmungsmessungen an Li'-Kulturen dies scheinbar bestätigten, wurde versucht, Stützen anderer Art für diese Annahme zu erbringen. So stellte sich heraus (14), daß die absolute Erhöhung der Atmungsintensität durch Zugabe von Pyocyanin kurz nach der Befruchtung und 9 Stunden später dieselbe ist, obwohl sich die Atmungsintensität inzwischen verdoppelt hat. Die Pyocyaninwirkung scheint somit nicht die hinzugekommene Atmung zu betreffen, sondern nur die kurz nach der Befruchtung vorhandene. Diese bleibt also bis in das 9-Stundenstadium etwa konstant, um später zu steigen anzufangen.

Eine weitere Möglichkeit, in diese Verhältnisse einen Einblick zu gewinnen, bieten die spezifischen Hemmungskörper des Kohlehydratabbaues, deren Wirkung eventuell nur den wachsenden Atmungsanteil treffen würde, für den Kohlehydrate als Substrat vermutet wurden. Monojodessigsäureamid verhindert aber nicht nur die Entstehung des wachsenden Atmungsanteils, sondern hemmt auch die schon kurz nach der Befruchtung vorhandene Atmung (14). Glycerinaldehyd, dessen Wirkung auf die Glykolyse des Hühnerembryos eingehend von NEEDHAM und seinen Mitarbeitern studiert worden ist, hemmt bei Zusatz kurz nach der Befruchtung hauptsächlich nur die weitere Zunahme der Atmung und läßt die schon vorhandene im großen und ganzen unbeeinflusst (15). Spätere unpublizierte Versuche zeigen indessen, daß in den Eiern mancher Weibchen höhere Konzentrationen eine beträchtliche Hemmung auch an dem „konstanten Atmungsanteil“ bewirken können. Sie zeigen weiter, daß Glycerinaldehyd nicht wie Li' nur die weitere Zunahme der Atmungsintensität, sondern auch die schon bei der Zugabe vorhandene Atmung hemmt. Es soll eine Möglichkeit bestehen, mit Hilfe der monomeren und der dimeren Form dieses Körpers einen über phosphorylierte Intermediärprodukte verlaufenden

Kohlehydratabbau von einem ohne Phosphorylierung stattfindenden zu unterscheiden (16). Die Atmung des Seeigeleies verhält sich aber gegen beide Formen etwa gleich (15). — Der Mangel an vollkommener Spezifität, der offenbar der Glycerinaldehydwirkung eigen ist, und die starke Destruktion der Keime, die schon bei sehr kleiner Atmungshemmung auftritt (vgl. unten), dürfte eventuell auf eine Reaktion mit Aminogruppen zurückzuführen sein.

Die Versuche mit „spezifischen“ Hemmungskörpern des Kohlehydratabbaues haben bis jetzt wenig zur Lösung der gestellten Fragen beigetragen. Auch schien es lange schwierig, die Vorstellung einer zunehmenden Kohlehydratoxydation neben einem konstant bleibenden Umsatz anderer Art mit dem hohen RQ-Wert von 0,90 zu vereinen, der zuerst von WARBURG (12) gefunden wurde und später von einer Reihe anderer Autoren bestätigt worden ist (Literatur bei 5). Alle diese Bestimmungen sind mit der ursprünglichen Dreimanometer-Methode von WARBURG ausgeführt worden. Bei orientierenden Versuchen (unpubliziert) über die Veränderung des RQ während der Entwicklung verwendete ich dieselbe Methode und stellte dabei fest, daß das p_H der Zellsuspension in dem Gefäß, wo die Kohlensäure nicht absorbiert wird, erheblich sinkt. Die Grundlage der Bestimmung des RQ ist eine gleich große Atmung in den mit KOH und H_2SO_4 beschickten Gefäßen, eine Bedingung, die bei einer Herabsetzung des p_H in dem einen Gefäß kaum erfüllt wird. Ich plante deswegen, diese Untersuchung nach einer Modifikation der Methode von MEYERHOF und SCHMITT durchzuführen. Die vorläufigen Versuche wurden von meinem Mitarbeiter ÖHMANN (17) ausgeführt. Für das 1—2-Stundenstadium wurde der RQ-Wert $0,73 \pm 0,01$, für das 7—8-Stundenstadium $0,85 \pm 0,01$ gefunden. Es scheint demgemäß, als ob hauptsächlich Fett kurz nach der Befruchtung verbrannt wird. Wird RQ für den zwischen den beiden Stadien entstandenen Atmungsanteil unter der Annahme berechnet, daß die Fettoxydation bestehen bleibt, so ergibt sich der Wert 1,00; wir würden es also tatsächlich hier in diesem Atmungsanteil mit einem *oxydativen Kohlehydratabbau* zu tun haben. Die bisher vorliegenden Analysen des Totalkohlehydrats und des Totalfettes (18) widersprechen dieser Deutung in keiner Weise. Die Zahlen von HAYES zeigen eine konstante Abnahme des Totalfettes während der 2.—9. Entwicklungsstunden. Diese Angaben scheinen jedoch mit einem großen Fehler behaftet zu sein.

Allem Anschein nach greift Li', solange die Atmung exponentiell steigt, in *einigermaßen spezifischer Weise* in den Stoffwechsel ein. Wird aber Li' kurz nach dem Aufhören dieser Steigerung zu einer Suspension zugesetzt, so *hemmt es die Atmung in anderer Art* (15). Die Hemmung trifft jetzt nicht nur die weitere Zunahme der Atmungsintensität, sondern auch die schon vorhandene Atmung. Diese Hemmung erreicht nicht, wie in

den früheren Stadien, bald nach der Zugabe der LiCl-Lösung ihren maximalen Wert, sondern nimmt dauernd zu. Weiter ist die von einer gewissen Li'-Konzentration hervorgerufene Hemmung während der Zeit des exponentiellen Anstieges unabhängig von der Temperatur (14), wohingegen die spätere Hemmung bei höherer Temperatur größer als bei niedrigerer ist (15). Da die Keime in diesen späteren Stadien eine viel größere allgemeine Empfindlichkeit gegen Li' zeigen, als in früheren, und unter Destruktionserscheinungen zugrunde gehen, scheint ein kausaler Zusammenhang zwischen dieser späteren Hemmung und der größeren gleichzeitig auftretenden Empfindlichkeit zu bestehen. Es liegt auf der Hand, die besonders in späteren Stadien nachgewiesenen, durch Li' hervorgerufenen kolloidchemischen Veränderungen im Plasma (19) mit diesen Erscheinungen in Zusammenhang zu bringen. Allerdings konnte gezeigt werden (8, 5), daß eine strukturvergrößernde Wirkung von Li' sich auch in früheren Stadien geltend macht. Daß diese während des Zeitabschnittes des exponentiellen Atmungsanstieges nicht als Atmungshemmung zum Ausdruck kommt, dürfte darauf beruhen, daß die Plasmakolloide in den früheren Stadien wesentlich weniger empfindlich sind und ferner die Strukturverhältnisse nicht die Rolle eines begrenzenden Faktors spielen können, da die Atmung schon durch die spezifische Hemmungswirkung herabgesetzt ist.

Es fragt sich nun, ob irgendeine kausale Beziehung zwischen der durch Li' bewirkten Stoffwechselhemmung und der Vegetativisierung besteht oder ob diese beiden Wirkungen als Parallelerscheinungen zu bezeichnen sind. Die erstgenannte Möglichkeit würde bedeuten, daß das animale Prinzip direkt oder indirekt durch die durch Li' hemmbaren Stoffwechselforgänge bedingt sei. Hierfür spricht, ohne die Frage zu entscheiden, die oft wiederholte Beobachtung, daß Eier, deren Atmung durch Li' weniger gehemmt wird, auch weniger stark vegetativisiert werden als solche, deren Atmung kräftiger gehemmt wird. Eine wesentlich bessere Stütze ergibt sich aber aus folgendem Verhalten: Li' hemmt die exponentielle Zunahme der Atmungsintensität reversibel. Bei einer kurzdauernden Behandlung mit Li' ist also die Größe des ausgefallenen Umsatzes von der Dauer und der Zunahme der Atmungsintensität während der Behandlung abhängig und bei gleich langer Einwirkung in verschiedenen Zeitabschnitten dieser Entwicklungsphase der Steilheit der Atmungskurve in dem betreffenden Abschnitt etwa proportional. Das morphologische Ergebnis zeigt hiermit völlige Übereinstimmung (20). Werden die Keime in Dreistundenperioden von der Befruchtung ab behandelt, so zeigen die in der ersten Periode behandelten eine schwache, die in der zweiten eine starke und die in der dritten wiederum eine schwache Vegetativisierung (vgl. die S'-Form der At-

mungskurve, Fig. 4 und 5). Bis 9 Stunden nach der Befruchtung ruft eine kurze Behandlung also eine Vegetativisierung hervor, die groß oder klein ist, je nachdem die normale Atmungskurve während der Behandlung flach oder steil verläuft. Dieses Ergebnis stützt die Hypothese, daß ein *kausaler Zusammenhang zwischen dem durch Li' hemmbaren Atmungsanteil und dem animalen Prinzip besteht*, schließt aber keineswegs die Möglichkeit aus, daß der Anstieg des genannten Atmungsanteils und die in dem animalen Prinzip zum Ausdruck kommenden Stoffwechselforgänge nebeneinander verlaufen. Letzteres würde bedeuten, daß dem Atmungsanstieg wie dem animalen Prinzip Vorgänge zugrunde liegen, die sich synchron abspielen und sich Li' gegenüber ähnlich verhalten.

Noch 9 Stunden nach der Befruchtung verursacht kurzdauernde Li'-Behandlung eine ganz schwache, wenn überhaupt eine Vegetativisierung (20). Die in späteren Stadien durch Li' bewirkte Atmungshemmung steht also in keiner direkten Beziehung zu der vegetativisierenden Wirkung. Setzt aber die Behandlung schon in früheren Stadien ein, so hat eine über das 12-Stundenstadium ausgedehnte Behandlungszeit eine immer stärkere Wirkung, je länger sie andauert (21, 20). Die Behandlung in früheren Stadien macht es so möglich, daß Li' auch in späteren Stadien eine vegetativisierende Wirkung ausüben kann. Dies muß bedeuten, daß die Festlegung der Determination durch früh einsetzende Li'-Behandlung verhindert wird. Unter diesen Bedingungen kann entweder dieselbe Wirkung von Li' wie in früheren Stadien auch in den späteren zum Ausdruck kommen, oder Li' übt hier einen anderen Einfluß aus, der mittelbar oder unmittelbar zu einer stärkeren Auswirkung des früher erfolgten Eingriffes im Stoffwechsel führt.

Es ist wiederholt versucht worden, durch Kombination der Li'-Behandlung mit anderen Agentien einen Einblick in den Mechanismus der morphologischen Li'-Wirkung zu gewinnen. So bewirkt eine Erhöhung der K-Ionenkonzentration des Meerwassers eine Abschwächung der vegetativisierenden Wirkung von Li' (3, 5). Diese Tatsache ist allerdings schwer zu deuten, weil die Erhöhung der K'-Konzentration an und für sich eine Vergrößerung des Wimperschopfes, also eine Animalisierung hervorrufen kann, die allem Anschein nach auf dem Wege einer leichten Schädigung des vegetativen Keimmaterials zustande kommt (vgl. S. 676) Nichtsdestoweniger zeigen Atmungsmessungen (5) eine Erhöhung der Atmung durch die Verstärkung der K'-Konzentration, so daß in Kombination mit Li' die hierdurch bewirkte Herabsetzung der Atmung ausgeglichen wird. Eine eingehendere Analyse des Verhaltens der beiden oben beschriebenen Atmungsteile läßt sich hier jedoch schwer durchführen.

Eingehend ist die Kombination der Li'-Behandlung mit verschiedenen die Sauerstoffübertragung hemmenden Agentien geprüft worden.

Sowohl Kohlenmonoxyd (im Gemisch mit O_2) (8) wie HCN (5) und partielle Anaerobie (20) verstärken die vegetativisierende Wirkung von Li'. In Abwesenheit von Li' bewirkt von den drei Agentien nur CO eine Vegetativisierung (8, 22), soll aber auch eine Animalisierung von Ganzkeimen hervorrufen können¹⁾. Die gleichwertige Wirkung der beiden Atmungsgifte und der partiellen Anaerobie in Kombination mit Li' zeigt, daß es sich hier kaum um eine spezifische Eigenschaft der ersteren handeln kann. Durch die Herabsetzung der Sauerstoffübertragung verschiebt sich der Oxydoreduktionszustand der Zellbestandteile in Richtung stärkerer Reduktion. Es wäre also möglich, daß die Substanzen, auf die Li' direkt oder indirekt einwirkt, in reduziertem Zustand von Li' stärker beeinflusst werden (23). Die Herabsetzung der O_2 -Übertragung verursacht andererseits zweifellos Störungen der protoplasmatischen Struktur, entweder auf Grund mangelnder Energieversorgung oder einer Anhäufung saurer Intermediärprodukte. Da nun die Kombination der Li'-Behandlung mit der Wirkung schwacher organischer Säuren zu einer Verstärkung der Vegetativisierung führt (10), scheint also bei Herabsetzung der Atmung diese Verstärkung ebensogut auf eine Anhäufung von sauren Intermediärprodukten wie auf eine Veränderung des Oxydoreduktionszustandes gewisser Zellsysteme zurückgeführt werden zu können. Man könnte dazu geneigt sein, sogar die Strukturvergrößerung, die sowohl der Herabsetzung der Atmung wie dem Zusatz von Säuren gemeinsam ist, für die Verstärkung der Vegetativisierung verantwortlich zu machen, und hätte damit dieselbe Wirkung verschiedener Agentien auf ein gemeinsames Grundphänomen zurückgeführt. Auch ließe sich hier evtl. die oben besprochene Wirkung einer über die 12. Entwicklungsstunde ausgedehnten Li'-Behandlung einordnen.

Die Literatur enthält zahlreiche Beschreibungen von Exogastrulae, die mit den verschiedensten Mitteln erhalten worden sind und die den durch Li' abgeänderten Keimen gleichgestellt werden. Es kann zur Zeit als bewiesen angesehen werden, daß Exogastrulation sowohl als Folge von Vegetativisierung wie von Eingriffen in den Gastrulationsmechanismus, und zwar dann bei vollkommen normal proportionierten Keimen, auftreten kann. „Exogastrula“ ist also keineswegs identisch mit „vegetativisierter Keim“. Nichtsdestoweniger sichern genaue Angaben und Abbildungen eine Anzahl von Fällen als Vegetativisierung nach Be-

¹⁾ HÖRSTADIUS und STRÖMBERG (22) berichten weiter über das sehr interessante Ergebnis, daß CO-Behandlung in animalen Hälften eine Animalisierung, in vegetativen dagegen eine Vegetativisierung bewirkt. Dies deutet auf eine unspezifische Wirkung von CO. Eine naheliegende Erklärung ergibt sich in der Annahme, daß CO die Festlegung der Determination hinausschiebt, wodurch das vorherrschende Prinzip in den betreffenden Hälften Gelegenheit hat, sich durchzusetzen.

handlung mit anderen Agentien als Li'. Hier kommen so verschiedenartige Behandlungen wie mit Salzlösungen, Kohlenmonoxyd, Auxin, Janusgrün und Aufzucht in stark übersiedelten Kulturen vor. Li' wirkt also nicht in dem Sinne spezifisch, daß es das einzige Agens ist, das eine Vegetativisierung hervorrufen kann (11). Die Wirkung ist jedoch insofern spezifisch, als Li' gewisse Stoffwechselfvorgänge hemmt und gleichzeitig andere verhältnismäßig unbeeinflusst läßt; eine Übereinstimmung in dieser Hinsicht mit der Wirkungsweise der anderen vegetativisierenden Agentien ist zu erwarten.

Wenn, wie oben wahrscheinlich gemacht worden ist, das animale Prinzip an einen Kohlehydratabbau gebunden ist, so könnte mit Hilfe der den Kohlehydratabbau selektiv hemmenden Körper eine Vegetativisierung erzielt werden. Versuche dieser Art sind jedoch negativ ausgefallen (20, 24). Der Grund hierzu mag darin zu suchen sein, daß die benutzten Hemmungskörper (Monojodessigsäure, Glycerinaldehyd, Phloridzin) nicht nur den Kohlehydratabbau, sondern auch andere lebenswichtige Prozesse hemmen, wie sowohl Atmungsmessungen wie Destruktionserscheinungen an den Keimen zeigen (20)¹⁾.

Über Stoffwechselfvorgänge im Zusammenhang mit der Animalisierung.

Für die Behandlung unbefruchteter Eier, die zu einer Animalisierung von Ganzkeimen führt, haben sich in erster Linie Rhodanidionen und danach Jodidionen als sehr wirksam herausgestellt. Aber auch andere Ionen, wie SO_4^{2-} , Br^- , Tartrationen, Li^- können in gleicher Weise eine Animalisierung bewirken, wenn auch in geringerem Maße. Hierher gehört wahrscheinlich auch ein unbekannter Körper, der als Verunreinigung in einem KCL-Präparat von SCHERING-KAHLBAUM (Pro analysi) enthalten war und durch Umkristallisation entfernt werden konnte (14). Da sich die Behandlung über mehrere Stunden erstreckt, ist es notwendig, die zur „Überreife“ der Eier führenden Vorgänge, die der Animalisierung entgegenwirken, auszuschalten. Da diese Phänomene an das Vorhandensein von Ca-Ionen gebunden sind (5, 25), wird die Behandlung in Ca^{2+} -freiem Meerwasser vorgenommen. Diese Maßnahme ist keineswegs notwendig, führt aber zu einem regelmäßigeren Erfolg der Methode.

Es ist offensichtlich, daß es sich hier nicht um eine spezifische Wirkung der genannten Ionen han-

¹⁾ Bei Einwirkung von Monojodessigsäure kann eine Animalisierung in Ganzkeimen und eine Vegetativisierung von animalen Hälften erhalten werden (22). Auf Ganzkeime wirkte auch Phloridzin animalisierend, rief bei animalen Hälften dagegen sowohl Animalisierung wie Vegetativisierung hervor. In Ganzkeimen ist bei Behandlung vor der Befruchtung mit diesem Körper auch eine Vegetativisierung erzielt worden (20). Es ist einstweilen schwer, hier irgendeinen Zusammenhang mit spezifischen Hemmungsreaktionen zu erkennen.

deln kann. Vielmehr bedingen sie gewisse Verhältnisse in den Zellen, durch die das Ablaufen spezifischer Vorgänge ermöglicht wird. Hiernach ist auch eine Animalisierung, die in einigen Fällen nach Behandlung mit nur Ca^{++} -freiem Meerwasser eintrat (5), verständlich. Es dürfte sich hier um irgendwelche Verunreinigungen der benutzten Chemikalien oder dergleichen gehandelt haben, die dieselbe Zustandsveränderung im Ei wie die benutzten Ionen hervorgerufen haben.

Es hat sich herausgestellt, daß die Sauerstoffaufnahme während der Behandlung von entscheidender Bedeutung für die Animalisierung ist. Wird die Behandlung bei einem Sauerstoffdruck von 2 % oder weniger oder im Dunkeln unter einer Atmosphäre von 5 % O_2 + 95 % CO oder in einer Konzentration von $6 \cdot 10^{-5}$ Mol KCN ausgeführt, so bleibt jegliche Animalisierung aus (5). In allen diesen Fällen wird die Atmung des unbefruchteten Eies kaum gehemmt, dagegen wird eine Atmungshemmung bewirkt, sowie der von WARBURG zuerst beschriebene spontane Atmungsanstieg einsetzt¹⁾. Eine erhöhte Atmung während der Behandlung scheint somit der entscheidende Vorgang für die Animalisierung zu sein. Dasselbe zeigen Versuche, in denen die Sauerstoffaufnahme durch Zugabe des Redoxkörpers Pyocyanin während der Behandlung verstärkt ist (23); die Animalisierung wird hierdurch wesentlich beschleunigt. Der spezifische Prozeß, der während der Behandlung zu Animalisierung führt, besteht somit in einer Oxydation oder ist an einen derartigen Prozeß gekoppelt. Wo diese Oxydationsprozesse einsetzen, ist bis jetzt vollkommen ungeklärt. Versuche, die Atmung während der Animalisierungsbehandlung zu messen, haben zu keinerlei Erfolg geführt, weil die Animalisierung der Eier bei gleichzeitiger Atmungsmessung immer ausbleibt. Wahrscheinlich spielen besondere, sehr labile Strukturverhältnisse, die durch das Schütteln bei der Atmungsmessung gestört werden, für das Ablaufen der zur Animalisierung führenden Prozesse eine große Rolle.

Atmungsmessungen an animalisierten Keimen in dem Zeitabschnitt der exponentiellen Zunahme der Atmung zeigen auffällige Abweichungen von den Verhältnissen im Normalkeim (5). Unter anderem ist die Empfindlichkeit der Atmung gegen Li^+ stark gestiegen; gewisse Stoffwechselsysteme im Keim sind also durch die Behandlung verändert. Eine Deutung dieser Verhältnisse ist noch nicht möglich, wie auch nicht entschieden werden kann, ob die Vorbehandlung primär eine Schwächung des vegetativen Prinzips oder eine Verstärkung des animalen bedingt.

Wenn die Animalisierung so weit fortgeschritten ist, daß sämtliche vegetativen Organe verschwun-

¹⁾ Dieser soll nach TYLER, RICCI u. HOROWITZ [J. exper. Zool. 79, 129 (1938)] zum großen Teil durch Bakterien verursacht sein. Den Verfassern gelingt es aber nicht zu beweisen, daß der Atmungsanstieg ausschließlich auf Bakterienwirksamkeit zurückzuführen ist.

den sind, wäre bei noch weiterem Fortschreiten dieses Vorganges nur eine immer größere Zunahme des Wimperschopfes und des Flimmerbandes auf Kosten der flacheren Epithelien zu erwarten. Stattdessen finden wir (5), daß ein neuer Wimperschopf den Platz der Skelettbildner einnimmt (Fig. 6). Daß es sich hier tatsächlich um einen physiolo-

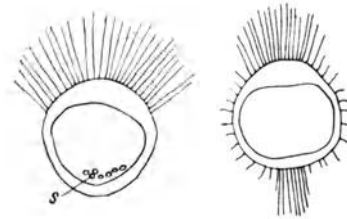


Fig. 6. Durch Vorbehandlung animalisierte Keime von *Paracentrotus lividus*; links mit vegetativ belegenen Skelettbildnern (S), die später hier ein unpaars Skelettstück ausbilden; rechts mit einem zweiten sekundären Wimperschopf an derselben Seite [nach LINDAHL (5)].

gisch funktionierenden animalen Pol handelt, geht aus Versuchen hervor, in denen die vorbehandelten Eier nach der Befruchtung der Wirkung von Li^+ ausgesetzt werden. In Keimen, die mäßig animalisiert waren, kommen die vegetativen Differenzierungen jetzt mehr zur Geltung, und es entwickeln sich fast normale oder leicht vegetativisierte Keime. Auch bei Keimen, die zwei Wimperschöpfe hätten ausdifferenzieren sollen, ist dies der Fall. Das Mesenchym und das Entoderm werden aber hier nicht aus dem vegetativsten Material, das zu Ektoderm wird, sondern aus dem eben vegetativ vom Eiäquator belegenen Material gebildet (Fig. 7). Es hat also hier in dem vegetativen

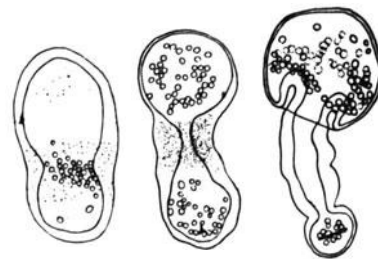


Fig. 7. Durch Vorbehandlung animalisierte, nach der Befruchtung mit Li^+ behandelte Keime von *Paracentrotus lividus* in verschiedenen Entwicklungsstadien. Die Punktierung zeigt die Verteilung des Pigmentes, das im ungefurchten Ei einen Gürtel unterhalb des Äquators bildet [nach LINDAHL (5)].

Drittel des Keimes ohne jede Materialverschiebung eine Umkehrung der Polarität stattgefunden.

Zur Zeit werden diese Verhältnisse am besten mit Hilfe der „polaren Dominanz“ erklärt. In dem Augenblick, in dem das vegetative Prinzip vollkommen unterdrückt worden ist, nimmt das animale Prinzip in niedrigster Intensität das vegetative Keimgebiet ein. Bei der weiteren Zunahme

der Animalisierung würden die von den animalsten Teilen ausgehenden Hemmungswirkungen der „polaren Dominanz“ auch hier zur Wirkung kommen. Der vegetativste Teil des Eies entzieht sich aber wegen des großen Abstandes dieser Hemmung, und es kann hier ein zweiter Wimperschopf entstehen.

Über die Wirkung von Sulfatmangel.

Die durch Aufzucht bei Sulfatmangel erhaltenen Keime haben zu der Erkenntnis des Antagonismus zwischen dem animalen und dem vegetativen Prinzip geführt (s. oben S. 673). Spätere Untersuchungen haben hier kaum zur Lösung des physiologischen Problems der Determination beigetragen, weil der SO_4 -Mangel verhältnismäßig sehr spät — kurz vor dem Einwandern des primären Mesenchyms — zur Geltung kommt. Stattdessen hat sich ein Einblick in die Lokalisation gewisser Stoffwechselvorgänge ergeben.

HERBST zeigte, daß Sulfat-Ionen für die Entwicklung des Seeigelkeimes notwendig sind, und daß sie erst im Blastulastadium und später eine Rolle spielen. Bei SO_4 -Mangel findet vor allem eine Differenzierungshemmung der vegetativen Teile des Keimes statt. Die Entodermzellen sind getrübt und gelblich verfärbt, und da sie nicht in normaler Weise gestreckt werden, wird die Entodermwand stärker als normal und bleibt oft ungegliedert. Das primäre Mesenchym bildet nicht den bekannten normalen Skelettbildnering, sondern häuft sich in unmittelbarer Nähe des Darmes an, was auf Hemmung entweder in den Skelettbildnerzellen oder in dem sie dirigierenden Ektoderm schließen läßt. Die Wimperschopfzone breitet sich aus, und die Ento-Ektoderm-Grenze wird in vegetativer Richtung verschoben. Die dorsoventrale Organisation ist mehr oder weniger unterdrückt, und die Keime können in extremen Fällen vollkommen radsymmetrisch sein.

Die hier stattfindende Animalisierung unterscheidet sich also in mehreren wesentlichen Hinsichten von der durch Behandlung vor der Befruchtung erhaltenen. Die Hemmungserscheinungen und strukturellen Störungen im vegetativen Keimgebiete gehen mit einer Herabsetzung des Sauerstoffverbrauches Hand in Hand (5). Diese Atmungshemmung setzt gleichzeitig mit dem SO_4 -Bedürfnis, also früher als die sichtbaren Hemmungserscheinungen, ein.

Die Rolle der SO_4 -Ionen ist noch nicht bekannt. Da aber in dem SO_4 -freien Meerwasser, in dem eine Kultur gezüchtet worden ist, nach Vervollständigung mit SO_4 differenzierungshemmende Stoffe in einer höheren Konzentration vorliegen, als von einer entsprechenden Kultur in normalem Wasser ausgeschieden wird (26), so scheint den SO_4 -Ionen hier wie in so vielen anderen Organismen eine entgiftende Funktion zuzukommen. Die giftigen, differenzierungshemmenden Stoffe können noch besser nach Extraktion mit Äthyläther aus ganzen, SO_4 -frei gezüchteten Kulturen nach-

gewiesen werden (unpublizierte Versuche d. Verf.). Auch hier wird, wie vielfach in Geweben anderer Organismen, eine Phenosulfatase gefunden (5). Wir haben also Anlaß zu vermuten, daß es sich hier um eine Veresterung von organischen Hydroxylgruppen in giftigen Intermediärprodukten handelt. Ob diese mit dem Eiweißstoffwechsel, wie für Säugetiere angenommen wird, oder mit anderen Vorgängen in Zusammenhang steht, muß dahingestellt bleiben. Man könnte hier noch an Intermediärprodukte bei der Bildung des pigmentes Echinochrom denken, das nach neueren Untersuchungen (27) ein Naphtochinonderivat darstellt. — Auffallend ist das gleichzeitige Einsetzen des SO_4 -Bedürfnisses mit dem Knick der Atmungskurve kurz vor dem Einwandern der Skelettbildner. Dies, sowie die Beobachtung, daß das vegetative Keimgebiet in diesem Stadium ein viel stärkeres Reduktionsvermögen gegen Redoxindikatoren erwirbt (28), spricht dafür, daß neue Stoffwechselprozesse zu diesem Zeitpunkt in Gang gesetzt werden.

Eine Lokalisation der das SO_4 -Bedürfnis bedingenden Stoffwechselvorgänge auf die vegetativen Keimteile ist aus den allgemeinen Zügen der durch SO_4 -Mangel bewirkten Störungen ersichtlich. Weitere Aufschlüsse ergeben SO_4 -Mangel ausgesetzte isolierte animale und vegetative Hälften (26). Die animalen Hälften verhalten sich hier genau wie in normalem Meerwasser und sind also nicht der Bildung derartiger giftiger Intermediärprodukte fähig. Diese Behauptung darf jedoch nicht auf eine animale Hälfte in ihrem normalen Zusammenhang ausgedehnt werden. Wir können indessen schließen, daß die giftigen Stoffe weder in dem normalen noch in dem vergrößerten Wimperschopf gebildet werden. Da die Vergrößerung des Wimperschopfes in den isolierten animalen Hälften in SO_4 -freiem wie in normalem Meerwasser gleich ausfällt, müssen die diesem Vorgang zugrunde liegenden Prozesse schon abgelaufen sein, ehe die Bildung der giftigen Stoffe einsetzt. Wird nämlich die Animalisierung in den isolierten animalen Hälften durch eine schwache Li^+ -Konzentration zurückgehalten, so tritt bei SO_4 -Mangel die Bildung der giftigen Stoffe auf (26). Da das Entoderm hier fehlt, kann also dieser Vorgang auch in dem vegetativen Ektoderm vor sich gehen, wenn auch in geringerem Maße. Hierauf deuten auch Ergebnisse an durch Vorbehandlung mäßig animalisierten, darmlosen Keimen. Besonders wird die Streckung des Oralfeldes hier betroffen, was für einen Unterschied zwischen Ventral- und Dorsalseite hinsichtlich dieser Stoffwechselvorgänge spricht.

Die isolierten vegetativen Hälften werden in SO_4 -freiem Meerwasser noch viel stärker angegriffen als das entsprechende Material in normalem Zusammenhang mit der animalen Hälfte. (26). Dies wurde damit erklärt, daß im Ganzkeim die giftigen Stoffe aus dem vegetativen in das animale Material fort diffundieren. Ein anderer sicher auch mitwirkender Faktor liegt in dem Verhalten des

vegetativen Materials, das als isolierte vegetative Hälfte einen mehr vegetativen Charakter als im normalen Zusammenhang mit der animalen Hälfte zeigt (s. oben S. 674). — Durch geeignete Behandlung können isolierte animale Hälften mit Li⁺ zur Entodermbildung gebracht werden (29). Das Entoderm verhält sich in diesem Fall bei SO₄²⁻-Mangel genau so wie das Entoderm eines normalen Ganzkeimes (26). Damit ist festgestellt worden, daß die Stoffwechselfvorgänge, die zur Bildung dieser Intermediärprodukte führen, nicht an ein bestimmtes Material, sondern an eine gewisse Determination und Differenzierung gebunden sind. Diese Vorgänge spielen somit keine Rolle für die Ausbildung des vegetativen Prinzips, sondern sind von diesem bedingt und fallen in großen Zügen mit seiner Ausbreitung zusammen. Das Einsetzen der Bildung der giftigen Produkte in Abwesenheit von SO₄-Ionen zu einem viel späteren Zeitpunkt, als die morphogenetischen Wirkungen des vegetativen Prinzips in Transplantations- und Isolierungsversuchen zum Ausdruck kommen, spricht auch hierfür.

Zur Lokalisation einiger Stoffwechselfvorgänge.

Mit mikrurgischer Technik durchgeführte Untersuchungen konnten die räumliche Verteilung des animalen und vegetativen Prinzips demonstrieren. Der Lokalisierung irgendwelcher Stoffwechselfvorgänge stehen jedoch in einem Objekt von etwa 80 μ Durchmesser große methodische Schwierigkeiten entgegen. Durch vitale Anfärbung mit geeigneten Redoxindikatoren und nachfolgende Reduktion unter anaeroben Verhältnissen ist es gelungen, Gebiete verschiedenen Reduktionsvermögens festzustellen. In Oozyten, unbefruchteten Eiern und verschiedenen Entwicklungsstadien bis zum frühen Blastulastadium erfolgt nach CHILD (28) die Reduktion am schnellsten im Bereiche des animalen Pols und nimmt von hier vegetativwärts ab. Kurz vor dem Einwandern der Skelettbildner entsteht ein zweiter Bezirk schneller Reduktion, und zwar vom vegetativen Pol ab an Schnelligkeit abnehmend. Diese zwei Reduktionsgradienten bestehen dann bis in das Prisma stadium, wo durch die Anlage von Stomodäum und Fortsätzen das Gradientenmuster komplizierter wird. Auffällig ist das gleichzeitige Auftreten des vegetativen Reduktionsgradienten mit dem Beginn der Bildung der normalerweise durch SO₄-Ionen entgifteten Intermediärprodukte. Unter der Einwirkung von Li⁺ sollen die beiden Reduktionsgradienten ganz oder teilweise verwischt oder sogar invertiert werden.

Die Ausdehnung des animalen Reduktionsgradienten soll im Blastulastadium in engster Beziehung zu der Größe des künftigen Ektoderms stehen und mit dieser unter experimentellen Bedingungen parallel variieren (30). Durch Benutzung verschiedener rH-Indikatoren soll sogar ein Grenzwert des Oxydoreduktionspotentials bestimmt werden können, das präsumptives Ento- und Ektoderm trennt.

Quantitative Messungen an verschiedenen Teilen des Seeigeleies sind erst durch die hervorragenden Mikromethoden von LINDERSTRÖM-LANG und HOLTER möglich geworden. So ergeben Atmungsmessungen mit Hilfe der Tauchermethode von LINDERSTRÖM-LANG die gleiche Atmung für isolierte animale und vegetative Hälften, sowohl in der 7—9-Stundenperiode wie später 12 und 28 Stunden nach der Befruchtung (31). Dieses Ergebnis bedeutet zunächst, daß die Auffassung CHILD's, daß ein Atmungsgradient mit höchster Intensität am animalen Pol die Grundlage der Determination bilde, nicht stichhaltig ist. Aus technischen Gründen sind Atmungsmessungen an vegetativen und animalen Hälften kurz nach der Befruchtung nicht möglich. Obwohl die Atmungsintensität in dem 7—9-Stundenstadium der beiden Hälften gleich ist, könnte sie kurz nach der Befruchtung verschieden sein, wenn nämlich der wachsende Atmungsanteil hauptsächlich auf die animale Hälfte begrenzt wäre. Gegen eine derartige Lokalisation spricht aber die gleich große Hemmung bzw. Aktivierung der Atmung in den beiden Hälften durch Li⁺), Glycerinaldehyd, bzw. Pyocyantin. Obwohl die mit dem Knick kurz vor dem Einwandern der Skelettbildner einsetzende Zunahme der Atmung gleichzeitig mit dem vegetativen Reduktionsgradienten auftritt, scheint auch sie nicht auf eine der beiden Eihälften konzentriert zu sein. Diese zeigen nämlich den gleichen O₂-Verbrauch sowohl 12 als 14 Stunden nach der Befruchtung (31). Es macht also den Eindruck, als ob nicht die reduzierenden, substrataktivierenden Systeme im Keim die Größe des O₂-Verbrauches bestimmten und als ob der begrenzendende Faktor eher in dem „O₂-überführenden System“ zu suchen wäre. Ähnliche Verhältnisse scheinen auch in dem Amphibienkeim vorzuliegen, wo die gefundenen Unterschiede in der Atmungsintensität zwischen verschiedenen Keimbezirken bei weitem nicht dieselbe Größenordnung erreichen wie die der anaeroben Glykolyse.

Auch der Gehalt an Dipeptidase ist sowohl für frühe Furchungsstadien wie für Blastulae und Plutei derselbe in dem animalen und in dem vegetativen Material (32, auch für Literatur). Im Laufe der Entwicklung konnte auch keine Veränderung in der Peptidasemenge entdeckt werden.

Es ist somit offensichtlich, daß eine Lokalisation irgendwelcher den animalen bzw. vegetativen Prinzipien zugrunde liegender Stoffwechselfvorgänge bis jetzt noch nicht gelungen ist.

Die Determination der Dorsoventralachse.

Wird ein sich furchendes Seeigelei meridional zerteilt, so differenzieren sich die erhaltenen Fragmente — sogar Achtel-Fragmente — dorsoventral. Dies zeigt, daß die Determination der Dorsoven-

¹⁾ Die Li⁺-Versuche sind hier weniger beweiskräftig, da die Messungen erst nach dem Abschluß der exponentiellen Zunahme der Atmung ausgeführt wurden, wo die unspezifische, späte Hemmung eingesetzt hat.

tralachse in diesem Stadium sehr labil ist und daß jeder Teil des Umkreises zur Ventralseite bzw. Dorsalseite werden kann. Was bedingt nun im normalen Ganzkeim das schließliche Vorhandensein von nur einer Ventralseite? Über diese Frage geben zur Zeit einige Experimente Aufschluß. Es hat sich herausgestellt, daß Eier, die vor der Befruchtung durch eine enge Kapillare getrieben werden und eine langgestreckte Form während der Entwicklung behalten, zwei Ventralseiten (Oralfelder), eine an jedem Ende, ausdifferenzieren können (33). Aus diesem Befund geht hervor, daß eine Ventralseite die Entstehung anderer Ventralseiten in demselben Keim verhindert, welche Schlußfolgerung auch durch Schnürungsversuche (34) bestätigt worden ist. Wird ein gewisser Abstand zwischen den verschiedenen Keimteilen überschritten oder wird der Kontakt zwischen diesen durch eine Einschnürung stark vermindert, so kann sich diese Hemmungswirkung der Ventralseite nicht geltend machen.

Gewisse Tatsachen deuten darauf hin, daß die Ventralseite unabhängig von der Eintrittsstelle (9) des Spermiums und durch gewisse lokale kolloidchemische Verhältnisse der Rinde bedingt ist (35). Sie dürfte in irgendeiner Weise im Verhältnis zu anderen Teilen des Eies begünstigt und ihnen deswegen überlegen sein, wie auch Versuche mit gestreckten Eiern schließen lassen (33). Hier wird das bei der Passage durch die Kapillare vorangehende Ende des Eies zur Ventralseite. Wurde dieses Ende aber durch sehr starke Färbung mit Nilblausulfat vergiftet, so wird das andere Ende des Eies, das jetzt relativ begünstigt ist, zur Ventralseite. Hieraus folgt, daß wir das bei der Streckung vorangehende Ende als durch diese Behandlung irgendwie begünstigt betrachten müssen. Hier findet bei der Streckung eine sehr starke Dehnung der Rindenschicht statt (32), und wir wissen jetzt, daß die Dehnung der Eier infolge von Streckung bei Zentrifugierung eine Aktivitätserhöhung sowohl der Indophenolblauoxydase (36) wie auch des natürlichen Dehydrasesystems (37) mit sich führt. Eine höhere Atmung bei gestreckten als bei normalen befruchteten Eiern konnte allerdings nicht festgestellt werden (unpublizierte Versuche zusammen mit H. HOLTER).

Auch durch Zentrifugierung ist es möglich, die Lage der Ventralseite und somit die Richtung der Dorsoventralachse zu beeinflussen (38, 33, 39). Es scheint, daß hierbei die geformten, in einem Teil des Eies zusammengeschleuderten Plasmaeinschlüsse eine entscheidende Rolle spielen; die Ventralseite entsteht dann in diesem Gebiet oder in dessen Nähe. Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, daß die normalerweise die Lokalisation der Ventralseite bedingenden Verhältnisse auch hierbei in vielen Fällen mitspielen (33), so daß die geschleuderten Einschlüsse nicht der einzige lokalisierend wirkende Faktor sind¹⁾. Messungen an

¹⁾ Dies führt PEASE zu der Aufstellung der Hypothese, daß die Ventralseite in dem normalen Ei von

durch Zentrifugieren zerteilten Eiern geben eine höhere Dehydraseaktivität für die zentrifugalen als für die zentripetalen Fragmente und führten zu der Schlußfolgerung, daß das Dehydrasesystem zum Teil an die zentripetal geschleuderten Einschlüsse gebunden ist (37). Atmungsmessungen an befruchteten Fragmenten hatten einen in entgegengesetzter Richtung gehenden Unterschied ergeben, der aber zu klein ist, um statistisch gesichert zu sein.

Es eröffnen sich also hier gewisse Möglichkeiten, die lokale, experimentell bedingte Begünstigung, die zur Ausbildung der Ventralseite eben an einer gewissen Stelle führt, in Beziehung zu Veränderungen des Stoffwechsels zu setzen.

Ein weiteres Ergebnis findet durch die Fähigkeit der Ventralseite, die Entstehung anderer Ventralseiten zu unterdrücken, eine natürliche Erklärung. Werden Meridionalhälften des 2—32-Zellenstadiums isoliert, so findet, wenn der Schnitt frontal gelegen ist, eine Umkehrung der dorsoventralen Achse in dem dorsalen Fragment statt. Die Ventralseite kommt also hier auf den Platz der ursprünglichen Dorsalseite zu liegen und wird außerdem viel später als in dem ventralen Fragment ausdifferenziert. In dem Ganzkeim stellt dieses Gebiet den Teil dar, der am wenigsten den von der Ventralseite ausgehenden Hemmungswirkungen ausgesetzt worden ist.

Viele Tatsachen zeigen, daß eine enge Beziehung zwischen der Entstehung der Ventralseite und den animalen und vegetativen Prinzipien besteht. So wird die Größe der ventralen Differenzierungen des Ektoderms, das Flimmerband und das Oralfeld, von der animal-vegetativen Abstimmung bedingt; in animalisierten Keimen nehmen sie auf Kosten des Scheitels zu, in vegetativisierten dagegen umgekehrt ab. Aus gewissen Streckungsversuchen (33, 5) konnte LINDAHL schließen, daß ein Zusammenwirken animaler und vegetativer Qualitäten notwendig ist für die Entstehung der organisierend wirkenden präsumptiven Ventralseite. Hierzu bilden die Isolierungsversuche von HÖRSTADIUS (7) eine gute Ergänzung: Die extremsten animalen und vegetativen Fragmente entwickeln sich zu radiärsymmetrischen Gebilden. Werden sie aber in einem Keim vereinigt, so tritt bilaterale Organisation auf.

Es fehlt nicht an hypothetischen Versuchen, die Entstehung der dorsoventralen Organisation in Beziehung zu den animalen und vegetativen Prinzipien zu setzen. Einerseits wird ein schräger Verlauf des vegetativen Gefälles vorgeschlagen (4, 40), wodurch die künftige Ventralseite mehr vegetativ als die Dorsalseite wird, andererseits wird die Möglichkeit erwogen, daß die beiden Prinzipien einem kortikalen ventralen Gefälle, das mit einem im Inneren diffus verbreiteten „Substrat“ zusammenwirkt, determiniert wird. Im zentrifugierten Ei soll die Ventralseite da entstehen, wo diese beiden Faktoren in höchster Intensität zusammentreffen.

zipien auf der ventralen Seite in höherer Intensität zur Auswirkung kommen als auf der dorsalen (33, 5). Letzteres könnte durch günstigere Diffusionsbedingungen für spezifisch wirkende Stoffe durch besondere kolloidchemische Strukturverhältnisse auf der Ventralseite bedingt sein¹⁾. Für die beiden Hypothesen werden Beobachtungen an vegetativisierten, geschnürten und gestreckten Keimen als Stütze angeführt. Eine experimentelle Prüfung durch mikrurgische Versuche scheint mir nur für die erste Hypothese möglich. Die bis jetzt ausgeführten Experimente (7) zeigen kein höheres Hinaufreichen der vegetativen Eigenschaften ventral als dorsal in dem normalen Keim.

Die Unentbehrlichkeit des Zusammenwirkens der beiden Prinzipien für die Entstehung der dorsoventralen Organisation steht fest. Es ist dagegen fraglich, ob nicht das Vorhandensein der vegetativen wie der animalen Eigenschaften in höherer Intensität auf der ventralen als auf der dorsalen Seite eher eine Folge als eine Bedingung der dorsoventralen Organisation darstellt. Gewisse Fälle, wo große lokale Diskontinuitäten in den „morphogenetischen Gefällen“ durch experimentelle Eingriffe gesetzt worden sind, ohne daß hierdurch die Ventralseite determiniert wird (7), sprechen dafür, daß diese Verhältnisse nicht allein entscheidend sein können, obwohl sie eine gewisse Rolle spielen. Einstweilen scheint die Annahme einer „begünstigten“ Stelle — in gestreckten Eiern das gedehnte Ende, in Fragmenten und durch Transplantation erhaltenen Keimen die präsumptive Ventralseite — hier eine ausreichende Erklärungsmöglichkeit zu geben.

Auch für die Asymmetrieachse herrschen offenbar ähnliche Verhältnisse wie für die Dorsoventralachse: Es handelt sich auch hier um eine ungleichpolige Achse, die Links-Rechtsachse, die zur Hauptachse des radiärsymmetrischen Seeigels wird. Seine beiden Pole sind der Ausbildung eines Hydrocöls fähig. Die Polarität der Achse wird dadurch bestimmt, daß die eine Seite, die offenbar in irgendeiner Weise begünstigt ist — in der Normalentwicklung die linke — die Ausbildung eines Hydrocöls an der anderen Seite unterdrückt (34). Es besteht jedoch der große Unterschied, daß die Dorsoventralachse in jede Meridianebene fallen kann, wohingegen die *Richtung* der Asymmetrieachse durch die Festlegung der Dorsoventralachse determiniert ist.

Als Abschluß der hier gegebenen Übersicht möchte ich die wiederholt in der Analyse der See-

¹⁾ Tatsächlich verhalten sich auch die Plasmakolloide der Ventralseite anders als die der Dorsalseite (3, 35).

igelentwicklung auftretende Gesetzmäßigkeit hervorheben, die in einer von gewissen Bezirken ausgehenden Unterdrückung gleichnamiger Entwicklungstendenzen besteht (die „polare Dominanz“, die Unterdrückung der Tendenz zur Ausbildung von Ventralseiten, die Unterdrückung der Entstehung eines zweiten Hydrocöls) und zu einer fortschreitenden Potenzeinschränkung führt.

Literatur.

- (1) J. NEEDHAM, Ann. Rev. Physiol. **1**, 63 (1939). —
- (2) C. M. CHILD, J. Morph. a. Physiol. **28**, 65 (1916) — Biol. Bull. **30**, 391 (1916). — (3) J. RUNNSTRÖM, Pubbl. Staz. zool. Napoli **6**, 1 (1925). — (4) J. RUNNSTRÖM, Arch. Entw.mechan. **113**, 556 (1928); **117**, 123 (1929); **124**, 273 (1931). — (5) P. E. LINDAHL, Acta zool. (Stockh.) **17**, 179 (1936). — (6) S. HÖRSTADIUS, Pubbl. Staz. zool. Napoli **14**, 251 (1935). — (7) S. HÖRSTADIUS, Biol. Rev. **18**, 132 (1939). — (8) J. RUNNSTRÖM, Acta zool. (Stockh.) **9**, 365 (1928). — (9) S. HÖRSTADIUS, Acta zool. (Stockh.) **9**, 1 (1928). — (10) L. v. UBISCH, Arch. Entw.mechan. **134**, 599 (1936). — (11) C. M. CHILD, Physiologic. Zoöl. **13**, 4 (1940). — (12) O. WARBURG, Arch. ges. Physiol. **160**, 324 (1915). — (13) J. GRAY, Brit. J. exper. Biol. **4**, 313 (1927). — (14) P. E. LINDAHL u. L. O. ÖHMAN, Biol. Zbl. **58**, 179 (1938). — (15) P. E. LINDAHL, Z. vergl. Physiol. **27**, 233 (1939). — (16) H. LEHMANN and J. NEEDHAM, Enzymologia **5**, 95 (1938). — (17) L. O. ÖHMAN, Arch. Zool. **32A**, Nr 15 (1940). — (18) B. EPHRUSSI et L. RAPKINE, Anal. physiol. et physicochimie biol. **3**, 386 (1928) — F. R. HAYES, Biol. Bull. **78**, 267 (1938). — (19) J. RUNNSTRÖM, Biol. Bull. **68**, 378 (1935). — (20) P. E. LINDAHL, Arch. Entw.mechan. **140**, 168 (1940). — (21) S. HÖRSTADIUS, Arch. Entw.mechan. **135**, 1 (1936). — (22) S. HÖRSTADIUS u. S. STORÖMBERG, Arch. Entw.mechan. **140**, 168 (1940). — (23) J. RUNNSTRÖM u. D. THÖRNBLUM, Naturwiss. **24**, 447 (1936). — (24) J. NEEDHAM and D. NEEDHAM, J. exper. Biol. **17**, 147 (1940). — (25) V. SCHECHTER, Biol. Bull. **72**, 366 (1937). — (26) P. E. LINDAHL u. Å. STORDAL, Arch. Entw.mechan. **136**, 44 (1937). — (27) R. KUHN u. K. WALLENFELS, Ber. dtsh. chem. Ges. **72**, 4007 (1939). — (28) C. M. CHILD, Arch. Entw.mechan. **135**, 426 (1936). — (29) L. v. UBISCH, Z. wiss. Zool. **124**, 469 (1925). — (30) S. RANZI u. M. FALKENHEIM, Pubbl. Staz. Zool. Napoli **16**, 436 (1937); S. RANZI, Arch. Zool. Ital. **26**, 427 (1939). — (31) P. E. LINDAHL u. H. HOLTER, C. r. Trav. Labor. Carlsberg, Sér. Chim. **23**, 257 (1940). — (32) H. HOLTER u. P. E. LINDAHL, C. r. Trav. Labor. Carlsberg, Sér. chim. **23**, 249 (1940). — (33) P. E. LINDAHL, Arch. Entw.mechan. **127**, 300 und 323 (1932). — (34) S. HÖRSTADIUS, Arch. Entw.mechan. **138**, 197 (1938). — (35) M. FOERSTER et Å. ÖRSTRÖM, Trav. Stat. biol. Roscoff **11**, 63 (1933). — (36) H. E. NAVEZ and E. B. HARVEY, Biol. Bull. **69**, 342 (1935). — (37) R. BALLENTINE, J. Cell. comp. physiol. **16**, 39 (1940). — (38) J. RUNNSTRÖM, Arch. Zool. A **18**, Nr 4 (1925). — (39) D. PEASE, J. of exper. Zoöl. **80**, 225 (1939). — (40) W. SCHLEIP, Die Determination der Primitiventwicklung. Leipzig 1929).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Das Spektrum des R₀-Sternes H. D. 182040.

Im Hinblick auf die Klassifikation der Sterne nach ihren Spektren sowie im Zusammenhang mit der Frage nach der Energieerzeugung im Sterninnern, ist in der Astrophysik das Problem der Konstanz bzw. Veränderlichkeit der chemischen Zusammensetzung der Sternatmosphären in den letzten Jahren stark in den Vordergrund gerückt. Bei der Durchsicht publizierter Spektren im Laufe einer theoretischen Untersuchung über die Beziehungen zwischen den beiden verwandten Spektralklassen R und N ist Verfasser auf einen Stern gestoßen, der zweifellos innerhalb seiner Klasse wie auch allgemein in der Hinsicht auf die bekannte

Fig. 1 im Ausschnitt wiedergegeben, der Stern H. D. 182040 befindet sich an vierter Stelle.

Charakteristisch für die Spektren der Klasse R sind in dem in Fig. 1 umfaßten Wellenlängegebiet die Banden der zweiatomigen Kohleverbindungen C₂ (λ 4736, 4383), CH (λ 4315) und CN (λ 4216). Die Gesamtheit der Sterne der Klasse R ist nach fallender Temperatur und Zunahme der CN- und C₂-Absorption in 10 Unterklassen R₀—R₉ eingeteilt. Die Oberflächentemperatur liegt bei der ersten Unterklasse R₀ in der Höhe von 4400—4600° oder noch ein wenig höher, am Ende der Sequenz R₈, R₉ um 2500°. Ein Vergleich der Spektren von H. D. 156074 und

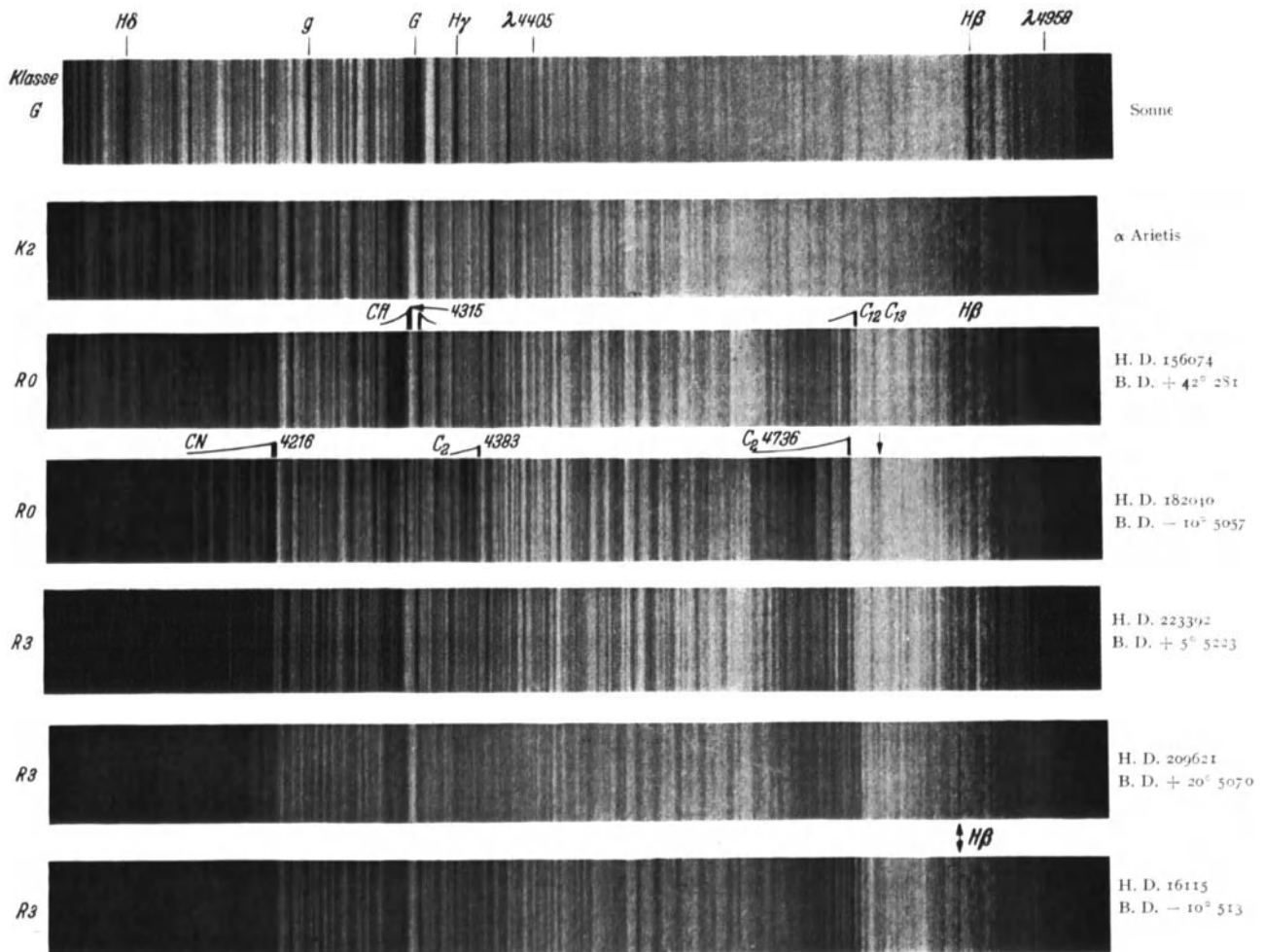


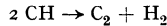
Fig. 1.

Häufigkeit des Wasserstoffes eine Ausnahmestellung einnimmt und auf den hier hingewiesen werden soll. Es handelt sich um einen R₀-Stern mit der Harvard-Durchmusterungsnummer H. D. 182040. Ein Spektrum dieses Sternes von mittlerer Dispersion (47 A/mm bei λ 4500), an dem diese Besonderheit deutlich in Erscheinung tritt, ist von W. C. RUFUS¹⁾ vor längerer Zeit in einer Tafel publiziert worden. In den Erläuterungen zu den reproduzierten Spektren des Bandes wird ausdrücklich auf die von anderen Sternen der Klasse abweichenden Züge bei H. D. 182040 hingewiesen, die demnach nicht bei dem Reproduktionsverfahren entstanden sind (s. S. 184). Die genannte Tafel ist hier in

H. D. 182040 läßt nun auf den ersten Blick erkennen, daß die CH-Bande bei λ 4315 (G-Bande), die sonst in allen R-Spektren vorhanden ist, in H. D. 182040 fehlt und dafür sowohl die CN- wie die C₂-Banden an Intensität gewonnen haben. Sehr bezeichnend ist das gleichzeitige Verschwinden von H β . Nach den Ausmessungen der Spektren von 11 Sternen der Klasse R durch RUFUS ist H. D. 182040 der einzige Stern, bei dem das G-Band und H β vollständig fehlen. Eine Durchmusterung der gemessenen Linien in H. D. 156074 und H. D. 182040 zeigt, was auch ganz roh bei einem Blick in die Tafel erkenntlich wird, daß beide Objekte, abgesehen von den Bandengebieten, sonst weitgehend im Spektrum über-

einstimmen. Eine Ausnahme macht möglicherweise die schwache, in der Fig. 1 durch einen Pfeil angedeutete Linie, deren Wellenlänge von RUFUS zu $\lambda 4771.37$ angegeben ist, und die in H. D. 157074 und den anderen R-Sternen nicht gemessen wurde. Innerhalb der von RUFUS erreichten Genauigkeit in der Wellenlängenermittlung in diesem Gebiet stimmt diese Linie mit der stärksten im Sichtbaren zu erwartenden Kohlelinie $\lambda 4771.71$ (Anreg. Pot. 7 Volt) überein. Verfasser möchte diese Identifizierung ohne eine weitere Prüfung an Originalaufnahmen zunächst jedoch nur mit Vorbehalt vorbringen.

Läßt man für H. D. 182040 selbst große Abweichungen in bezug auf Temperatur oder Druck von den übrigen R 0 bis R 3-Sternen zu, so bleibt das Verschwinden der G-Bande bei Erhaltung bzw. Verstärkung der CN- und C₂-Absorption ganz unverständlich, solange man an einer identischen chemischen Komposition festhält. Nach Ausweis der Spektren von 22 Objekten der Klasse R ist nach SHANE²⁾ eine kräftige CH-Absorption ein charakteristisches Merkmal bei der Menge der R-Sterne. Auf Grund der Theorie der Dissoziationsgleichgewichte ist zwar für tiefere Temperaturen am Ende der R-Sequenz mit einer merklichen Schwächung der CH-Konzentration in den Sternatmosphären zu erwarten, da die Reaktion



mit etwa einem Volt exotherm ist; es ist jedoch nach dem Spektrum ganz unmöglich, den Stern an das Ende der R-Sequenz zu stellen, ganz abgesehen davon, daß selbst hier die CH-Absorption noch nicht verschwindet. Seiner Oberflächentemperatur nach gehört der Stern ohne Zweifel, wie derselbe auch sowohl von RUFUS wie von SHANE eingeordnet ist, an die Spitze der Klasse. In diesem Temperaturgebiet ist bei Druck- und Temperaturvariationen nach höheren oder niedrigeren Werten hin zu erwarten, daß sich bei gleichbleibender chemischer Komposition die Intensitäten der CN-, C₂- und CH-Banden in gleichem Sinne ändern. Für das Verschwinden des CH-Bandes sieht Verfasser keine andere Erklärungsmöglichkeit als die einer starken Abnahme der Häufigkeit des Wasserstoffs in bezug auf Kohle (und evtl. Stickstoff) in der Atmosphäre von H. D. 182040. Das gleichzeitige Verschwinden von H kann als eine Stütze für diese Deutung gelten.

Das Verhältnis der Klasse R (und der verwandten noch kühleren Klasse N) zu den übrigen Sternen (K, M, S) desselben Temperaturintervalls (4500—1500°), bei welchen man in erster Linie Absorptionsbanden von Metalloxyden (TiO, ZrO, ScO) beobachtet, ist vor einigen Jahren von ROSENFELD³⁾ und fast gleichzeitig von H. N. RUSSELL³⁾ dahin gedeutet worden, daß in deren Atmosphären Kohle im Überschuß gegenüber Sauerstoff vorhanden ist, ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen bei den K-, M- und S-Sternen, bei denen der Sauerstoff im Überschuß gegenüber Kohle vorliegt. Bei den sog. Sauerstoffsternen (K, M, S) wird bei fallender Temperatur die Bildung der Verbindungen CN, C₂ und CH dadurch praktisch vollständig unterdrückt, daß auf Grund der relativ großen Bindungsenergie des CO-Moleküls der vorhandene Kohlenstoff für die Bildung dieser Verbindung restlos aufgebracht wird. Infolge eines Überschusses an Sauerstoff ist über das Kohlenmonoxyd hinaus noch die Möglichkeit zur Bildung der schwächer gebundenen Metalloxyde gegeben.

Numerische Durchrechnungen des Dissoziationsgleichgewichtes für die Klasse R für verschiedene Häufigkeitsverhältnisse von H, C und N und ein Vergleich mit den Bandenintensitäten, sprechen dafür, daß das Häufigkeitsverhältnis von H:C und N wesentlich kleiner ist als in der Sauerstofffreie. Dies folgt ebenfalls unmittelbar aus einem Vergleich der Bandenintensitäten der genannten Moleküle in den Spektren der ersten Unterklassen von K mit denen der ersten Unterklassen von R, die in dasselbe Temperaturintervall fallen. Bei den Temperaturen dieser Klassen ($T \sim 4500^\circ$) ist die Molekülbildung selbst für die Moleküle mit relativ hohen Bindungsenergien (CO, N₂, CN) noch so schwach, daß man die Partialdichten ν_{H} , ν_{N} , ν_{C} der freien Atome praktisch noch gleich den Gesamtzahlen ν'_{H} , ν'_{N} , ν'_{C} der pro Volumeneinheit überhaupt enthaltenen Atome setzen kann. Die relativen Konzentrationen der Verbindungen sind somit unmittelbar aus den einfachen Gleichgewichtsformeln

$\frac{\nu_{\text{C}} \cdot \nu_{\text{H}}}{K_{\text{CH}}} = \nu_{\text{CH}}$, $\frac{\nu_{\text{C}} \cdot \nu_{\text{N}}}{K_{\text{CN}}} = \nu_{\text{CN}}$ usw. (K gleich der Dissoziationskonstanten) zu errechnen, die also bei gleicher chemischer Zusammensetzung in bezug auf H, N und C in K und R 0—R 3 gleich werden. Die beiden Typen sollten in diesem Temperaturintervall bei gleichem H-, N- und C-Gehalt an den Bandenintensitäten somit überhaupt nicht unterscheidbar sein. Die Tatsache, daß sich die R-Typen von den frühen K-Sternen aber durch eine höhere Intensität der CN- und C₂-Banden deutlich abheben, muß als ein Beweis für eine höhere Häufigkeit zumindest des Kohlenstoffs in R betrachtet werden. Aus dem Verhalten der CN- und C₂-Banden am Ende der R-Sequenz ist weiter zu schließen, was hier nicht näher auseinandergesetzt werden soll, daß die Häufigkeit von Stickstoff mindestens gleich der Häufigkeit der Kohle gesetzt werden muß. Für das Verhältnis H:C scheint am besten ein Wert von 10^1 bis $10^{1.5}$ mit den Beobachtungen verträglich.

In welchem Maße beim Übergang von H. D. 156074 zu H. D. 182040 eine Verminderung des relativen Wasserstoffgehaltes eintritt, läßt sich ohne genauere Messungen an Originalaufnahmen natürlich nicht angeben. Das zu beobachtende vollständige Unsichtbarwerden einer kräftigen Bande läßt jedoch vermuten, daß dieser Rückgang einem Faktor 10 mindestens nahe kommt, und es erscheint somit nicht ausgeschlossen, daß in H. D. 182040 die Häufigkeit des Wasserstoffs auf die von Stickstoff und Kohlenstoff oder gar darunter herabgesunken ist. Gewisse Streuungen in den relativen Bandenintensitäten der Verbindungen CN, C₂ und CH, die man allgemein innerhalb der einzelnen Unterklassen von R beobachtet, lassen vermuten, daß H. D. 182040 in bezug auf die niedrige Wasserstoffhäufigkeit nicht eigentlich einen Ausnahme-, sondern nur einen Extremfall darstellt, und daß die Klasse R Objekte sehr verschiedenen Wasserstoffgehaltes umfaßt.

Potsdam, Astrophys. Observatorium, den 24. September 1941.
K. WURM.

1) Publ. Astron. Obs. Univ. of Michigan 2, 103 (1916).

2) C. D. SHANE, Lick Obs. Bull. 13, 123 (1928).

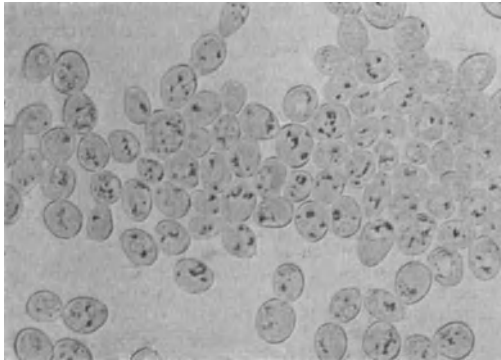
3) Monthly Nat. 93, 729 (1933) — Astrophys. J. 79, S. 317 (1934).

Experimentell erzeugte Polyploidreihen bei der Hefe.

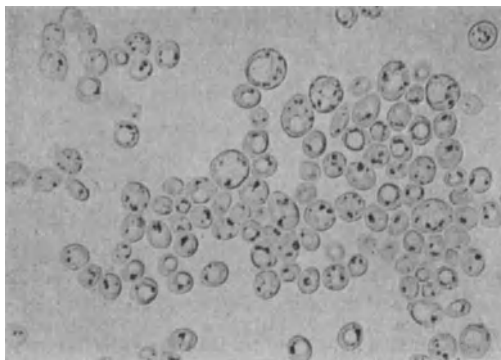
In einem vorhergehenden Bericht (Naturwiss. 1941, 503) konnte mitgeteilt werden, daß sich die Einwirkung von Campherdämpfen in bestimmter Dosierung als ein besonders wirksames Mittel erwiesen hatte, um bei der Hefe Mutationen der verschiedensten Art experimentell auszulösen. Der Campher wirkt dabei in ähnlicher Weise wie das bei Blütenpflanzen neuerdings viel verwendete Colchicin als karyoklastischer Stoff, der die Kernteilung stört und dabei chromosomale Aberrationen verschiedenster Art hervorruft. In der Zwischenzeit haben sich außer Campher verschiedene andere Substanzen als im gleichen Sinne für die Hefe wirksam erwiesen, von denen vor allem das α -Naphthylamin Bedeutung gewonnen hat. Unter den bereits früher erwähnten und den in der Zwischenzeit neu gezogenen Stämmen befindet sich eine Reihe von Aberranten, die sich gegenüber dem Ausgangsklon durch besondere Größe auszeichnen. Es ist nicht zu bezweifeln, daß es sich hierbei um Riesenwuchs handelt, der ähnlich wie bei den Blütenpflanzen auf Verdopplung der Chromosomen zurückzuführen ist.

Derartige, vermutlich also tetraploide Stämme wurden nun einer erneuten Einwirkung von Campherdämpfen ausgesetzt. In einigen Fällen gelang es erwartungsgemäß, aus diesen Stämmen neue Formen von noch größerem Zellvolumen zu erhalten. Die Figuren zeigen nebeneinander den Ausgangsklon, die tetraploide Mutante M 120 und die daraus erhaltene vergrößerte Mutante M 120/9. Die dargestellten Kulturen waren unter gleichen Außenbedingungen auf einer Agarplatte herangezogen. Die variationsstatistische Analyse der Zellvolumina zeigte, daß die Mittelwerte der Volumina dieser Stämme 180, 334 und 620 betragen. Die Volumina stehen also im Verhältnis 1:2:4 zueinander. Die Zahlenwerte liegen außerhalb der 3fachen mittleren Fehler, sind also variationsstatistisch einwandfrei gesichert. Zu den gleichen gesicherten Ergebnissen führte auch die Auswertung der jeweils kleinsten und größten Zellen dieser Stämme.

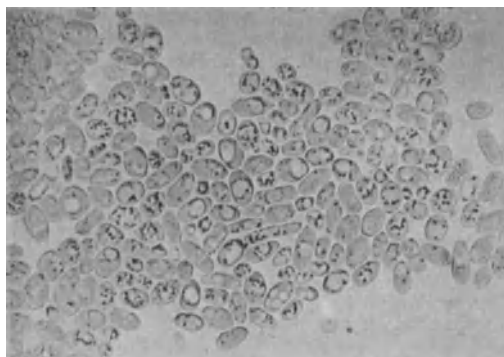
Obwohl die zytologische Analyse noch aussteht, kann man schon jetzt mit großer Wahrscheinlichkeit sagen, daß hier eine Polyploidreihe vorliegt, bei der die Chromosomenzahl des diploiden Ausgangsklones zum tetraploiden und octoploiden Bestand vermehrt worden ist. Die Tatsache, daß es möglich ist, derartige Polyploidreihen zu syntheti-



1. Ausgangsklon.



2. Tetraploide Rasse M 120.



3. Octoploide Rasse M 120/9.

Fig. 1. Volumvergrößerung der Hefezellen. 500:1.

sieren, weist darauf hin, daß der Kernteilungsmechanismus bei der Hefe im gleichen Sinne wie allgemein bei Pflanzen und Tieren abläuft, also auf mitotischem Wege und nicht in Form der Amitose, wie es gelegentlich von Untersuchern der Hefezytologie noch in letzten Jahren behauptet wurde. Es dürfte interessant sein, auch die Organismengruppen mit

anucleärem Bau, die Cyanophyceen und Bakterien, in gleicher Weise zu untersuchen.

Die Hefe wurde bei diesen Untersuchungen bewußt in den Vordergrund des Interesses gestellt, weil sie wie kaum ein anderer Pilz in ihren physiologischen Auswirkungen von gärungsphysiologischer und biochemischer Seite weitgehend analysiert ist und weil die Methoden zu einer vergleichenden Analyse der physiologischen Leistungsfähigkeit bis ins einzelne ausgebaut sind. Die Überprüfung der Leistungsfähigkeit der neu entwickelten Stämme hat Herr Prof. FINK vom Institut für Gärungsgewebe in Berlin liebenswürdigerweise zugesagt. Es kann aber jetzt schon gesagt werden, daß sich die neuen Stämme nach 3wöchigem Wachstum in Anstellwürze ganz wesentlich im Geschmackscharakter der erzeugten Jungbiere unterscheiden. Vor allem liefert der erwähnte tetraploide Stamm M 120 einen sehr klaren und reinen Geschmack, der dem Pilsener Typ entspricht. Es besteht also begründete Aussicht, daß diese neuen Stämme auch für praktische Zwecke von Bedeutung werden können, und es ergeben sich auch für andere in der Gärungstechnik verwendete Organismen Möglichkeiten, sie nach züchterischen Gesichtspunkten zu behandeln und Stämme mit neuen Eigenschaften heranzuziehen.

Rostock, Botanisches Institut, den 1. Oktober 1941.

R. BAUCH.

Über den Grundvorgang des Polierens von Gläsern.

Die zunehmende Ausglättung einer Glasoberfläche kann auf mechanischem Wege durch immer feiner werdende Stoffabtragungen und durch amorph-plastische Stoffverschiebungen bewirkt werden. Für das Bestehen geringer Stoffverluste sprechen ältere Beobachtungsergebnisse über Gewichtsabnahmen während des Poliervorganges¹⁾. Die Frage nach der Beteiligung plastischer Stoffverschiebungen blieb dagegen unentschieden. Im Folgenden wird der Grundvorgang dieser Stoffwanderung durch einfache Modellversuche sichtbar gemacht, womit seine genauere Untersuchung bequem zugänglich geworden ist.

Die eingehende Prüfung normaler und angeätzter polierter Glasoberflächen ergab das Vorhandensein zahlreicher Spuren, die sich auf direkte Einwirkung der Körnchen des Poliermittels (Korngröße etwa 0,2—0,8 μ) zurückführen ließen. Die Entwicklung vieler derartiger, vorher unsichtbar gewesener „Polierkratzer“ durch Anätzen zeigte, daß Polierflächen durch das Vorhandensein zahlloser Durchkreuzungen solcher Spuren zu kennzeichnen sind.

Die Herstellung geeigneter *Modellkratzer* auf bestpolierten Glasoberflächen gelang durch Benutzung besonders schwach belasteter Ritzwerkzeuge (Diamantspitzen, Saphirnadeln, stählerne Grammophonadeln). Während höhere Belastungen die bekannten, in das Glasinnere reichenden Zerstörungen von der Art des Diamantschnittes liefern, die durch zahlreiche Bruchvorgänge bedingt sind, treten bei genügend kleinen Beanspruchungen *bruchfreie* „Auskehlungen“ der Glasoberfläche auf. Diese Auskehlungen sind zumeist mehrspurig (Fig. 1) und zeigen in jeder Hinsicht das gleiche Verhalten wie die natürlichen, im allgemeinen viel schwächeren „Polierkratzer“. Mittels eines von der Firma Carl Zeiss gebauten Mikroskop-Interferometers nach W. LINNIK²⁾, das für die Untersuchung von Glasoberflächen in geeigneter Weise abgeändert wurde, konnte die größte Tiefe der Modellkratzer zu etwa 0,3 μ bestimmt werden. Das mikro-interferometrische Bild (Fig. 3) der stärkeren Spuren läßt erkennen, daß nicht zu seichte Auskehlungen beiderseits von wallartigen Erhöhungen begleitet sind; die Breite der Auskehlungen erstreckt sich bis zu etwa 0,5 μ .

Zur Nachahmung des Poliervorganges betrachten wir jetzt die *Kreuzungen zweier Modellkratzer*. Als Beispiel sei eine derartige Kreuzung zweier mit 300 g Nadelbelastung hergestellter Grammophonadellkratzer auf einer bestpolierten Oberfläche des optischen Glases SF 2 im Abbildungsmaßstab 900:1 bei verschiedenen Untersuchungsarten durchgeführt. Fig. 1 zeigt die Kreuzungsstelle in Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung, Fig. 2 in Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung; die Fig. 3 und 4 geben Interferenzsaufnahmen der gleichen Kreuzung bei verschiedenem gewähltem Abstand der Interferenzstreifen wieder. Der in den Figuren lotrecht verlaufende Kratzer wurde zuerst gezogen und ist an der

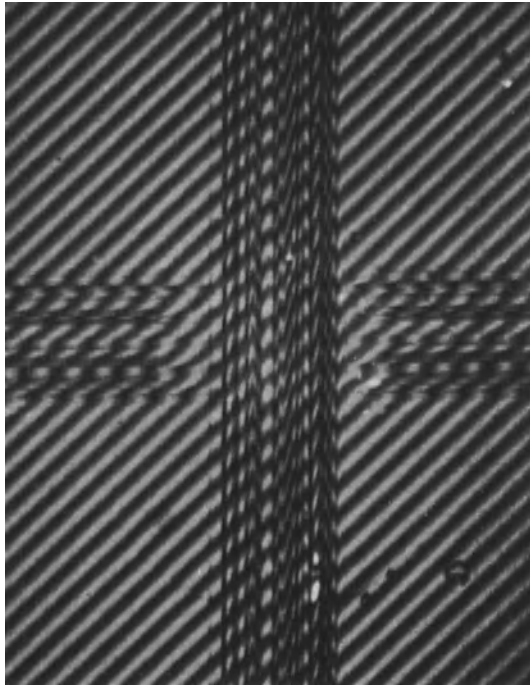


Fig. 3. Interferenzaufnahme der in den Fig. 1 und 2 gezeigten Kreuzung mit dem Mikroskopinterferometer nach W. LINNIK. $\lambda = 546 \text{ m}\mu$. 900:1.

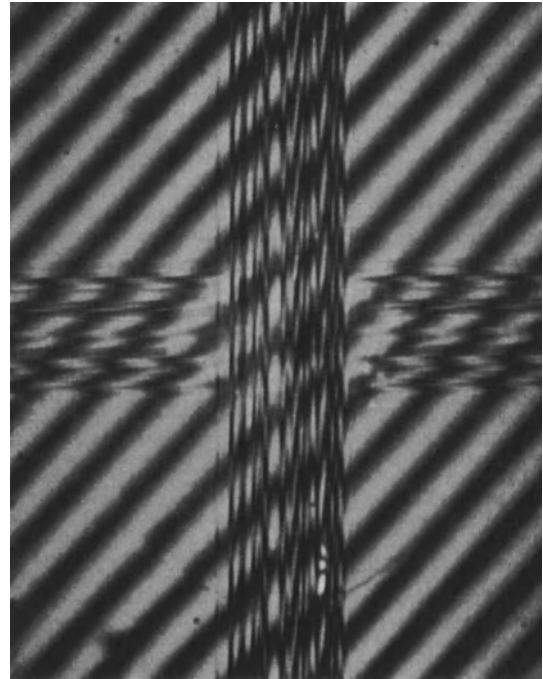


Fig. 4. Interferenzaufnahme der gleichen Kreuzung bei enger gewähltem Abstand der Interferenzstreifen. $\lambda = 546 \text{ m}\mu$. 900:1.

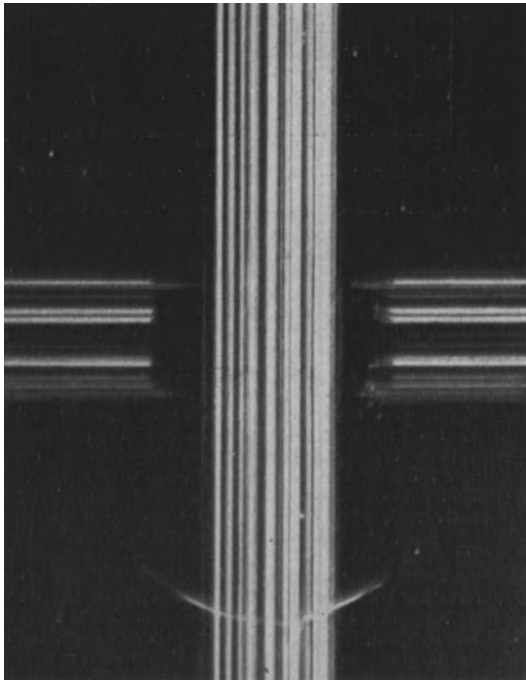


Fig. 1. Kreuzung zweier Grammophonadelkratzer auf einer polierten Oberfläche des optischen Glases SF 2. Belastung der Nadel 300 g. Aufsicht-Hellfeld-Beleuchtung. 900:1.

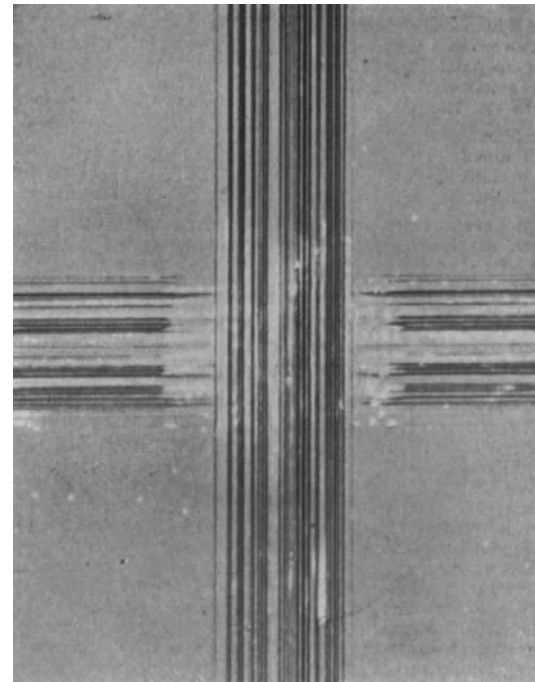


Fig. 2. Die gleiche Kreuzung in Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung. 900:1.

Kreuzungsstelle durch den waagerechten Vorgang in beträchtlichem Ausmaße „zugewischt“, was daselbst mit einer teilweisen Glättung der Glasoberfläche verbunden ist. Durch Behandlung mit verschiedenen Säuren wurde sichergestellt, daß der Einebnungseffekt nicht durch fremde Verunreinigungsstoffe bedingt ist, sondern daß den „zugewischten“ Gebieten die gleiche Beständigkeit wie der

benachbarten Glassubstanz zukommt. Dieser Einebnungseffekt besitzt somit die Kennzeichen einer Polierwirkung, so daß es berechtigt erscheint, ihn als *Grundvorgang des Polierens* anzusehen.

Die vorgeführten Erscheinungen sind nicht auf polierte Glasflächen beschränkt, sondern wurden auch auf frischen Bruchflächen von Gläsern und synthetischen Saphirkristallen

sowie auf polierten Oberflächen von Quarzglas und von kristallinem Quarz nachgewiesen. Bei Anwendung geeigneter Ritzwerkzeuge und Ritzbedingungen dürften sie demnach auch auf zahlreichen anderen Stoffen nachweisbar sein.

Nähere Angaben über die erforderlichen Versuchsbedingungen erfolgen in einer ausführlichen Mitteilung an anderer Stelle.

Rathenow, Physikalisches Laboratorium der Emil Busch-A.-G. und Halle a. d. S., Institut für Theoretische Physik der Universität, im Oktober 1941.

WERNER KLEMM, ADOLF SMEKAL.

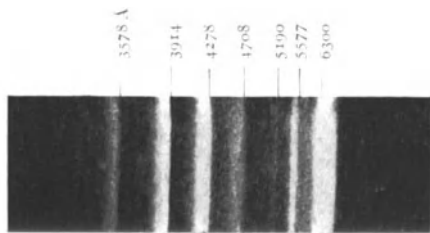
¹⁾ L. VON REIS, Z. VDI. 76, 181 (1932).

²⁾ W. KINDER, Zeiss-Nachrichten 2, 91 (1937).

Eine neue Strahlung im Nordlicht des 18./19. September 1941.

Das Nordlicht vom 18./19. September wurde auf unserer Außenstation Arosa-Tschuggen (2040 m) von Dämmerung zu Dämmerung beobachtet, auch am Abend des 19. kam es nochmals zu kurzer Strahlenbildung. Ausführlicher wird den Verlauf an Hand der Aufnahmen die „Zeitschrift für angewandte Meteorologie“ bringen, über das Spektrum sei jedoch bereits an dieser Stelle berichtet, da es sich von den großen Erscheinungen dieses Sonnenfleckenmaximums¹⁾ wesentlich unterscheidet.

Auffällig war zunächst die zwar nicht durchweg, aber doch vorwiegend herrschende Farbarmut, die auch in Zusehriften zum Ausdruck kam. Im lichtstarken Spektroskop waren nur Wellenlängen $\cong 5577 \text{ \AA}$ bis wohl herunter zu 3914 \AA zu erkennen, und zwar durchweg im neutralen Ton



Nordlichtspektrum 18. bis 19. September 1941. 10mal vergrößert.

des Dämmerungssehens an Stelle des sonst so schönen Farbenspiels. Sofort als auffällig und ungewohnt empfunden wurde eine helle Linie, die sich 5577 \AA im vermutlich auch noch grünen Spektralbereich zugesellte.

Wie in allen 8 aufeinanderfolgenden Nächten des 17. bis 25. September steht nun auch in der Nordlichtnacht eine 8 Stunden belichtete Spektralaufnahme mit einem lichtstarken ZEISSschen Quarz-Nachtlicht-Spektrographen F/1 zur Verfügung; als Plattensorte diente Agfa Isopan ISS. Der Spektrograph war auf 9 Grad Höhe gegen Nord ausgerichtet. Das Spektrogramm ergibt an Nordlichtlinien die bekannten Sauerstofflinien 5577 (Intensität 4) und 6300 bis 6364 (Int. 10), noch langwelligeres Rot der 1. positiven Gruppe des Stickstoffmoleküls bis etwa 6650 \AA (Int. 4), die typischen Banden der negativen Gruppe 4708 (Int. 2), 4278 (Int. 5), 3914 (Int. 7), und 3578 \AA der 2. positiven Gruppe (Int. 2). Die visuell so auffällige Linie tritt photographisch allerdings zurück (Int. 1) und kommt vor allem in der Abbildung ungünstig zur Geltung. Ihre Wellenlänge ergab sich vorläufig zu 5190 \AA , wozu zu bemerken ist, daß eine solche Angabe bei der geringen Dispersion dieser Nachtlichtspektrographen, speziell meines für Ultraviolet konstruierten Apparats (für den Bereich 5190 Dispersion 1540 \AA/mm) reichlich um etliche \AA unsicher ist. Diese ebenfalls noch zuzulassende Linie 5198 \AA des neutralen Stickstoffatoms ist nach M. NICOLET²⁾ unwahrscheinlich. Aber auch andere Gründe sprechen dafür, daß hier die Calciumlinie 5189 \AA vorliegen dürfte. In den übrigen Nächten — selbst nicht am 19./20. — war weder von dieser Linie noch von sämtlichen kürzeren

¹⁾ Z. Geophys. 14, 314 (1938) — Naturwiss. 27, 241 (1939) — Die Sterne 20, 113 (1940).

²⁾ M. NICOLET, Inst. Roy. Mét. Belg. Mém. XI, 1939.

Wellenlängen mehr etwas festzustellen. Auffällig war, wie verhältnismäßig wenig die Intensität von 5577 in der Nordlichtnacht gegenüber den benachbarten, allerdings recht „hellen Nächten“³⁾ gesteigert war.

Arosa (Schweiz), Lichtklimatisches Observatorium, den 3. Oktober 1941. F. W. PAUL GÖTZ.

³⁾ Götz, Verh. Schweiz. Naturf. Ges. Basel 1941.

Variationen der Fluoridhemmung der Hefeatmung und -gärung.

Das Ausmaß der durch Fluorid verursachten Hemmung der Atmung und Gärung der Bäckerhefe ist von den physiologischen Bedingungen sehr stark abhängig. RUNNSTRÖM und SPERBER¹⁾ suchten die Ursache hierfür in Permeabilitätsveränderungen. Demnach wäre die Permeabilität für Fluorid bei gesteigerter Atmung und Gärung geringer, bei herabgesetztem Stoffwechsel jedoch größer. In Fortsetzung dieser Studien zeigte MALM²⁾, daß zwar die Permeabilität für Fluorid tatsächlich in dem postulierten Sinne variiert, daß aber nicht die Permeabilität, sondern vor allem der Zustand der betreffenden Enzyme für das Ausmaß der Hemmung verantwortlich ist. RUNNSTRÖM, GURNEY und SPERBER³⁾ haben diese Verhältnisse bei der Bäckerhefe unter den verschiedensten Bedingungen eingehend studiert. Sie kamen zu der Auffassung, daß die betreffenden Enzyme nach Verbindung mit einem „Begleitstoff“ gegen Fluorid geschützt sind. Die Verbindung mit dem Begleitstoff kommt nur dann zustande, wenn in der Zelle eine Atmung oder Gärung vor sich geht. Der Hemmungsgrad würde von der Lebensdauer des Symplexes Enzym + Begleitstoff bzw. von der Lebensdauer der Verbindung zwischen Enzym und Fluorid abhängen.

Bei der Gärung dürfte das gegen Fluorid empfindliche Enzym die Enolase sein⁴⁾, bei der Atmung hingegen ein Überträger, der in demselben Potentialgebiet wie Cytochrom B liegt⁵⁾. Offenbar verhalten sich die beiden Enzyme gegen Fluorid überraschend ähnlich.

Inzwischen wurde nun auch bei Bierhefe eine starke Beeinflussung der Fluoridhemmung durch verschiedene Faktoren gefunden. Folgender Versuch als Beispiel für den Einfluß der Eigenatmung:

Fluoridkonzentration mmol/l . . .	0	4,2	6,2	8,3	12,4
Q_{CO_2} in Luft . . .	150	133	112	56	20
„ in Stickstoff . . .	145	18	0	0	0

Die Hefeinwaage entsprach $1,7$ mg Trockensubstanz pro Ansatz, die Konzentration der Glukose war $23,2$ mmol/l. Als Puffer diente 80 mmol/l Bernsteinsäure-Succinat, p_H 5, $T = 25^\circ$. Der Stickstoff war über schwach glühendem Kupfer gereinigt. Zur Entfernung letzter Sauerstoffspuren diente in den Ansätzen mit Stickstoff Chromchlorür. Das Fluorid wurde 10 Minuten vor der Glukose eingekippt. Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf die Verhältnisse nach dem Einkippen.

Die Periode zwischen dem Einkippen des Fluorids und dem der Glukose ist für die Hemmung entscheidend. In den Ansätzen in Luft herrscht während dieses Abschnitts eine Eigenatmung, die trotz ihres geringen Betrages, $Q_{O_2} = 4$ bis 6 , für die Fluoridhemmung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Schon ein Sauerstoffdruck von $7-8$ mm vermindert die durch Fluorid unter anaeroben Bedingungen bewirkte Gärungshemmung. Die Eigenatmung ist indessen abhängig vom Sauerstoffdruck. Die maximale Schutzwirkung tritt erst bei dem Sauerstoffdruck ein, bei dem die Eigenatmung ihr Maximum erreicht. Auch bei Versuchen, in denen der Gasraum ein Gemisch von Kohlenmonoxyd und Sauerstoff enthält, wird die maximale Schutzwirkung erst dann erzielt, wenn die Atmung von gleicher Größe wie in Luft ist.

Wird das Fluorid 10 Minuten *nach*, anstatt wie im oben angeführten Versuch, 10 Minuten *vor* der Glukose zugesetzt, so tritt keine Hemmung ein. Die nach dem Zusatz von Glukose einsetzende Gärung übt eine noch viel stärkere Schutzwirkung als die Eigenatmung aus.

Versuche wurden auch mit aus der Bierhefe hergestelltem Mazerationsaft ausgeführt. Hier ist die Fluoridhemmung der Gärung stärker als in der lebenden Zelle, es ist aber

gleichgültig, ob das Fluorid aerob oder anaerob zugesetzt wird. Ebenso wenig spielt die Reihenfolge des Zusatzes von Fluorid und Glukose eine Rolle. Dagegen fand MARCUSE⁶⁾ im hiesigen Institut, daß die relative Gärungshemmung durch Fluorid bei einer Erhöhung des Phosphatgehaltes zunimmt. Es erwies sich, daß Mazerationssaft und lebende Zellen sich in dieser Beziehung ähnlich verhalten. Folgende Tabelle gibt einen Versuch mit intakter Bierhefe wieder.

Fluoridkonzentration in mmol/l . .	0	4,1	6,2	8,4	12,4
QCO ₂ in Ansätzen mit 0,1 mol/l NaCl	90	92	73	39	9
„ in Ansätzen mit 0,1 mol/l KH ₂ PO ₄	90	85	35	8,5	3

Konzentration der Glukose und des Puffers, p_H , Hefewaage und Reihenfolge der Zusätze waren dieselben wie bei dem oben zahlenmäßig angeführten Versuch. Trotz der geringen Permeabilität der Hefezelle für Phosphat wächst die Fluoridhemmung nach Phosphatzusatz. Diese Versuche waren schon abgeschlossen, als eine Arbeit von LYNN⁷⁾ erschien, in der der starke Einfluß der Atmung auf die Konzentration des Orthophosphats innerhalb der Hefezelle nachgewiesen wurde. Die schützende Wirkung der Atmung gegen Fluorid könnte somit darauf beruhen, daß der Gehalt an Orthophosphat unter dem Einfluß der Atmung beträchtlich herabsinkt. Die Gärung wirkt nach LYNN auf ähnliche Weise. Dies würde die oben angeführte Tatsache erklären, daß der nachträgliche Zusatz von Fluorid in den genannten Konzentrationen nicht hemmt.

Es wurde nun gezeigt, daß Zusatz von Phosphat bei Bäckerhefe auch die Atmungshemmung durch Fluorid verstärkt. Das parallele Verhalten der beiden für Fluorid stark empfindlichen Enzyme — bei der Gärung und bei der Atmung — kommt hier wieder zum Ausdruck.

Kürzlich erschienen zwei wichtige Mitteilungen von WARBURG und CHRISTIAN⁸⁾. Diese haben das Gärungsferment Enolase isoliert und weiter den Mechanismus der Fluoridhemmung des Enzyms aufgeklärt. Das Enzym ist erst nach Verbindung mit Magnesium wirksam, Magnesium kann aber durch einen Magnesium-Fluoro-Phosphat-Komplex verdrängt werden. Angesichts dieser Tatsache ist es erklärlich, daß die Fluoridhemmung der Gärung von der Phosphatkonzentration stark abhängig ist, die in der lebenden Zelle wiederum mit dem Stoffwechsel innig verknüpft ist. Bei dem fluoridempfindlichen, bei der Atmung der Bäckerhefe wirksamen Enzym dürften ähnliche Verhältnisse wie bei der Enolase vorliegen. Die meisten der von RUNNSTRÖM, GURNEY und SPERBER⁹⁾ beschriebenen Tatsachen stimmen mit den hier kurz vorgebrachten Gesichtspunkten überein.

Stockholm (Schweden), Wenner-Grens Inst. f. exp. Biologie d. Universität, den 13. Oktober 1941.

JOHN RUNNSTRÖM.

1) Biochem. Z. 298, 340 (1938).

2) Naturwiss. 28, 723 (1940).

3) Enzymologia 10, 1 (1941).

4) K. LOHMANN u. O. MEYERHOF, Biochem. Z. 273, 60 (1934).

5) H. BOREI, Arkiv f. Kemi (Stockholm) 13 A, Nr 23 (1939).

6) R. MARCUSE, Arkiv f. Kemi (Stockholm), im Druck.

7) Liebig's Ann. 546, 120 (1941).

8) Naturwiss. 39, 589, 590 (1941).

Über die Aktivierung der d-Leucyl-glycin-spaltenden Peptidase¹⁾.

Die Bedingungen, unter denen wir vor kurzem *schlüssig bewiesen haben*¹⁾, daß das Peptidasensystem normaler Tiere imstande ist, auch d-Peptide glatt zu spalten, waren noch nicht die günstigsten. Immerhin war es durch Zusatz bestimmter Metalle zum Versuchsansatz möglich, eine vollständige Aufspaltung verschiedener d-Peptide zu erzielen, und zwar mit Auszugsmengen und innerhalb einer Versuchsdauer, die den bei der Bestimmung „natürlicher“ peptidatischer Wirkung üblichen ziemlich entsprachen. Ohne Metallzusatz ist es unmöglich — wie die vielen vergeblichen Bemühungen beweisen — trotz gefährlich langer Versuchsdauer

selbst mit Materialmengen, welche eine exakte Durchführung und die Genauigkeit der Methode in Frage stellen, eine Spaltung von d-Leucyl-glycin (d-LG.) durch Auszüge aus Organen, embryonalem und Krebsgewebe einwandfrei nachzuweisen. Die Spaltungsbedingungen und damit auch der Nachweis lassen sich noch sehr verbessern, wenn man anstatt Metall allein Metall + Cystein (oder ähnlich wirkende Substanzen) hinzusetzt. Durch die Kombination Eisen bzw. Mangan und Cystein erfährt das Wirkungsvermögen der Auszüge gegenüber d-LG. eine außerordentliche Verstärkung (siehe Tabelle 1). Welche Unterschiede in der Beeinflussbarkeit der durch Organauszüge bewirkten (ziemlich kräftigen) l- und (der praktisch nicht meßbaren) d-LG.-Spaltung durch bestimmte Zusatzstoffe bestehen, zeigt ein Vergleich der in Tabelle 1 und 2 angeführten Ergebnisse. Besonders auffällig sind die Unterschiede des Einflusses von Zink, Cystein und Metall + Cystein.

Tabelle 1. d-LG.-Spaltung durch Glycerinauszüge aus Kaninchenniere, Hühner- und Meerschweinchenleber.

Versuchsbedingungen: Ansatz 5 ccm, $p_H = 8$, $t = 40^\circ$, Dauer 18 Stunden. Toluol. Titrationsprobe 2 ccm. d-LG. (α)₂₀^o/D = -81°. Einer 100proz. Spaltung entspricht ein Aciditätszuwachs von 2,40 ccm n/20 KOH. Von allen Auszügen wurden 0,05 ccm angewandt. Konzentration der Zusatzstoffe Mn(SO₄) m/1000, Zn(SO₄) m/10000, Cystein m/125.

Zusatz	d-LG.-Spaltung (ccm n/20 KOH) durch Auszüge aus		
	Ka.-Niere	Hü.-Leber	Me.-Leber
—	0,07	0,09	0,10
Eisen	0,62	0,49	0,44
Mangan	1,12	0,88	0,87
Zink	0,06	0,06	0,01
Cystein	0,44	0,48	0,26
Fe + Cystein	2,12	2,20	2,10
Mn + Cystein	2,09	2,11	1,98

Tabelle 2. l-LG.-Spaltung durch die gleichen Auszüge wie in Tabelle 1.

Versuchsbedingungen wie in Tabelle 1. Substrat d, l-LG. Einer 50proz. Spaltung entspricht ein Aciditätszuwachs von 2,40 ccm n/20 KOH. Es wurden 0,0025 ccm Kaninchennierenauszug, 0,0075 ccm Hühnerleberauszug und 0,04 ccm Meerschweinchenleberauszug angewandt.

Zusatz	l-LG.-Spaltung (ccm n/20 KOH) durch Auszüge aus		
	Ka.-Niere	Hü.-Leber	Me.-Leber
—	0,24	0,56	0,60
Mn	1,48	1,25	1,27
Zn	0,80	1,55	1,38
Cystein	0,05	0,11	0,08
Mn + Cystein	1,18	0,77	0,86

Daß Amino-peptidasen in Gegenwart von Metall + Sulfhydril — maximal bisher immer nur von Eisen bzw. Mangan und Cystein — nicht nur wirksamer sein können, sondern in vitro überhaupt erst wirksam werden und sind, haben wir zuerst bei den Peptidasen pathogener anaerober Bakterien (den sog. Anaero-peptidasen) aufgefunden und eingehend untersucht²⁾.

Dialysierte Auszüge aus tierischen Organen, embryonalem und Krebsgewebe und reinere Präparate daraus, z. B. durch Aceton- und Am₂SO₄-Fällung gewonnen, vermögen, auch in verhältnismäßig großen Mengen, d-Leucyl-glycin praktisch nicht zu spalten. Ergänzt man sie durch Metall oder durch Cystein, so zeigen sie nur eine schwache Wirksamkeit, ergänzt man sie aber durch Eisen bzw. Mangan und Cystein, dann entfalten sie eine außerordentlich kräftige Wirksamkeit gegenüber d-LG., die der gegenüber l-LG. nahekommt (s. Tabelle 3). Wenn z. B. Mangan hier, im

Tabelle 3. Aktivierung der d-LG.-Peptidase in reineren Präparaten.

Präparate: 1. Kaninchennierenauszug aus Cellophan-schlauch unter Toluol 3 Tage gegen destilliertes Wasser vom p_H etwa 8 dialysiert; ein dabei auftretender kräftiger Niederschlag wurde abgetrennt. 2. Ein aus dem gleichen Auszug durch 3 Vol. Aceton in der Kälte aus- und umgefälltes Präparat, wobei ein beträchtlicher Teil des Niederschlages ungelöst blieb und abzentrifugiert wurde. Im 5 ccm-Versuch wurden aliquote Teile des Auszuges, dialysierten Auszuges und des Acetonpräparates angewandt. Sonstige Versuchsbedingungen wie in Tabelle 1.

Präparat	d-LG.-Spaltung (ccm n/20 KOH) in Gegenwart von					
	—	Fe	Mn	SH	Fe+SH	Mn+SH
Auszug	0,10	0,50	1,12	0,44	2,18	2,00
Dialysierter Auszug	0,02	—	0,16	0,12	2,10	2,04
Acetonpräparat . .	0,00	0,25	0,22	0,24	2,20	2,20

Gegensatz zum Auszug, nur noch schwach wirkt, so ist daran sehr wahrscheinlich der Verlust an Sulfhydryl schuld.

Nach den Ergebnissen in Tabelle 3 scheint es, als ob in reineren Präparaten aus tierischen Organen nur noch das Trägerprotein der d-LG.-spaltenden Peptidase vorläge, das erst durch das Zusammentreten mit oder nach Veränderungen durch die Kombination Metall + Cystein zum vollwirksamen Enzym würde. Es sind im wesentlichen die gleichen Verhältnisse, wie wir sie bei den Anaero-peptidasen angetroffen haben²⁾. Zum besseren Verständnis können wir deshalb auf ihre Beschreibung verweisen. Damit gewinnt die Aktivierung von Amino-peptidasen durch Metall + Sulfhydryl eine sehr viel größere Bedeutung, als es anfänglich schien, und in Verbindung mit den Beobachtungen

über die Aktivierung intracellulärer Proteinase (Kathepsin, Hefeproteinase, Anaerobiase) eröffnen sich sehr wichtige Ausblicke in bezug auf das Zusammenspiel der Proteasen in den Zellen, die in vivo Träger des Eiweißab- und -aufbaues sein sollen.

Es sind natürlich auch noch andere Deutungsmöglichkeiten denkbar, z. B. solche, in denen das Substrat mehr im Mittelpunkt steht; auf sie, die wir für weniger wahrscheinlich halten, werden wir an anderer Stelle eingehen. Wie auch immer der Mechanismus des Aktivierungsvorganges sein möge, wichtig ist vorerst, daß nunmehr der Nachweis der d-LG.-Spaltung so einfach ist wie der l-LG.-Spaltung. Damit ist auch jeglicher Spekulation über Zusammenhänge zwischen d-Peptidspaltung und Krebs³⁾ bzw. besonders aktiven physiologischen Vorgängen⁴⁾ der Boden entzogen.

Ob auch noch andere d-Peptidspaltungen durch diese oder ähnliche Kombinationen so außerordentlich verstärkt werden, ist sehr wahrscheinlich, konnte aber aus Mangel an Substraten noch nicht geprüft werden. Die Kostbarkeit derselben setzt leider einem raschen Vordringen Schranken.

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 15. Oktober 1941.

ERNST MASCHMANN.

¹⁾ VII. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen; VI. Mitt. Naturwiss. 29, 518 (1941).

²⁾ Z. B. XII. und XVI. Mitt. über Bakterienproteasen, Biochem. Z. 302, 332 (1939); 307, 1 (1940) — Naturwiss. 26, 791 (1938) — Biochem. Z. 300, 89 (1938/39) — Naturwiss. 27, 276 (1939).

³⁾ E. WALDSCHMIDT-LEITZ u. K. MAYER, Hoppe-Seylers Z. 262, 4 (1939). — E. WALDSCHMIDT-LEITZ, K. MAYER u. R. HATSCHCK, Hoppe-Seylers Z. 262, 1 (1940). — E. WALDSCHMIDT-LEITZ, R. HATSCHCK u. R. HAUSMANN, Hoppe-Seylers Z. 267, 79 (1940).

⁴⁾ E. BAMANN u. O. SCHIMKE, Naturwiss. 29, 365 (1941).

Besprechungen.

KOLLMANN, F., **Die Esche und ihr Holz.** (Schriftenreihe Eigenschaften und Verwertung der deutschen Nutzhölzer.) 1. Bd. Berlin: Springer 1941. XII, 147 Seiten, 137 Abb. und 2 Tafeln. 15 cm × 23 cm. Preis br. RM 12.—, geb. RM 13.20.

Mit dem vorliegenden Bändchen eröffnet F. KOLLMANN eine Schriftenreihe über die Eigenschaften und Verwertung der deutschen Nutzhölzer. In erstaunlicher Vollständigkeit ist alles Wissenswerte über die Esche auf botanischem, forstlichem und technischem Gebiete knapp und übersichtlich zusammengestellt. Von den Pflanzengesellschaften, in denen die Esche ihren natürlichen Standort hat, gelangt der Verf. über die Wuchseigenschaften der Esche, die Anatomie und den Chemismus des Eschenholzes schließlich zu den technischen Eigenschaften, zur Verwertung und zur Verarbeitung dieses wertvollen Holzes.

Die Monographie baut überall auf den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen auf; trotzdem ist sie leicht lesbar und allgemein verständlich. Sehr wertvoll ist das vielseitige Literaturverzeichnis über die Esche als Waldbaum und Nutzholz.

Die übertriebene Verdeutschung vieler international anerkannter wissenschaftlicher Fachausdrücke dürfte der Verbreitung dieser schönen Schrift außerhalb Deutschlands hindernd im Wege stehen.

FREY-WYSSLING, Zürich.

MACHATSCHKE, FRITZ, **Das Relief der Erde.**

Versuch einer regionalen Morphologie der Erdoberfläche. II. Band (Schlußband). Berlin: Gebr.

Borntraeger 1940. VII, 614 S., 186 Textfiguren u. 10 Tafeln. 17 cm × 26 cm. Preis brosch. RM 40.—, geb. RM 42.—.

Dem an dieser Stelle (Naturwiss. 1939, H. 29, 504) besprochenen ersten Band des großen Werkes ist in kurzem Abstand der abschließende zweite Band gefolgt. Es wird darin die größere restliche Hälfte der Erdoberfläche nach ihrer Struktur und ihren Strukturformen besprochen, und zwar: das asiatische Kettengebirgsland, das altweltliche Gondwanaland (einschl. des Indischen Ozeans), die Neue Welt, die Antarktis, Ozeanien und der Atlantische Ozean. Eine erstaunliche Übersicht über das Schrifttum beherrscht alle Teile gleichheitlich. Die Ergebnisse der bisherigen Forschung werden in knappen, aber sehr klaren Ausführungen zusammengefaßt, die das Wesentliche vorkehren, das Strittige und Zweifelhafte kritisch unterstreichen. Das Werk ist die erste regionale Geomorphologie überhaupt und daher ein unentbehrliches Nachschlagewerk für Geographen und Geologen. Die allgemeine Geomorphologie bereichert es durch die Schlußbetrachtungen, in denen, zum Teil schon unter Berücksichtigung der Besprechungen des ersten Bandes, von überschaubarer Warte aus Stellung genommen wird zu einigen Grundfragen der Oberflächengestaltung der Erde: zur Rolle der jungen Krustenbewegungen, zur Frage der isostatischen und eustatischen Bewegungen des Meeresspiegels, zur Lehre von den Rumpfflächen und Rumpftreppen, zu dem Verhältnis von Schichtstufen und Rumpfflächen und zur morphologisch-tektonischen Gliederung der Erdkruste. Formen und Formgesellschaften, die nur in besonderen Klimaten auftreten,

läßt das Werk ausdrücklich beiseite mit Ausnahme der Glazialmorphologie der großen Inlandeisgebiete und der Hochgebirge. Das Buch klingt in einem sehr berechtigten Bedauern über die weitgehende Abwendung der Geographen von der geomorphologischen Forschung aus. Es erscheint aber in einem Augenblick, wo die Geologie sich bewußt und verstärkt der Geographie und Geomorphologie zuwendet, z. B. in der Ausbildung der neuen Diplomgeologen. Möge es daher beitragen, die alten Bande der beiden zusammengehörigen Fächer wieder enger zu knüpfen!

CARL TROLL, Bonn.

Karl von Goebel. Ein deutsches Forscherleben in Briefen aus sechs Jahrzehnten (1870—1932). Herausgegeben von Dr. ERNST BERGDOLT. Berlin: Ahnen-erbe-Stiftung Verlag 1941. 273 S., 5 Bilder, 4 Handschriftproben. 14,5 cm × 22,5 cm. Preis geb. RM 6.50.

Wenn ein bedeutender Forscher und geistvoller Mensch, wie es der Verfasser der „Organographie der Pflanzen“ und der Schöpfer des Botanischen Gartens in Nymphenburg war, sich in Briefen mit seinesgleichen oder sonst Nahestehenden unterhält, ist zu erwarten, daß bedeutende Dinge zur Sprache kommen und daß auch die Form der Unterhaltung nicht alltäglich ist. Die Briefe an seine Lehrer DE BARY und SACHS, an die ersten Mitarbeiter KARSTEN, OLTMANN, JOST, an REINKE und HAECKEL, an WARMING, BOWER, WENT und an viele andere deutsche und ausländische Botaniker, auch an Jugendfreunde und an die Familie, enthalten tatsächlich vieles, was der Erhaltung wert ist: manches über die nicht immer gleich bleibende Stellung GOEBELS zu großen Problemen der Biologie, zu Evolution, Vererbung, Anpassung, Selektion, zu Systematik und Phylogenie, zu vergleichender und kausaler Morphologie, auch über die Stellung der Korrespondenten zu diesen Fragen; manches über Schicksale von Persönlichkeiten, Einrichtungen, Unternehmungen, die für die deutsche Botanik schicksalhaft waren, vor allem natürlich über GOEBELS eigenen Lebensweg, dabei Berichte über die meisten seiner zahlreichen Reisen in aller Welt, von denen er sonst nirgends erzählt hat; manches über die Entstehung von GOEBELS eigenen Arbeiten, von Einzelentdeckungen und von der ersten Gestaltung der — teilweise von SACHS deutlich beeinflussten — Leitgedanken an bis zu Konfessionen über innere Zustände und äußere Umstände bei der Abfassung und Wiederbearbeitung der Hauptwerke; manches was besonders deutlich diejenigen Wesenszüge des temperamentgeladenen Menschen erkennen läßt, die für seine Lebensleistung maßgebend waren: die an Besessenheit grenzende Hingabe an den Forscherberuf, die Freude am Kampf, die Treue gegenüber allen Pflichten akademischer Ämter; manches, was schon durch die persönlich geprägte Form wirkt, in die der witzige und in den Literaturen vieler Sprachen heimische Mann seine Gedanken zu kleiden liebte.

Am wertvollsten sind wohl die zahlreichen Briefe an SACHS, den GOEBEL als überlegenen Genius anerkannte und mit dem er sich von 1879 an bis zu SACHS Tod, 1897, über alle ihn bewegenden wissenschaftlichen, organisatorischen, menschlichen Fragen aussprach. Die wertvollsten fachlichen Erörterungen beziehen sich, auch späterhin, naturgemäß auf Probleme der Morphologie im weitesten Sinn; physiologische Gegenstände werden nur gelegentlich gestreift. Im ganzen ist es ein gewichtiger Ausschnitt aus der Geschichte der Biologie während eines halben Jahrhunderts, der in diesen Dokumenten sich lebendig darstellt.

Hätte der Herausgeber es verstanden, nach sorgfältig wägender Prüfung das wahrhaftig nicht Wenige auszuwählen, was für die Geschichte der Wissenschaft bedeutsam ist und was sonst an dem Unvergänglichen seines Lehrers Anteil hat, so hätte er sich den uneingeschränkten Dank vieler Leser verdient. Aber nach der Meinung des Ref. ist manches Gleichgültige aufgenommen und manches Vergängliche Allzuvergänglich, was besser im Archiv der Familie verwahrt geblieben wäre, der Öffentlichkeit preisgegeben worden.

Auch wissenschaftliche Fehltritte können aufschlußreich sein. Was GOEBEL z. B. über NÄGELI Bemühungen um die Morphologie der Molekeln sagt, ist mit ein Zeugnis dafür, wie weit NÄGELI hier seinen Zeitgenossen voraus war. Wenn GOEBEL 1927, als das Hormonproblem sich schon abzeichnete, meint, die der Beschäftigung mit dem Haferkeimblatt komme „sehr wenig heraus“, deuten sich, wie in einigen anderen Äußerungen, persönliche Grenzen an, wie sie auch einem Ingenium seines Ranges gesetzt sind. Aber daß GOEBEL ebenso wie DE BARY die Gründung der Deutschen Botanischen Gesellschaft zunächst aufs schroffste ablehnte, war ein ephemerer Irrtum, dessen Überlieferung wohl hätte unterbleiben können; wie die Mitgliederverzeichnisse ausweisen, trat DE BARY der Gesellschaft im zweiten, GOEBEL im dritten Jahr des Bestehens bei, nur SACHS, auch hier das unerreichte Vorbild für GOEBELS Exklusivität, ist zeit lebens fern geblieben.

Das Klagen darüber, daß seine Arbeiten und vor allem seine Bücher nicht gelesen würden, war eine Schrulle GOEBELS, von der ihn kein Widerspruch und kein Hinweis auf die ungewöhnlichen buchhändlerischen Erfolge der „Organographie“ und der „Entfaltungsbewegungen“ heilen konnte. Solche pessimistischen Äußerungen ganz unterdrücken hieße fälschen. Aber durch die dutzendfache Wiederholung der Klage, die der einzelne Korrespondent doch nur einmal oder ein paarmal zu hören bekam, erhält der Leser wohl einen übertriebenen Eindruck von der Bitterkeit des Briefschreibers.

Wahrhaft bedauerlich findet der Ref. die Wiedergabe zahlreicher übermäßig abfälliger Bemerkungen über viele Botaniker, die nicht dem engsten Kreis um GOEBEL angehörten; selbst einer seiner nächsten Freunde bleibt von scharfer Kritik nicht verschont. Bald nach 1900 kommen solche herabsetzenden Urteile in den Briefen kaum mehr vor, und mindestens von dieser Zeit an war GOEBEL auch im persönlichen Umgang unvergleichlich gerechter und nachsichtiger, als er sich in manchen der früheren Briefe gibt. Sicherlich hätte GOEBEL selber das Bekanntwerden der Sarkasmen seiner rauhen Jahre, ebenso wie verschiedener ruhigerer Äußerungen über Geschehnisse gar zu neuen Datums, oder seiner Vorkriegs-Vorliebe für Kew und anderes Britische (S. 117), nicht gutgeheißen. Besonders peinlich berührt, daß auf einige der schärfsten Stellen im alphabetischen „Sachverzeichnis“ geflissentlich aufmerksam gemacht wird; was im Brief vertraulicher Ausdruck einer augenblicklichen heftigen Laune gewesen sein mag, wird durch dieses Verfahren im Buch in kalte Kränkung umgewandelt.

Das Buch ist vom Verlag als „1. Auflage“ gekennzeichnet. Wenn für eine Neuauflage nicht eine grundsätzliche Änderung am Charakter der Sammlung ins Auge gefaßt wird, sollten wenigstens Text, Anmerkungen und Verzeichnisse revidiert werden. Daß GOEBEL nicht von einem „riesigen“ javanischen Enzian erzählt, sondern von einem winzigen, ist sicher; ebenso daß

nicht er, der ausgezeichnete Lateiner, ein bekanntes Vergilwort zur Sinnlosigkeit entstellt und einen (aus der Scholarenpoesie stammenden?) Vers durch eine falsche Interpunktion — *Est bellum, bellum* — um eine sprachliche Pointe gebracht hat; daß nicht er es ist, der CLAUDE BERVAND (auch im Register so) statt CL. BERNARD geschrieben hat, oder BOOANLANDEN und PAHENGAEHM statt BOVENLANDEN und PASANGRAHAN usw. Solche fraglosen Fehler machen auch gegen andere Textstellen mißtrauisch; z. B. sollte es auf S. 93, wo „Verlotterung“ steht, eher Verlästerung (eines Toten) heißen, und „präpendieren“ statt präponderieren ist selbst als Scherz unwahrscheinlich. Sache des Herausgebers wäre es auch gewesen, den Familiennamen eines als „Sir WILLIAM“ (im Register WILLIAM) vorgestellten Adressaten ausfindig zu machen. Für die Anmerkungen vollends ist der Herausgeber allein verantwortlich; wenn GOEBEL zweimal HOFMEISTERS „All-

gemeine Morphologie“ zitiert, meint er dieses Werk von 1868, nicht, wie die Anmerkungen verbessern, „Die Lehre von der Pflanzenzelle, 1867“; über „systematische Bewegungen“ eines Grases hat GOEBEL nie berichtet, wohl aber über nyktnastische; auch einem englischen Autor sollte nicht zweimal die Pluralform *prothallii* (statt *prothalli*) in die Schuhe geschoben werden; eine berühmte deutsche Expedition ist mit der Valdivia, nicht mit einer „Voldiace“ ausgeführt worden, usw.

Doch solche Versehen sind belanglos gegenüber den Mißgriffen des überlegten Plans, zu dem sich das Vorwort des Herausgebers ausdrücklich bekennt. Wie wir das Buch jetzt haben, stiftet es, so meint der Ref., bei all seinem Wert Verstimmung und auch Schaden anderer Art. Möge der Gewinn so schwer wiegen, daß der Schaden wenig ins Gewicht fällt.

O. RENNER, Jena.

Astronomische Mitteilungen.

Moleküle im interstellaren Raum.

Das Vorhandensein einer interstellaren gasförmigen Materie wurde von HARTMANN in Potsdam im Jahre 1904 durch die Auffindung der „ruhenden“ Calciumlinien (Ca II, H u. K) im Spektrum des Doppelsterns δ Orionis festgestellt. Die durch ihre besondere Schärfe auffallenden beiden Linien nehmen an den von der Bahnbewegung herrührenden Dopplerverschiebungen der übrigen Linien nicht teil. Solche ruhenden Absorptionslinien sind dann in den folgenden Jahrzehnten in wachsender Zahl gefunden worden, und man kennt deren heute mehr als ein Dutzend. Die interstellaren Linien sind meist schwach und mit wenigen Ausnahmen sehr eng, so daß sie bei kleiner Dispersion bzw. Auflösung der Beobachtung entgehen. In jedem Falle hat man dieselben nur in sehr distanten Objekten zu erwarten, da infolge der extrem geringen Dichte des interstellaren Gases erst bei großen Schichttiefen eine genügende optische Dicke resultiert, um die Linien sichtbar werden zu lassen. Zu ihrem Nachweis sind in erster Linie die linienarmen Sterntypen von O bis etwa B3 geeignet. Neben Ca II waren im interstellaren Spektrum bis vor kurzem nur die Elemente bzw. Ionen Ca I, Na I, KI, Ti II und H nachgewiesen. Der Nachweis des Wasserstoffs stützt sich allerdings auf eine *Emissionslinie*, nämlich $H\alpha$, die O. STRUVE mit einem besonders konstruierten lichtstarken Spektrographen in weiten Gebieten der Milchstraße auffand. In Absorption kann der Wasserstoff nicht nachgewiesen werden, da das interstellare Spektrum durchweg nur Übergänge von den Grundzuständen der Atome bzw. Ionen aufweist und die Resonanzlinien des Wasserstoffs im unzugänglichen kurzwelligen Ultraviolett liegen. Hat der Grundelektronenzustand eines Elementes Multiplettstruktur, so treten nur Übergänge von dem energetisch tiefsten Teilniveau auf. Dieses Verhalten der Gase erklärt sich daraus, daß bei einer einzelnen Partikel die Anregungsvorgänge (durch Stoß oder Strahlung) in solch extremen Zeitabständen aufeinanderfolgen, daß sie sehr groß sind gegenüber den Verweilzeiten selbst der langlebigsten metastabilen Terme.

Infolge der geringen Dichte ist trotz der geringen Intensität der interstellaren Strahlung der Ionisationsgrad des interstellaren Gases relativ hoch. Anhaltspunkte für denselben gibt vor allem das Intensitäts-

verhältnis der Ca I- und Ca II-Linien. Calcium befindet sich aber vorwiegend im zweiten Ionisationszustand (Ca III), desgleichen Kalium und Titan, das Verhältnis des ionisierten Wasserstoffs zum neutralen beträgt rund 10:1. Wie in den Sternatmosphären bildet der Wasserstoff auch hier das bei weitem häufigste Element. Die mittlere Dichte des Gases ergibt sich zu etwa 1–10 Partikeln pro Kubikzentimeter (STRUVE, DUNHAM jr.).

In Anbetracht dieser Verhältnisse muß es als eine besondere Überraschung angesehen werden, daß es neuerdings W. S. ADAMS am Mt. Wilson-Observatorium gelungen ist, zu zeigen, daß im interstellaren Raum auch zweiatomige Moleküle vorliegen [Ap. J. 93, 21 (1941)]. Bereits vor einigen Jahren entdeckte DUNHAM jr. in den Spektren der Sterne χ Orionis, ζ Cygni und σ Persei drei scharfe Linien (λ 3957,72; 4232,58 und 4300,33) zweifellos interstellaren Ursprungs, die nicht identifiziert werden konnten. ADAMS fand dann kürzlich in dem Spektrum von ζ Ophiuchi (scheinbare Helligkeit $m = 2,7$) außer diesen noch weitere neue Linien bei λ 3878,8; 3886,39; 3890,23; 3874,018; 3579,04; 3745,33; 3874,6. Obwohl es nicht gelingt, diese Linien sämtlich zu identifizieren, so ist nicht zu zweifeln, daß vier von ihnen (λ 3878, 3886, 3890, 4300) mit Bandenlinien des CH und zwei (λ 3874,6 und 3874,0) mit Linien des CN identisch sind. CH besitzt ein Bandensystem (Typ ${}^2\Sigma \longleftrightarrow II^2$) im Gebiete um λ 3880 und ein zweites (${}^2\Delta \longleftrightarrow II^2$) bei λ 4300. Ein bandenreiches Absorptionssystem des CN liegt zwischen λ 3500 bis 4600 mit dem Ursprung bei λ 3874. Die Ausdehnung eines Bandensystems wie auch die einer Bande ist bekanntlich stark temperaturabhängig, da mit wachsender Temperatur (bzw. Stärke der Anregung) die Zahl der Schwingungs- und Rotationsniveaus, über die sich die Gesamtheit der vorliegenden Moleküle verteilt, schnell zunimmt. Unter den Anregungsbedingungen im interstellaren Raum ist zu erwarten, daß die Systeme auf nur einige wenige Linien zusammenschrumpfen. Da die Anregungsvorgänge in extrem großen Zeitabständen (von Jahren bis Jahrzehnten) aufeinanderfolgen, so werden sich die Moleküle einer Sorte sämtlich in dem tiefsten Schwingungs- und Rotationsniveau ansammeln. Erwarten wird man also zunächst nur die ersten Linien [$R(o) \cdot Q(o)$] der R- und Q-Zweige der (o, o) Bande

eines Systems. Ein Teil der oben genannten, von ADAMS gefundenen Linien ist nun wirklich mit den stärksten dieser Linien [$R(0)$, $Q(0)$] bei CH und CN identisch. Im Falle des CN ist zudem noch eine Linie festgestellt, die von dem Rotationsniveau $J = 1$ ausgeht, was sich wahrscheinlich dadurch erklärt, daß die Lebensdauer dieses Niveaus, welches nur 0,00047 V über dem Grundniveau liegt, von der Größenordnung von Jahren ist.

Es ist nicht leicht verständlich, wie sich bei den extrem geringen Drucken im interstellaren Raum eine merkliche Konzentration der genannten Moleküle

linien H und K, die den stellaren Linien überlagert sind. In der Aufnahme Fig. 2 (Stern ζ Ophiuchi, Bo) erkennt man die Rotationslinien λ 3886,4 und 3890,2 des CH (System ${}^2\Sigma \leftarrow {}^2\Pi^2$) und die Linie λ 3874,6 des CN (System ${}^2\Sigma \leftarrow {}^2\Sigma$). Die beiden noch schwächeren Linien λ 3878,8 (CH) und λ 3874,0 (CN) sind bei der Reproduktion unkenntlich geworden. Fig. 3 obere Aufnahme (Stern ζ Ophiuchi) gibt wieder das Gebiet der H- und K-Linien. Außer diesen beiden interstellaren Linien erscheint noch die bisher unidentifizierte Linie λ 3957,7, die im interstellaren Spektrum von α Cygni nicht vorhanden ist. Die letzte Aufnahme,

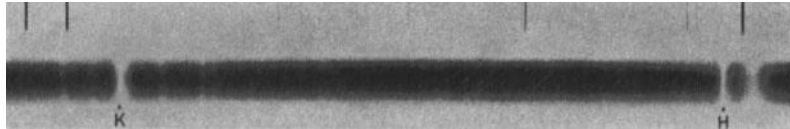


Fig. 1. Erläuterung im Text.

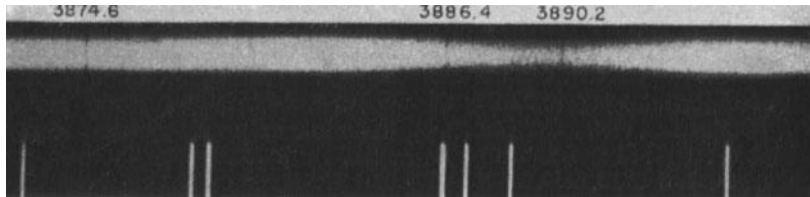


Fig. 2. Erläuterung im Text.

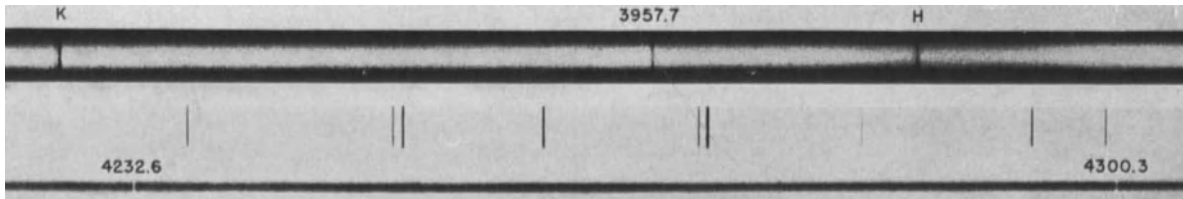


Fig. 3. Erläuterung im Text.

aufrecht erhalten läßt. Man kann leicht roh überschlagen, daß bei der oben angegebenen Dichte ein freies Atom (C, H, N) im Mittel erst nach 10^{12} bis 10^{15} Jahren einen wirksamen Stoß erlebt, der es in einen Molekülverband überführt. Nur in dem Falle, daß beide Partikeln photochemisch ganz unempfindlich sind, ließe sich ihr Vorhandensein vielleicht noch verstehen. Die Tatsache, daß bei den CH-Banden eine Prädissoziationsstelle gefunden ist [GERÖ u. SCHMID, *Physica* 7, 155 (1940)] läßt diese Erklärung jedoch als sehr unwahrscheinlich erscheinen. Man wird das Auftreten der Bandenlinien, deren Intensität von Stern zu Stern bezeichnenderweise nicht mit der Stärke der Calciumlinien und der anderen Atomlinien korreliert ist, vielleicht eher als ein Anzeichen dafür ansehen können, daß in einzelnen Partien der Milchstraße die Dichte des interstellaren Gases den oben angegebenen Mittelwert weit übertrifft.

In den Fig. 1 bis 3 ist ein Teil der von ADAMS aufgenommenen interstellaren Spektren reproduziert. Die Aufnahme Fig. 1 (Stern α Cygni cA 2) zeigt die Calcium-

Fig. 3 unten (ζ Ophiuchi). zeigt die beiden interstellaren Linien λ 4300 (CH-System ${}^2\Delta \leftarrow {}^2\Pi^2$) und die unidentifizierte Linie λ 4232,6.

Die hier reproduzierten Spektren wurden hergestellt in der zweiten Ordnung eines von R. W. WOOD in eine auf Pyrexglas aufgelegte Aluminiumschicht geritztes Plangitter mit einer Fläche von $4\frac{3}{8} \times 5\frac{1}{2}$ Zoll und 14400 Linien pro Zoll. Dasselbe wirft das Licht vorwiegend in das rote Gebiet erster und violette Gebiet zweiter Ordnung. Bei Benutzung einer Kamera nach SCHMIDT von 114 Zoll ergibt die zweite Ordnung eine Dispersion von 2,9 A/mm und eine Schärfe des Spektrums über 20 Zoll. Die Belichtungszeit betrug für ζ Ophiuchi ($m = 2,7$) $\frac{1}{2}$ bis 1 Stunde. Es gelingt, mit dieser Dispersion bei einer Belichtungsdauer von $5\frac{1}{2}$ Stunden bis zu Sternen 6^m vorzudringen. Das Gitter ist in einer Coudé-Anordnung am 100-Zoll-Reflektor aufgestellt. Es handelt sich zweifellos um den leistungsfähigsten unter allen Sternspektrographen großer Dispersion, die heute im Gebrauch sind.

K. WURM.

Erich von Tschermak-Seysenegg zum 70. Geburtstage.

Das Gewicht eines Forscherlebens wird bestimmt von der Fülle der in ihm wirkenden Ideen, von der Fähigkeit, diese Ideen in das beweiskräftige Experiment umzusetzen, und von dem weitschauenden Blick, der schöpferische Phantasie und reiche Erfahrung in sich vereint. Dieser Weitblick gewährleistet außer der souveränen Beherrschung eines Wissenschaftsgebietes die Erkenntnis von Ausdehnung und Grenzen, Anwendungsmöglichkeiten und Reichweite der eigenen Arbeit.

Wir dürfen am 15. November den 70. Geburtstag ERICH VON TSCHERMAKS feiern, der wohl für sich in Anspruch nehmen kann, ein langes Forscherleben hindurch auf der Grundlage reicher eigener Erfahrung mit weitschauendem Blick neue Anwendungsbereiche seiner zunächst ganz theoretischen Arbeiten erkannt und entwickelt zu haben, die heute aus der Züchtungsforschung aller Länder nicht mehr fortzudenken sind. TSCHERMAK ist der jüngste der drei Männer gewesen, die um die Jahrhundertwende die Vererbungsregeln MENDELS wiederentdeckten. Er war der erste, der die Anwendungsmöglichkeiten und den Anwendungsbereich der gefundenen Gesetzmäßigkeiten auf das Gebiet der Pflanzenzüchtung klar erkannte und sie sein Leben hindurch mit unermüdlicher Energie vorwärtsgetrieben hat.

TSCHERMAK hatte im Frühjahr 1898 im Botanischen Garten in Gent begonnen, Erbsenkreuzungen durchzuführen, um die schon von DARWIN gemachte Beobachtung über die Wirkung von Selbst- und Fremdbestäubung auf die Entwicklung und Veränderung der Früchte nachzuprüfen. Diese Frage hat ihn dann später noch wiederholt beschäftigt, und zum Problem der Xenienbildung verdanken wir ihm wesentliche Beiträge. Bei den 1898 begonnenen Arbeiten fand TSCHERMAK an seinem großen Material immer wieder die uns heute geläufigen Spaltungszahlenverhältnisse bei den Merkmalspaaren gelb-grün und rund-runzlig = 3 : 1 bzw. 9 : 3 : 3 : 1 und bei Rückkreuzung mit dem rezessiven Elter 1 : 1. Erst im folgenden Jahr wurde ihm die Arbeit MENDELS und im Jahre 1900 die Arbeiten von CORRENS und DE VRIES bekannt, die jeder für sich an anderen Objekten zum gleichen Ergebnis gekommen waren. Mag auch die Entdeckerfreude gedämpft worden sein, als sich herausstellte, daß GREGOR MENDEL 33 Jahre vor dem Beginn seiner eigenen Arbeit die Spaltungsregeln in der Nachkommenschaft von Bastarden veröffentlicht hatte, so ist es das bleibende Verdienst TSCHERMAKS, sofort die große Bedeutung der neuen

Lehre für die Pflanzenzüchtung erfaßt zu haben. Er hat als der Vater der Kombinationszüchtung, der Erzeugung neuer Formen in der Nachkommenschaft von Bastarden durch Umkombination der in den Eltern vorhandenen Erbanlagen, zu gelten. Diese Erkenntnis, die sich erst langsam und zögernd durchsetzte, von NILSSON-EHLE und BAUR dann mit großem Erfolg angewendet wurde, ist einer der Grundpfeiler der modernen Züchtung geworden. TSCHERMAK selbst hat unermüdlich für den Sieg der neuen Ideen in der Ostmark und darüber hinaus in der ganzen Welt gewirkt und auf dem Versuchsgut der Wiener Hochschule für Bodenkultur Jahr für Jahr ein riesiges Kreuzungsmaterial angebaut. Seine Tätigkeit als Präsident der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung in Wien hat sich in den ganz auf die Bedürfnisse der Praxis eingestellten Bestrebungen dieser Vereinigung besonders segensreich ausgewirkt. Neben den auf die Steigerung von Qualität und Quantität der Erträge durch Kombinationszüchtung gerichteten Arbeiten liefen stets umfangreiche theoretische Untersuchungen. Erstmalige Kreuzungen zwischen Arten und Gattungen der Gramineen sind ihm zu verdanken. Das Problem der Polyploidie, das heute erneut im Brennpunkt genetischer und zytologischer Forschung steht, wurde schon frühzeitig von ihm und seinen Schülern und Mitarbeitern erfolgreich angegriffen. Ausgedehnte Versuche mit Primeln, Levkojen, Bohnen und vielen anderen Pflanzen galten der Entdeckung schwer zu analysierender Vererbungsvorgänge, und stets stand ihm hinter der neuen Erkenntnis die Frage nach der züchterischen Auswertung der gewonnenen Einsicht.

So gehört ERICH VON TSCHERMAK zu den großen Züchtungsforschern Deutschlands, die durch keine Fehlschläge je entmutigt wurden und deren Schaffenskraft durch kein der züchterischen Formung noch so widerstrebendes Material je erlahmte. Er hat sich die Aufgeschlossenheit neuen Fragestellungen gegenüber bis in ein hohes Alter bewahrt, und seinen Schülern, Mitarbeitern und Fachgenossen ist er auch heute noch der unermüdliche Ratgeber, der er immer war. Seiner am 15. November in Dankbarkeit für seine Pionierarbeit auf genetischem und züchterischem Gebiet zu gedenken, vereinigen sich alle, die auf dem gleichen Gebiet nach neuen Erkenntnissen streben und die die Früchte seiner Arbeit ernten dürfen.

HANS STUBBE, Berlin-Dahlem.

Heinrich von Ficker

zu seinem 60. Geburtstage am 22. November 1941.

Von HANS ERTEL, Berlin.

Wenn die Meteorologie heute imstande ist, das Problem der Wettervorhersage weitaus erfolgreicher in Angriff zu nehmen, als es vor einigen Dezennien der Fall war, so liegen hierfür verschiedene Gründe vor: Einerseits ergibt sich durch die Verdichtung der meteorologischen Beobachtungsnetze in Verbindung mit den Fortschritten der Nachrichtentechnik zunächst die Möglichkeit einer besseren *Diagnose* der jeweiligen Wetterlage eines größeren Gebiets der Erdoberfläche, welche die Grundlage für die Prognose der zu erwartenden Wetterentwicklung liefert. Allein diese in erster Linie der *Diagnose* dienenden *technischen Fortschritte* könnten für die Verbesserung der *Wetterprognose* nicht nutzbar gemacht werden, wenn nicht die Meteorologie auch inzwischen durch einen tieferen Einblick in die *Dynamik* der Wetterentwicklung, die dabei mitwirkenden Faktoren und die Gesetzmäßigkeiten ihres Zusammenwirkens Erkenntnisse von großer Tragweite gewonnen hätte.

Den einschlägigen grundlegenden Arbeiten H. VON FICKERS zur atmosphärischen Dynamik ist es zu verdanken, daß an dieser Erforschung der wissenschaftlichen Grundlagen der Wettervorhersage die deutsche Meteorologie stärksten Anteil hat.

HEINRICH VON FICKER wurde am 22. November 1881 in München als Sohn des Innsbrucker Historikers und Juristen JULIUS VON FICKER geboren. Von Jugend an mit einer tiefen Liebe zur Natur und der süddeutschen und tiroler Bergwelt besetzt, bezog H. V. FICKER im Jahre 1902 die Universität Innsbruck, um Geologie zu studieren, in demselben Jahr, in welchem von TEISSERENC DE BORT und ASSMANN die Stratosphäre entdeckt wurde,

die in V. FICKERS wissenschaftlichen Arbeiten später eine so wichtige Rolle spielen sollte. Als Meteorologe wirkte zu jener Zeit in Innsbruck WILHELM TRABERT, als Forscher wie als Lehrer sich größter Wertschätzung erfreuend, dessen unvergleichliches pädagogisches Talent den jungen

V. FICKER für die Meteorologie zu begeistern verstand, so daß er dieselbe als Studienfach wählte.

Nach weiterem Studium in Wien promovierte V. FICKER im Jahre 1906 bei TRABERT in Innsbruck und arbeitete anschließend als Assistent an der unter PERNTERS Leitung stehenden „Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik“ in Wien. Es war dieses die goldene Zeit der österreichischen Meteorologie, in der Wien zugleich unzweifelhaft das Zentrum der europäischen Meteorologie war; die Zentralanstalt zählte u. a. F. M. EXNER, M. MARGULES, A. DEFANT und WILH. SCHMIDT zu ihren Mitarbeitern, während gleichzeitig, unbeschwert von amtlichen Verpflichtungen, der Altmeister der österreichischen Meteorologie, JULIUS VON HANN, mit der ihm eigenen, nie ermüdenden Arbeitskraft weiterwirkte.

Hier in Wien arbeitete V. FICKER an der Zentralanstalt auch in der

Wetterdienstabteilung und empfing dabei Anregungen, die sich für seine spätere wissenschaftliche Entwicklung höchst fruchtbar auswirkten. In Übereinstimmung mit F. M. EXNER, der die Wettervorhersage aber möglichst durch die Methoden der klassischen theoretischen Physik gestützt wissen wollte, war sich V. FICKER zu jener Zeit bereits vollkommen über die Notwendigkeit klar, die *Wettervorhersage als einen integrierenden Bestandteil der meteorologischen Gesamtwissenschaft* aufzufassen, ganz im Gegensatz



Wien

zu MARGULES, welcher die Beschäftigung mit der Wettervorhersage als „unmoralisch und characterschädigend für einen Meteorologen“ ablehnte und somit noch den Standpunkt WILH. v. BEZOLDS einnahm, daß die Forderung einer streng physikalischen Begründung der Wettervorhersage als eine unbillige Zumutung nachdrücklichst abgelehnt werden müsse.

Nachdem dann v. FICKER anschließend noch in Innsbruck als Assistent gewirkt und sich dort im Jahre 1909 als Privatdozent niedergelassen hatte, erhielt er 1911 eine Berufung als a. o. Professor für Physik der Erde nach Graz. Er unternahm um jene Zeit zahlreiche wissenschaftliche Ballonfahrten, durch die u. a. der Verlauf der Stromlinien über den Alpen bei südlichen Luftströmungen erforscht wurde, und führte 1913 eine Expedition in das Pamirgebiet durch; als Student hatte er 1903 bereits den Kaukasus bereist. Die Ballonfahrten dienten zugleich der Vertiefung seiner früheren, bis in die Studienzeit zurückreichenden Untersuchungen über den Mechanismus der Föhnerscheinungen, speziell über die Rolle, die der kalten Luft dabei zukommt, und anschließend daran gab ihm seine frühere großangelegte Arbeit über den Transport kalter Luftmassen über die Zentralalpen (1906) Veranlassung zu einer erweiterten systematischen Untersuchung der Ausbreitung von Kaltluftmassen nach ihrem Ausbruch aus dem Polarbecken durch Rußland und Sibirien. Indem es sich hierbei erwies, daß die mit diesen „Kältewellen“ gekoppelten „Wärmewellen“ den gleichen Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich ihrer Ausbreitung unterworfen sind, gelangte dank der v. FICKERSchen Arbeiten die österreichische Meteorologenschule bereits 1911 zu einem sich auf ein umfangreiches Beobachtungsmaterial stützendes Modell einer niedrigen Depression mit dazugehörigem Strömungssystem, das bereits die wesentlichsten Züge des fast ein Dezennium später aufkommenden BJERKNESschen Zyklonschemas vorwegnahm. V. BJERKNES, der die diesbezüglichen Arbeiten v. FICKERS etwa in den Jahren 1913 bis 1914 zur Zeit seines erfolgreichen Wirkens am Geophysikalischen Institut in Leipzig kennenlernte, hat später (1933) die Priorität v. FICKERS durch folgende Ausführungen anerkannt: „Unser Aufsehen erregten damals die von v. FICKER in ‚Die Ausbreitung kalter Luft in Rußland und Nordasien‘, Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien. 119, (1910), gezeichneten ‚Polarfronten‘, wie wir sie jetzt nennen würden. Gegenüber der Fülle der täglichen Wetterkarten, die alle auf Kontinuität hinzudeuten schienen, vermochten wir aber selbst in diesen Zeichen der Diskontinuität nur interessante Ausnahmeerscheinungen zu sehen, und machten keinen Versuch, diese wichtige Spur weiter zu verfolgen“ (Physikalische Hydrodynamik S. 783f). Sicherlich hätte sich das Zyklonenmodell der österreichischen Schule bald internationaler Anerkennung erfreut, zumal sich Untersuchungen amerikanischer Meteorologen (F. BIGELOW) in

einer ähnlichen Richtung bewegt hatten und dazu die Theorie stationärer Diskontinuitäten bereits von v. HELMHOLTZ und MARGULES ausgearbeitet vorlag, wenn nicht bald darauf der Weltkrieg ausgebrochen wäre.

Bei der Belagerung von Przemyśl durch die Russen geriet H. v. FICKER am Anfang des Jahres 1915 in russische Kriegsgefangenschaft, kam zunächst nach Turkestan, erhielt dann aber zusammen mit anderen kriegsgefangenen Hochschullehrern durch die Vermittlung Seiner Kgl. Hoheit des Prinzen KARL VON SCHWEDEN die Möglichkeit, sich am Meteorologischen Institut der Universität Kasan (Leiter: Prof. Dr. V. A. ULJANIN) zu beschäftigen. Hier führten ihn Untersuchungen über die interdiurne Veränderlichkeit des Luftdrucks und der Temperatur in Rußland zwischen dem Eismeer und 37° Nordbreite, die er nach Rückkehr aus der Kriegsgefangenschaft (1918) in Graz fortsetzte, zu der grundlegenden Erkenntnis, daß die barometrischen Luftdruckgebilde sich aus zwei miteinander gekoppelten Systemen von Druckänderungen zusammensetzen, aus einer unteren Druckschwankung, die sich aus dem Wechsel verschiedener temperierter Luftmassen in der unteren Troposphäre (etwa 0–5 km Höhe) erklärt, und einer oberen Druckschwankung, die auf entsprechende Luftmassenwechsel der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre (etwa 8–15 km Höhe) zurückgeht; die verschiedenen Entwicklungsstadien einer Depression erklären sich durch die wechselnden Phasendifferenzen zwischen der unteren und der oberen Druckschwankung, eine Auffassung die später von A. DEFANT auch theoretisch begründet wurde. Diesen Erkenntnissen v. FICKERS über die „zusammengesetzten Depressionen“ ließen sich zwanglos die inzwischen von österreichischen (SCHEDLER) und englischen Meteorologen (SHAW, DINES) auf Grund aerologischen Materials ermittelten Resultate über die Änderungen der Luftdruck- und Temperaturschwankungen mit der Höhe und die dabei auftretenden Korrelationen einpassen.

H. v. FICKER baute seine Ergebnisse über die zusammengesetzten Depressionen in mehreren rasch hintereinander erschienenen Arbeiten in den Jahren 1920–1923 weiter aus und war darin vor allem bestrebt, die sich dabei durch die Berücksichtigung der stratosphärischen Druckänderungen für die Verbesserung von Wettervorhersagen ergebenden Konsequenzen deutlich herauszuarbeiten. Es gelang ihm nicht nur, zwei synoptisch wichtige Arten von Depressionen (sog. *Genua-* und *Skagerrak-*Zyklonen) auf einfache Weise durch das Zusammenwirken oberer und unterer Druckschwankungen zu erklären, sondern er konnte auch zur Verbesserung der Prognosen sechs Wetterregeln ableiten, mit denen sich, wie die Erfahrung gelehrt hat, in der Praxis gut arbeiten läßt (W. GEORGII). Die eine dieser Regeln stellt überhaupt die sicherste der zur Zeit bekannten Wetterregeln dar, sie lautet: Wenn das Barometer an Bergstationen und in der Niederung steigt, und

wenn es gleichzeitig wärmer wird, so kommt schönes Wetter bzw. schon bestehendes Schönwetter ist noch von Bestand.

Nach H. v. FICKERS Lehre ist für den Prognostiker die Feststellung von größter Wichtigkeit, ob ein Druckanstieg auf troposphärische oder auf stratosphärische Ursachen zurückgeht, und hierüber gibt der Vergleich zwischen dem Luftdruckgang in der Niederung und auf Bergstationen Aufschluß. Die oben genannte Wetterregel erklärt sich dann durch den Umstand, daß bei *stratosphärisch* bedingtem Druckanstieg in der Troposphäre überwiegend *abwärts* gerichtete vertikale Bewegungskomponenten auftreten, die wolkenauflösend wirken bzw. die Wolkenbildung verhindern, abgesehen von der auf die tägliche Konvektion zurückgehenden „Schönwetterbewölkung“, während z. B. die ebenfalls oft sehr bedeutenden Drucksteigerungen, die durch niedrig-troposphärische Kälteeinbrüche verursacht werden, von Schlechtwetter begleitet sind, sehr zum Erstaunen jener, die ihre Wettervoraussagen auf das Steigen und Fallen des Barometers gründen“ (H. v. FICKER). In der Sprache einer „populären Meteorologie“ könnte man also v. FICKER als den Meteorologen bezeichnen, der u. a. nachwies, warum die handelsübliche Beschriftung der Barometer unzutreffend ist und zu Fehlprognosen führen muß, weil nämlich die gleiche Luftdruckänderung durch verschiedene Ursachen, die auch verschieden wetterwirksam sind, zustandekommen kann.

Diese Wetterwirksamkeit stratosphärischer Druckschwankungen leugnete die um 1920 von der norwegischen Schule (V. BJERKNES und Mitarbeiter) entwickelte Polarfronttheorie zunächst völlig, während v. FICKER selbst, der inzwischen 1923 als Nachfolger von G. HELLMANN auf den Berliner Lehrstuhl für Meteorologie berufen worden war und damit zugleich die Leitung des Preußischen Meteorologischen Instituts übernommen hatte, immer neue Belege für die Richtigkeit der von ihm vertretenen Auffassungen beibringen konnte, z. B. den Nachweis der Aktivierung stationärer Fronten durch stratosphärisch bedingte Druckänderungen. Freunde und Schüler führten jetzt die Gedankengänge v. FICKERS teils synoptisch, teils theoretisch weiter aus; die „österreichische Schule“ erweiterte sich zur „deutschen und österreichischen Schule“, aber noch immer lehnte die norwegische Schule den Einfluß einer stratosphärischen Wetterbeeinflussung ab, sich dabei z. B. auf Argumente folgender Art stützend: Die kinetische Energie und das Solenoidfeld der Stratosphäre sind zu schwach und ihr Wasserdampfgehalt ist zu gering. Man übersah gern auf norwegischer Seite, daß die Stratosphäre ja als *Regulations- bzw. Steuerungsmechanismus* bereits wetterwirksam sein kann, wobei sich die thermodynamischen Prozesse als eigentliche Wettervorgänge natürlich in den wasserdampfreichen unteren Troposphärenschichten abspielen; außerdem ist die kinetische Energie der Stratosphäre durchaus nicht gering, beob-

achtet man doch an der Stratosphärenbasis im Mittel die größten Windgeschwindigkeiten, und das Solenoidfeld ist am kräftigsten in der Gegend der subtropischen Stratosphäre. Zum Teil mag sich aber auch der Widerstand der norwegischen Schule gegen die Akzeptierung der v. FICKERSchen Resultate durch die in der Tat nicht zweckmäßige Nomenklatur v. FICKERS erklären, indem er ursprünglich die obere stratosphärische Druckschwankung als „primäre Welle“, die untere (troposphärische) Druckschwankung als „sekundäre Welle“ bezeichnete. Obgleich v. FICKER bei der Einführung dieser Nomenklatur sogleich betonte, daß die Bezeichnungsweise nicht auf das genetische Verhältnis beider Druckanteile Bezug nehmen sollte, lag doch später beim Operieren mit diesen Begriffen immer wieder die Versuchung nahe, zugleich auch das durch die Nomenklatur angedeutete genetische Verhältnis hineinzulesen. H. v. FICKER hat deshalb auch in seinen späteren Arbeiten die Bezeichnungsweise „obere (hohe) und untere (niedrige) Druckschwankungen“ bevorzugt.

Aber seit einigen Jahren hat sich ein Wechsel in den Anschauungen der norwegischen Schule im Sinne einer weitgehenden Angleichung an die v. FICKERSche Auffassung vollzogen, offensichtlich bedingt durch die Fortschritte der Aerologie, denen sich die ursprüngliche und zu enge Fassung der Polarfronttheorie nicht mehr anpassen ließ. Die „Physikalische Hydrodynamik“ (1933), das Standardwerk der norwegischen Schule, läßt in dem Kapitel „Theorie der Koppelung der Polarfront- und Tropopausenwellen“ diese Angleichung unter ausdrücklicher Würdigung der v. FICKERSchen Leistungen klar erkennen, und so darf denn der Jubilar an seinem 60. Geburtstage sich des Gefühls erfreuen, daß seine Lehren ohne Einschränkungen auf fruchtbaren Boden gefallen sind. Die weitere Forschung wird u. a. zwar das Problem des *genetischen Zusammenhangs* der oberen und unteren Druckschwankungen noch seiner Lösung zuzuführen haben, aber wie immer auch hier die Antwort ausfallen mag: *Mit der Erkenntnis der Notwendigkeit einer Miterücksichtigung der Stratosphäre an der Wetterentwicklung wird der Name H. v. FICKERS immer verknüpft bleiben.*

Hinsichtlich seiner Forschungsmethodik muß H. v. FICKER als typischer Repräsentant eines *induktiv arbeitenden Dynamikers* angesehen werden, der seine Resultate „mit dem scharfen, durch Formelkram unbeirrbar, bei allen Dingen auf den Grund spähenden Blick des Forschers“ gewann, durch welche Worte ein Theoretiker vom Range MAX PLANCKS der Arbeitsweise v. FICKERS bei dessen Aufnahme in die Berliner Akademie 1927 höchstes Lob zollte. Und die kristallene Klarheit seines Denkens brachten in Verbindung mit seinem außerordentlichen pädagogischen Geschick und seiner eindrucksvollen Persönlichkeit jene faszinierende Wirkung hervor, die den Hörern seiner Vorlesungen, seiner formvollendeten Kol-

loquiums- und Akademievorträge unvergeßlich bleiben wird. Nimmt man hinzu, daß v. FICKER über alle schätzenswerten Eigenschaften (und nur diese!) eines Diplomaten klassischer Prägung verfügt, so kann es nicht wundernehmen, daß sich seine Person auf internationalen Tagungen und Kongressen, an denen er als Mitglied des Internationalen Meteorologischen Komitees, der Commission du Réseau mondial et de Météorologie polaire und als Präsident der Internationalen Klimatologischen Kommission teilnahm, höchster Wertschätzung erfreute.

Wie alle großen Forscher, ist v. FICKER ein Meister in der Kunst der populären Darstellung der schwierigsten wissenschaftlichen Fragen seines Fachgebietes, und seine diesbezügliche Fähigkeit ist so bekannt gewesen, daß ein Referent seines populären, in der Sammlung „Verständliche Wissenschaft“ erschienenen Büchleins „Wetter und Wetterentwicklung“ von vornherein dieser Schrift eine weite Verbreitung voraussagen konnte „mit einer Sicherheit, die die der Wettervorausagen wesentlich übertrifft“ (M. BODENSTEIN).

Als im Jahre 1934 der gewaltige Aufbau des deutschen Reichswetterdienstes eingeleitet wurde, unter Auflösung der meteorologischen Institute der Länder, darunter auch des Preußischen Meteorologischen Instituts, wurde H. v. FICKER Direktor des neugegründeten Meteorologischen Instituts der Universität Berlin. Durch v. FICKERS

organisatorische Fähigkeit, die er vielfach z. B. bei der Organisation großer wissenschaftlicher Expeditionen (Alai-Pamir-Expedition 1928) bewiesen hatte, war dank der Unterstützung der beteiligten Ministerien in Verbindung mit dem verständnisvollen Entgegenkommen des Reichswetterdienstes das neue Institut in kürzester Zeit funktionsfähig. Unbeschwert von administrativer Belastung konnte v. FICKER hier in den folgenden Jahren wichtige *Untersuchungen über den Passat* veröffentlichen, durch die unsere bisherigen Anschauungen über dieses Strömungssystem völlig umgestaltet wurden, bis er im Jahre 1937 als Nachfolger WILH. SCHMIDTS einem Rufe als Direktor der Wiener Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik folgte. Auf dem Gipfelpunkt eines erfolgreichen Schaffens an die Stätte seiner ersten wissenschaftlichen Betätigung zurückgekehrt, steht er hier vor einer neuen, dankenswerten organisatorischen Aufgabe: Der Umwandlung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in ein meteorologisches Forschungsinstitut. Der Ruf H. v. FICKERS, seines Organisators, bietet die Gewähr dafür, daß das neue Institut unermüdlich und erfolgreich zur Weltgeltung deutscher Wissenschaft beitragen wird, und wir knüpfen hieran die Hoffnung, daß es dem Jubilar noch lange Jahre vergönnt sein möge, den Aufstieg seines Werkes zu erleben und befruchtend zu leiten.

Der Elektrizitätshaushalt der Erdatmosphäre¹⁾.

Von H. ISRAËL, Potsdam.

Denken wir uns einen mit geeignetem Instrumentarium ausgerüsteten Beobachter, der in der Lage sein soll, sich von der Erdoberfläche aus frei in der Atmosphäre zu bewegen und dabei deren elektrische Eigenschaften exakt zu messen, so würde dieser zu folgenden Feststellungen kommen:

Unmittelbar am Boden findet er ein nach oben positives elektrisches Feld von 200–300 Volt/m Stärke. Die Feldstärke nimmt mit der Höhe ab: in etwa 1–2 km Höhe sinkt sie auf die Hälfte, in etwa 6–7 km auf $\frac{1}{10}$ ihres bodennahen Wertes, um mit zunehmender Höhe in der Nähe der Ionosphäre schließlich unmeßbar klein zu werden. Da die Feldstärke einer geladenen Kugel nach außen proportional $\frac{1}{r^2}$ abnimmt, kann das Erdfeld nicht von einer Oberflächenladung der Erde allein herühren; es müssen in der Atmosphäre weitere Ladungen vorhanden sein, für die nach den bisherigen Meßergebnissen kugelsymmetrische Verteilung anzunehmen ist. Da die Atmosphäre infolge ihres Gehaltes an positiven und negativen „Luftionen“ überall eine gewisse Leitfähigkeit besitzt, sind Messungen des Stromes in verschiedenen Höhen ein geeignetes Mittel zur Auffindung der für den Feldbestand wesentlichen Ladungen:

In Fig. 1a und b sind die Potentialdifferenzen zwischen dem Erdboden und verschiedenen Höhen und die Feldstärkenabnahme mit der Höhe dargestellt. Nach der letzteren errechnet man mittels der Poissonschen Gleichung eine Raumladungsverteilung der in Fig. 1c dargestellten Art. Fig. 1d zeigt das Produkt aus Feldstärke und Leitfähigkeit in der freien Atmosphäre nach Messungen bei 2 Ballonfahrten (3). Wäre das elektrische Feld der Oberflächenladung der Erde durch das der Raumladungen kompensiert, so müßte der Strom mit der Höhe ähnlich abnehmen wie die Raumladungskonzentration. Dies ist nicht der Fall; Fig. 1d läßt zwar eine Stromabnahme mit der Höhe erkennen, doch sind Messungszahl und Meßgenauigkeit zu gering, um dies als sicher entschieden ansehen zu können. Es liegt näher, Stromkonstanz mit der Höhe anzunehmen und die Stromquelle in höheren Schichten — etwa der Ionosphäre — zu suchen.

Diese Befunde über Feld, Leitfähigkeit und Strom führen zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Die Lufthülle der Erde ist das Innere eines Kugelkondensators, dessen Belegungen einerseits die Erdoberfläche, andererseits das besonders stark leitende Ionosphärengebiet sind.

2. Das Gesamtfeld zwischen diesen beiden Belegungen beträgt rund 250–300 kV; sein Verlauf

¹⁾ Aus dem Meteorologischen Observatorium Potsdam des Reichsamts für Wetterdienst.

wird bestimmt durch eine mit der Höhe zunehmende Leitfähigkeit, die ihre Ursache in der ionisierenden Wirkung der aus dem Kosmos kommenden Wellen- und Korpuskularstrahlung hat.

3. Die Tatsache, daß in diesem Feld ein Strom fließt, der in einer Gesamtstärke von rund 1200 bis 1600 Amp. der Erdoberfläche dauernd positive

dians). In der bodennahen Schicht stellt man nur über den Ozeanen und über den arktischen Gebieten den gleichen weltzeitlichen Gang fest, während über dem Festland und auch schon über Inseln solcher Größe, daß sie ein eigenes Klima haben, die Tagesvariationen des Feldes nach Ortszeit verlaufen; ihr Charakter ist je nach Ort und Jahres-

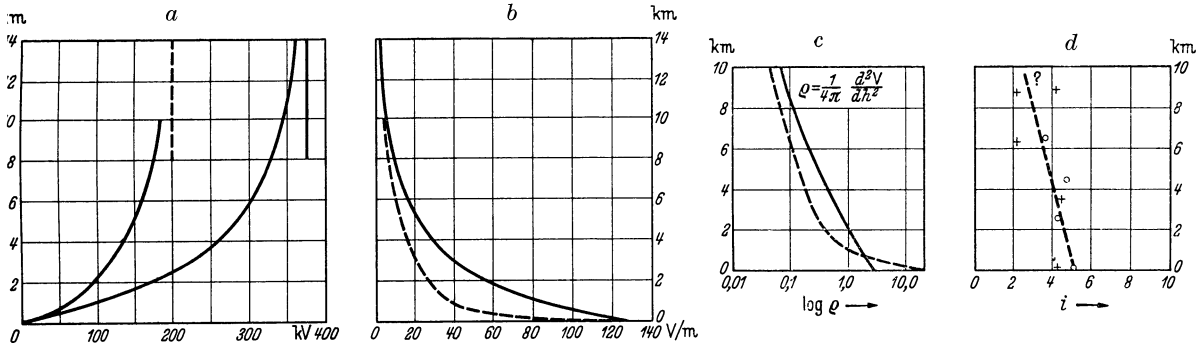


Fig. 1. a) b) c) Potential-, Feld- und Raumladungsverlauf mit der Höhe [gestrichelt nach Mittelwerten von Freiballfahrten in der Troposphäre (1), ausgezogen nach der Stratosphärenfahrt des „Explorer II“ (2)]; d) Vertikalstromverlauf mit der Höhe nach Messungen von E. EVERLING und A. WIGAND (3).

Ladung zuführt, ohne daß der Feldbestand sich ändert, verlangt das Vorhandensein eines diesen Strom kompensierenden Vorganges.

Mit dem Fortbestand des Feldes trotz des Vertikalstromes ist das eigentliche Grundproblem der luftelektrischen Forschung gegeben, dessen Lösungsversuche an der Erfahrung über das örtliche und zeitliche Verhalten des Erdfeldes geprüft werden können.

Man muß annehmen, daß oberhalb einer Höhe von etwa 1—2 km das Feld zur gleichen Tages- und Jahreszeit über der ganzen Erde das gleiche ist; insbesondere muß in dieser Höhe die Land-See-Verteilung schon ohne Einfluß sein, so daß Bodeneinflüsse, wie man sie sich in mancherlei Form denken könnte, für die Aufrechterhaltung des Feldes nicht in Frage kommen können, da solche typische Feldunterschiede über Land und See erwarten ließen.

In geringeren Höhen über dem Boden herrschen andere Verhältnisse: Hier findet man ganz erhebliche örtliche Feldunterschiede. Man muß danach folgern, daß im Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre 2 Schichten verschiedenen Verhaltens zu unterscheiden sind: eine *bodennahe Schicht* von etwa 1—2 km Mächtigkeit, die örtlichen Einflüssen unterliegt, und eine „*Oberschicht*“ — wie sie weiter genannt werden soll — von rund 100 km Mächtigkeit, die weltweit gleiche Verhältnisse zeigt.

Noch deutlicher wird dieser Unterschied, wenn das Feld zeitlich verfolgt wird. In der Oberschicht ist eine auf der ganzen Erde phasengleiche periodische Variation des Feldes im Laufe eines Tages anzunehmen, die bei etwa 40% Schwankungsamplitude von einem Minimum zwischen 4 und 5 Uhr Weltzeit zu einem Maximum gegen 21 bis 22 Uhr Weltzeit ansteigt und dann wieder zum Minimum abfällt (Weltzeit = Zeit des Nullmeri-

zeit einfach- oder doppelperiodisch, entsprechend den in Fig. 2 oben dargestellten Typen, ihre Amplitude durchweg größer als über See, sowie örtlich und zeitlich verschieden.

Dieses unterschiedliche Verhalten des Feldes in Bodennähe und Bodenferne führt zu der Über-

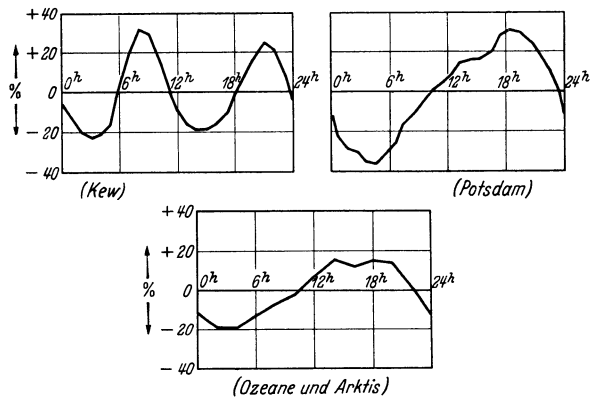


Fig. 2. Typen des täglichen Feldverlaufes am Boden: oben links: Doppelperiodischer Gang (Kew, Juni/Juli), oben rechts: Einfachperiodischer Gang (Potsdam, Dezember/Januar); unten: Weltzeitlicher Gang (Ozeane und Polaris).

zeugung, daß sich die Gesetzmäßigkeiten des Gesamtfeldes der Atmosphäre direkt nur in seinem Verhalten über See, arktischen Gebieten und in der Oberschicht widerspiegeln, während in der festländischen bodennahen Schicht, wo nun einmal die große Mehrzahl der Untersuchungen erfolgt, zu einem großen Teil ortsgebundene Verhältnisse vorherrschen, durch die weltweite Betrachtungen sehr erschwert werden.

Bisher ist stillschweigend vorausgesetzt, daß die Beobachtungen nur bei klarem, wolkenlosem

Wetter angestellt sind. Durch meteorologische Einflüsse erfahren nun aber die atmosphärisch-elektrischen Verhältnisse eine außerordentliche Komplikation: In jeder Wolke, jeder Dunstschicht, jeder Front findet man besondere elektrische Verhältnisse; Feldverlauf, Ionisation, Raumladung, Strom usw. sind häufig bis zur völligen Verwischung und Umkehr der „normalen“ Verhältnisse verändert.

Man muß sich angesichts dessen fragen, ob die Unterscheidung von „normalen“ und „gestörten“ Verhältnissen, wie sie sich in bezug auf die Luftelektrizität eingebürgert hat, zu Recht besteht. Wir suchen die Ursache für den Bestand des elektrischen Feldes und haben die beiden Möglichkeiten, hierfür terrestrische oder kosmische Einflüsse verantwortlich zu machen. Ist das elektrische Geschehen in der Atmosphäre kosmisch

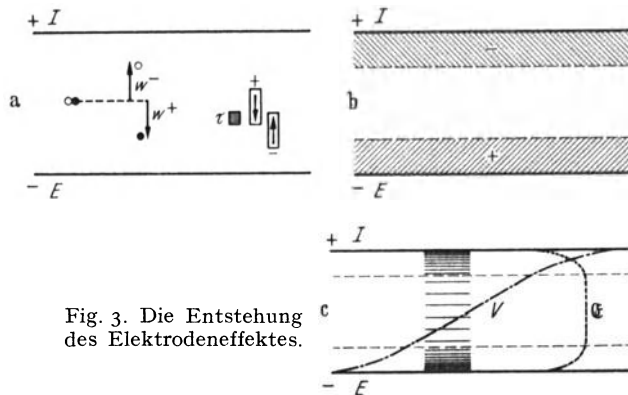


Fig. 3. Die Entstehung des Elektrodeneffektes.

bedingt, so darf allerdings zwischen „gestörten“ und „ungestörten“ Zuständen unterschieden werden. Ist die Ursache aber terrestrischer Art, so ist dies fraglos nicht mehr erlaubt; denn dann darf und muß man erwarten, daß „gestört“ und „ungestört“ gewissermaßen nur das Vorzeichen zu einem im übrigen ähnlichen Vorgang definieren. Liegt also die eigentliche Ursache z. B. im Gewitter, so klingt im gewitterfreien Gebiet nur das ab, was im Gewittergebiet aufgebaut worden ist.

Wir haben im bisherigen die beiden wichtigsten Probleme gestreift, das Grundproblem der Aufrechterhaltung eines elektrischen Spannungszustandes in der Atmosphäre und das Problem der örtlich bedingten Tagesgänge. Betrachten wir zunächst das letztere genauer, da mit seiner Lösung eine wesentliche Schwierigkeit des anderen Problems beseitigt werden kann.

Fließt in einem Kondensator ein durch Ionen beider Vorzeichen getragener Strom, so wird der Feldverlauf durch den sog. „Elektrodeneffekt“ in charakteristischer Weise modifiziert. Fig. 3a möge schematisch den atmosphärischen Kondensator mit der negativen Belegung E (Erdoberfläche) und der positiven I (Ionosphäre) darstellen. Sein Innenraum wird durch die Ultrastrahlung ionisiert und nimmt im Gleichgewicht zwischen Ionenbildung

und -vernichtung einen bestimmten Ionengehalt an. Ist nun die Spannung zwischen E und I so bemessen, daß sie unterhalb der Sättigungsspannung liegt — in der Atmosphäre ist dies erfahrungsgemäß stets der Fall —, so wird ein irgendwo entstehendes Ionenpaar entsprechend den Beweglichkeiten der beiden Ionen in der Zeiteinheit um das Stück $w^+ + w^-$ auseinandergezogen; das positive Ion wandert um w^+ nach unten, das negative um w^- nach oben. Betrachten wir weiter ein Raumelement τ , so werden durch dieses in der Zeiteinheit diejenigen positiven bzw. negativen Ionen von oben nach unten bzw. von unten nach oben hindurchwandern, die aus dem röhrenförmigen Raum vom Querschnitt τ und der Länge w^+ bzw. w^- stammen. Der Strom i durch das Raumelement τ hat den Wert

$$i = e \mathcal{E} (n^+ k^+ + n^- k^-) = e (\lambda^+ + \lambda^-) = e A,$$

wo λ^+ und λ^- die sog. „polaren“ und ihre Summe A die sog. „totale“ Leitfähigkeit des ionisierten Raumes bedeuten. Diese Formel gilt im ganzen Innenraum mit Ausnahme der Gebiete, die um weniger als w^- von der Elektrode E bzw. um weniger als w^+ von der Elektrode I entfernt sind. In diesen elektrodennahen Gebieten tritt der Beitrag zum Gesamtstrom, der von gleichnamigen Ionen getragen wird, um so stärker neben dem anderen zurück, je näher man an die Elektroden heranrückt, um an diesen selbst schließlich ganz zu verschwinden:

$$i_E = e \mathcal{E}_E n^+ k^+ = \lambda^+ \mathcal{E}_E, \quad i_I = e \mathcal{E}_I n^- k^- = \lambda^- \mathcal{E}_I.$$

Der Strom muß zahlenmäßig der gleiche sein, also muß die Feldstärke \mathcal{E} in Elektrodennähe entsprechend ansteigen; im Zuge dieses Prozesses bilden sich in der näheren Umgebung von E und I Schichten positiver bzw. negativer Raumladung, in denen das Potential von seiner Gradlinigkeit und die Feldstärke von ihrer Konstanz abweichen (Poissonsche Gleichung) — vgl. Fig. 3b und 3c.

Die Überlegungen bleiben im Prinzip die gleichen, wenn — wie es in der Atmosphäre der Fall ist — die Leitfähigkeiten von E nach I hin ansteigen.

Der Elektrodeneffekt in Ionosphärennähe interessiert im weiteren nicht; wir beschränken uns auf den in Bodennähe und untersuchen seine *feldvergrößernde Wirkung*, seine *Höhenerstreckung* und sein *zeitliches Verhalten*.

Das Verhältnis der Feldstärke an der Elektrode zu der im freien Raum steigt bei Gleichheit von λ^+ und λ^- im Kondensatorinneren auf 2 an. Sind aber — wie es in der bodennahen Atmosphäre meist zutrifft — in der Nähe von E noch Verhältnisse vorhanden, die leitfähigkeitsverkleinernd wirken (Staub, Kondensationskerne und Großionen), so kann diese Verhältniszahl zu wesentlich größeren Werten ansteigen. Man darf also erwarten, daß das Potentialgefälle am Boden und z. B. der Kerngehalt sich gleichsinnig verhalten — eine immer wieder zu beobachtende Erscheinung. So ist z. B. der mittlere Feldwert in Großstädten mit ihrem

hohen Staubgehalt durchweg wesentlich höher als der an kernarmen Landstationen (4); an der Küste herrscht während des (kernreicheren) Landwindes höheres Gefälle als während des (kernärmeren) Seewindes usw. (5).

Die Höhererstreckung des Elektrodeneffektes sollte nach den theoretischen Untersuchungen von J. J. THOMSEN (6), E. v. SCHWEIDLER (7) und J. SCHOLZ (8) höchstens einige Meter betragen, während die Beobachtung zeigt, daß die Feldstärke in den untersten 10 m meist nur um wenige Prozent abnimmt und nicht um 50% und mehr, wie die genannten Rechnungen erwarten lassen (9).

Den Grund für diese Unstimmigkeit und damit gleichzeitig einen Weg zur Deutung der ortszeitlichen Periode des Feldes an Landstationen findet man bei Berücksichtigung des vertikalen Massenaustausches in den untersten Atmosphärenschichten.

Örtliche Unterschiede irgendwelcher Art gleichen sich bekanntlich nach dem GRAHAM-FICKSchen Diffusionsgesetz

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = k \Delta \Phi$$

aus, wo k den Diffusionskoeffizienten — bzw. z. B. beim Wärmeausgleich die Temperaturleitfähigkeit — bedeutet. In der Atmosphäre braucht angesichts der angenommenen Kugelsymmetrie nur die Abhängigkeit des betreffenden Elementes von der Höhe betrachtet zu werden:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \Phi}{\partial h^2}$$

Dies Gesetz gilt nur, solange keine turbulente Luftbewegung vorhanden ist; in der Atmosphäre ist es demnach erfahrungsgemäß nicht anwendbar. Man kann aber, wie W. SCHMIDT zuerst gezeigt hat (10), auch hier formal mit derselben Differentialgleichung arbeiten, wenn man an Stelle des Diffusionskoeffizienten k den sog. „Austauschkoeffizienten“ A einführt und seine Größe experimentell zu bestimmen sucht.

F. J. W. WHIPPLE (11) benutzt nun diesen Austauschkoefizienten zur Abschätzung des Elektrodeneffektes und kommt unter der Annahme eines höhenkonstanten A -Wertes zu den in Fig. 4 links dargestellten Kurven für Q (Verhältnis des bodennahen zum bodenfernen Feld). Angenommen ist dabei Gleichheit der beiden polaren Leitfähigkeiten in der Atmosphäre sowie das Fehlen von leitfähigkeitsvermindernden Einflüssen in Bodennähe. Die Höhererstreckung des Elektrodeneffektes ergibt sich danach zu einigen 100 m.

H. LETTAU (12) rechnet das gleiche unter der Annahme eines mit der Höhe linear anwachsenden Austausches ($A = a_0 + a_1 h$) und kommt für bestimmte Werte desselben, wie sie normaler Luftbewegung der Windstärke 2—3 (Fall 1), kräftiger Strömung (Fall 2) und nächtlicher Luftruhe (Fall 3) zuzuordnen sind, zu den in Fig. 4 rechts dargestellten Kurven.

Beide Ansätze zeigen, daß der Elektrodeneffekt eng mit der Luftbewegung gekoppelt sein muß. Die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes in den früheren Ansätzen mußte deshalb zu falschen Ergebnissen über seine Höhererstreckung führen.

Interessant und wichtig ist nun die Tatsache, daß der Austauschvorgang ganz bestimmte Variationen im Laufe des Tages durchmacht, wie sie schon aus seinem Zusammenhang mit der Windstärke hervorgehen. Da diese Variationen nach Ortszeit verlaufen, ist damit der Schlüssel zum Verständnis der ortszeitlichen Feldänderungen gegeben. Setzt man z. B. den mittleren täglichen Feldverlauf einer Station in Beziehung zu einem anderen vom Tagesgang des Austausches abhängi-

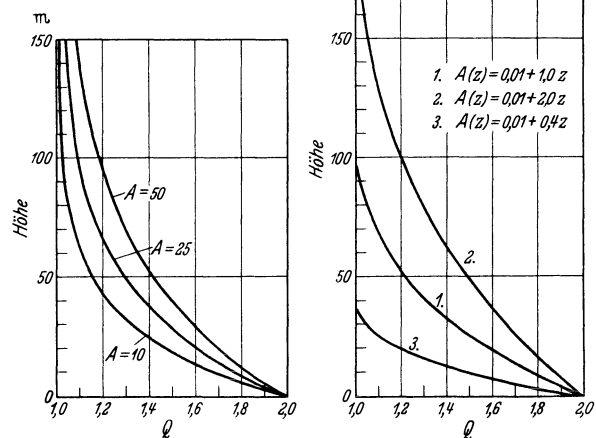


Fig. 4. Elektrodeneffekt (ausgedrückt durch das Verhältnis Q des bodennahen zum bodenfernen Feld) und Austausch nach F. J. W. WHIPPLE (links; $A = \text{konst.}$) und H. LETTAU (rechts; $A = a_0 + a_1 h$).

gen Element — in Fig. 5 ist hierfür der Dampfdruck gewählt —, so erhält man gleichartige Gänge.

Das nahezu völlige Fehlen eines ortszeitlichen Gefälleganges auf den Meeren und in den arktischen Gebieten steht in Einklang damit, daß die Tagesvariationen der meteorologischen Größen in diesen Gebieten so gering sind, daß der Austauschkoefizient hier im wesentlichen als tageskonstant gelten darf.

Es läßt sich also sagen, daß die ortszeitliche Gefällegeperiode in der bodennahen Schicht des Festlandes im Prinzip als geklärt anzusehen ist. Wie hoch die bodennahe Schicht im Mittel reicht, in welcher Weise sie im Laufe eines Tages oder Jahres und mit der Wetterlage schwankt, bleibt noch im einzelnen zu klären.

Der für die Aufrechterhaltung des Feldes verantwortliche Vorgang muß 2 Voraussetzungen genügen:

1. Er muß so beschaffen sein, daß er den abwärtsgerichteten Strom von rund 1200—1600 Amp. kompensiert.

2. Er muß so verlaufen, daß er in seiner Intensität im Laufe eines Tages um etwa 40% variiert und ein Minimum zwischen 2 und 4 Uhr, ein Maximum zwischen 18 und 22 Uhr Weltzeit aufweist.

Hypothetische Vorgänge bisher unbekannter physikalischer Natur sollen ausgeschlossen sein,

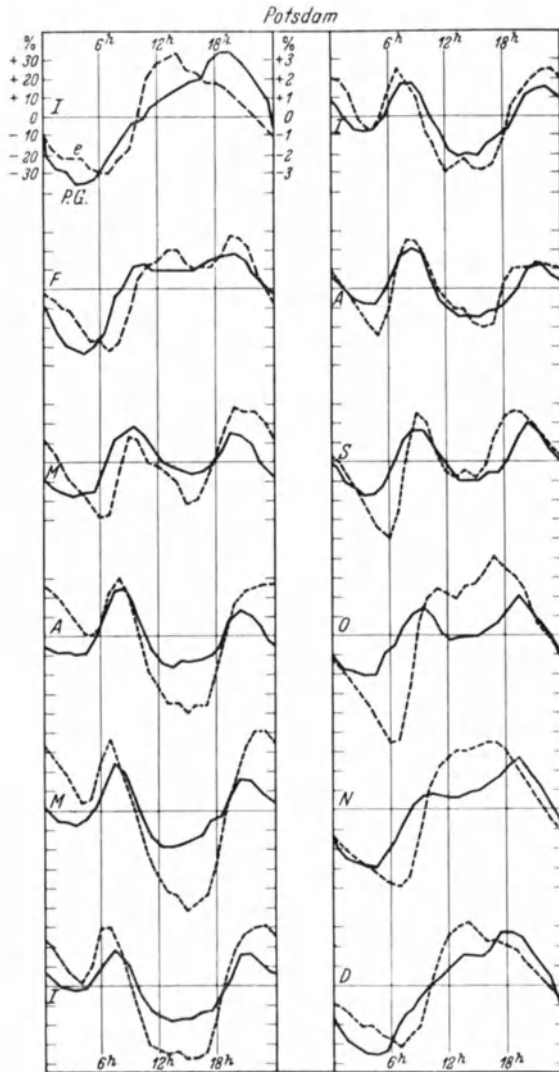


Fig. 5. Bodenfeldstärke (ausgezogene Linien) und Dampfdruck (gestrichelt) für die einzelnen Monate in Potsdam (langjähriges Mittel) (13).

solange eine Erklärung durch physikalisch Bekanntes möglich erscheint.

Zuzulassen sind, wie schon gesagt, Vorgänge terrestrischen oder kosmischen Ursprungs. Bei einem solchen der ersten Art müßte es sich um eine Art Dynamoeffekt innerhalb der Atmosphäre handeln, der für dauernde Zufuhr negativer Ladung zur Erde und positiver zur Ionosphäre sorgt, wobei die Erde als Ganzes nach außenhin elektrisch

neutral bliebe. Im zweiten Fall müßte ein entsprechender Ladungszufluß vom Weltraum her erfolgen, wodurch dann die Erde ihr Potential gegenüber dem Raum dauernd erhöhen würde.

Terrestrische Ursachen. Wir gehen aus vom Vertikalstrom, weil dieser im Gleichgewicht vom Elektrodeneffekt unbeeinflusst bleibt. Die zuverlässige Beobachtung und vor allem Registrierung dieses Vertikalstromes ist wegen seiner Kleinheit nicht einfach; über dieses wichtige Element liegt deshalb bisher nur bescheidenes Ergebnis-

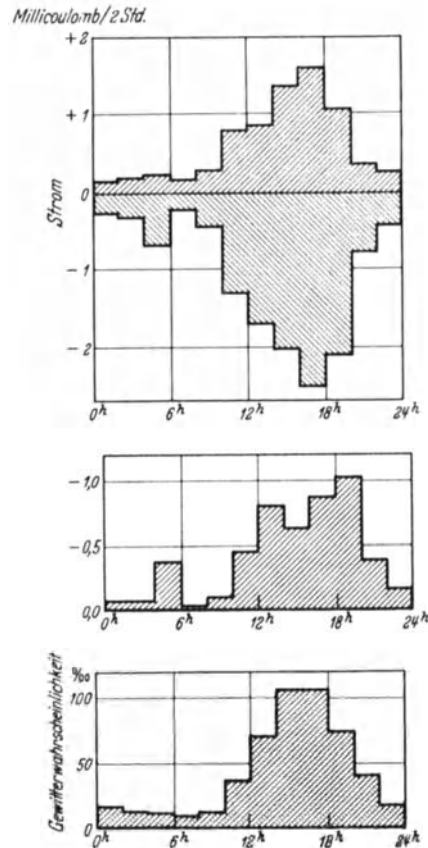


Fig. 6. Tagesgang des positiven und negativen Spitzenstromes (oben) und des negativen Überschusses (Mitte) im mehrjährigen Mittel (14). Tagesgang der Gewitterwahrscheinlichkeit (unten) (15).

material vor. Trotzdem geben schon diese wenigen Untersuchungen interessante Hinweise.

Die Beobachtung zeigt, daß sowohl Stärke wie Vorzeichen dieses Stromes variieren; insbesondere kann der Strom bei Böen und Gewittern sehr hohe positive und negative Beträge erreichen, die seine normalen Werte um eine Reihe von Zehnerpotenzen überschreiten.

Legt man eine Registrierung so an, daß nur die weit über der Norm liegenden Werte erfaßt werden — z. B. durch galvanometrische Registrierung des Stromes, der durch eine exponiert aufgestellte Spitze einfließt —, und bildet aus längeren

Reihen den Tagesgang für diese abnorm hohen positiven und negativen Stromwerte, so ergibt sich im Jahresmittel das in Fig. 6 oben dargestellte Bild. Der obere Teil der obersten Figur gibt die Mittelbeträge positiver, der untere die negativer Elektrizitätszufuhr zur Erde. In der mittleren Teilfigur sind die Differenzen, also die Überschüsse negativen Ladungszuflusses, dargestellt.

Aus dieser Zusammenstellung läßt sich zweierlei entnehmen: Einmal vermag man eine Bilanz zu ziehen zwischen der zeitlichen Summe dieses negativen Ladungszuflusses zur Erde bei anomal hohem Strom und der Summe positiver Ladungszufuhr bei normalem Strom. Diese Abschätzung ist zwar im einzelnen noch unsicher, doch kann man mit einiger Sicherheit sagen, daß der negative Elektrizitätszufluß zur Erde durch Spitzenwirkung den positiven mindestens kompensiert, wahrscheinlich sogar um 20—50 % übertrifft. Es liegt also die Vermutung nahe, daß der gesuchte Kompensationsvorgang damit im Prinzip gefunden ist.

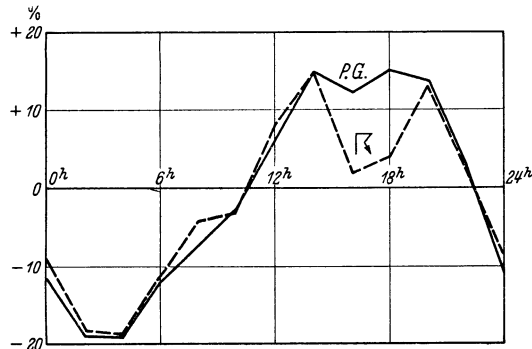


Fig. 7. Weltzeitlicher Gang von Potentialgefälle und Gewitterhäufigkeit (16) (17).

Ein weiteres ebenso wichtiges Ergebnis ist das, daß der negative Überschuß der Ladungszufuhr eine ausgesprochene Tagesperiode besitzt. Nun ist bekannt, daß die Häufigkeit der Gewitter an einem Ort ebenfalls einen ausgeprägten Tagesgang zeigt. In dem untersten Teilbild der Fig. 6 ist diese Häufigkeit dargestellt. Die Übereinstimmung beider Gänge macht einen inneren Zusammenhang wahrscheinlich.

Setzt man die Registrierung des Spitzenstromes allgemein mit dem Witterungsverlauf in Vergleich, so zeigt sich, daß die anomalen Werte ausschließlich bei „schlechtem Wetter“ auftreten, daß sie — genauer gesagt — typische Begleiterscheinungen von Böen und Gewittern sind. Wir finden also, daß die luftelektrischen Vorgänge in meteorologischen „Störungsgebieten“ die Prozesse zu kompensieren vermögen, die unter normalen Verhältnissen ablaufen, und kommen damit zu der Hypothese, daß in den „Störungsgebieten“ die Ursachen für den Bestand eines elektrischen Feldes in der Atmosphäre zu suchen sind. Eine Bestätigung dieser Hypothese kann man in der engen Parallele sehen, die zwischen dem weltzeitlichen Gang des Feldes

über den Ozeanen und dem der täglichen Gewitterhäufigkeit auf der ganzen Erde besteht (Fig. 7).

Kosmische Ursachen. Zunächst scheint nach L. A. BAUER (18) ein Zusammenhang zwischen der mittleren jährlichen Bodenfeldstärke und der Sonnenfleckenaktivität zu bestehen (Fig. 8). Allerdings ist dies noch kein Beweis für eine direkte kosmische Ursache des Feldes. Der Einfluß der Sonnenflecken auf das Erdfeld kann ebenso durch eine Sonnenfleckenbeeinflussung der Gewitteraktivität bedingt sein. Bisherige Prüfungen dieser Frage sind in ihren Ergebnissen widerspruchsvoll.

Ein anderer kosmischer Einfluß ist von J. SCHOLZ festgestellt worden (19). Auf Franz-Josefs-Land zeigte sich an einigen luftelektrisch sonst ruhigen Tagen bei Polarlichteinsatz ein auffallendes Verhalten von Strom und Feld: Einige Minuten vor dem Sichtbarwerden eines Nordlichtes

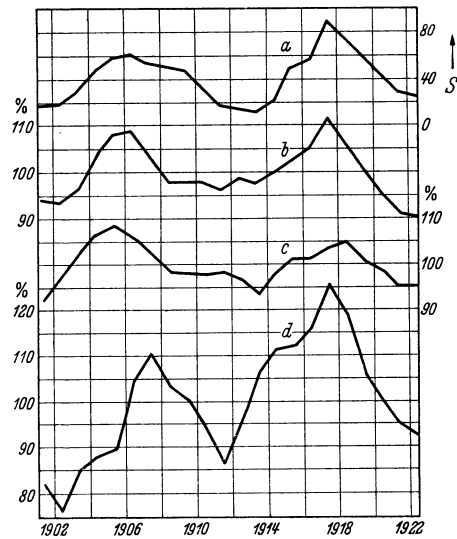


Fig. 8. Potentialgefälle und Sonnenflecken nach L. A. BAUER (18). a) Jährliche Sonnenfleckenrelativzahl 1902—1922. b) Mittlere jährliche Feldstärke am Boden (nach 6 Festlandsstationen). c) Mittlere Tagesamplitude. d) Mittlere Jahresamplitude des Gefälles.

stieg das Gefälle stark an, nahm dann zusammen mit dem Strom beim Einsatz desselben stark ab und erreichte erst allmählich bzw. beim Verschwinden des Polarlichtes wieder die alten Werte. J. SCHOLZ versucht eine Erklärung dieser Erscheinung entweder durch die Annahme von Elektronen und Positronen in der polarlichterzeugenden Strahlung — wobei letztere vorausseilen müßten — oder durch Annahme einer nach dem Weltraum hin negativen Ionosphäre, die sich dann unter der abstoßenden Wirkung der ankommenden Elektronenwolke zur Erde hin ausbeulen müßte. Eine Entscheidung über die Realität des Effektes und die Realität seiner Deutung ist wohl nur bei Erweiterung des Meßmaterials möglich. Selbst bei Bestätigung ist aber auch auf diesem Wege ein grundsätzlicher Beitrag zum Problem des Feldbestandes wenig wahrscheinlich; denn ein Zustrom positiver

bzw. negativer Ladung zur Ionosphäre bzw. Erde müßte dauernd und mit einem entsprechenden Tagesrhythmus erfolgen. Alle bisherigen Versuche von E. v. SCHWEIDLER und W. G. F. SWANN (20), einen solchen hypothetischen kosmischen Zustrom experimentell nachzuweisen, sind jedoch negativ verlaufen.

Es ist nach alledem wenig wahrscheinlich, daß der Feldbestand in der Atmosphäre kosmische Ursachen hat, mindestens unter der oben gemachten Voraussetzung, physikalisch bisher Unbekanntes auszuschließen. Damit soll nicht gesagt sein, daß nicht Teilerscheinungen des Elektrizitätshaushaltes auch auf kosmische Ursachen zurückgehen können. Gerade in dieser Beziehung zeigen sich bei feldvariographischen Registrierungen gewisse Zusammenhänge zu ionosphärischen und erdmagnetischen Zuständen. Nach diesen noch nicht abgeschlossenen Arbeiten scheint im Mittel mit zunehmender Unruhe der Ionosphäre und des erdmagnetischen Feldes auch die des luftelektrischen Feldes zu zunehmen (21).

Literatur.

1. Einzelliteratur s. in GEIGER-SCHEEL, Handbuch der Physik 14, 414 und in MÜLLER-POUILLET,

Lehrbuch der Physik 5/1, 630. — 2. O. H. GISH and K. L. SHERMAN, National Geographical Society, Techn. papers, Stratosph. Series, Nr 2. Washington 1936. — 3. E. EVERLING u. A. WIGAND, Ann. Physik 66, 261 bis 282 (1921). — 4. H. ISRAËL, Landolt-Börnstein, Neuauf. (im Druck). — 5. H. P. BERLAGE jr., Natuurk. Tijdschr. Nederl.-Indië 96, 166—172 (1936). — 6. J. J. THOMPSON, Elektrizitätsdurchgang in Gasen. Leipzig 1906. — 7. E. v. SCHWEIDLER, Wien. Ber. (IIa) 117, 653—664 (1908). — 8. J. SCHOLZ, Wien. Ber. (IIa) 140, 49—66 (1931). — 9. F. J. SCRASE, Geophys. Memoirs Lond. 7, Nr 67 (1935). — 10. W. SCHMIDT, Der Massenaustausch in freier Luft und verwandte Erscheinungen. Hamburg 1925. — 11. F. J. W. WHIPPLE, Terr. Magn. 37, 355 (1932). — 12. H. LETTAU, Gerlands Beitr. Geophys. 57, 365—383 (1941) (Benndorf-Heft). — 13. H. ISRAËL, Wiss. Abh. Reichsamt Wetterdienst 5, Nr 12 (1939). — 14. F. J. W. WHIPPLE and J. F. SCRASE, Geophys. Memoirs Lond. 7, Nr 68 (1936). — 15. K. HESS, Mitt. Thurgauisch naturforsch. Ges. 15 (1902). — 16. S. J. MAUCHLY, Publ. Carnegie-Inst. Nr 175, 1926. — 17. C. E. P. BROOKES, Geophys. Memoirs Lond. 3, Nr 24 (1925). — 18. L. A. BAUER, Terr. Magn. 29, 23—32 u. 161—186 (1924). — 19. J. SCHOLZ, Gerlands Beitr. Geophys. 44, 145—156 (1936). — 20. E. v. SCHWEIDLER, Die Aufrechterhaltung der elektrischen Ladung der Erde. Hamburg 1932. — 21. H. ISRAËL, noch nicht veröffentlicht.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Zur Berechnung von Oberflächenenergien fester und flüssiger Stoffe.

Zwischen der freien und gesamten Oberflächenenergie besteht die folgende, der GIBBS-HELMHOLTZschen Gleichung entsprechende Beziehung:

$$\Sigma = \sigma + T \cdot S_{\sigma} = \sigma - T \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial T}.$$

Für die an Oberflächen stattfindenden energetischen Wechselwirkungen ist die freie Oberflächenenergie σ maßgebend, zu deren Berechnung daher die Kenntnis der gesamten Oberflächenenergie Σ sowie der Oberflächenentropie $S_{\sigma} = -\partial \sigma / \partial T$ erforderlich ist.

I. Die gesamte Oberflächenenergie.

a) Kristalle. Auf Grund kristallographischer Beziehungen steht die gesamte Oberflächenenergie mit der experimentell zugänglichen inneren Sublimationswärme bei Berücksichtigung nur nächster Gitternachbarn in folgendem Zusammenhang¹⁾:

$$\Sigma_{M(T)} = \frac{Z - Z'}{Z} \cdot \lambda_i(T).$$

Hierin bedeutet Z die Anzahl der Gitternachbarn im Innern, Z' die an der Oberfläche des Kristalls, λ_i die molare innere Sublimationswärme bei der Temperatur T und entsprechend Σ_M die molare gesamte Oberflächenenergie, die sich auf eine Fläche bezieht, in der N_L Atome liegen. Die spezifischen Oberflächenenergien ergeben sich daraus beispielsweise, wenn a die Gitterkonstante bedeutet:

$$\begin{array}{l} \text{kub. fläch. (001)} \quad \Sigma = \frac{2\lambda_i}{3a^2 N_L}; \quad \frac{\lambda_i}{\Sigma_M} = 3 \\ \text{kub. fläch. (111)} \quad \Sigma = \frac{\lambda_i}{a^2 N_L \sqrt{3}}; \quad \frac{\lambda_i}{\Sigma_M} = 4 \\ \text{hex. dicht. (001)} \end{array} \quad \frac{\Sigma(001)}{\Sigma(111)} = 1,155.$$

Diese Beziehungen gelten zunächst für ein Kristallmodell, bei dem zwischen den Atomen nur VAN DER WAALSsche Kräfte wirksam sind (kond. Edelgase); eine genauere Betrachtung zeigt jedoch, daß sie auch auf Metalle in erster Näherung übertragen werden dürfen. In entsprechender Weise sind kürzlich durch R. FRICKE²⁾ für einige Metalle Oberflächenenergien berechnet worden. Aus der Veröffent-

lichung muß man den Eindruck gewinnen, daß die freie Oberflächenenergie gemeint ist, tatsächlich handelt es sich aber um die gesamte Energie. Die Rechnungen sind allerdings nur für den absoluten Nullpunkt angestellt, für den beide gleich sind.

Im folgenden wurde Σ für verschiedene Temperaturen berechnet (Tabelle 2). Aus $\partial \Sigma_M / \partial T = C_{\sigma}$ kann die „Oberflächen-Atomwärme“, d. i. die Differenz der Atomwärmern im Innern und an der Oberfläche, abgeleitet werden. Sie liegt in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-7}$ cal/g-Atom, ist also außerordentlich gering.

b) Flüssigkeiten. Das Verhältnis λ_i / Σ_M ist für Flüssigkeiten bereits mehrfach untersucht worden mit dem Ziel, Aufschluß über die Anordnung der Moleküle im Innern und an der Oberfläche der Flüssigkeit zu erhalten (STEFANScher Satz $\lambda_i / \Sigma_M = 2$). In neuester Zeit ist diese Beziehung von K. L. WOLF u. Mitarb.³⁾ für eine Reihe von Flüssigkeiten nachgeprüft worden, deren Aufbau allerdings viel zu kompliziert ist, um durch so einfache Ansätze, wie sie für den idealen Kristall gelten, beschrieben zu werden. Demgegenüber werden in der vorliegenden Untersuchung einfache Modellflüssigkeiten, die einatomigen flüssigen Edelgase und Metallschmelzen betrachtet (Tabelle 1). Unter Berücksichtigung der neueren Anschauungen und experimentellen Befunde über Fehlorderungserscheinungen in Flüssigkeiten gelingt grundsätzlich eine Deutung der tatsächlichen Verhältnisse.

II. Die Oberflächenentropie.

Unter Verwendung des Ausdrucks

$$f = -s k \ln \frac{kT}{h\nu}$$

für die freie Energie eines s -dimens. harm. Oszillators haben E. MADEJUNG und in neuerer Zeit R. KAISCHew⁴⁾ Beziehungen für den Temperaturkoeffizienten der freien Oberflächenenergie abgeleitet. Entsprechend ist für Flüssigkeiten kürzlich von J. FRENKEL⁵⁾ ein Ausdruck entwickelt worden, wobei nur Schwingungen senkrecht zur Oberfläche betrachtet werden und eine mittlere Frequenz $\bar{\nu}$ aus der Gleichung für Kapillarwellen entnommen wird. Die FRENKELsche Beziehung wurde an einigen Beispielen geprüft (Tabelle 1).

Tabelle 1.

Element	Flüssiger Zustand			Fester Zustand	
	$\lambda_i/\Sigma M$	$-\partial\sigma/\partial T$ (FRENKEL)	$-\partial\sigma/\partial T$ experim.	$T^\circ K$	$-\partial\sigma/\partial T$ (Entropie Verh.)
Helium . .	(1,6)	—	—	—	—
Neon . .	1,95	0,29	0,32	15° K	0,10
Argon . .	2,31	0,31	0,26	50° K	0,12
Quecksilber . .	2,14	0,54	0,23	—	—
Natrium . .	6,12	0,32	0,07	—	—
Blei . .	6,03	0,57	0,08	300	0,07
Silber . .	6,00	0,78	0,13	300	0,10
Gold . .	6,75	0,86	0,10	300	0,10

Um zu einer Abschätzung der Oberflächenentropie fester Stoffe zu gelangen, wurde folgender Ansatz gemacht:

$$\frac{S(\sigma_1 \text{ fest})}{S(\sigma_2 \text{ flüss})} = \frac{S\sigma(\sigma_1 \text{ fest})}{S\sigma(\sigma_2 \text{ flüss})}$$

S-fest bzw. flüss. bedeutet die experimentell zugängliche, sich auf das Innere der Phase beziehende Entropie, $S\sigma$ -flüss. den ebenfalls meßbaren negativen Temperaturkoeffizienten der Oberflächenspannung der betr. Flüssigkeit. Hierin sind sowohl die Änderung des Ordnungszustandes beim Übergang der flüssigen zur festen Phase als auch die besonderen Ordnungsverhältnisse an deren Oberfläche berücksichtigt. Wie zu erwarten, ist die Temperaturabhängigkeit der freien Oberflächenenergie für den festen Zustand geringer als für den flüssigen. Die spez. Oberflächenentropie beträgt für die festen Edeltgase ebenso wie für Metalle etwa 0,1 erg/cm² Grad. Gegenüber den hohen Werten der freien Oberflächenenergie der Metalle ist daher der Beitrag der latenten Oberflächenwärme ($T \cdot S_n$) klein (Tabelle 1).

III. Die freie Oberflächenenergie σ .

Mit Hilfe der ermittelten $\partial\sigma/\partial T$ -fest-Werte ist nunmehr die Angabe der für das energetische Verhalten von Oberflächen maßgebenden freien Oberflächenenergie möglich. Tabelle 2 enthält zum Vergleich die auf den Schmelzpunkt extrapolierten, beobachteten Oberflächenspannungen des flüssigen Zustandes.

Tabelle 2.

Element	ΣM (III)	Σ (III)	σ (III)	σ (III)	σ flüss. beob.
	10^{-7} erg/Gr.At.	erg/cm ²	erg/cm ²	erg/cm ²	erg/cm ²
	$T = 298^\circ K$			$T = T_e (Fp)$	
Blei . . .	47930	753	730	675	465
Silber . .	71720	1655	1624	1359	928
Gold . . .	94090	2178	2149	1868	1135
	$T = 0^\circ K$			$T = T_e (Fp)$	
Neon . .	469	8,7	$\sigma = \Sigma$	~ 6	5,7
Argon . .	1933	25,6	„	~ 14	13,5
Krypton .	2803	34,2	„	—	—
Xenon . .	3966	39,6	„	—	—

Die rechnerische Abschätzung von Oberflächenenergien fester Stoffe ist deshalb von besonderer Bedeutung, weil bekanntlich eine experimentelle Ermittlung nicht ohne weiteres möglich ist.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie, den 14. Oktober 1941.
R. HAUL.

¹⁾ Vgl. die grundlegenden Untersuchungen von VOLMER, KOSSEL, STRANSKI u. KAISCHEW. Lit. bei M. VOLMER, Kinetik der Phasenbildung. Dresden u. Leipzig 1939, sowie P. A. THIESSEN u. E. SCHOON, Z. Elektrochem. 46, 170 (1940).

²⁾ R. FRICKE, Naturwiss. 29, 365 (1941).

³⁾ H. DUNKEN, H. KLAPPROTH u. K. L. WOLF, Kolloid-Z. 91, 232 (1940).

⁴⁾ R. KAISCHEW, Z. phys. Chem. B 48, 82 (1940).

⁵⁾ J. FRENKEL, J. of Phys. (USSR.) 3, 355 (1940).

Systematische röntgenographische Untersuchungen an polymerhomologen Reihen von Cellulosefasern¹⁾.

In Fortsetzung früherer Untersuchungen²⁾ wurden an polymerhomologen Reihen von Baumwolle und Ramie — hergestellt durch heterogenen oxydativen Abbau mit Chlor — Faserdiagramme aufgenommen und erstens zur Ermittlung der Gitterkonstanten die Lage der Reflexe — speziell mit größtmöglicher Präzision die des Äquatorialreflexes A_4 — vermessen, zweitens zur Bestimmung der Kristallitorientierung die Schwärzung längs der Debye-Scherrer-Sicheln photometriert und die charakteristische Halbwertsbreite ermittelt und drittens zur Ermittlung der Kristallitgröße nach der LAUESCHEN Methode die Breite der Interferenzen photometrisch vermessen. Um im besonderen variable Korrekturgrößen, die durch verschiedene Präparatdicke und -dicke bedingt sind, zu vermeiden, wurde methodisch zur möglichst exakten Messung innerhalb einer homologen Reihe stets so verfahren, daß zuerst Diagramme mit dem nativen Präparat und daran anschließend Diagramme mit dem gleichen — und gleich justierten — aber stufenweise im Chlor abgebauten Präparat aufgenommen wurden.

Die Auswertung der Messungen hatte als Ergebnis, daß innerhalb der Meßgenauigkeit keine Veränderungen in den Röntgendiagrammen polymerhomologer Reihen eintraten, d.h. daß zumindest Gitterkonstanten, Kristallitorientierungen und im besonderen die Kristallitgrößen nativer Fasern von Baumwolle und Ramie mit einem DP von etwa 2300 identisch sind mit den entsprechenden Größen der Niederpolymeren, die maximal in ihrem DP um mehr als eine Größenordnung auf etwa DP = 180 abgebaut waren.

Röntgenographisch lassen sich also im Gegensatz zu früheren Untersuchungen³⁾ keine Aufschlüsse über Dimensionen der Makromoleküle ermitteln, sondern lediglich vorerst solche über Kristallitgrößen. Diese bleiben, wie die angeführten Untersuchungen ergaben, bei Abbauprozessen kristallographisch unverändert — ein Ergebnis, das sich mit den von KRATKY⁴⁾ und FREY-WYSSLING⁵⁾ aufgestellten Modellvorstellungen ohne weiteres in Übereinstimmung bringen läßt. Erforderlich ist es, die Kristallitgrößenbestimmung außer mit der indirekten LAUESCHEN Methode, die mit bestimmten prinzipiellen Voraussetzungen belastet ist, mit einer völlig anderen direkten Methode, wie z. B. der von HOSEMANN⁶⁾ angewandten, zu wiederholen.

Freiburg i. Br., Physikalisches Institut der Universität, den 15. Oktober 1941. E. PLÖTZE.

¹⁾ Zugleich 285. Mitt. über makromolekulare Verbindungen. 284. Mitt. G. V. SCHULZ und BLASCHKE, Z. physik. Chem. (B) (im Druck).

²⁾ E. PLÖTZE u. H. PERSON, Naturwiss. 27, 693 (1939) — Z. physik. Chem. (B) 45, 193 (1940).

³⁾ Vgl. z. B. J. HENGSTENBERG u. H. MARK, Z. Krist. 69, 271 (1929). — H. MARK u. G. V. SUSICH, Z. physik. Chem. (B) 4, 431 (1929). — MEYER u. MARK, Der Aufbau der hochmolekularen organischen Naturstoffe. Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft 1930, S. 122.

⁴⁾ O. KRATKY, Kolloid-Z. 84, 152, Fig. 1 — Z. Papier, Pappe, Cellulose u. Holzstoff 56, 149 (1938).

⁵⁾ A. FREY-WYSSLING, Protoplasma 25, 261 (1936).

⁶⁾ R. HOSEMANN, Z. Physik 113, 751 (1939); 114, 133 (1939) — Z. Elektrochem. 46, 535 (1940).

Über die Bildung von Lävulinsäure aus Kohlehydraten.

Die Umwandlung von Kohlehydraten unter dem Einfluß von Mineralsäuren führt bekanntlich neben huminartigen Zersetzungsprodukten zur Bildung von Lävulinsäure. Nach einer Untersuchung von R. W. THOMAS und H. H. SCHUETTE¹⁾ erhält man optimale Lävulinsäureausbeuten durch 1stündiges Erhitzen des betreffenden Kohlehydrates mit 6 1/2 proz. Salzsäure auf 162°. Bei dieser Arbeitsweise entstehen aus Rohrzucker 42%, aus Glucose 38%, aus Fructose 39% und aus Stärke 36,5% der Theorie an Lävulinsäure.

G. JAYME und P. SARTEN²⁾ haben vor einiger Zeit festgestellt, daß bezüglich der Furfurolbildung aus Pentosen die Bromwasserstoffsäure eine Sonderstellung einnimmt, indem sie, im Gegensatz zu anderen Mineralsäuren, die quantitative Bildung dieses Aldehyds ermöglicht. Im Rahmen anderer Untersuchungen mit Lävulinsäure war es

nun von Interesse, die Lävulinsäurebildung aus Hexosen und Hexosanen unter dem Einfluß von Bromwasserstoffsäure zu studieren.

Die Versuche bestätigten auch für diese Reaktion eine Ausnahmestellung der Bromwasserstoffsäure. Zwar gelang es in keinem Fall, die Umsetzung quantitativ zu gestalten, d. h. die Huminbildung zu vermeiden, jedoch sind Lävulinsäureausbeuten von 60—80 % d. Th. leicht zu erreichen. Die Versuchsbedingungen können dabei weitgehend variiert werden, ohne daß der Vorteil der Bromwasserstoffsäure gegenüber anderen Mineralsäuren verloren geht. Allgemein erwies es sich jedoch als günstiger, niedrigere Säurekonzentrationen bei höherer Temperatur anzuwenden als höhere Säurekonzentrationen bei niedriger Temperatur, da letzteres die Huminbildung begünstigt.

So lieferten z. B. 40 g Glucose (trocken), mit 400 ccm 10proz. Bromwasserstoffsäure 24 Stunden auf 120° erhitzt, 19,40 g Lävulinsäure, d. i. 75,3 % d. Th. 40 g Stärke (trocken) lieferten unter denselben Bedingungen 18,45 g Lävulinsäure, d. i. 64,4 % d. Th., und 40 g Rohrzucker ergaben 18,82 g Lävulinsäure, d. i. 69,3 % d. Th. Bei präparativ weniger geeigneten größeren Verdünnungen wurden noch höhere Ausbeuten erhalten. Auch hexosanhaltige Naturstoffe liefern gute Lävulinsäureausbeuten. So ergaben 40 g Fichtenholzmehl trocken, mit 200 ccm 12proz. Bromwasserstoffsäure 24 Stunden auf 120° erhitzt, 11,22 g Lävulinsäure.

Die Lävulinsäureausbeuten wurden jeweils analytisch³⁾ und präparativ durch Abtrennen vom Humin und fraktionierte Destillation im Vacuum ermittelt.

Heidelberg, Institut für die Chemie des Holzes und der Polysaccharide, Chemisches Institut der Universität, den 17. Oktober 1941. TH. PLOETZ.

¹⁾ J. amer. chem. Soc. 53, 2324 (1931).

²⁾ Naturwiss. 28, 822 (1940).

³⁾ TH. PLOETZ u. H. BARTELS, Ber. dtsch. chem. Ges. 74, 1456 (1941).

Zur Kenntnis des Mechanismus der Wärmepolymerisation des Styrols.

Eine der Reaktionen, die für den Abbruch des Wachstums einer polymeren Molekel in Frage kommen, ist die sog. Kettenübertragung (chain transfer). Damit ist gemeint, daß eine solche wachstumsfähige Molekel den Anregungszustand an eine Monomere α übertragen kann und so selbst stabilisiert wird. In diesem Fall verliert der mittlere Polymerisationsgrad des Polymeren seine einfache kinetische Bedeutung als mittlere Anzahl von Wachstumsschritten, die auf einen Primärakt folgen.

In einer vor einiger Zeit erschienenen Arbeit von KAMENSKAJA und MEDWEDEW¹⁾ über die durch Benzolperoxyd beschleunigte Polymerisation des Vinylacetats in Benzollösung wird die Kettenübertragung in etwas erweiterter Form zur Deutung der kinetischen Ergebnisse herangezogen. Da angenommen wird, daß das Wachstum über freie Radikale verläuft, besteht die Kettenübertragung in der Anlagerung eines Wasserstoffatoms an die wachsende Kette. Dieses Wasserstoffatom kann außer vom Monomeren, bei fortgeschrittener Polymerisation auch vom Polymeren und bei Versuchen in Lösung vor allem vom Lösungsmittel abgegeben werden. Aus Benzol entstehen so Phenylradikale, die nun ihrerseits das Wachstum von Kettenmolekeln hervorrufen können. Es kommt zu einem chemischen Einbau von Lösungsmitteln in das Polymere. Der gleiche Mechanismus wird von den russischen Autoren zur Deutung der Versuche von SUESS, PILCH und RUDORFER²⁾ über die Polymerisation des Styrols in verschiedenen Lösungsmitteln vorgeschlagen.

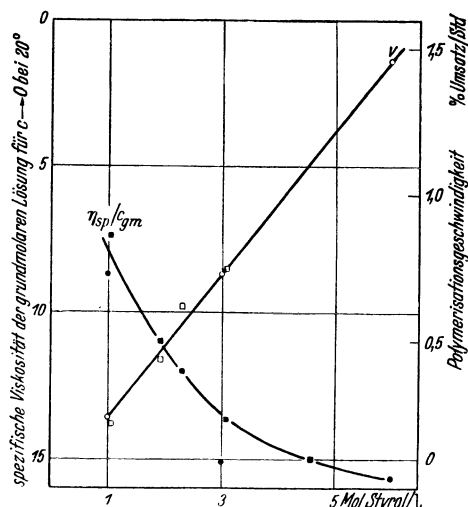
Ein Einbau des Lösungsmittels wurde bei der Polymerisation des Styrols in Tetrachlorkohlenstoff beobachtet³⁾. Es schien wünschenswert, diese Frage auch für andere Lösungsmittel zu klären. Ein Einbau von Benzol in Polystyrol wurde sich wegen der gleichen Zusammensetzung dem analytischen Nachweis entziehen; auch für die anderen Kohlenwasserstoffe wäre ein eindeutiger Nachweis schwierig. Es ergibt sich aber aus der erwähnten Arbeit⁴⁾, daß sich Monochlorbenzol als Lösungsmittel kinetisch den aromatischen Kohlenwasserstoffen sehr ähnlich verhält.

Weiter zeigten gemeinsam mit A. MASCHIN ausgeführte Versuche, daß unter geeigneten Bedingungen in Toluol-

lösung so niedrig molekulare Polystyrole erhalten werden, daß bei gleichen Versuchen in Monochlorbenzol bei Stattfinden der Reaktion mit dem Lösungsmittel der Chlorgehalt des Polymeren eindeutig nachweisbar sein müßte.

Tabelle 1. Spezifische Viskosität und Molgewicht von Polystyrolen bei Polymerisation in Toluollösung bei 132°.

Styrolkonz. Mol/l	η_{sp}/c_{gm}	Molgewicht kryoskop.
1	3,1	—
0,5	2,3	—
0,2	1,5	—
0,1	0,91	—
0,05	0,59	—
0,03	0,43	900
0,01	0,32	450



Es wurde eine 0,1 molare Lösung von Styrol in Monochlorbenzol durch einige Tage auf 153° erhitzt, das Lösungsmittel und nicht umgesetzte Monomere im Vacuum bei 100° abdestilliert, das gebildete Polymere zur vollständigen Entfernung des Monochlorbenzols mehrmals mit Benzol eingedampft, schließlich aus Benzollösung mit Methanol ausgefällt und im Vacuum bei 100° zur Gewichtskonstanz getrocknet. Sein mittleres Molgewicht ergab sich kryoskopisch zu 410; seine Zusammensetzung war 92,3 % C und 7,8 % H, berechnet für $(C_8H_8)_n$ 92,26 % C und 7,74 % H; Chlor war auch spurenweise nicht nachzuweisen.

Damit ist gezeigt, daß eine chemische Teilnahme des Lösungsmittels bei der Styrolpolymerisation in Monochlorbenzol, im Gegensatz zu den Verhältnissen in Tetrachlorkohlenstofflösung, nicht stattfindet. Im Hinblick auf das kinetisch analoge Verhalten ist auch für die aromatischen Kohlenwasserstoffe eine solche Reaktion ausgeschlossen.

Wien, I. Chemisches Laboratorium der Universität, den 24. Oktober 1941. JOHANN WOLFGANG BREITENBACH.

¹⁾ S. KAMENSKAJA u. S. MEDWEDEW, Acta physicochim. (Moskau) 13, 565 (1940).

²⁾ H. SUESS, K. PILCH u. H. RUDORFER, Z. physik. Chem. (A) 179, 361 (1937).

³⁾ J. W. BREITENBACH, A. SPRINGER u. E. ABRAHAMCZIK, Österr. chem. Z. 41, 182 (1938). — J. W. BREITENBACH u. A. MASCHIN, Z. physik. Chem. (A) 187, 175 (1940).

⁴⁾ H. SUESS, K. PILCH, H. RUDORFER loc. cit.

Versuche über die Anreicherung von radioaktivem Mangan (⁵⁶Mn).

FERMI und Mitarbeiter¹⁾ gewannen das 2,5^b-Isotop Mn⁵⁶ durch Bestrahlung von Permanganatlösungen mit langsamen Neutronen. Die Abtrennung des Radiomangans wurde

durch Filtration dieser Lösung durch ein gewöhnliches Papierfilter erreicht. Nach LIBBY²⁾ läßt sich die Manganaktivität aus sauren und neutralen Lösungen vollständig abtrennen. Die Unmöglichkeit der Isolierung des Radiomangans aus alkalischen Permanganatlösungen erklärte LIBBY durch die Bildung eines ⁵⁶Mn⁺-Ions, das im alkalischen Medium schnell OH-Ionen bindet, also die Wertigkeit behält und austauscht, in saurer und neutraler Lösung dagegen Wasser oxydiert und sich in der neuen Wertigkeitsstufe abtrennen läßt.

Bei Wiederholung dieser Versuche mit neutralen Lösungen erwies sich, daß unter Umständen, nämlich nur bei Einhaltung bestimmter Bedingungen, eine Konzentrierung des Mn⁵⁶-Isotops um den Faktor 10⁵ zu erzielen ist. Zunächst wurde versucht, die Manganaktivität in der in den genannten Arbeiten beschriebenen Weise zu isolieren. Das ergab jedoch nicht die gewünschte Konzentrierung, da durch die Reduktion des Kaliumpermanganats am Papier erhebliche Mengen Mangandioxyd gebildet wurden. Eine Abtrennung des aktiven Mangans vom inaktiven Braunstein war nicht möglich, was als Bestätigung der Ansicht LIBBYS, daß das durch Bestrahlung von Kaliumpermanganatlösungen gewonnene aktive Mangan hauptsächlich als Mangandioxyd vorliegt, gewertet werden kann. Um eine Verringerung der Braunsteinausscheidung zu erzielen, wurden an Stelle von Papierfiltern stets Jenaer Glasfritten von der Porengröße G 3 verwendet. Hierdurch wurde eine erhebliche Herabsetzung der Braunsteinmenge erreicht, und es gelang, schon recht gute Anreicherungen zu erzielen. Es erwies sich ferner, daß die Menge des ausgeschiedenen Braunsteins wesentlich von dem Reinheitsgrad des verwendeten Wassers abhängig ist. Es wurden deshalb unter sonst gleichen Bedingungen Versuche mit Leitfähigkeitswasser und Wasser, das durch Behandlung mit geeigneten Oxydationsmitteln von allen organischen Verunreinigungen befreit worden war, ausgeführt, die gute Erfolge lieferten. Durch Filtration der Lösungen vor der Bestrahlung war zwar eine bedeutende Herabsetzung des zurückbleibenden Braunsteins zu erzielen, doch konnten auf diese Weise nur 25—30 % der Aktivität isoliert werden, während bei allen übrigen Versuchen 70—80 % erhalten wurden. Als beste Methode zur Gewinnung des Mn⁵⁶ erwies sich schließlich die Bestrahlung von festem Kaliumpermanganat, darauffolgende Auflösung in einer 20fachen Menge Leitfähigkeitswasser unter Zusatz von Ammonpersulfat und Salpetersäure und Filtration durch Jenaer Glasfritten.

Anschließend wurden einige Versuche ausgeführt, das Mn⁵⁶ nach der Methode von SZILARD und CHALMERS³⁾ aus organischen Komplexverbindungen zu isolieren. Die einzigen für diese Untersuchungen geeignet erscheinenden Verbindungen Mangan-acetyl-acetonat und Mangan-benzoyl-acetonat⁴⁾ sind allerdings so wenig löslich, daß sie sich zu praktischer Verwendung kaum eignen dürften; außerdem ergaben Austauschversuche, über die an anderer Stelle ausführlich berichtet werden soll, daß das organo-komplex gebundene Mangan mit ionogen vorliegendem rasch austauscht. Dieser Befund ist in Übereinstimmung mit den für Kupfer erhaltenen Ergebnissen von SCHULTZE und SIMMONS⁵⁾. Immerhin gelingt eine gewisse Konzentrierung auch auf diesem Wege, wenn das bei der Neutronenbestrahlung entstehende Manganion durch ein Adsorbens, z. B. Aktivkohle, abgefangen und so am Austausch verhindert wird. Diese Versuche wurden aber aus den angegebenen Gründen nicht fortgesetzt.

Der Radiologischen Abteilung der Auergesellschaft A. G., Berlin, und der Genetischen Abteilung des Kaiser Wilhelm-Instituts, Berlin-Buch, in deren Laboratorien diese Untersuchung durchgeführt wurde, danke ich für die erwiesene Gastfreundschaft.

Berlin, den 25. Oktober 1941. U. DREHMANN.

¹⁾ FERMI, AMALDI, D'AGOSTINO, PONTECORVO, RASETTI, SEGRÈ, Proc. roy. Soc. A 146, 483 (1934); 149, 522 (1935).

²⁾ LIBBY, J. amer. chem. Soc. 62, 1930 (1940).

³⁾ L. SZILARD u. T. A. CHALMERS, Nature (Lond.) 134, 462. (1934).

⁴⁾ Ich verdanke den Vorschlag dieser Verbindungen Herrn K. STARKE.

⁵⁾ SCHULTZE u. S. J. SIMMONS, J. appl. Physics 12, 315 (1941).

Über die Reinigung der d-LG.-Peptidase und ihre Trennung von der l-LG.-Peptidase¹⁾; zugleich ein weiterer Beitrag über substratspezifische Amino-peptidasen²⁾.

Durch den Nachweis³⁾, daß das extrahierte intracelluläre Peptidasensystem normaler Tiere nach Ergänzung durch Mangan bzw. Eisen und Cystein in vitro d-Leucyl-glycin (d-LG.) glatt zu spalten vermag, daß parenchymatöse Zellen (Leber, Niere) viel mehr d-LG.-Peptidase enthalten als embryonale und Krebszellen und die Bildung der „unnatürlichen“ Peptidase sich als eine inhärente Eigenschaft normaler Zellen erweist, sind die Gründe, die F. KÖGL und H. ERKLEBEN⁴⁾ für das autonome, infiltrative und destruktive Wachstum des Krebsgewebes anführen, sehr unwahrscheinlich geworden, und den Bemühungen von E. WALDSCHMIDT-LEITZ⁵⁾ um eine Krebsdiagnose ist die Grundlage entzogen.

Nachdem die Bedingungen zur raschen und genauen Bestimmung der d-LG.-Peptidase tierischer Herkunft gefunden sind⁶⁾, geht das Bestreben dahin, dieses Enzym anzureichern und es von der nächstverwandten Peptidase, der l-LG.-spaltenden, zu trennen, um es in möglichst reinem Zustande zu kennzeichnen. In unseren enzymreichsten Glycerinauszügen aus Meerschweinchen- und Kaninchennieren liegen die l- und d-LG.-Peptidasen ungefähr im Verhältnis 12:1 vor. Es ist uns nun durch fraktionierte Fällung des Eiweißes dieser Auszüge mittels Aceton gelungen, Präparate darzustellen, in denen das Spaltungsverhältnis l-LG.:d-LG. nur noch ungefähr 1:1 beträgt, d. h. gleiche Mengen der Präparate spalten nach Ergänzung durch Mangan l-LG. und nach Ergänzung durch Mangan + Cystein d-LG. gleich schnell. Außer dieser Wirksamkeit besitzen die Präparate z. B. gegenüber d, l-AG., G-d, l-A., GG., d, l-LGG., d, l-AGG. und GGG. nur noch eine sehr schwache oder kaum angedeutete. Die l-LGG.-Peptidase fällt größtenteils schon bei niedriger Acetonkonzentration mit der Hauptmenge der l-LG.-Peptidase aus, während die anderen Peptidasen durch Aceton weitgehend geschädigt werden⁶⁾.

Tabelle 1. Beispiel einer Anreicherung der d-LG.-Peptidase.

Die aus 20 ccm Meerschweinchen-Nierenauszug nach dem Verdünnen mit Wasser auf 80 ccm (p_H etwa 8) auf Zusatz von 1/2, 1 und 2 Vol. Aceton in der Kälte ausfallenden Niederschläge trennt man ab und fraktioniert die klare Lösung des letzten nochmals mit 1 und 2 Vol. Aceton (N-acetat-haltig). Die Niederschläge sind nur teilweise in Wasser löslich. Die klare Lösung (p_H etwa 8) des zuerst nach Zusatz von 2 Vol. Aceton gewonnenen Niederschlags ist in der Tabelle mit Präparat I, die des bei der Fraktionierung dieser Lösung nach Zusatz des 2. Vol. Aceton ausfallenden, sehr geringen Niederschlags mit Präparat II bezeichnet.

Versuchsbedingungen: 5 ccm Ansätze; ein Aciditätszuwachs von 2,40 ccm n/20 KOH entspricht einer 100proz. Spaltung von l-LG. (im rac. Präparat) und von d-LG. (α)²⁰ = -81°. Vom Auszug wurde bei d-LG. 10mal mehr als bei l-LG., vom Präparat I bei d-LG. 2mal mehr als bei l-LG. und vom Präparat II wurden gleiche Mengen angewandt. Im l-LG.-Ansatz sind m/1000 Mangan, im d-LG.-Ansatz m/1000 Mangan + m/250 Cystein enthalten. p_H = 8; Versuchsdauer 2 Stunden; t = 40°. Titrationsprobe 2 ccm. Toluol, N₂.

Präparat	Spaltung (ccm n/20 KOH)	
	d-LG.	l-LG.
Auszug . . .	1,05	1,22
Präparat I . .	1,20	1,28
Präparat II . .	1,28	1,33

Ein weiteres Ausgangsmaterial für Reinigungsversuche sind, wie wir gefunden haben, wässrige Auszüge aus mit Aceton getrockneten, feingepulverten Organen. Die d-LG.-Peptidase übersteht die Trocknung weit besser als verschiedene andere Amino-peptidasen. Selbst aus über 10 Jahre alten Organtrockenpulvern konnten gegenüber d-LG. noch gut wirksame Auszüge innerhalb von 15 Minuten erhalten werden. Über die Reinigung der d-LG.-Peptidase wässriger

Auszüge aus Leber- und Nieren-Trockenpulver werden wir in der ausführlicheren Mitteilung (Biochem. Z.) berichten.

Die Ergebnisse der Reinigungsversuche beweisen, daß l-I.G. und d-I.G. von zwei verschiedenen Enzymen gespalten werden und nicht, wie es manchmal schien und durch die Aktivierungsverhältnisse nahegelegt wird, von einem Trägerprotein (Apo-enzym) und zwei Co-Enzymen.

Die Ergebnisse liefern außerdem einen weiteren Beweis²⁾ für unsere Auffassung, daß auch die sog. Dipeptidase und Aminopolypeptidase tierischer Herkunft nicht einheitliche Enzyme, sondern Gemische substratspezifischer Amino-peptidasen sind, deren qualitative und quantitative Zusammensetzung sehr schwankt, und zwar mit der Herkunft der Organe und Gewebe und deren jeweiligem physiologischem Zustande. Wenn sich „Di- und Aminopolypeptidase“ in vivo auch am Eiweißaufbau beteiligen, dann folgt daraus zwangsläufig, daß das Peptidasensystem je nachdem, wo es wirkt, ob in einer Bakterien-, Hefe-, Leber-, Niere-, embryonalen oder Krebszelle, qualitativ und quantitativ verschieden zusammengesetzt sein muß, weil seine Tätigkeit, infolge der Verschiedenheit von Bakterien-, Hefe-, Leber-, Nieren- usw. Eiweiß, jeweils eine qualitativ und quantitativ verschiedene ist. Den verschiedenen analytischen und synthetischen Leistungen müssen schließlich auch die Werkzeuge dazu angepaßt sein. Schon deshalb kann nicht „Dipeptidase“ gleich „Dipeptidase“, „Aminopolypeptidase“ gleich „Aminopolypeptidase“ sein, ebensowenig wie „Kathepsin“ gleich „Kathepsin“ ist. Die substratspezifischen Aminopeptidasen der verschiedenen Tierarten usw. bzw. ihre Trägerproteine (Apo-enzyme) werden deshalb auch artspezifisch sein, wenn diese Spezifität auch in vitro vielleicht enzymologisch kaum stärker hervortritt; serologisch wird sie wohl unschwer zu erbringen sein.

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 30. Oktober 1941.

ERNST MASCHMANN.

¹⁾ IX. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen. — VIII. Mitt. Biochem. Z. (im Druck).

²⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. 27, 819 (1939); 29, 370 (1941) — Biochem. Z. 307, 1 (1940).

³⁾ E. MASCHMANN, Naturwiss. 29, 518 (1941); im Druck.

⁴⁾ Hoppe-Seylers Z. 258, 57 (1939), und zwar S. 79 u. 91.

⁵⁾ Hoppe-Seylers Z. 262, IV (1939); 263, 1 (1940).

⁶⁾ Vgl. darüber VIII. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen. Biochem. Z. (im Druck).

Über die Bildung von Diamanteindrücken in Glasoberflächen.

Bei der Mikrohärteprüfung fester Stoffe wird nach H. HANEMANN und E. O. BERNHARDT¹⁾ die in die Frontlinse eines Mikroskopobjektivs eingesetzte Diamantpyramide nach der Prinzip der Vickers-Härteprüfung in die zu untersuchende Oberfläche unter meßbaren Bedingungen kurz-dauernd eingedrückt. Ein Beispiel für das Aussehen der an Gläsern erhaltenen Eindrücke bei geringen Diamantbelastungen in mikroskopischer Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung beim Abbildungsmaßstab 900:1 zeigt Fig. 1. Die vierseitige Diamantpyramide mit einem Böschungswinkel von 22° ist hier unter einer Beanspruchung von 100 g etwa 2,8 μ tief eingedrungen und hat eine angenähert quadratische Figur von rund 15 μ Kantenlänge hervorgebracht. Über die Entstehung derartiger Eindrücke ist die Auffassung vertreten worden²⁾, daß sie auf bruchlose Verformung durch plastisches Fließen der Glassubstanz zurückzuführen sind. Erst bei merklich höheren Belastungen treten an den Ecken der Eindrücke gut sichtbare, nach außen radial verlaufende Sprünge auf, welche nach jener Auffassung die Sprödigkeitsgrenze des Glases kennzeichnen würden.

In einer früheren Mitteilung haben wir gezeigt³⁾, daß die obere Grenze bruchloser Verformungen der Gläser für ähnlich beschaffene Beanspruchungen und Beanspruchungsgeschwindigkeiten bei bedeutend geringeren Eindringtiefen gelegen ist. Ferner fällt auf, daß die ersten Sprünge radial gerichtet sein sollen. In Übereinstimmung mit der nach der HERTZschen Theorie angebbaren elastischen Beanspruchung werden beim Aufdrücken einer Kugel jedoch zuerst Kreis-sprünge gebildet, welche um die Berührungsfläche konzentrisch angeordnet sind und denen erst nach stärkeren Belastungen Radialsprünge folgen können. Beim Eindrücken

der Diamantpyramide in die Glasoberfläche sind daher ebenfalls zuerst Ringrisse zu erwarten, die der Berührungsfläche entsprechend Kreisbogenvierecke darstellen werden.

Zur Vollendung eines „Sprunges“ ist erforderlich, daß die beiden Wände des Bruchspaltes sich mindestens um den

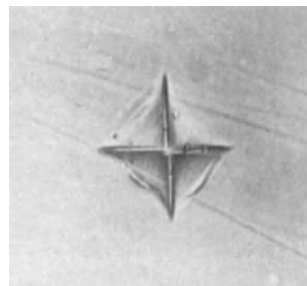


Fig. 1. Mikrohärteeindruck mit 100 g Belastung an polierter Oberfläche des optischen Glases FK 3. Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung, 900:1.

doppelten Molekularabstand ($\sim 0,001 \mu$) voneinander entfernt haben⁴⁾. Für die Sichtbarkeit eines „Sprunges“ ist notwendig, daß dieser Abstand bis zur Größenordnung einer

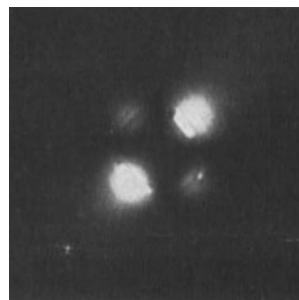


Fig. 2. Geschichtete Spannungsdoppelbrechung innerhalb des in der Fig. 1 wiedergegebenen Eindrucks. Durchfallendes polarisiertes Licht, 900:1.

halben Lichtwellenlänge ($\sim 0,3 \mu$) angewachsen ist. Das Vorhandensein von Sprüngen kann also nicht allein nach ihrer visuellen Sichtbarkeit beurteilt werden, vielmehr wird

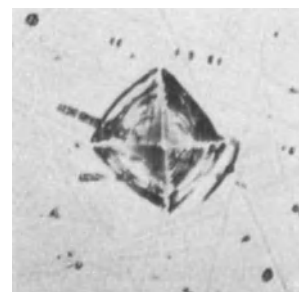


Fig. 3. Entwicklung von Systemen bogenförmiger Risse durch Anätzen mit Flußsäure innerhalb des in den Fig. 1 und 2 wiedergegebenen Eindrucks. Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung, 900:1.

man z. B. das Auftreten von Spannungsdoppelbrechungen oder die bekannte Vergrößerung von Sprüngen durch Anätzen zu Hilfe nehmen.

Bei dem Diamanteindruck der Fig. 1 erkennt man bereits von vornherein Andeutungen für das Vorhandensein bogenförmiger Sprünge am Umriß der Eindrucksfigur. Die An-

wendung von Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung gibt diese Erscheinung deutlicher wieder, da sich hier äußerst feine helle Linien, die konzentrisch zum Umfang verlaufen, bis fast in die Mitte des Eindrucks feststellen lassen. Schließlich zeigt sich im durchfallenden polarisierten Licht (Fig. 2) stark geschichtete Spannungsdoppelbrechung, die auf Systeme von bogenförmigen Rissen hinweist. Durch kurzes Anätzen mit stark verdünnter Flußsäure kann dieses Rißsystem vollständig entwickelt werden, so daß nunmehr auch in Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung (Fig. 3) gerade die erwartete konzentrische Rißbildung deutlich sichtbar wird, während radiale Sprünge nicht auftreten.

Mit den genannten Hilfsmitteln konnten am optischen Glas FK 3 bis herunter zu Eindrücken von $0,5 \mu$ Tiefe (10 g Diamantbelastung) ringförmige Risse festgestellt werden⁵⁾. Die Bildung äußerlich rißfreier Diamanteindrücke

ist demnach in allen diesen Fällen *nicht* auf bruchlose Verformungen des Glases zurückzuführen. Bei geringeren Eindringtiefen als $0,5 \mu$ zurechnet man sich im Bereich der in der früheren Mitteilung³⁾ nachgewiesenen bruchlosen Verformungserscheinungen.

Halle a. d. S., Institut für Theoretische Physik der Universität, im Oktober 1941.

WERNER KLEMM. ADOLF SMEKAL.

¹⁾ H. HANEMANN u. E. O. BERNHARDT, Z. Metallkde 32, 35 (1940).

²⁾ E. O. BERNHARDT, Z. Metallkde 33, 135 (1941).

³⁾ W. KLEMM u. A. SMEKAL, Naturwiss. 29, 688 (1941).

⁴⁾ A. SMEKAL, Z. Physik 102, 495 (1936).

⁵⁾ Näheres darüber und weitere Versuchsergebnisse bei W. KLEMM, Glastechn. Ber. 19, 1941.

Besprechungen.

KOCHENDÖRFER, ALBERT, **Plastische Eigenschaften von Kristallen und metallischen Werkstoffen.** (Reine und angewandte Metallkunde in Einzeldarstellungen. Hrsg. von W. KÖSTER. Bd. 7.) Berlin: Springer 1941. XI, 312 S. 91 Abbild. Preis geh. RM. 27.—, Ganzleinen RM. 28,50.

Wie erreicht man Fortschritte in der physikalischen Erkenntnis eines noch unerschlossenen Gebietes? Durch möglichst reine und vollständige Experimente, neue theoretische Ideen und eine kritische und konsequente, soweit möglich mathematisch formulierte Vereinigung von Experiment und Theorie. Dies klingt banal, und doch ist es oft unglaublich schwierig, die 3 Forderungen zusammenzubringen. Es dürfte bekannt sein, wie unbefriedigt die Lage auf dem Gebiet des vorliegenden Buches bisher war, auf dem ja die Frage der „Fehlstellen im Kristallgitter“ eine wesentliche Rolle spielt. 1935 wurden die experimentellen Erscheinungen in einer ausgezeichneten Darstellung von SCHMID und BOAS sowie in einer kürzeren von ELAM zusammenfassend beschrieben, aber in bezug auf die physikalischen Zusammenhänge mußten sich beide Bücher auf die Aufzählung der nebeneinander bestehenden, mehr durch Namen als durch greifbare Modelle gekennzeichneten „Hypothesen“ beschränken. Mehrfach wurde versucht, durch mündliche und schriftliche Diskussionen weiterzukommen, so 1934—1936 in Sonderheften der Z. Kristallograph. 89 und 93 und noch 1938 in einer Sitzung unter Vorsitz von W. L. BRAGG (s. Proc. roy. Soc. Lond. 168). Die beiden Versuche dürften eindeutig als mißlungen zu bezeichnen sein. Zwar fehlte es nicht an guten Ideen, aber man war sich nicht klar darüber, wie weit die vorhandenen Experimente diese Ideen bestätigen oder widerlegen. Bezeichnend ist auch, daß einige besonders reine und einfache Experimente ganz übersehen wurden, obwohl sie schon bekanntgemacht waren oder doch geradezu auf der Hand lagen. A. KOCHENDÖRFER, der seit 1937 experimentelle und theoretische Untersuchungen beigesteuert hat, hat nun die bis jetzt fehlende gründliche Bearbeitung des Gesamtgebietes zunächst für die Plastizität der Einkristalle (mit Ausnahme der Salzkristalle) geleistet und im ersten Teil des vorliegenden Buches dargestellt, welcher Kapitel über homogene einsinnige und wechselnde Verformung sowie über Biegung und Torsion umfaßt. In jedem Kapitel werden die experimentellen Verhältnisse eingehend dargestellt und diskutiert, davon ausgehend wird dann eine atomistische Theorie entwickelt. Besonders zu erwähnen ist die eingehende und umsichtige Beschreibung der verwickelten Geschwindigkeitseinflüsse auf die Plastizität. Als wichtigste Einzelergebnisse sind zu nennen: die zahlenmäßige

Bestimmung der Konstanten in der Boltzmann-Formel für die Temperaturabhängigkeit der Fließgeschwindigkeit und der Nachweis, daß entgegen der früheren Meinung die Experimente über Temperaturabhängigkeit mit diesem Ansatz in Einklang sind. Weiter eine zahlenmäßige Bestimmung des Einflusses des Kerbstellenabstandes; es zeigt sich, daß diese Größe nur beim langsamen Einsatz des Gleitens experimentell merkbar wird, später nicht mehr, ein Befund, der viele frühere Diskussionen mit einem Schlage erledigt. Der Vergleich mit dem Experiment ergibt dann, daß man die Kerbstellen mit den Rändern der röntgenographisch festgestellten Mosaikblöcke identifizieren kann. Selbstverständlich war es nicht möglich, alle experimentellen Befunde aus wenigen Grundgleichungen rein deduktiv zu entwickeln, sondern es mußten immer wieder vereinfachte Ansätze eingeführt werden. Aber jeder Leser, der in die echt physikalische Verflechtung von Experiment und Theorie tiefer eindringt, der die Hunderte von fast vergessenen experimentellen Untersuchungen betrachtet, die nicht nur zitiert, sondern eingehend besprochen und verarbeitet werden, wird überzeugt werden, daß das gewonnene Gesamtbild vom Mechanismus der plastischen Vorgänge und der Verfestigung in seinen Grundzügen bleibenden Bestand hat.

Der kürzere zweite Teil des Buches bringt Kapitel über einsinnige Verformung und über Wechselbeanspruchung der vielkristallinen metallischen Werkstoffe. Zunächst hat es der Verf. verstanden, das riesige Material der Technik über Streckgrenze, Dauerstandfestigkeit und Wechselfestigkeit in gedrängter Form übersichtlich zusammenzufassen. Darauf wird versucht, ausgehend von den Eigenschaften der Einkristalle, das Zustandekommen dieser technischen Größen zu erklären, wobei die Temperaturabhängigkeit, wie für den Physiker selbstverständlich, eine wesentliche Rolle spielt. Es gelingt in der Tat, auf halbempirischem Wege eine Mittelung der Einkristallverformungskurven zu finden, welche die vielkristallinen technischen Kurven überraschend gut wiedergibt. Wenn auch viele Fragen noch offen bleiben, so können doch schon Einzelheiten, wie der Unterschied in der Ausbildung der Streckgrenze bei Stahl und den übrigen Metallen oder die Bedeutung der verschiedenen technischen Definitionen für die Dauerstandfestigkeit in einen theoretischen Zusammenhang gebracht werden. So scheint hier endlich einmal eine gangbare Bresche in das bisher unzugängliche Bollwerk geschlagen zu sein, das sich zwischen Einkristall und vielkristallinem Werkstoff erhebt. Da im zweiten Teil von Atomistik kaum mehr geredet wird, dürfte er auch für die Technologen brauchbar sein. Allerdings werden sie noch

manches vermissen, zu dessen dem Geist des Buches angepaßter Bearbeitung die Zeit fehlte, z. B. eine Behandlung der inhomogenen Beanspruchung, die ausmünden müßte in die Frage nach dem physikalischen Sinn der bekannten Gestaltsänderungshypothese.

Der Referent hat bei der Entstehung des Buches mitgewirkt. Aber nicht nur aus diesem Grunde, sondern weil er überzeugt ist, daß es neu und wissenschaftlich wie technisch wertvoll ist, wünscht er dem Werk bei vielen Physikern, Metallchemikern und Technologen Resonanz und positive Mitarbeit.

U. DEHLINGER.

RUDOLPH, WILLI, **Die Vitamine der Hefe.** Stuttgart: Wissenschaftl. Verlagsges. m. b. H. 1941. 130 S. 16 cm × 24,5 cm. Preis geb. RM 8,50.

Wenn man die vorliegende Schrift über die Vitamine der Hefe durchsieht, tritt einem recht eindrucksvoll ins Bewußtsein, welche Vielzahl verschiedenartiger lebenswichtiger Stoffe die Hefezelle aufzubauen vermag. Wir finden dargestellt das Vitamin B₁, den B₂-Komplex (mit dem Nikotinsäureamid, dem Vitamin B₆, der Pantothenäure) und die übrigen verschiedenen B-Faktoren, das Vitamin D und seine Vorstufen, die E-Vitamine, Vitamin H und „weitere Faktoren mit Vitaminwirkung“; es fehlen an der Gesamtheit der bekannten Vitamine nur A und C sowie das Vitamin K. Die Vielseitigkeit dieser synthetischen Leistung, die uns für den tierischen Organismus nur einen Vergleich mit der Leber erlaubt, scheint auch dann nicht weniger bewundernswert, wenn sich nicht alle der beschriebenen Faktoren, besonders in der „B“-Gruppe, als einheitlich definierbare Wirkstoffe erweisen sollten.

Der Verf. beschreibt Vorkommen, Bestimmungsmethoden und physiologische Eigenschaften der Vitamine und gibt ein klares Bild über die Chemie dieser Stoffe. Auch die neuerdings in stärkerem Maße beachteten Beziehungen der verschiedenen Vitamine untereinander finden Erwähnung. Der wesentliche Blickpunkt, aus dem heraus die Monographie geschrieben wurde, ist der der Anwendung der Erkenntnisse, die Beziehung der Hefevitamine zur menschlichen Ernährung, und sie bildet damit ein Gegenstück zu der früher erschienenen Schrift des Verf. über „Vitamin C und Ernährung“. Die Hefe ist so reich an den verschiedenartigen Vitaminen, daß die praktische Ernährungswirtschaft diese Tatsache mehr als bisher berücksichtigen sollte. Diese Forderung scheint besonders begründet in einer Zeit, da mit erhöhter Wachsamkeit beachtet werden muß, daß in der Ernährung des Volkes die zu katalytischer ebenso wie die zu kalorischer Leistung notwendigen Stoffe in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Diese Fragen, die die Vitamine der Hefe in unserer Ernährung betreffen, sind mit den praktischen Folgerungen für das Vitamin B₁ ausführlich dargestellt worden; sie treten jedoch bei den weiterhin beschriebenen Wirkstoffen stark in den Hintergrund. Trotzdem soll das Werk besonders denen, die an Ernährungsfragen aus theoretischen oder praktischen Gründen interessiert oder für sie verantwortlich sind, bestens empfohlen werden; viel Gewinn werden aber auch alle die aus ihm schöpfen, die die Wirkstoffe der Hefe einmal „aus der Einheit dieses Nahrungsmittels heraus zu betrachten“ wünschen.

U. WESTPHAL, Berlin-Dahlem.

WEINERT, HANS, **Der geistige Aufstieg der Menschheit vom Ursprung bis zur Gegenwart.** Stuttgart:

Ferd. Enke 1940. VIII, 300 S. und 155 Abbild. 16 cm × 25 cm. Preis brosch. RM 19.—, geb. RM 20,80.

Der Kieler Anthropologe WEINERT ist ein äußerst rühriger Autor. Nach seinen beiden Werken „Der Ursprung der Menschheit“ (1932) und „Die Entstehung der Menschenrassen“ (1938) erscheint nun als dritter Abschlußband seiner umfassenden „Anthropogenie“ das vorliegende Werk, das sich mit der Entfaltung des menschlichen Geistes, soweit diese mit naturwissenschaftlichen Methoden erforschbar ist, befaßt.

Das Buch stellt „kein psychologisches Werk dar, auch kein prähistorisches oder ethnologisches“, es soll vielmehr zeigen, daß „alle diese Wissenschaften ihren wirklichen Sinn erst im Zusammenhang mit der Menschwerdung und der Rassenspaltung finden“. — Die tragende Grundlage für die Ausführungen des Verf. bilden die für den Biologen selbstverständlichen Tatsachen: 1. daß es geistig-seelische Äußerungen ohne körperliche Grundlagen nicht gibt, 2. daß der jeweiligen körperlichen Form immer die geistige Stufe entspricht und 3. daß es zwischen Mensch und Tier, insbesondere den Primaten, nur graduelle, keine prinzipiellen Unterschiede gibt. Die Möglichkeiten, dies zu beweisen, sind bekanntlich mannigfacher Art. WEINERT verwendet sie mit Geschick und in anschaulicher Darstellung. Die Wege, die die psychologische Erforschung der Menschenaffen für eine Rekonstruktion des geistigen Menschwerdungsverganges und die ersten geistigen Frühmenschenzustände bieten, werden in treffender Weise benutzt. Die Menschwerdung selbst wird als „geistige Tat“ charakterisiert, wobei WEINERT das wesentliche Ereignis in der Erlangung der Fähigkeit des Feuergebrauches erblickt. Bei aller Würdigung der Bedeutung dieses Ereignisses wird man aber doch nicht hierin allein den eigentlichen Unterscheidungspunkt zwischen Mensch und Tier erblicken wollen. Die Auswirkungen dieser Errungenschaft sind allerdings entscheidend gewesen für den Fortgang der Entwicklung der Menschheit. Dieser Fortgang, die ständig zunehmende Entfaltung des Geistes, wird nun an Hand der Kulturhinterlassenschaften durch die vorgeschichtlichen Zeiträume verfolgt: Anthropus-, Neandertaler-, Homo sapiens diluvialis-, alluvialis- und recens-Stufe bis zum Zeitalter der Technik. Dabei kommen so ziemlich alle Dinge der materiellen und geistigen Kultur zur Sprache. Das Bild, welches WEINERT so entrollt, ist klar und abgerundet, dringt nach vielen Richtungen in Einzelgebiete ein, manches naturgemäß nur streifend und sehr vereinfachend. Dabei bedürfen die älteren Stufen als die grundlegend wesentlicheren einer ausführlicheren Berücksichtigung als die späteren Sapiensstufen, über die nur eine zusammengedängte Übersicht nötig ist. — Gewiß wird der Verf. hier nicht in allen Punkten uneingeschränkte Zustimmung finden, aber die Einwände, die vielleicht von verschiedenen Seiten kommen werden, können sich nicht auf das Grundsätzliche beziehen, hiergegen ist ein Einwand nicht zu erheben!

Die Parallelität zwischen geistiger und körperlicher Entwicklung, zwischen Körpergestalt und geistiger Stufe, ist eine Realität.

Wir wollen hoffen, daß das Buch besonders auch in den Kreisen Eingang findet, in denen, um die Worte des Verf. zu gebrauchen, „einem überlieferten Glaubensdogma zuliebe die Errungenschaften des menschlichen Geistes gerade da nicht vorurteilslos angenommen werden, wo es sich um den Menschen selbst und um seine Stellung in der Natur handelt“. G. HEBERER, Jena.

Physikalische Wirkungen hochverdünnter potenziierter Substanzen*).

VON ERWIN HEINTZ, Straßburg i. Els.

Es ist bekannt, daß hochverdünnte Lösungen starke biologische und physiologische Wirkungen hervorrufen können. Bis zum Jahre 1923 nahm man an, daß die niederste Konzentration, bis zu welcher eine Wirkung nachgewiesen werden kann, 10^{-10} bis 10^{-15} sei (eine Konzentration von 10^{-10} entspricht einer Lösung von 1 g Substanz in 10^{10} ccm Lösung).

Seit dieser Zeit ist eine Reihe von Arbeiten erschienen (7 bis 16), deren Autoren unabhängig voneinander die angegebene Grenze von 10^{-15} weit unterschritten. Sie geben Wirkungen an von Lösungen, deren Konzentration 10^{-30} und darunter ist, ohne an eine unterste Grenze zu kommen.

Das Überraschende an diesen Resultaten ist, daß Lösungen, in denen nicht einmal mehr ein Molekül der aufgelösten Substanz enthalten ist — die Grenze ist gegeben durch die LOSCHMIDTSche Zahl $6,06 \cdot 10^{23}$ —, also Lösungen von niedrigerer Konzentration als 10^{-23} , noch wirksam sein sollen. Wie kann eine Lösung noch Wirkungen ausüben, wenn sozusagen keine Substanz oder nur verschwindend kleine Mengen in ihr enthalten sind? Diese Frage stellt sich sofort angesichts solcher Resultate.

Es ist jedoch zu bemerken, daß die Lösungen, die diese Autoren benützten, nach einer ganz bestimmten Methode hergestellt wurden, und zwar nach der Methode des sukzessiven Verdünnens. Sie besteht darin, daß ausgegangen wird von einer Stammlösung bestimmter Konzentration, gewöhnlich 10^{-1} , d. h. 1 : 10.

Ein Teil derselben wird in einem bestimmten Verhältnis verdünnt, z. B. im Verhältnis 1 : 10. Man erhält so eine Lösung der Konzentration 1 : 100 oder 10^{-2} . Ein Teil dieser erhaltenen Lösung wird wieder verdünnt im Verhältnis 1 : 10, und man erhält die dritte Lösung mit einer Konzentration 1 : 1000 oder 10^{-3} . In dieser Weise wird weiter verdünnt, und man erhält eine Reihe von Lösungen abnehmender Konzentration. Wird der Prozeß des Verdünnens n mal durchgeführt, so beträgt die Konzentration der zuletzt hergestellten Lösung 10^{-n} , und die Lösung selbst ist hergestellt durch einen n maligen Verdünnungsprozeß. Ein solcher Herstellungsprozeß wird als *potenzieren* und die einzelnen Lösungen als *Potenzen* bezeichnet

*) *Anmerkung der Redaktion:* Trotz mehrfacher Bemühungen des Autors und der Redaktion hat sich eine Nachprüfung der hier mitgeteilten erstaunlichen Befunde von anderer Seite vor ihrer Veröffentlichung leider nicht ermöglichen lassen. Die Veröffentlichung erfolgt nun, von seiten der Redaktion mit allem Vorbehalt, in der Absicht, eine solche Nachprüfung anzuregen.

Man kann sich nun fragen, ob nicht gerade in dieser besonderen Herstellungsart solch hochverdünnter Lösungen der Grund ihrer biologischen Wirkung zu suchen ist. Die Frage ist berechtigt, ob eine Lösung der Konzentration 10^{-n} , hergestellt durch n maliges sukzessives Verdünnen, die gleiche Wirkung ausübt wie eine Lösung von gleicher Konzentration 10^{-n} , aber hergestellt durch einmaliges Auflösen der direkt abgewogenen Substanz. Sukzessives Verdünnen von Lösungen schafft vielleicht die Bedingungen, die die Ursache der Wirkungen sind, die die genannten Autoren festgestellt haben?

In den folgenden Abschnitten veröffentliche ich eigene Versuche, die zum Ziele hatten, *physikalische Wirkungen* potenziierter Substanzen nachzuweisen.

Der erste Teil der Untersuchungen (Ultraspektralanalyse und elektrische Leitfähigkeitsmessungen) wurde ausgeführt im Physikalisch-Biologischen Institut der Medizinischen Fakultät der Universität Straßburg unter Leitung von Prof. F. VLÈS und dauerte von 1935 bis zum Ausbruch des Krieges¹⁾.

Dank dem freundlichen Entgegenkommen von Prof. Dr. BOHNENKAMP, Leiter der Medizinischen Klinik in Freiburg i. Br., war es mir möglich, die Arbeit im Physikalischen Laboratorium der dortigen Medizinischen Klinik fortzusetzen. Der Abschnitt über das ultraviolette Spektrum konnte so in Angriff genommen werden. Ich möchte an dieser Stelle Herrn Prof. BOHNENKAMP meinen Dank aussprechen für das große Interesse und die wertvolle Hilfe, die er meiner Arbeit entgegenbrachte.

I. Ultrarot-Spektralanalyse von potenzierten Substanzen.

1. Das Herstellen der Lösungen.

Zur Herstellung der potenzierten Substanzen wurde die allgemein übliche Methode des sukzessiven Verdünnens angewandt. Ein gewisses Quantum der Ausgangssubstanz (z. B. 1 g Kupfersulfat) wird in so viel destilliertem Wasser aufgelöst, daß die fertige Lösung 10 ccm beträgt. Diese Lösung wird während einer bestimmten Zeit geschüttelt, in meinen Versuchen während 1,5 Minuten, mit einer Frequenz von ungefähr 180 pro Minute²⁾.

¹⁾ Die Resultate dieser Untersuchungen wurden vorgetragen auf der Sitzung der Société de Physique biologique in Straßburg vom 29. April 1938.

²⁾ Zu Beginn der Versuche schüttelte ich während 2,5 Minuten und ging bis zu 30 Minuten. Sodann setzte ich die Zeit auf 1,5 Minuten herunter, ohne daß Unterschiede in den erhaltenen Resultaten auftraten:

Diese erste Lösung, die die Konzentration 1 : 10 oder 10^{-1} hat, stellt die erste Potenz dar und wird mit D_1 bezeichnet.

Ausgehend von D_1 wird die zweite Potenz D_2 hergestellt, indem 1 ccm von D_1 mit 9 ccm destilliertem Wasser vermischt und auch während 1,5 Minuten geschüttelt werden. Um D_3 herzustellen, wird 1 ccm von D_2 mit 9 ccm Wasser gemischt und geschüttelt und so weiter für die weiteren Potenzen. Im allgemeinen verdünnte ich die Ausgangssubstanz 30mal, so daß ich eine Reihe von Lösungen hatte, D_1 bis D_{30} , die, quantitativ betrachtet, den Konzentrationen 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , ... 10^{-30} entsprachen.

Auf diese Weise verfügt man über 9 ccm Flüssigkeit für jede Lösung (1 ccm wird ja gebraucht, um die nächstfolgende innerhalb der Reihe herzustellen). Oft waren 9 ccm nicht genügend, es wurden dann die Reihen hergestellt mit 5 g Ausgangssubstanz auf 50 ccm Lösung, so daß 45 ccm zur Verfügung standen.

Die benutzten Gefäße (kleine Flaschen) waren zuerst aus gewöhnlichem Glase, dann aus dem schwer löslichen Pyrexglas: Es ergab bei den Spektraluntersuchungen keinerlei Unterschied in den erhaltenen Resultaten. Es ist unnötig zu bemerken, daß die Versuche mit äußerst gereinigten Gefäßen, Pipetten usw. vorgenommen wurden. Es wurde alles Material in heißer NaOH-Lösung gewaschen, dann mit Chromschwefelsäure, mehrere Male mit gewöhnlichem Wasser und dann mit destilliertem Wasser geschwenkt und bei 120° getrocknet. Es zeigte sich jedoch, daß alle diese Vorichtsmaßnahmen nur eine untergeordnete Rolle spielen und die erhaltenen Resultate keineswegs bedingen.

2. Untersuchungen im ultraroten Teil des Spektrums.

Als erster Methode, um physikalische Wirkungen potenziertes Substanzen zu untersuchen, bediente ich mich der Ultrarotspektralanalyse. Es kamen später elektrische Leitfähigkeitsbestimmungen und Messungen im Ultraviolett hinzu, die ebenfalls beschrieben werden.

Es wurde das Ultrarotabsorptionsspektrum der so hergestellten Reihen von Lösungen untersucht und die Intensität der verschiedenen Absorptionsbanden gemessen. Im allgemeinen wurde eine charakteristische Absorptionsbande der Ausgangssubstanz ausgewählt und deren Intensität bei den 30 Potenzen bestimmt und kurvenmäßig aufgezeichnet. Zu diesem Zweck benutzte ich die zu meinen Proteinuntersuchungen benutzte und an anderer Stelle beschriebene (4) Apparatur. Sie besteht aus einem Ultrarotspektrographen mit Steinsalzprisma und Thermosäule mit direktem Ablesen der Galvanometerausschläge.

so wie ich auch das Schütteln mit der Hand durch mechanisches Schütteln ersetzte, um immer in denselben Versuchsbedingungen zu bleiben. Untersuchungen sind im Gange, um den Einfluß der Zeit und des Rhythmus des Schüttelns näher zu fassen.

Der Gang der Untersuchungen ist dann folgender. Vor den Spalt des Spektrographen wird eine dünne Absorptionsküvette aus Glimmer gestellt, die die zu untersuchende Lösung enthält; das Galvanometer zeigt dabei einen Ausschlag I . Sodann wird die Küvette durch eine absolut gleiche, jedoch leere ersetzt; man erhält einen anderen größeren Ausschlag I_0 . Das Verhältnis $I : I_0$ gibt dann, für die Wellenlänge λ , bei der gemessen wurde, die Durchlässigkeit der Lösung; die Absorption des Glimmers wird automatisch ausgeschaltet durch die leere Küvette. Man mißt auf diese Art schrittweise, indem λ geändert wird, einen bestimmten Ausschnitt des Ultrarotabsorptionsspektrums der Lösung (z. B. von 2μ bis 8μ). Im allgemeinen beschränkten wir uns auf Werte von λ , die eine Absorptionsbande umfassen. So z. B. wenn eine gegebene Lösung eine Absorptionsbande bei $7,1 \mu$ besitzt (Absorptionsbande, die vorher determiniert oder den Ultrarotatlanten entnommen und nachgeprüft wurde), wurde die Durchlässigkeit zwischen $6,5$ und $7,6 \mu$ bestimmt, und zwar von $1/10$ zu $1/100$. Es ist noch zu bemerken, daß man im allgemeinen die erhaltenen Absorptionswerte nicht in Durchlässigkeitswerten I/I_0 angibt, sondern durch $-\log I/I_0$.

Bei der Herstellung der Potenzen diente Wasser als Lösungsmittel. Wasser ist aber sehr undurchlässig im Ultrarot von 2μ ab, so daß nur sehr dünne Absorptionsschichten verwendet werden können. Praktisch wurde hierzu wie folgt verfahren: Auf einem Glimmerblättchen wurde ein etwa $0,1$ mm dicker Rahmen aus Glimmer aufgeklebt. In die so erhaltene Vertiefung wurden einige Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit gegeben und mit einem zweiten Glimmerblättchen bedeckt, von derselben Größe wie das erste. Das Ganze wurde sodann zwischen 2 Klemmen festgepreßt, um das Verdunsten der eingeschlossenen Lösung zu verhindern. Die genaue Schichtdicke einer solchen Glimmerküvette ist bei mehrmaligem Füllen wegen des Durchbiegens des Glimmers nicht immer die gleiche, ebenso bei Verwendung verschiedener Küvetten. Aus dem Grunde ist es schwierig, die Schichtdicke genau zu bestimmen und die Intensität der Absorptionsbanden absolut zu bestimmen. Ich bestimmte sie daher relativ, indem ich sie mit einem Wasserspektrum verglich nach Art der Fig. 1. Auf diese Weise bestimmte ich die relative Intensität h (gemessen in $-\log I/I_0$) der Bande. Da bei einer Potenzreihe immer dieselbe Bande gemessen und verglichen werden soll, genügt diese Methode vollkommen, um Werte einer Potenzreihe miteinander zu vergleichen. (Es muß aber bemerkt werden, daß diese Art der Intensitätsbestimmung sich nur auf Absorptionsbanden anwenden läßt, die nicht mit denen des Lösungsmittels, d. h. des Wassers, zusammenfallen. Denn es ist, wie eben bemerkt, die Schichtdicke bei zwei verschiedenen Versuchen nicht immer absolut gleich und daher unmöglich zu entscheiden, ob eine festgestellte Differenz h zwischen dem Spektrum

der Potenz und dem des Wassers von der Schichtdickendifferenz oder von der zusätzlichen Absorption der Potenzlösung an dieser Stelle herührt.)

Praktisch wurde nun so vorgegangen. Es wurde die Intensität einer oder mehrerer Absorptionsbanden der Ausgangssubstanz für alle 30 Lösungen

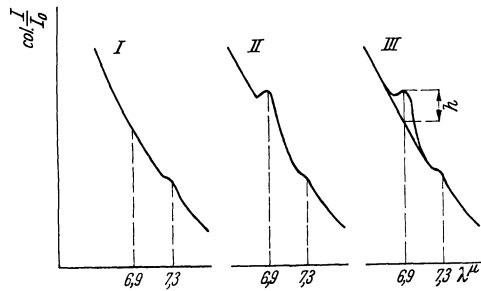


Fig. 1. Messung der relativen Intensität h einer Absorptionsbande. Absorptionsspektrum I, des Wassers; II, der zu untersuchenden Lösung; III, übereinandergelegtes I und II.

einer Potenzreihe von D_1 bis D_{30} gemessen und kurvenmäßig aufgetragen. Die beigegebenen Kurven tragen als Abszissen die Nummern der Potenzen 1–30, als Ordinaten die gemessene Intensität $h = -\log I/I_0$. Die Kurven geben also die Intensität h einer Absorptionsbande der Ausgangssubstanz als Funktion der Potenz¹⁾. Die Fig. 2, 3, 5 und 6 zeigen die so erhaltenen Resultate. Ich untersuchte eine Anzahl von Potenzreihen mit folgenden verschiedenen Ausgangssubstanzen: Bleinitrat, Kupferniträt, Natriumniträt, Pikrinsäure, Essigsäure, Hydrazin, l-Cystin, Natriumsalicylat,

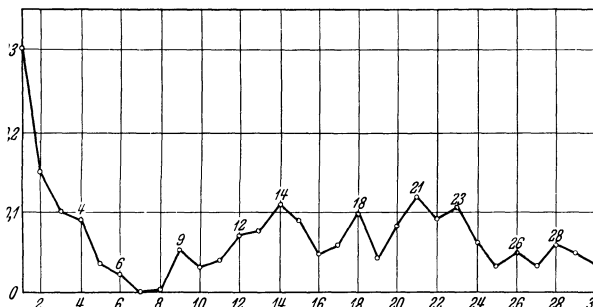


Fig. 2. Natriumniträt. Intensität ($h = \text{col } I/I_0$) der Ultrarotabsorptionsbande $7,1 \mu$ von Natriumniträt-potenzien D_1-D_{30} .

Calciumcarbonat. Als Lösungsmittel wurde im allgemeinen destilliertes Wasser verwendet. Außerdem wurde noch für Essigsäure, außer Wasser, Benzol als Lösungsmittel genommen.

Es seien nun im einzelnen die erhaltenen Resultate betrachtet, die mit Potenzen von Natriumniträt gewonnen wurden (Fig. 2). Die Kurve zeigt

¹⁾ Auf den Kurven ist statt $-\log I/I_0$ die Bezeichnung $\text{col } I/I_0$ vermerkt. Col ist die französische Bezeichnung für $-\log$.

die relativen Intensitäten h der ultraroten Absorptionsbande bei $7,1 \mu$ einer Natriumpotenzreihe von D_1-D_{30} . Die Ausgangslösung D_1 enthielt 1 g Natriumniträt auf 10 ccm Lösung mit destilliertem Wasser. Die Absorption ist ziemlich beträchtlich, $\text{col } I/I_0 = 0,3^1$). Die zweite Potenz D_2 zeigt schon geringere Absorption (0,15) [es wurde nicht unter-

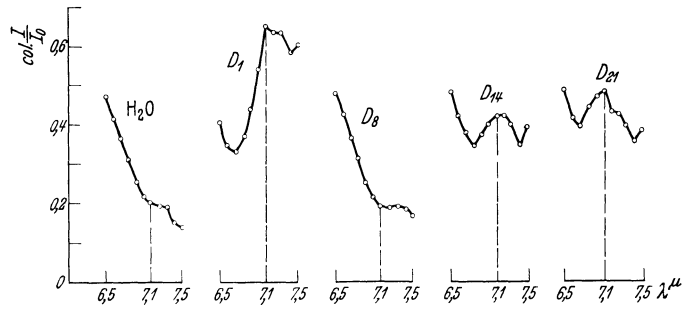


Fig. 3. Ultrarotabsorptionsspektrum von Natriumniträt-potenzien (D_1, D_8, D_{14}, D_{21}) zwischen $6,5$ und $7,5 \mu$. Erste Kurve links: Vergleichsspektrum des Wassers.

sucht, ob Natriumniträt bei $7,1 \mu$ dem BEERSchen Absorptionsgesetz gehorcht, dieser Zusammenhang ist an anderer Stelle gegeben worden (5)]. Die dritte Potenz D_3 zeigt noch kleinere Absorption (0,1), und es erfolgt eine Abnahme bis D_7 und D_8 , wo die Absorption gleich Null ist. Ich möchte schon hier bemerken, daß die Intensitätsabnahme nicht kontinuierlich ist zwischen D_1 und D_8 , sondern daß bei D_4 und D_6 wieder Zunahme zu verzeichnen ist.

Bei D_7, D_8 ist also die Absorptionsbande des Natriumniträts verschwunden, und man sollte erwarten, daß alle folgenden Potenzen ebenfalls keine Absorption mehr zeigen. Jedoch dem ist nicht so.

In den folgenden Lösungen erscheint die Bande wieder. Sie erscheint aber nicht mit konstanter Intensität, sondern rhythmisch, mit Maxima und Minima bei bestimmten Potenzen. So besteht bei D_9 ein Maximum, bei D_{10} ein Minimum; dann steigt die Kurve an mit einer kleinen Zacke bei D_{12} , um bei D_{14} ein ganz ausgeprägtes Maximum zu haben. Andere Maxima zeigen sich bei $D_{18}, D_{21}, D_{23}, D_{26}$ und D_{28} . Das höchste Maximum ist D_{21} .

Um dieses Resultat besser zu überschauen, zeigen wir in Fig. 3 die Meßresultate von einigen Natriumniträt-potenzien. Die erste Kurve links zeigt das Spektrum von destilliertem Wasser zwischen $6,5$ und $7,5 \mu$. Man erkennt die kleine Absorptionsbande des Wassers bei $7,3 \mu$. Die zweite Kurve stellt das Spektrum von D_1 von Natriumniträt dar mit der starken Absorptionsbande bei $7,1 \mu$. Daneben bei $7,3 \mu$ ist die Wasserbande noch erkennbar. Die dritte Kurve gibt das Spektrum von D_8 : die Natriumniträtbande bei

¹⁾ Dem entspricht eine Durchlässigkeit I/I_0 von 50%, da $\text{col } I/I_0 = -\log I/I_0 = 0,3$; also $I/I_0 = 0,5$.

7,1 μ ist vollständig verschwunden, man sieht nur noch die kleine Wasserbande bei 7,3. Bei den beiden letzten Kurven, die D_{14} und D_{21} darstellen, erscheint die Bande bei 7,1 μ wieder, und zwar mit einer ziemlichen Intensität. Die Größe der Meßpunkte stellt ungefähr die Meßgenauigkeit dar. Wie man sieht, haben wir es bei D_{14} oder D_{21} nicht mit „gerade noch“ meßbaren Resultaten zu tun, sondern mit erheblichen Werten; mit relativen I/I_0 von nur 76 %.

Bei D_{21} hat sich der Scheitel der Bande um 0,1 μ nach links verlagert. Es treten solch leichte

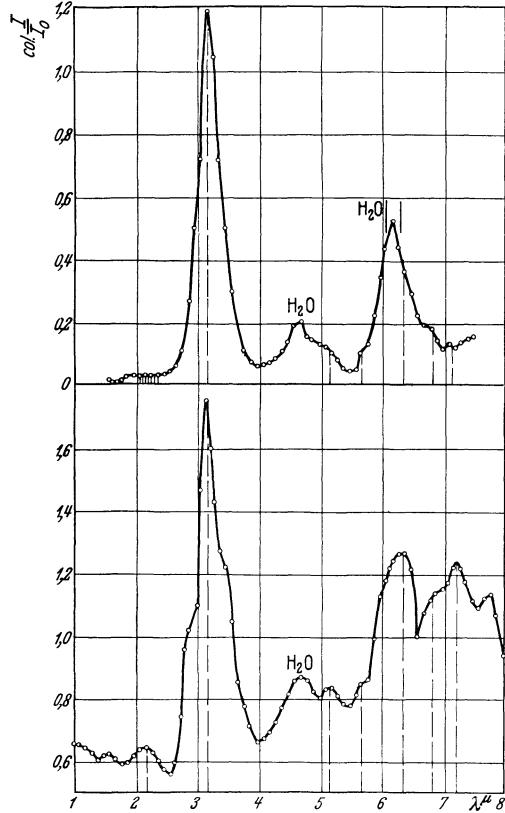


Fig. 4. Ultrarotabsorptionsspektrum von l-Cystin zwischen 1 und 8 μ . Obere Kurve: Spektrum von l-Cystin D_{15} . Untere Kurve: Spektrum von l-Cystin (Trockenlamelle).

Verschiebungen manchmal auf¹⁾. Jedoch betragen sie höchstens $\pm 0,1 \mu$.

Die in Fig. 2 gemessene Absorptionsbande des Natriumnitrats war die bei 7,1 μ . Wenn nun die Intensität einer anderen Bande des Natriumnitrats durch die 30 Potenzen hindurch gemessen wird, so ergibt sich eine ganz ähnliche Kurve mit ebendenselben Maxima und Minima. So ergibt sich also im ausgemessenen Spektralbereich, zwischen

¹⁾ Schon BONINO (1) wies beim Studium von verdünnten primären Alkoholen auf eine geringe Änderung oder Verschiebung der Banden bei großen Verdünnungen hin.

1,5 und 8 μ , für jede Potenz und hauptsächlich für D_{14} , D_{21} und D_{23} ein vollständiges Natrium-

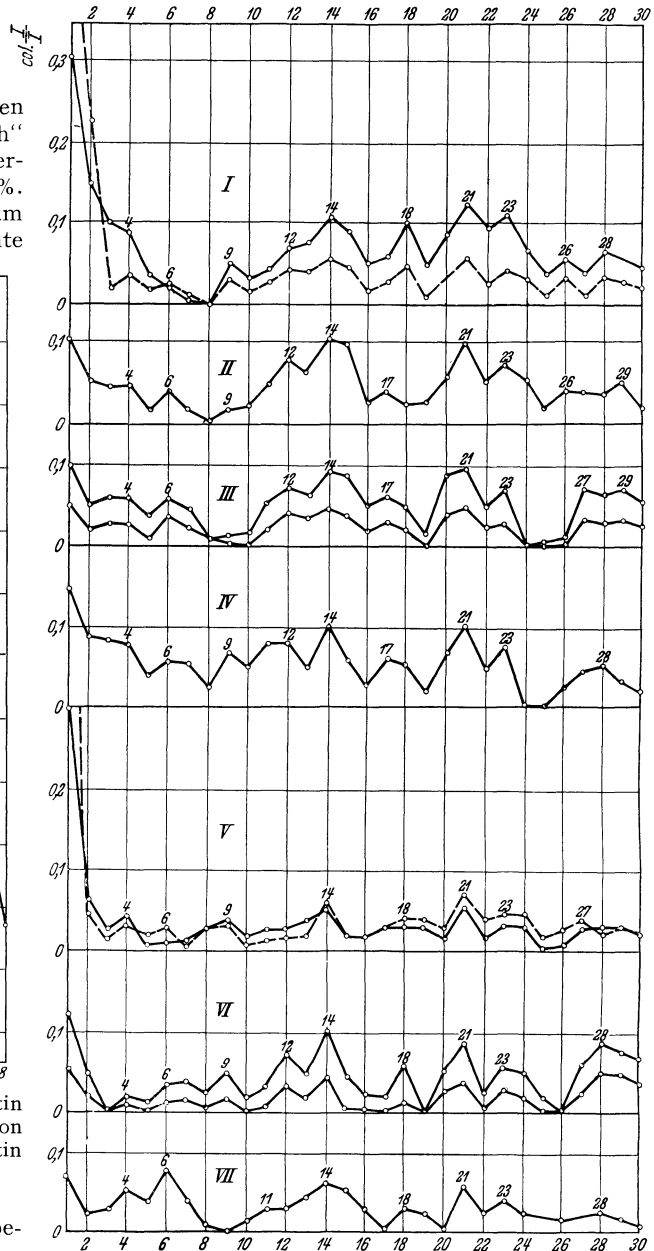


Fig. 5. Potenzwirkungen im Ultrarot von Potenzreihen D_1 – D_{30} mit verschiedenen Ausgangssubstanzen. Verdünnungsverhältnis für alle Lösungen 1:10. I. Natriumnitrat. Absorptionsbande $\lambda = 7,1 \mu$; ausgezogene Kurve $D_1 = 10^{-1}$, gestrichelte Kurve $D_1 = 3 \cdot 10^{-1}$. II. Natriumsalicylat $\lambda = 7,2 \mu$. $D_1 =$ Normallösung. III. Bleinitrat. Obere Kurve $\lambda = 4,0 \mu$. Untere Kurve: $\lambda = 4,3 \mu$. $D_1 = 10^{-1}$. IV. Essigsäure. $\lambda = 7,1 \mu$. $D_1 = 10^{-1}$. V. Kupferniträt. $\lambda = 7,1 \mu$. Ausgezogene Kurve $D_1 = 10^{-2}$, gestrichelte Kurve $D_1 = 4 \cdot 10^{-1}$. VI. Hydrazin. Obere Kurve $\lambda = 6,65$; untere Kurve: $\lambda = 7,1$. $D_1 = 10^{-1}$. VII. Calciumcarbonat. $\lambda = 3,9 \mu$. $D_1 = 1,3 \cdot 10^{-5}$.

nitratabsorptionsspektrum und dies für die Potenzen bis zu D_{30} .

Als Beispiel eines vollständigen Spektrums zeigen wir (Fig. 4, obere Kurve) das Spektrum von D_{15} einer l-Cystin-Lösung in leicht durch NaOH alkalisierendem Wasser. Es ist interessant zu vermerken, unter welchen Umständen dieses Spektrum aufgenommen wurde. Als ich im Jahre 1935 beim Studium von Aminosäuren (3, 4) das Ultrarotabsorptionsspektrum von l-Cystin aufnehmen sollte, untersuchte ich an erster Stelle das Spektrum von D_{15} derselben Substanz. Ich kannte damals das Ultrarotabsorptionsspektrum von l-Cystin noch nicht; soweit ich orientiert war, war es noch unbekannt. Das erste Spektrum von l-Cystin, das ich aufnahm, war also das einer 15. Potenz. Ich erhielt ein Spektrum mit folgenden Absorptions-

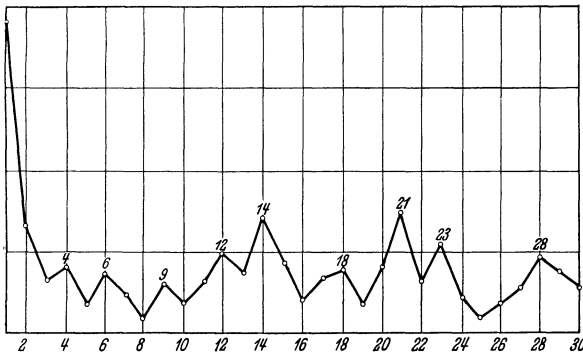


Fig. 6. Mittelwerte von 15 verschiedenen Potenzreihen mit verschiedenen Ausgangssubstanzen.

banden: bei $2,1-2,3$, $2,9-3,0$, $3,2$, $4,7$, $5,1$, $5,7$, $6,2$, $6,8$ und $7,1 \mu$ (Fig. 4, obere Kurve). Die Erhöhung bei $2,9-3,0 \mu$ und die Bande bei $4,7 \mu$ sind Wasserbanden. So hätte auch die Bande bei $6,2 \mu$ dem Wasser zugesprochen werden müssen, da sie jedoch ein wenig nach rechts verschoben ist — ihr gewöhnlicher Platz ist $6,1 \mu$ —, nahm ich die Existenz einer Cystinbande bei $6,3-6,4 \mu$ an, die mit der Wasserbande $6,1 \mu$ zusammen als einzige Bande bei $6,2 \mu$ erscheint. Schließlich nahm ich als Absorptionsbanden für l-Cystin folgende Werte an: $2,1-2,3$, $3,2$, $5,1$, $5,7$, $6,3-6,4$, $6,8$ und $7,1 \mu$ (Fig. 4, obere Kurve). Sodann habe ich das Spektrum von l-Cystin direkt gemessen, und es ergaben sich wirklich die angegebenen Banden (Fig. 4, untere Kurve).

Soweit die Resultate mit Natriumnitratpotenzen. Bei Potenzreihen mit anderen Ausgangssubstanzen treten ganz ähnliche Resultate auf. Es erscheint bei höheren Potenzen ebenfalls das Spektrum der Ausgangssubstanz, und die Kurven zeigen einen rhythmischen Verlauf mit denselben Maxima, bei D_4 , D_6 , D_9 , D_{12} , D_{14} , D_{17-18} , D_{21} , D_{23} (D_{26}) und D_{28} (s. Fig. 5). Die Maxima D_{14} und D_{21} sind ausnahmslos die intensivsten. D_{14} und D_{21} ergeben also immer das stärkste Absorptionsspektrum einer Potenzreihe. Manchmal ergeben sich kleine Verschiebungen der Maxima;

z. B. für Bleinitrat und Natriumaliculat scheint das Maximum D_4 zwischen D_3 und D_4 zu liegen. Wir sind hier jedoch noch im Gebiet der niederen Potenzen, wo in der einzelnen Lösung noch ein größeres Quantum der Ausgangssubstanz vorhanden ist (D_3 ist eine Lösung mit einer Konzentration von 10^{-3} , enthält also noch 1 g Substanz pro Liter), und sie ist es wahrscheinlich, die in manchen Fällen die Verschiebung bedingt. Bei manchen höheren Potenzen, so für D_{12} , D_{18} und D_{28} sind die Maxima nicht ganz scharf, es findet manchmal eine Verschiebung von einer Potenz statt, so findet man einigemal D_{11} , D_{17} oder D_{29} als Maxima. Das Maximum D_{26} tritt mit einer zu geringen Regelmäßigkeit auf, so daß seine Existenz als nicht ganz sicher angesehen werden muß. Ganz scharf treten aber immer D_9 , D_{14} , D_{21} und D_{23} auf. Ganz allgemein gebe ich daher D_4 , D_6 , D_9 , D_{11-12} , D_{14} , D_{17-18} , D_{21} , D_{23} und D_{28} als Maxima an.

D_{14} und D_{18} sind ausnahmslos immer die aktivsten Potenzen. Fig. 6 stellt die Durchschnittskurve von 15 verschiedenen Potenzreihen mit verschiedenen Ausgangssubstanzen dar. Sie wurde erhalten, indem die 15 Kurvenwerte addiert und die Mittelwerte aufgezeichnet wurden. Wir erhalten wieder die eben angegebenen Maxima. Es zeigt diese Kurve mit aller Deutlichkeit, daß es sich nicht um Zufallswerte bei den Maxima handelt.

Aus den vorliegenden Experimenten und Messungen ergibt sich folgendes Resultat: *Potenzen, d. h. sukzessiv verdünnte Lösungen, ergeben ein Ultrarotabsorptionsspektrum der Ausgangssubstanz bis D_{30} — ohne daß hier eine Grenze der Wirksamkeit gegeben wäre — mit Maxima, die immer bei denselben Potenzen auftreten.*

Ein erster Schluß ergibt sich hieraus: *Der Rhythmus der erhaltenen Kurven ist unabhängig von der benützten Ausgangssubstanz.* Es ist gleichgültig, ob ich Bleinitrat oder Cystin potenziere, immer werden die Potenzen D_4 , D_6 , D_9 , D_{11-12} , D_{14} , D_{17-18} , D_{21} , D_{23} und D_{28} besonders wirksam sein. Die Wirkung einer einzelnen Potenz jedoch ist spezifisch: Bleinitrat D_{14} oder D_{23} gibt ein Bleinitratspektrum, aber Kupfersulfat D_{14} oder D_{23} ein Kupfersulfatspektrum.

3. Einfluß der Ausgangskonzentration.

Im allgemeinen wurden Potenzen mit einer Ausgangskonzentration von 10^{-1} verwendet (d. h. 1 g Substanz auf 10 ccm Lösung). Andere, stärkere oder schwächere Ausgangskonzentrationen ergaben jedoch auch den gleichen Kurvenrhythmus. Zum Beispiel ergeben Natriumnitratpotenzen mit Ausgangskonzentrationen von $3 \cdot 10^{-1}$ dieselben Maxima wie Potenzen mit 10^{-1} , nur mit dem Unterschied, daß die Intensität der ersten Reihe nur halb so groß ist wie die der zweiten (Fig. 5, Kurve I). Ebenso ergeben Kupfernitratspotenzen (Fig. 5, Kurve V) dieselben Maxima bei Ausgangskonzentrationen 10^{-2} oder $4 \cdot 10^{-1}$, d. h. für Lösungen,

deren Konzentrationsunterschied 40 beträgt. Eine Potenzreihe von Calciumcarbonat (Fig. 5, Kurve VII mit $1,3 \cdot 10^{-5}$ als Ausgangskonzentration ergibt auch noch denselben Kurventypus. Es zeigt sich also, daß innerhalb weiter Grenzen die Resultate unabhängig von der Ausgangskonzentration sind.

4. Weitere experimentelle Ergebnisse und ihre Deutung: Substanzwirkung und Potenzwirkung.

Gegen die bis jetzt gefundenen Resultate könnte man folgenden Einwand machen: Im Hinblick auf die heute gültigen physikalischen Theorien erscheint es nicht möglich, ein Ultrarotabsorptionsspektrum von so hochverdünnten Lösungen zu bekommen. Die Konzentration einer Lösung D_{21} z. B. ist so gering, daß sie pro Kubikzentimeter nur noch einige Moleküle der Ausgangssubstanz enthält. Außerdem ist bekannt, daß im allgemeinen das Ultrarotgebiet des Spektrums nicht gestattet,

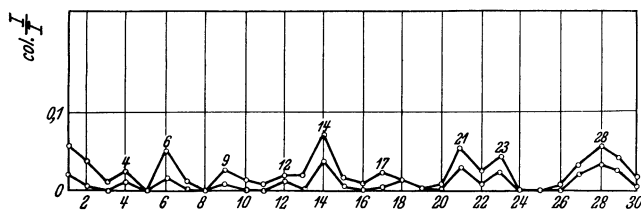


Fig. 7. Potenzwirkungen von Pikrinsäure, im Verhältnis 1:100 verdünnt. Obere Kurve: $\lambda = 7,5 \mu$; untere Kurve: $\lambda = 7,9 \mu$.

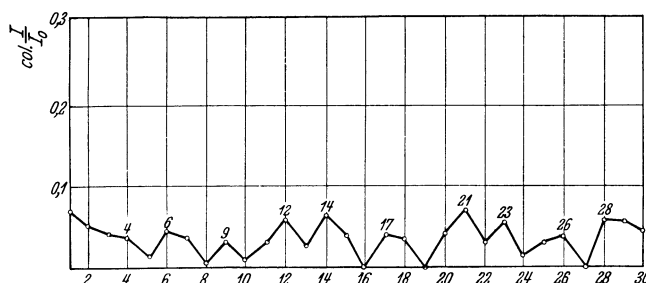


Fig. 8. Potenzwirkungen von Pikrinsäure, im Verhältnis 1:10 verdünnt.

Substanz in wäßriger Lösung in kleineren Konzentrationen als 10^{-3} , höchstens 10^{-5} , nachzuweisen. Demnach erscheint es unmöglich, daß eine Lösung, die nur noch einige Moleküle oder überhaupt kein Molekül mehr enthält, wie z. B. D_{28} , überhaupt noch ein Ultrarotabsorptionsspektrum der betreffenden Substanz ergibt.

Hier aber gilt es folgendes zu bemerken: Wenn ein solcher Einwand gemacht wird, so faßt man nur das Merkmal „Konzentration“ der Lösungen ins Auge. Mit dem Wort „Konzentration“ erfaßt man aber nicht die volle Wirklichkeit einer Potenzlösung. Eine Potenz ist nicht nur eine Lösung mit einer bestimmten Konzentration, sondern sie wird ja auf eine ganz bestimmte Art hergestellt durch sukzessives Verdünnen der Ausgangslösung. Und in dieser Art des Herstellens liegt vielleicht das be-

dingende Element ihrer Wirksamkeit. Es stellt sich die Frage: Besteht ein Unterschied zwischen 2 Lösungen derselben Konzentration 10^{-n} , wovon die eine eine Potenz ist, d. h. durch sukzessives Verdünnen entstanden ist, die andere aber direkt durch Abwägen und unmittelbares Auflösen der Substanzen hergestellt wurde? Eine Lösung D_6 ist hergestellt durch 6maliges aufeinanderfolgendes Verdünnen. Ist sie gleichzustellen einer Lösung der gleichen Konzentration 10^{-6} , die jedoch direkt, auf einmal hergestellt wurde? Vielleicht wird durch die Tatsache des sukzessiven Verdünnens ein neuer Faktor geschaffen, der in einer direkt hergestellten Lösung nicht vorhanden ist und so die beschriebenen noch unverständlichen Resultate bedingt. Die Beantwortung dieser Frage ist ungeheuer wichtig bezüglich der Herkunft der Wirkungen potenziierter Substanzen.

Mit verschiedenen Substanzen (Kupfersulfat, Bleinitrat, Essigsäure) stellte ich Lösungen der folgenden Konzentrationen dar: 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-6} und 10^{-9} . Die beiden ersten (10^{-3} und 10^{-4}) durch direktes Abwiegen und Auflösen der Substanz; die dritte, indem ich die erste 100mal verdünnte, aus dieser die letzte ebenfalls durch 100maliges Verdünnen. Außer der ersten Lösung (10^{-3}) ergab keine sonst ein Spektrum. Ich hatte also Lösungen der Konzentrationen 10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-9} , die kein Absorptionsspektrum ergaben. Potenzierte ich aber dieselben Ausgangssubstanzen, so ergab sich für D_4 , D_6 und D_9 , wie oben mitgeteilt, ein Absorptionsspektrum. D_4 , D_6 und D_9 haben aber auch die Konzentrationen 10^{-4} , 10^{-6} , 10^{-9} . Es ergibt sich hieraus, daß die Wirkung nicht von der Konzentration bedingt wird, sondern davon, ob 4-, 6- oder 9mal verdünnt wurde.

Dieser Schluß wird auch durch folgendes Experiment bestätigt. Ich stellte eine Potenzreihe von Pikrinsäure her mit einer Ausgangskonzentration von $0,8 \cdot 10^{-2}$, verdünnte nun aber nicht im Verhältnis 1:10, sondern 1:100. Wenn meine Behauptung richtig ist, daß die Potenzwirkung unabhängig von der Konzentration, aber von der Anzahl der Verdünnungen abhängig ist, dann müssen auch hier, wo ganz andere Konzentrationen vorliegen, die Maxima der Wirkung ebenfalls bei der 4., 6., 9., 12. usw. Verdünnung auftreten. Fig. 7 zeigt das Resultat: Es ist der bekannte Kurventypus. Fig. 8 zeigt zum Vergleich die Kurve von der gleichen Pikrinsäure, jedoch im Verhältnis 1:10 verdünnt.

Zu Anfang dieses Abschnittes habe ich zeigen können, daß der Rhythmus der Kurven unabhängig von der Ausgangskonzentration ist. Nachdem wir nun gesehen haben, daß der Rhythmus bedingt ist durch den Prozeß des Verdünnens, können wir jetzt sagen, daß der Rhythmus nur bedingt ist durch den Verdünnungsprozeß. Das serienweise rhythmische Verdünnen von Lösungen bewirkt also das Auftreten der Wirksamkeit der einzelnen Lösungen.

Sukzessives Verdünnen ist also nicht nur ein

Prozeß, der die Konzentration von Lösungen verringert, sondern stellt einen wirksamen Faktor dar, der *noch andere* Konsequenzen hervorruft, und zwar Konsequenzen, die unabhängig sind von der Quantität Substanz, die in einer Lösung ist. Man hat es beim Potenzieren mit 2 Dingen zu tun, die ziemlich unabhängig nebeneinander herlaufen: 1. mit der quantitativen Abnahme der Ausgangssubstanz in den einzelnen Potenzlösungen; 2. mit dem allmählichen Auftreten der eigentlichen Potenzwirkung. Die letztere tritt rhythmisch auf, bei D_4 , D_6 , D_9 usw., und ist eine Folge des besonderen Herstellungsprozesses der Potenzen, des Vorganges „sukzessives Verdünnen“. Die Intensität ihres Auftretens ist nicht mehr an quantitatives Vorhandensein von Substanz gebunden; sie wird durch die Anzahl der Verdünnungen bewirkt.

Daß dies sich so verhält, wird durch folgendes Experiment unmittelbar erhärtet. Erwärme ich eine hohe Potenz, die ein starkes Spektrum ergibt,

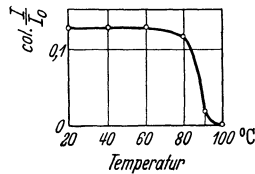


Fig. 9. Abnahme und Verschwinden der Absorptionsbande bei $7,1 \mu$ von Natriumnitrat D_{21} durch Erhitzen.

z. B. D_{14} oder D_{23} , bis zum Siedepunkt und lasse sie während kurzer Zeit sieden, so ergibt sich das überraschende Resultat, daß die Lösung, sobald sie wieder auf Zimmertemperatur abgekühlt ist, kein Absorptionsspektrum der Ausgangssubstanz mehr zeigt; die Lösung verhält sich von jetzt ab wie reines Wasser. Als Beispiel sei das Verschwinden der Absorptionsbande $7,1 \mu$ der 21. Potenz von Natriumnitrat gegeben in Abhängigkeit von der Temperatur, auf welche die Lösung gebracht wurde. Wie aus Fig. 9 ersichtlich, ändert sich die Intensität der Absorptionsbande nicht beim Erhitzen bis zu etwa 70° . Bei 80° nimmt sie ein wenig ab, dann aber sehr rasch, und ist bei 100° vollständig verschwunden. Für andere Potenzen und andere Ausgangssubstanzen ergeben sich ganz analoge Kurven; außer natürlich für die 3 ersten Potenzen, D_1 — D_3 , bei welchen sich durch Erwärmen die Intensität der Absorptionsbanden nicht ändert.

Dieses Experiment des Erwärmens ist grundlegend.

1. Es hilft einen oft gemachten Einwand zu entkräften, der behauptet, daß die Wirkung der hohen Potenzen nur davon herrühre, daß durch den Prozeß des sukzessiven Verdünnens Substanz verschleppt wird von einer Lösung zur anderen, so daß man nach n maligem Verdünnen nicht die Konzentration 10^{-n} hätte, sondern eine viel höhere, und daß diese die Ursache der Wirksamkeit wäre. Wäre aber die Verschleppung von Substanzen

wirklich so groß, daß sie die Ursache des Auftretens des Spektrums wäre [was übrigens chemisch leicht nachweisbar wäre¹⁾], dann wäre es doch offensichtlich unmöglich, nur durch Erhitzen der Potenz das Spektrum zum Verschwinden zu bringen. Im Gegenteil, durch das Kochen verdunstet immer ein wenig Wasser, die Lösung würde also konzentrierter und müßte ein noch intensiveres Spektrum zeigen²⁾.

2. Das Verschwinden des Spektrums durch Erhitzen zeigt, daß die Wirkung von hohen Potenzen von anderer Natur ist als die Wirkung von Lösungen, in denen noch quantitativ nachweisbar Substanz vorhanden ist.

Den ersten Potenzen ist also „Substanzwirkung“ zuzuschreiben, den höheren Potenzen dann die von der Quantität Substanz unabhängige sog. „Potenzwirkung“.

Bei gewissen Potenzen können sogar beide Wirkungen zu gleicher Zeit auftreten. Die Potenzen D_4 und D_6 enthalten ja noch eine (chemisch oder im Ultraviolett Spektrum) nachweisbare Quantität Ausgangssubstanz. Andererseits haben wir aber gesehen, daß gerade D_4 und D_6 stärkere Wirkungen aufweisen, als nach der Quantität Ausgangssubstanz zu erwarten wäre. Wenn also die eben gemachte Behauptung richtig ist, daß wir es mit zwei verschiedenen Wirkungen bei den Potenzen zu tun haben, so ist es vielleicht möglich, gerade bei D_4 und bei D_6 , wo beide Wirkungen aktiv sein sollen, den Substanzeffekt von dem Potenzeffekt zu trennen. Folgendes Experiment bestätigt dies.

Kupfernitrats hat bei $\lambda = 0,825 \mu$ eine starke Absorptionsbande, und es hat sich gezeigt, daß für diese Wellenlänge das BEERSche Absorptionsgesetz $I/I_0 = 1 - kcd$ (c = Konzentration, d = Schicht-

¹⁾ Es sei auch noch an die Experimente und Rechnungen von W. LUDWIG (18) erinnert. Er zeigte, daß auf 35 sukzessive Verdünnungen von NO_3Ag der Fehler durch Substanzverschleppung nur *eine* Potenz beträgt, d. h. an Stelle einer Konzentration von 10^{-35} hat man 10^{-34} .

²⁾ Zum Einwand der Substanzverschleppung sei noch folgendes mitgeteilt: Die erhaltenen Potenzwirkungen sind ganz unabhängig davon, ob beim Herstellen der Potenzen immer dieselbe Pipette verwendet wird, die nicht einmal ausgewaschen wird, oder ob 30 neue ganz saubere Pipetten verwendet werden. Ebenso ist ganz unwesentlich, ob alle 30 Potenzen in einem und demselben Gefäße hergestellt werden, das auch nicht einmal ausgeschwenkt wird von einer Potenz zur anderen, oder ob 30 gesonderte Gefäße benützt werden. Wenn es sich um Verschleppen von Substanz handeln würde, so müßten die Resultate, wenn nur eine, nicht einmal ausgeschwenkte, Pipette verwendet wird oder immer in demselben Gefäße verdünnt wird, jedenfalls verschieden sein von denen, wenn für jede Potenz frische Pipetten und Gefäße genommen werden.

Es ergab sich auch kein Unterschied, ob nur eine Absorptionsküvette für alle 30 Potenzen bei den Messungen benützt wurde, oder 30 neue Küvetten, je eine pro Potenz, benützt wurden.

dicke) erfüllt ist. Aus durch Abwiegen und Auflösen von Kupferniträt direkt hergestellten Lösungen der Konzentrationen $1/40$, $1/80$, $1/100$, $1/200$ bis $1/10000$ konnte ich so den Absorptionskoeffizienten k bestimmen und ausrechnen, welche Absorption einer Lösung der Konzentration 10^{-5} , 10^{-6} usw. entspricht (5). Bei Umschreiben von $I/I_0 = e^{-kcd}$ in $-\log I/I_0 = kcd$ zeigt sich (da die Schichtdicke d in diesem Falle konstant war, es wurden planparallele Glasküvetten benutzt von 0,785 cm Schichtdicke), daß $-\log I/I_0$ als Funktion von c eine Gerade darstellt.

Nun wurde Kupferniträt potenziert und auch hier $-\log I/I_0$ gemessen. Da stellte sich heraus, daß D_1 , D_2 und D_3 denselben Wert ergaben wie die direkt hergestellten Lösungen, ebenso auch D_7 , daß aber D_4 , D_5 und D_6 , besonders D_4 und D_6 , höhere Werte ergaben. In Fig. 10 ist als Abszissenachse der berechnete Wert der Geraden $-\log I/I_0$

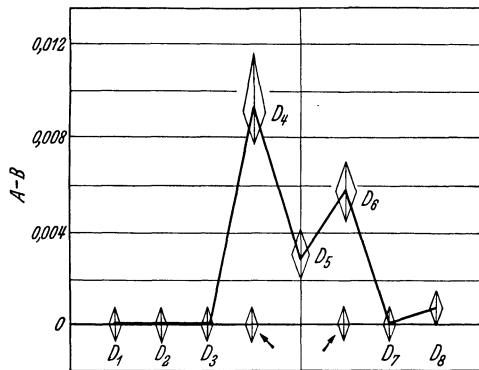


Fig. 10. Potenzwirkung und Substanzwirkung von Kupferniträtpotenzen. Die Abszissenachse stellt die Gerade des BEERSchen Absorptionsgesetzes für direkt hergestellte Lösungen dar: $-\log I/I_0 = kcd = k'c = B$; die ausgezogene Kurve die erhaltenen Werte A für Kupferniträtpotenzen D_1 – D_8 . Die Abszissenwerte ($A-B$) stellen die Potenzwirkung dar. Sie ist null für D_1 , D_2 , D_3 und D_7 . Die eingezeichneten vierseitigen Gebilde stellen in der vertikalen Diagonale die Meßwerte und in der horizontalen die Häufigkeit von 22 verschiedenen Versuchen dar. Die mit einem Pfeil versehenen Gebilde sind die erhaltenen Werte bei Erhitzen von D_4 und D_6 auf 100° ; sie liegen genau auf der Abszissenachse, d. h. sind gleich der Absorption von direkt hergestellten Lösungen.

= $kcd = B$ genommen. Die Ordinaten geben an, um wieviel D_4 , D_5 und D_6 ein größeres $-\log I/I_0 = A$, also eine stärkere Absorption, zeigen als die direkt hergestellten Lösungen. Wird nun D_4 oder D_6 auf 100° erhitzt und nach Abkühlung das Spektrum wieder gemessen, so zeigt sich eine Abnahme der Absorption, und zwar um genau den Betrag $A-B$, d. h. die Werte fallen genau auf die Abszissenachse, stimmen also mit denjenigen der direkt hergestellten Lösungen überein. Die Wirkung von D_4 , D_5 oder D_6 ist also aus 2 Teilen zusammengesetzt, dem Teil B , der der in der Lösung vorhandenen Substanz entspricht, ich will ihn den „Substanzanteil“ nennen (er ist gegeben durch das

BEERSche Absorptionsgesetz), und dem Teil $A-B$, der durch Potenzieren hervorgebracht wird, der unabhängig von der noch in der Lösung vorhandenen Substanz ist und der durch Erhitzen zerstört werden kann. Ich will ihn den „Potenzanteil“ nennen¹⁾.

5. Verschiedene Lösungsmittel.

Die eben erwähnten Versuche mit Kupferniträtpotenzen in Wasser wiederholte ich auch mit Alkohol als Lösungsmittel. Es ergab sich derselbe Kurvenrhythmus (D_4 , D_6 usw.), und beim Sieden der Lösung verschwand ebenfalls der „Potenzanteil“. Ebenso habe ich Essigsäure in Benzol potenziert. Fig. 11 zeigt, daß auch hier der alte Kurventypus auftritt.

Es ist also die Potenzwirkung auch unabhängig vom Lösungsmittel. Damit sind alle beim Potenzieren auftretenden Faktoren (wie Konzentration, Lösungsmittel, sukzessives Verdünnen, Pipetten) untersucht und bei ihrer Variation als unwesentlich für das Zustandekommen der Potenzwirkung er-

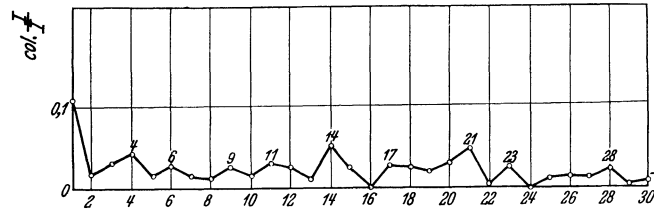


Fig. 11. Potenzwirkungen von Essigsäure in Benzol potenziert. $\lambda = 6,2 \mu$; $D_1 = 10^{-1}$.

kannt worden bis auf einen: den des sukzessiven Verdünnens, des Potenzierens selbst. Diesem allein müssen daher die aufgefundenen Potenzwirkungen zugeschrieben werden.

II. Die elektrische Leitfähigkeit potenziierter Substanzen.

Nachdem der Nachweis von physikalischen Wirkungen im ultraroten Teil des Spektrums erbracht war, wendete ich mich der Messung der elektrischen Leitfähigkeit potenziierter Substanzen zu. Ich benützte hierzu die klassische Methode der Wheatstone-Brücke mit Tongenerator (Frequenz etwa 1000). Die zu messende Flüssigkeit kommt in ein Quarzgefäß mit platinieren Platin-elektroden.

Zuerst wurde als Lösungsmittel beim Potenzieren destilliertes Wasser verwendet. Die er-

¹⁾ Während der Redaktion dieser Schrift lese ich bei NÄGELI (19) in seiner Schrift über oligodynamische Wirkung (veröffentlicht von C. CRAMER), daß er die oligodynamische Wirkung vollständig zerstören konnte durch Kochen der Lösungen. CRAMER, der die Versuche wiederholte, kam zu demselben Resultat. Es sei daran erinnert, daß NÄGELI einen radikalen Unterschied machte zwischen der chemischen und der oligodynamischen Wirkung einer Lösung. Verschiedene Autoren bekennen sich zu dieser Ansicht [P. SAXL (20), HERZBERG (6) u. a.].

haltenen Kurven zeigten wohl Änderungen der Leitfähigkeit von Potenz zu Potenz, waren aber nicht reproduzierbar und entsprachen in nichts den

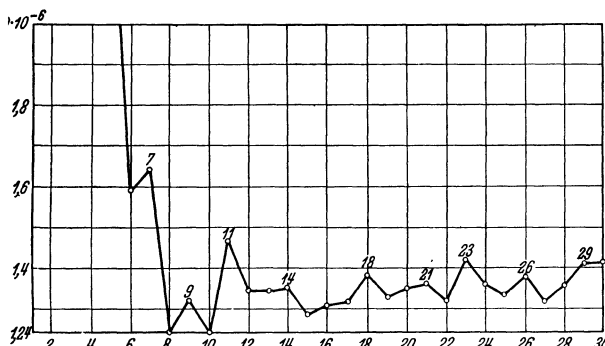


Fig. 12. Elektrische Leitfähigkeit von Urannitratpotenzen. $D_1 = 10^{-1}$.

Spektralkurven. Es zeigte sich, daß durch das Schütteln der Potenzen der CO_2 -Gehalt des Wassers geändert war und auch die Löslichkeit der Gefäße in Frage kam und die Messungen fälschte.

Daraufhin wurde Wasser als Lösungsmittel nicht mehr verwendet — zweimal destilliertes Wasser erwies sich als noch ungeeigneter — und Alkohol (96—98proz.) benützt. Jetzt waren die Kurven reproduzierbar unter der Bedingung, daß einige Vorsichtsmaßregeln innegehalten wurden. So müssen die Gefäße, die die Potenzen enthalten sollen, alle aus einem und demselben Glas sein,

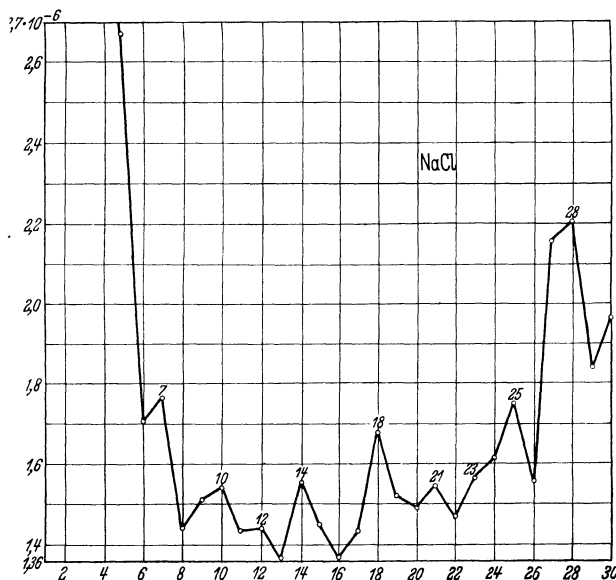


Fig. 13. Elektrische Leitfähigkeit von NaCl-Potenzen. $D_1 = 10^{-1}$.

sonst entstehen erhebliche Fehler durch die Löslichkeit des Glases. Gefäße aus demselben Pyrexglas ergaben gute Resultate.

Es wurden auf diese Art untersucht potenzierte Lösungen von: KCl, NaCl, Essigsäure,

Ameisensäure, Eisenperchlorat, Eisennitrat, Hydrochinon, Salicylsäure, Zinnchlorür, Quecksilberchlorür, Ammoniumsulfocyanür und Urannitrat. Die Figuren 12 bis 17 zeigen einige der erhaltenen Resultate. Da die Leitfähigkeit der ersten 4, 5 Potenzen sehr groß ist gegenüber den nächstfolgenden, sind sie nicht in die Kurven eingetragen, um den Maßstab der Figuren nicht zu sehr zu beeinträchtigen.

Die Leitfähigkeit der ersten Potenzen nimmt rasch ab, ohne jedoch diejenige des als Lösungsmittels benützten Alkohols (Abszissen der Figuren) vollkommen zu erreichen. Es ergeben sich auch hier Kurven mit Maxima und Minima, wobei die Maxima für alle untersuchten Substanzen wiederum ungefähr bei denselben Potenzen liegen. Fig. 14 stellt die Mittelwertskurve von 10 untersuchten Substanzen dar. Es ergeben sich dieselben

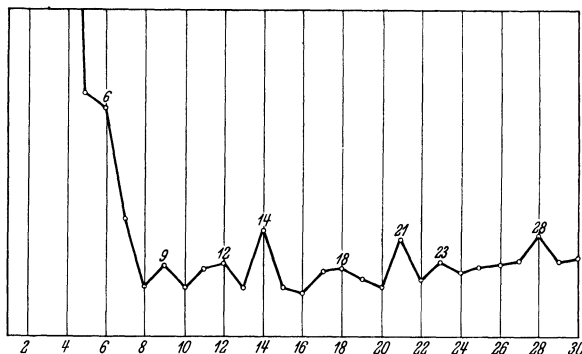


Fig. 14. Mittelwerte der elektrischen Leitfähigkeit von 10 verschiedenen Potenzreihen mit verschiedenen Ausgangssubstanzen.

Maxima wie bei der Ultrarotspektalanalyse: bei $D_6, D_{11-12}, D_{14}, D_{17-18}, D_{21}, D_{23}$ und D_{28} . Diese Lösungen haben also eine höhere Leitfähigkeit als die dazwischen liegenden, und man kann sagen, daß die Potenzen, die ein maximales ultrarotes Absorptionsspektrum haben, auch eine maximale elektrische Leitfähigkeit ergeben.

Für die Untersuchung der Leitfähigkeit wurde Alkohol als Lösungsmittel benützt, während bei der Spektralanalyse destilliertes Wasser und Benzol verwendet wurden, in einem Fall auch Alkohol. Alle 3 Lösungsmittel ergaben denselben Kurvenrhythmus. Fig. 15 soll das besonders veranschaulichen, es sind hier dargestellt die Kurven von Essigsäure, in Wasser, Alkohol und Benzol potenziert. Man beachte das Übereinstimmen der Maxima.

Die Ordinaten der Abszissenachsen der Figuren stellen die Leitfähigkeit des reinen Lösungsmittels, des Alkohols, dar. Sie ist nicht auf allen Figuren dieselbe: $1,36 \cdot 10^{-6}$ bei NaCl, $1,24 \cdot 10^{-6}$ bei Urannitrat, $1,10 \cdot 10^{-6}$ bei Essigsäure. Es hat dies seinen Grund darin, daß die Experimente zu verschiedenen Zeiten des Jahres gemacht wurden und der Alkohol des Laboratoriums verschiedentlich erneuert wurde.

Die Kurve der Fig. 16 stellt den erhaltenen Effekt dar, indem KCl nicht in dem gewöhnlich benutzten Alkohol potenziert wurde, sondern in einem durch geringe Mengen von NaCl und KCl verunreinigtem Alkohol (Leitfähigkeit $6,66 \cdot 10^{-4}$).

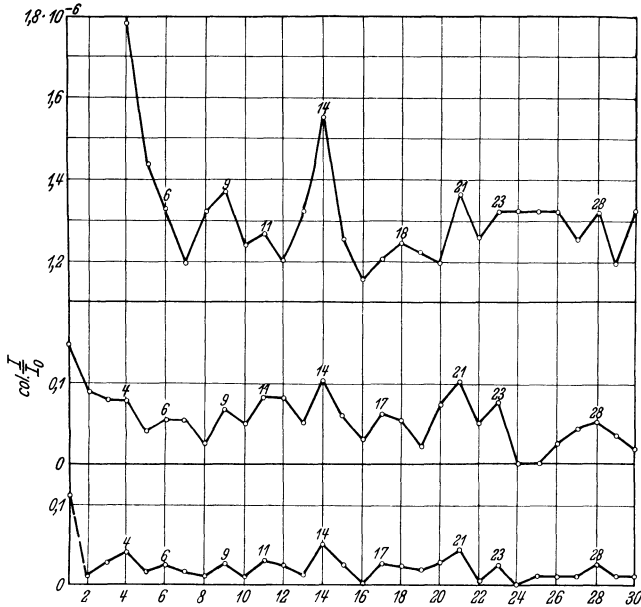


Fig. 15. Potenziwirkungen von Essigsäure, in verschiedenen Lösungsmitteln potenziert. Obere Kurve: in Alkohol (elektrische Leitfähigkeit $D_1 = 10^{-1}$). Mittlere Kurve: in Wasser (Ultraschabsorptionsspektrum $\lambda = 7,1 \mu$). Untere Kurve: in Benzol (Ultraschabsorptionsspektrum $\lambda = 6,2 \mu$).

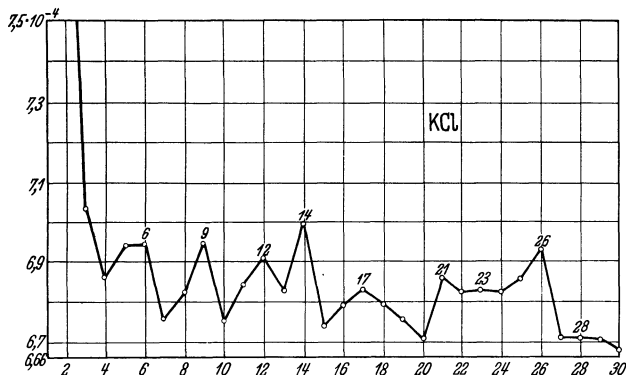


Fig. 16. Elektrische Leitfähigkeit von KCl in verunreinigtem Alkohol (Leitfähigkeit $6,66 \cdot 10^{-4}$) potenziert. $D_1 = 10^{-1}$.

Es ergibt sich dieselbe Kurve wie für KCl in gewöhnlichem Alkohol (Fig. 17). Die Verunreinigung des Lösungsmittels hat also die Potenziwirkungen nicht geändert.

Die Messungen wurden gewöhnlich vorgenommen nach Fertigstellung der ganzen Potenzreihe und wurden zeitlich öfters wiederholt. Es ergaben sich immer dieselben Resultate (auch noch 6 Wochen nach der Herstellung). Es können also die Lösun-

gen aufbewahrt bleiben, ohne daß ihre Wirkung verlorengeht.

Potenzen von Alkohol in Alkohol.

Die Untersuchungen im Ultrarot ergaben, daß die Potenziwirkungen in weitem Maße von der Ausgangskonzentration unabhängig sind. Calciumcarbonatpotenzen zeigen noch Wirkungen bei einer Ausgangskonzentration von $1,3 \cdot 10^{-5}$ (Fig. 5, Kurve VII). So sind auch die Wirkungen von Kupfernitratpotenzen mit der Ausgangskonzentration 10^{-2} ungefähr gleich denjenigen einer Reihe mit 40mal so starker Ausgangskonzentration (Fig. 5, Kurve V). Kupfernitrat zeigt noch Wirkungen bei einer Ausgangskonzentration von 10^{-3} , während 10^{-4} keine Wirkungen mehr ergab.

Wieweit kann nun bei den empfindlichen Leitfähigkeitsmessungen mit der Ausgangskonzentration heruntergegangen werden? Zu diesem Zwecke machte ich folgendes Experiment. Ich ließ Alkohol der Leitfähigkeit $1,24 \cdot 10^{-6}$ in einem leicht löslichen Glase stehen. Nach einiger Zeit war seine Leitfähigkeit auf $1,37 \cdot 10^{-6}$ gestiegen. Mit diesem Alkohol als Ausgangssubstanz stellte ich nun wie üblich eine Potenzreihe her mit dem ursprünglichen Alkohol ($1,24 \cdot 10^{-6}$) als Lösungsmittel. Es ergab sich die übliche Potenziwirkung mit den charakteristischen Maxima. Was wurde eigentlich in diesem Falle potenziert? Die ganz

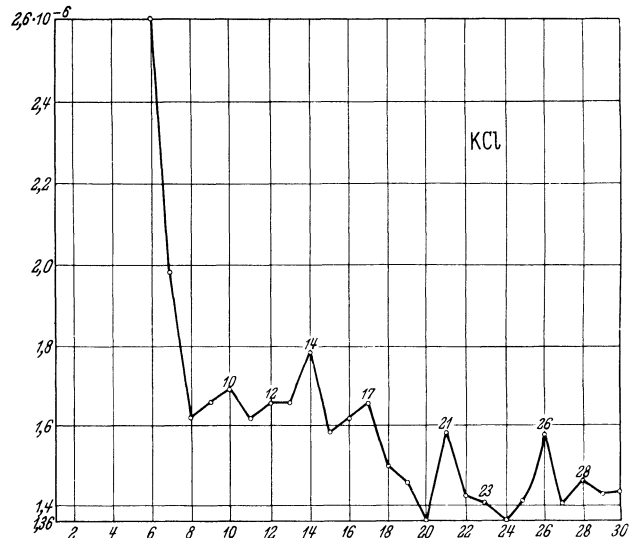


Fig. 17. Elektrische Leitfähigkeit von KCl in gewöhnlichem Alkohol (Leitfähigkeit $1,36 \cdot 10^{-6}$) potenziert.

minimale Quantität der aufgelösten Salze des löslichen Glases, die die Leitfähigkeit von $1,24$ auf $1,37 \cdot 10^{-6}$ erhöht haben. Es genügte also eine ganz verschwindend kleine Menge Ausgangssubstanz, um die Wirkung hervorzurufen.

Es ist wahrscheinlich, daß auch dann die Wirkung erschienen wäre, wenn als „Ausgangssubstanz“ genau derselbe Alkohol wie der des Lösungsmittels benützt worden wäre. Der Effekt käme dann dadurch zustande, daß durch das Schütteln von D_1 — also durch das

Schütteln des Alkohols, denn ein Lösungsmittel ist ja hier nicht vorhanden — die Leitfähigkeit des Alkohols ein wenig verändert wird. So hätte dann D_1 eine andere Leitfähigkeit als der ursprünglich und des weiteren als Lösungsmittel verwendete Alkohol. Und dieser so leicht geänderte Alkohol oder vielmehr die in ihm gelöste Substanz dient dann beim weiteren Potenzieren als Ausgangssubstanz.

Durch Potenzieren von Alkohol im Alkohol könnte man auf den Gedanken kommen, das Schütteln sei eigentlich die Hauptsache beim Potenzieren; vielleicht würde es genügen, denselben Alkohol 30 mal hintereinander rhythmisch während einem gewissen Zeitintervall, z. B. während 2 Minuten, zu schütteln.

Der Versuch zeigt, daß dann keine rhythmische Kurve entsteht mit den bekannten Maxima; es treten also keine Potenzwirkungen auf. In Wirklichkeit hat man es ja auch in diesem Falle nicht mit Substanzverdünnungen zu tun. So zeigt dieser Versuch, sowie der vorhergehende, daß es beim Potenzieren auf sukzessives Verdünnen einer Ausgangssubstanz ankommt.

Die Versuche über die elektrische Leitfähigkeit von potenzierten Substanzen führen somit zu demselben Erkenntnis, die sich auch bei der Ultrarotanalyse ergeben hatte: *Nicht die Quantität der Ausgangssubstanz ist ausschlaggebend für eine bestimmte Wirkung, sondern nur die Anzahl der Verdünnungen.*

III. Ultraviolett-Spektralanalyse potenziertes Substanzen.

Nachdem die Wirkung von potenzierten Substanzen im ultraroten Gebiet des Spektrums festgestellt war, ergab sich die Frage, ob auch im Ultraviolett Wirkungen nachzuweisen wären. Zur ersten Orientierung konnte ich den ZEISSschen Quarzspektrographen für Chemiker des Physikalischen Laboratoriums der Medizinischen Klinik zu Freiburg i. Br. benützen. Als Lichtquelle diente eine Wolframfunkenanordnung. Zu gleicher Zeit wie das Absorptionsspektrum einer potenzierten Lösung wurde auch das Spektrum des Lösungsmittels photographisch mit aufgenommen. Die beiden Lösungen befanden sich in identischen Scheibenküvetten mit einem HÜFNERschen Rhombus zusammen vor dem Spalt des Spektrographen, so daß die beiden zu vergleichenden Spektren mit scharfer Trennungslinie unmittelbar übereinander aufgenommen werden konnten. Die Lösungen wurden in verschiedener Schichtdicke untersucht (1 mm bis 2 cm), es waren Potenzen von Silbernitrat, Kupfersulfat, Kaliumnitrat und Fuchsin mit Wasser als Lösungsmittel. Es wurden auch Potenzen von Kupfersulfat in einer schwachen Kaliumnitratlösung potenziert. Fuchsin als Ausgangssubstanz wurde deshalb gewählt, da es als stark färbende Substanz direkte Rückschlüsse auf das sichtbare Gebiet gestattete.

Es wurden wie bei den Untersuchungen im Ultrarot Reihen von je 30 Potenzen hergestellt. Immer eine Potenz zusammen mit dem Lösungs-

mittel wurde photographisch aufgenommen; so konnten auf diese Weise 15 Potenzen auf eine Platte aufgenommen werden. Es wechseln daher auf der Aufnahme immer ein Potenzspektrum mit einem Lösungsmittelspektrum, so daß die Potenzlösungen unmittelbar mit dem Lösungsmittel, aber auch die Potenzlösungen unter sich verglichen werden konnten.

Es ergaben sich folgende Resultate: In allen untersuchten Fällen war, von der ersten Potenz ab, eine regelmäßige Abnahme der Absorption zu bemerken und ein Verschwinden derselben bei ungefähr D_6 oder D_7 bei starken Absorptionsbanden. Für alle weiteren Potenzen ist das gesamte Spektrum im Sichtbaren bis etwa 2200 Å für die Potenzen und das Lösungsmittel absolut gleich. Es konnte beim Ausphotometrieren der Platten kein Unterschied festgestellt werden. Es tritt also innerhalb der Empfindlichkeit der Anordnung kein ultraviolettes Potenzspektrum auf, es zeigt sich nur das gewöhnliche Substanzspektrum bei niederen Potenzen. Die Substanzwirkung macht sich bemerkbar bis etwa D_6 , D_7 , d. h. bis zu Konzentrationen von 10^{-6} , 10^{-7} . Für alle höheren Potenzen tritt kein ultraviolettes oder sichtbares Absorptionsspektrum der Ausgangssubstanz mehr auf.

Diese Resultate weisen auf zweierlei:

1. Sie bringen einen dritten und neuen Beweis dafür dar, daß die Potenzwirkungen im Ultrarot nicht auf Substanzverschleppungen beruhen. Bis D_6 , D_7 reicht im Ultraviolett die gewöhnliche Substanzwirkung. Wenn es sich also um Verschleppung handeln würde, so würden geringere Mengen Substanz, als in D_7 noch vorhanden sind, verschleppt werden; es müßte sich also um kleinere Konzentrationen als 10^{-7} handeln. Solch minimalen Konzentrationen ergeben ja aber gerade im Ultrarot kein Absorptionsspektrum mehr. Der Nachweis von Substanz im Ultrarot zwischen 2μ und 8μ und mit der von mir benützten Apparatur geht höchstens bis zu Konzentrationen 10^{-4} . Der Faktor Verschleppung muß also außer Betracht gelassen werden, wenn es sich um potenzierte Substanzen handelt.

2. Da eine hohe Potenz ein ultrarotes Absorptionsspektrum, aber weder ein sichtbares noch ein ultraviolettes Spektrum ergibt — eine gewöhnliche Lösung aber in allen 3 Gebieten (bei farblosen Lösungen natürlich nur im Ultraviolett und Ultrarot) absorbiert —, so ist abermals auf die grundlegende Verschiedenheit der Wirkungen von Potenzen gegenüber gewöhnlichen Lösungen hingewiesen.

Bei gewöhnlichen Lösungen werden die Wirkungen von der aufgelösten Substanz hervorgebracht. Bei einer hohen Potenz ist die Substanz nicht mehr in der Quantität vorhanden, daß sie Ursache der Wirkung sein kann. Als Träger der Wirkung kommt dann nur das Lösungsmittel in Frage. Durch den Prozeß des sukzessiven Verdünnens wird dem Lösungsmittel etwas aufgeprägt, das seinen Ursprung zwar in der Aus-

gangssubstanz hat, was aber selber nicht Substanz ist. Diese Aufprägung bewirkt das Auftreten eines Ultrarotspektrums und einer elektrischen Leitfähigkeit. Es wäre interessant festzustellen, ob auch noch andere physikalische Eigenschaften auftreten und wie die Aufprägung im einzelnen geschieht. Es sind zur Zeit verschiedene Versuche in dieser Richtung im Gange. Die biologischen Wirkungen, von denen wir eingangs sprachen, dürften diesen Kräften zuzuschreiben sein.

Zusammenfassung.

Durch den Hinweis, daß hochverdünnte Lösungen (sog. Potenzen), in denen sich nicht einmal mehr ein Molekül Ausgangssubstanz befindet, starke biologische Wirkungen zeigen, wurde der Verfasser angeregt, solche nach der Methode des sukzessiven Verdünnens hergestellte Lösungen auf ihre physikalische Wirksamkeit hin zu untersuchen. Zwei Untersuchungsmethoden wurden verwendet: die Spektralanalyse und elektrische Leitfähigkeitsmessungen. Ein positives Resultat ergab sich für die elektrische Leitfähigkeit und das Ultrarotspektrum, ein negatives für das sichtbare und das Ultraviolettpektrum.

Es wird die Herstellungsart von Potenzreihen mit verschiedenen Ausgangssubstanzen beschrieben. Dieselben ergeben im Ultrarot ein Absorptionsspektrum. Eine bestimmte Absorptionsbande davon wurde für jede einzelne Potenz ihrer Intensität nach bestimmt und die so erhaltenen Resultate kurvenmäßig aufgetragen. Es wurden Potenzreihen bis D_{30} benützt. Ebenso wurde auch die elektrische Leitfähigkeit solcher Potenzlösungen bestimmt.

Es ergaben sich folgende Resultate:

1. Ausgehend von der ersten Potenz, d. h. der Stammlösung, wird das ultrarote Absorptionsspektrum immer schwächer; es verschwindet jedoch nicht bei D_4 , D_5 oder D_6 , wie nach der Menge der noch darin gelösten Ausgangssubstanz zu erwarten wäre, sondern tritt bei den folgenden Potenzen wieder auf, und zwar in rhythmischer Art mit abwechselnden Maxima und Minima. Man kommt bis D_{30} noch an keine Grenze der Wirksamkeit. Hochverdünnte Lösungen, sog. Potenzen, ergeben so immer ein Ultrarotabsorptionsspektrum, das zumindest zwischen $1,5 \mu$ und 8μ , den Untersuchungsgrenzen, identisch ist mit dem Absorptionsspektrum der Ausgangssubstanz.

Ebenso zeigen solche Lösungen Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit. Diese zeigt sich erhöht gegenüber dem Lösungsmittel in eben demselben Rhythmus wie bei den Ultrarotabsorptionsspektren.

Es kann also gesagt werden: *Sukzessiv verdünnte Lösungen zeigen für gewisse Stufen spezifische maximale physikalische Wirkungen.*

Die Maxima der Wirksamkeit treten auf bei: D_4 , D_6 , D_9 , D_{11-12} , D_{14} , D_{17-19} , D_{21} , D_{23} und D_{28} .

Dieser Rhythmus ist unabhängig von der Natur der Ausgangssubstanz.

2. *Die Wirkungen treten nur auf, wenn die Lösungen nach der Methode des sukzessiven Verdünnens hergestellt werden. Es kommt hierbei nicht auf die Konzentration der Lösungen an; die Wirkung wird nur bestimmt durch die Anzahl der Verdünnungen.*

3. Die Wirkungen sind auch unabhängig vom Lösungsmittel.

4. *Das Erhitzen einer hohen Potenz bis zum Siedepunkt zerstört ihre Wirkung vollständig.* Dieses wichtige Faktum, sowie die Unabhängigkeit von der Konzentration weisen darauf hin, daß die Potenzwirkungen nicht auf Substanzverschleppung beruhen und daß unterschieden werden muß zwischen „Substanzwirkung“ und „Potenzwirkung“.

5. *Das Absorptionsspektrum im Ultraviolett ergibt nur Substanzwirkungen, und zwar, mit der benützten Anordnung, bis etwa D_6 oder D_7 .* Höhere Potenzen ergeben nur noch das Absorptionsspektrum des Lösungsmittels. Dieses Resultat weist erneut darauf hin, daß die Wirkung im Ultrarot nicht auf Substanzverschleppung beruht und daß Potenzwirkung und Substanzwirkung verschiedenen Charakters sind.

6. *Als Träger der Potenzwirkung muß das Lösungsmittel angesprochen werden.* Es wird angenommen, daß durch den Prozeß des sukzessiven Verdünnens dem Lösungsmittel Wirkungen aufgeprägt werden, die der Ausgangssubstanz entstammen und die dem Lösungsmittel eine solche Konfiguration geben, daß ein ultrarotes Absorptionsspektrum, elektrische Leitfähigkeit und biologische Wirkungen auftreten.

So gilt ganz allgemein: *Durch sukzessives Verdünnen irgendeiner aufgelösten Substanz werden spezifische physikalische Wirkungen — sog. Potenzwirkungen — hervorgerufen, die nur von der Anzahl der Verdünnungen abhängen. Sie sind substanzunabhängig und können nur durch einen der Ausgangssubstanz angehörigen und dem Lösungsmittel aufgeprägten Kraftkomplex entstanden sein. Das Aufprägen geschieht durch den realen Faktor „sukzessives Verdünnen“. Ohne diesen Faktor bleibt die Wirkung aus.*

Literatur.

1. G. B. BONINO, Gazz. chim. ital. 54 (1924); 56 (1926). — 2. PFEIFFER u. KADLEZ, Über die oligodynamische Wirkung verdünnter Kupfersulfatlösungen. Wien. klin. Wschr. 1917, 1221. — 3. E. HEINTZ, Spectre infra-rouge d'acides aminés et de polypeptides. C. r. Acad. Sci. Paris 201, 1478 (1935). — 4. E. HEINTZ, Contribution à l'étude du spectre infra-rouge des Protides. Arch. Physique biol. 14, Nr 3, 131—232 (1937). — 5. E. HEINTZ, Sur l'absorption du Nitrate de Cuivre dans le proche infra-rouge et sur les conditions de validité de la loi de Beer appliquée à ce corps. Bull. Soc. chim. France Nov. 1939. — 6. HERZBERG, Sitzgsber. mikrobiol. Ges. Berlin 1923, 101. — 7. H. JUNKER, Über die Wirkung extrem verdünnter Substanzen auf Paramaecien. Biol. Zbl. 45, 26 (1925). — 8. H. JUNKER, Die Wirkung extremer Potenzverdünnungen auf Organismen. Pflügers Arch. 219, 647 (1928). — 9. H. JUNKER u. M. WIEBEN, Weitere Ergebnisse über

die Wirkung extremer Potenzverdünnungen auf Organismen. Versuche mit Pilzen. 1. Teil. Die Vermehrung von Hefen. *Planta* (Berl.) 6, 363 (1928). — 10. H. JUNKER u. M. WIEBEN, Weitere Ergebnisse über die Wirkung extremer Potenzverdünnungen auf Organismen. 2. Teil. Versuche mit Pilzen. Die Mycelbildung von Soor. *Planta* (Berl.) 6, 473 (1928). — 11. K. KOENIG, Über die Wirkung extrem verdünnter („homöopathischer“) Metallsalzlösungen auf Entwicklung und Wachstum von Kaulquappen. *Z. exper. Med.* 56, 580 (1927). — 12. K. KOENIG, Sitzgsber. biol. Ges. Wien. *Klin. Wschr.* 1926, 49. — 13. L. KOLISKO, Physiologischer und physikalischer Nachweis der Wirksamkeit kleinster Entitäten. Stuttgart: Der kommende Tag 1923. — 14. L. KOLISKO, Physiologischer Nachweis der Wirksamkeit kleinster Entitäten bei 7 Metallen. Dornach: Philos.-Anthrop. Verlag. — 15. L. KOLISKO, Physiologischer Nachweis der Wirksamkeit kleinster

Entitäten. Stuttgart: Orient-Occident-Verlag 1932. — 16. N. P. KRAWKOW, Über die Grenzen der Empfindlichkeit des lebenden Protoplasmas. *Z. exper. Med.* 34, 279 (1923). — 17. L. LÖHNER u. B. F. MARKOWITS, Zur Kenntnis der oligodynamischen Metallgiftwirkungen auf die lebendige Substanz. *Pflügers Arch.* 195, 417 (1922). — 18. W. LUDWIG, Die Ursachen der extremen Giftwirkung der Schwermetallionen, sowie der Verunreinigung von Wasser und Glas auf *Paramecium aurelia*. *Z. vgl. Physiol.* 6, 663 (1927). — 19. V. NÄGELI, Über oligodynamische Erscheinungen in lebenden Zellen. Neue Denkschriften der allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesamte Naturwissenschaft 32, Abt. 1 (1893). — 20. P. SAXL, Die oligodynamische Wirkung der Metalle und Metallsalze. *Abh. Gesamtgeb. Med.* Wien: Springer 1924. — 21. A. SEYBOLD, Zur Kenntnis der oligodynamischen Erscheinungen. *Biol. Zbl.* 47, 102 (1927).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Wachstumsenergie und Aminosäuren.

Es ist an ausgewachsenen Meerschweinchen, Ratten, Kaninchen und Hunden gezeigt worden¹⁾, daß eine Gruppe der Aminosäuren des Nahrungseiweißes [Glykokoll, 1 (—) Leucin, 1 (—) Tyrosin u. a.) bei längerer täglicher Verfütterung einzelner Glieder in kleinen Dosen (10 mg/100 g Tier) und bei bestimmter Ernährung den sog. Grundumsatz unter Vergrößerung des respiratorischen Quotienten (R.Q.) senkt (etwa 20%), eine andere [Tryptophan, 1 (—) Histidin, 1 (+) Valin usw.] ihn unter Verkleinerung des R.Q. steigert. Beide Effekte heben sich bei passender Dosierung entgegengesetzt wirkender Paare auf (Kompensationsregel).

Am wachsenden Tier (Ratte, Kaninchen) läßt sich bei gleicher Fütterungsweise, die keinen Defekt an den bekannten Vitaminen und an nicht ersetzbaren Aminosäuren aufweist, und bei gleicher Freßmenge der einzelnen Individuen oder Gruppen (isokalorisch insgesamt und in bezug auf Eiweißzufuhr) durch Zusatz derselben kleinen Mengen von grundumsatzsenkenden Aminosäuren (Glykokoll, Leucin) eine Beschleunigung der Gewichtszunahme erzielen, die mit etwa derselben Latenz ihr Maximum erreicht wie die Grundumsatzsenkung am erwachsenen Tier. Während z. B. vier Kontrollratten in 57 Tagen von 66 (4,75) auf 165 (4,6) g wachsen, vermehren vier andere bei Zugabe von 10 mg/100 g Glykokoll täglich zur selben Nahrung in derselben Zeit ihr Gewicht von 69 (3,75) g auf 215 (2,75) g. Diese Wachstumsbeschleunigung wird durch gleichzeitige Verabreichung der in der Grundumsatzwirkung antagonistischen Aminosäuren (10 mg Glykokoll + 2 mg 1 (—) Histidin [oder 10 mg 1 (—) Tryptophan/100 g Tier] völlig aufgehoben [in 57 Tagen je 4 Ratten von 65,5 (3,3) g auf 166,4 (3,6) g gewachsen]. Es stehen bisher 6 grundsätzlich und größenordnungsmäßig übereinstimmende Reihen an Ratten mit etwas verschiedener Grundkost und 3 Reihen an Kaninchen zur Verfügung. Zufütterung einer grundumsatzsteigernden Aminosäure wie Histidin allein in gleicher Menge (10 mg) hat bei einer den Histidinbedarf an sich deckenden Nahrung auf das Wachstum keinen Einfluß.

Da früher bewiesen wurde, daß der Gesamtumsatz des gefütterten Tieres nach Eintritt der Grundumsatzsenkung ceteris paribus unverändert bleibt, die spezifisch-dynamische Wirkung der Nahrung bei auf diese Weise verringertem Basalstoffwechsel also größer ist, wird angenommen, daß ein Teil dieser Energiespanne unter besserer energetischer Ausnutzung der Nahrung — nicht durch bessere Resorption — als Aufbauenergie im Wachstum verwendet werden kann, unbeschadet der Tatsache, daß im allgemeinen das Wachstum nicht in einfacher Weise eine Funktion der Energiezufuhr ist.

Es dürfte sich lohnen, der Frage nachzugehen, ob aus dieser entdeckten Verbesserung der Wachstumsökonomie sich in der landwirtschaftlichen Tieraufzucht Nutzen ziehen läßt. Über das Wachstumsgut liegen noch keine Analysen vor. Es bleibt zu beachten, daß erwachsene Tiere mit einem

auf die angegebene Weise gesenkten oder erhöhten Grundumsatz im Hunger bis zu einem Vielfachen an Harnstickstoff mehr ausscheiden als Kontrollen oder Tiere mit einem durch die beschriebene Aminosäurekompensation unveränderten basalen Kraftwechsel²⁾, während der verwendete Aminosäurezusatz das Stickstoffgleichgewicht des gefütterten Tieres nicht beeinflusst. Dieser schnellere Eiweißabbau im Hunger ist zum mindesten in der Hauptsache nicht auf einen veränderten Glykogen- und Fettbestand zu Beginn des Hungers zurückzuführen.

Erscheint ausführlich in Hoppe-Seylers Z.

Heidelberg, Medizinische Universitäts-Poliklinik, den 17. November 1941. CURT OEHME.

¹⁾ OEHME, *Biochem. Z.* 302, 12 (1939) — *Klin. Wschr.* 1940, 609 — *Sitzgsber. Heidelberg. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl.* 1940, 7. Abh.

²⁾ KRABBEHOFT u. OEHME, *Z. exper. Med.* 1941 (i. Druck).

Bemerkung zum Corpus allatum von *Drosophila*.

An dieser Stelle hat THOMSEN¹⁾ vor kurzem über das Corpus allatum bei *Calliphora* und *Musca* berichtet. Es entwickelt sich hier aus einer „Imaginalscheibe“ in der pupalen Ringdrüse und beginnt daher spät seine Funktion. Da Autorin mir liebenswürdigerweise schon vor Veröffentlichung ihrer Ergebnisse diese schriftlich mitteilte, habe ich inzwischen die Beziehungen zwischen dem C. all. und der Ringdrüse bei *Drosophila* untersucht. Hier liegen die Verhältnisse anders. Wie an anderer Stelle gezeigt werden wird²⁾, entwickelt sich hier das C. all. nicht aus imaginalen Zellen, sondern das C. all. ist der persistierende, erstmalig von SCHARRER und HADORN³⁾ beschriebene „zentrale Teil“ der larvalen Ringdrüse.

Ergänzend sei zu diesem Befund folgendes hinzugefügt: Die Zellen des „zentralen“ Ringdrüsenteiles bzw. des C. all. besitzen schon auf dem Larvenstadium typischen Drüsencharakter (s. auch SCHARRER und HADORN). Ferner sind zumindest schon im letzten Larvenstadium und während des ganzen Puppenstadiums deutliche Vakuolen in ihrem Cytoplasma vorhanden. Als Beleg mögen Fig. 1—4 dienen. In Fig. 1 und 2 (Ringdrüse des letzten Larvenstadiums) und Fig. 3 und 4 (Ringdrüse einer 24- bzw. 72stündigen Puppe) ist bei V das Vorhandensein von Vakuolen im Cytoplasma der Zellen des „zentralen“ Ringdrüsenteiles zu erkennen.

Dieses macht wahrscheinlich, daß das C. all. von *Drosophila* schon sowohl während des ganzen Puppenstadiums als auch zumindest während des letzten Larvenstadiums eine innersekretorische Funktion ausübt.

Auf Grund experimenteller Ergebnisse wurde schon früher von mir⁴⁾ auf eine Produktion gonadotropen Hormons durch die larvale Ringdrüse geschlossen. Auch die Tatsache der Förderung der Dotterbildung in interspezifisch verpflanzten Eierstöcken durch Implantation larvaler Ring-

drüsen in *Imagines*⁵⁾ sprach dafür. Seit der Feststellung der Identität des „zentralen“ Ringdrüsenteil mit dem Corpus allatum von THOMSEN ist an die Möglichkeit zu denken, daß lediglich der „zentrale“ Ringdrüsenteil für die Produktion des Dotterbildungshormones verantwortlich ist. Jedenfalls spricht auch seine histologische Struktur während des letzten Larvenstadiums nicht dagegen.

Im übrigen weist der offenbar schon bei den *Musciden* bestehende zeitliche Unterschied im Funktionsbeginn des C. all. auf eine Möglichkeit hin, die vielen im Schrifttum bestehenden Widersprüche in bezug auf die Bedeutung des C. all. für die Eireifung zu klären. Es könnten die großen

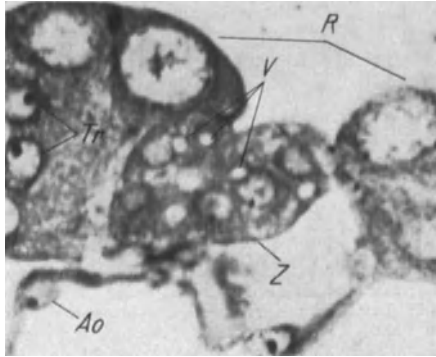


Fig. 1. Querschnitt durch eine Ringdrüse des letzten Larvenstadiums bei *Drosophila melanogaster*. Ao Aorta, R große Ringdrüsenzellen, Tr Tracheenkerne, V Vakuolen, z „zentraler“ Ringdrüsenteil. Etwa 730mal.

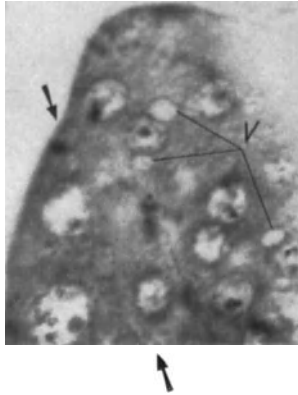


Fig. 2. Medianer Sagittalschnitt durch eine Ringdrüse des letzten Larvenstadiums bei *Drosophila funebris*. Rechts von Pfeilen „zentraler“ Ringdrüsenteil. V Vakuolen. Man achte gleichzeitig auf den Chromatinreichtum der Kerne des „zentralen“ Teiles, der für Drüsenkerne bei *Drosophila* typisch ist. Etwa 730mal.

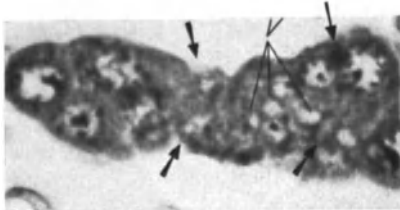


Fig. 3. Querschnitt durch die Ringdrüse einer 24stündigen Puppe von *Drosophila melanogaster*. Innerhalb von Pfeilen „zentraler“ Ringdrüsenteil (Corpus allatum von THOMSEN), V Vakuolen. Etwa 730mal.

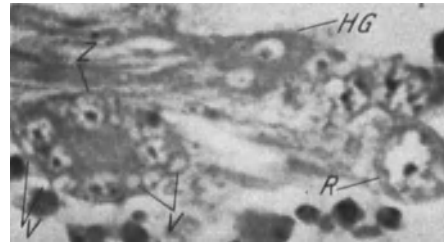


Fig. 4. Ringdrüsenausschnitt einer 72stündigen Puppe von *Drosophila melanogaster*. H.G. Hypocerebralganglion, R große Ringdrüsenzelle, V Vakuolen, z „zentraler“ Ringdrüsenteil. Etwa 730mal.

Unterschiede im Beginn der Eireifung bei verschiedenen Insektengruppen durch ein ungleiches Einsetzen der innersekretorischen Tätigkeit des C. all. mitbedingt sein und daher in gewissen experimentellen Ergebnissen der operative Eingriff zu spät erfolgt sein.

Neustadt (Schwarzwald), Institut der Deutschen Hirnforschungsgesellschaft, den 3. November 1941.

MARGUERITE VOGT.

- 1) ELLEN THOMSEN, Naturwiss. 29 (1941).
- 2) MARGUERITE VOGT, Roux' Arch. (im Druck).
- 3) B. SCHARRER and E. HADORN, Proc. nat. Acad. Sci. U. S. A. 24 (1938).
- 4) MARGUERITE VOGT, Roux' Arch. 140 (1940).
- 5) MARGUERITE VOGT, Naturwiss. 29 (1941).

Über den Einfluß von Ultraschall auf die Geschwindigkeit von Anlaufreaktionen von Kupfer.

Es ist zu erwarten, daß die Geschwindigkeit des Anlaufvorganges von Metallen durch die Einwirkung von Ultraschall eine Veränderung erfährt. Durch die Schwingungen des Metallstabes und die dabei bestimmt auftretenden Unterschiede im Schwingungszustande zwischen Stab und Reaktionsschicht können Risse und möglicherweise auch Dehnungen in der Schicht erwartet werden, wodurch neue Metalloberflächen freigelegt werden bzw. der Materietransport erleichtert werden könnte.

Zur Untersuchung der Reaktionsverhältnisse bei Beschallung wurden vorläufig Versuche mit einem gut polierten Kupferstab gemacht, welcher mittels eines piezoelektrisch schwingenden Quarzkristalles mit der Eigenfrequenz von 360 Kilohertz in Schwingung versetzt werden konnte. Der Anlaufprozeß wurde mit J_2 bzw. H_2S durchgeführt. Die Gase wurden in ausprobiertem Konzentration und genau angepaßter und konstant gehaltener Geschwindigkeit gegen eine zur Beobachtung geeignet eingestellte, planpolierte Stelle des Stabes geblasen. Die Temperatur wurde während des Versuches mit Hilfe einer entsprechenden Anordnung konstant gehalten.

Tabelle 1. Anlauf in J_2 -Luftmischung.

Schichtdicke in äquivalenter Luftschicht (μl)	Mit Ultraschall	Ohne Ultraschall
	gebildet in der Zeit (Sekunden)	
371	145	155
462	165	185
476	170	195
514	180	220
619	210	270
770	255	340
795	265	355
850	280	390
866	320	420
1078	355	495
1113	365	515
1200	395	560

Strömungsgeschwindigkeit 0,58 l/min. Temperatur 21°.

Tabelle 2. Anlauf in H₂S-Luftmischung.

Schichtdicke in äquivalenter Luftschicht (m μ)	Mit Ultraschall	Ohne Ultraschall
	gebildet in der Zeit (Sekunden)	
371	145	145
462	175	185
476	185	195
514	225	250
619	285	315
770	350	395
795	360	410
850	405	475

Strömungsgeschwindigkeit 0,58 l/min. Temperatur 18,5°.

Die Tabellen geben die Versuchsergebnisse wieder. Die Anlaufschicht wurde nach dem Vorschlage TAMMANN¹⁾ in äquivalenten Luftschichtdicken gemessen, da der Brechungsindex der Anlaufschicht nicht mit Sicherheit angegeben werden kann [vgl. auch ROLLET²⁾].

Um möglichst viele Schichtdickenwerte zu erhalten, wurden die Ablesungen mit einer Reihe verschiedener Licht-

filter gemacht. Ein Nachteil dieser Methode war jedoch eine dabei auftretende Aufteilung des Gesamtvorganges in periodisch wiederkehrende Parabeln etwa entsprechend den verschiedenen Ordnungsgraden der beobachteten Spektralfarben. Dies hängt mit mangelnder Monochromatisierung der angewendeten Filter zusammen. Die Tabellen zeigen deutlich das Auftreten des erwarteten Effektes. Offensichtlich wächst die Anlaufgeschwindigkeit durch Beschallung beachtlich. In einer folgenden Mitteilung soll eine ausführliche Beschreibung und Besprechung der Kurventypen und der Reaktionskinetik gebracht werden.

Möglicherweise führt das Ergebnis dieser Untersuchung zu einer Methode zur Beurteilung der Sprödigkeit und der Haftfestigkeit von Metallbelägen. Die Versuche werden an anderen Metallen und Gasen sowie bei verschiedenen Frequenzen des angewendeten Ultraschalles fortgesetzt.

Göteborg (Schweden), Chalmers Technische Hochschule, Institut für Chemische Technologie, den 6. November 1941.
J. ARVID HEDVALL. OLOF JÖNSSON.

¹⁾ G. TAMMANN, Z. anorg. u. allg. Chem. 111, 78 (1920).

²⁾ A. ROLLET, Sitzsber. Akad. Wiss. Wien, Math., naturwiss. Kl. 77, 229 (1878).

Besprechungen.

NEUBERG, ARTHUR, **Das Weltbild der Biologie.**

In seinen Grundzügen und Hauptergebnissen betrachtet. 2. Aufl. (Das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart. 2. Teil.) Göttingen: Vandenhoeck u. Ruprecht 1941. 167 S. Preis brosch. RM 4.80 (I. und II. Teil zusammen bezogen RM 8.40).

In der heutigen Zeit, die der Naturwissenschaft einen so großen Platz in ihrem Gefüge darbietet, besteht ein großes Bedürfnis nach Büchern, die allgemeinverständlich sind und einen Einblick in deren Ergebnisse und Probleme liefern. Verf. versucht es, sich diesem Ziel zu nähern in 2 Büchern, die das naturwissenschaftliche Weltbild der Gegenwart zum Thema haben. In dem hier vorliegenden 2. Band wird mit einem etwas anspruchsvollen Titel das „Weltbild“ der Biologie behandelt. In einigen kurzen Kapiteln werden Grundfragen der Biologie, Zelle und Keim, Vererbungslehre dargestellt. Etwas längere Abschnitte gelten der Stammesgeschichte und der Menschheitsentwicklung. Nach kurzen Bemerkungen über 3 Grenzgebiete der Biologie (Rassenkunde, Seelenkunde, Prähistorie) folgen Zusammenfassung und Übersicht. Das Schriftenverzeichnis zeugt von der Belesenheit des Verf., es beweist aber auch den fühlbaren Mangel guter allgemeinverständlicher Darstellungen der modernen biologischen Einzelprobleme. In der Auswahl der Literatur wäre etwas mehr Kritik erwünscht gewesen. Was die Schlußsätze betrifft, so ist es dem Ref. nicht möglich zu beurteilen, ob die alttestamentarische Schöpfungsgeschichte nordischen oder zumindest vorsemitischen Ursprungs und dadurch deutschgemäß sei. Einige Übereinstimmungen zwischen dem in der Bibel Gesagten und den naturwissenschaftlich geltenden Gesetzen scheinen etwas zu gewollt, wie z. B. auch der Satz: „Allmähliche Selbstreform, moralische Hebung durch günstige Umwelt und helfende Erziehung — das ist Lamarckismus. Radikaler Umbruch aber und Neuwerden in Gottes Gnade — das ist Mutation, ein prinzipielles Anderswerden aus verborgenen Quellen.“ Es ist wertvoll, wenn Angehörige eines Wissensfaches versuchen, sich über andere Wissenschaftsgebiete einen Überblick zu verschaffen. Einer Randbemerkung des Verf., daß man sehr vorsichtig sein sollte, wenn man solche Bemühungen schriftstellerisch umsetzt, kann man nur zustimmen. Es ist interessant, zu beobachten, wie ein Theologe

die Ergebnisse der Naturwissenschaften in sein Weltbild einordnet, es werden sich aber sowohl Theologen wie Naturwissenschaftler kritisch dazu äußern müssen.

OTTO SCHARTAU, Berlin-Dahlem.

Diesterwegs Populäre Himmelskunde und mathematische Geographie. Neu herausgegeben von Prof. Dr. ARNOLD SCHWASSMANN. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler Kom.-Ges. 1941. VIII, 640 S. 1 Titelbild, 180 Textfiguren und 45 Tafeln sowie 6 Sternkarten. 16 cm \times 24 cm. Preis geb. RM 18.—.

Hundert Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage von DIESTERWEG'S Populärer Himmelskunde liegt nunmehr die 26. Auflage dieses in seiner erreichten methodischen Darstellung des Stoffes mit Recht als klassisch zu bezeichnenden Werkes vor. Die Herausgabe des neuen „Diesterweg“ wurde von dem Hamburger Astronomen A. SCHWASSMANN besorgt. Da auch seit der vorhergehenden 25. Auflage über 1 $\frac{1}{2}$ Jahrzehnte verstrichen sind, war eine Erweiterung und Neugestaltung weitaus der meisten Kapitel des Buches unter möglichst weitgehender Anpassung an die vorbildlich klare DIESTERWEG'SCHE Darstellungsweise erforderlich. Die Durchführung dieser mühevollen und gewiß nicht sehr dankbaren Arbeit ist dem Herausgeber ausgezeichnet gelungen.

Die von DIESTERWEG seinem Buch als Vorrede beigegebenen begeisternden Worte und Betrachtungen über den ethischen Wert der Beschäftigung mit der Himmelskunde und über die Methodik des astronomischen Unterrichts sind in Form einer Einleitung übernommen worden. Die ersten 6 Abschnitte über mathematische Geographie und die Zeit und den Kalender, deren meisterhafte Darstellungsweise mit in erster Linie zu dem großen Erfolg des Werkes beigetragen hatte, wurden unter nur geringfügigen Änderungen beibehalten. Es folgt dann ein Abschnitt über die Grundlagen der Erforschung der physischen Verhältnisse der Himmelskörper, der vom Herausgeber gänzlich neu abgefaßt wurde und eine gewiß jedem Leser sehr willkommene wertvolle Bereicherung des Buches darstellt. Im 8. Kapitel werden die Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Physik der Sonne, der Planeten und der übrigen Körper des Sonnensystems wiedergegeben, und im 9. folgt dann eine Beschreibung der

Messungs- und Beobachtungsmethoden zur Entfernungsbestimmung. Das 10. Kapitel enthält auf fast 100 Seiten eine gedrängte Darstellung der Ergebnisse der Erforschung der Fixsternwelt, der sich im 11. Kapitel eine Betrachtung der Theorien des inneren Aufbaus und der Entwicklung der Sterne sowie des Werdens der Weltsysteme anschließt. Im vorletzten Abschnitt ist eine kurze Übersicht über die Geschichte der Astronomie gegeben, wobei besonders die aus DIESTERWEGS Feder stammende Schlußbetrachtung hervorzuheben ist, deren Lektüre jedem Zweifler an dem Sinn oder „Zweck“ der „nur wissenschaftlichen“ astronomischen Forschung wärmstens empfohlen werden kann. In einem schönen, instruktiven Schlußabschnitt endlich wird dem Leser am Beispiel der Hamburger Sternwarte die Einrichtung einer neuzeitlichen astronomischen Forschungsstätte vor Augen geführt. Schließlich ist noch in einem Anhang eine für ein allgemeinverständliches Werk sehr reichhaltige Sammlung astronomischer Tafeln gegeben. Die Abbildungstafeln und Textfiguren sowie die 6 Sternkarten sind drucktechnisch vorzüglich wiedergegeben, wie überhaupt die Ausstattung des Buches eine dem DIESTERWEGSchen Werk entsprechend würdige ist.

Es ist besonders zu begrüßen, daß Herausgeber und Verlag uns dieses Werk eines edlen und von den ethischen und erzieherischen Werten der exakten Naturforschung zutiefst überzeugten und begeisterten Mannes gerade jetzt, in der Zeit unseres schwersten und entscheidendsten Schicksalskampfes, neu beschert haben. Möge das schöne Buch eine weite Verbreitung finden, damit die DIESTERWEGSche Forderung ihrer Verwirklichung näher gebracht werde, daß die Himmelskunde keinem, auch nicht einem Menschen vorenthalten werden soll.

H. LAMBRECHT.

MEYER, KURT H., und H. MARK, **Hochpolymere Chemie**. Ein Lehr- und Handbuch für Chemiker und Biologen. Band II: KURT H. MEYER, Die hochpolymeren Verbindungen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1940, XX, 679 S., mit 180 Fig. und 1 Tafel. 15 cm × 23 cm. Preis brosch. RM 38.80, geb. RM 40.80.

Dem ersten Band [H. MARK, Allgemeine Grundlagen der hochpolymeren Chemie¹⁾] ist der vorliegende zweite, abschließende Band des Gesamtwerkes rasch gefolgt.

Der erste größere Abschnitt behandelt die Untersuchung der Hochpolymeren. Hier wird der Anschluß an den ersten Band hergestellt, indem die Anwendung der dort entwickelten Grundbegriffe zur Untersuchung in Lösung und festem Zustand entwickelt wird. Diesem allgemeinen Teile folgen 7 besondere, in denen die einzelnen Gruppen der Hochpolymeren behandelt werden: Anorganische Hochpolymere, hochpolymere Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate, polymere Äther, Ester, Sulfide usw., Cellulose und ihre Derivate, Begleitstoffe und Verwandte der Cellulose, Stärke und verwandte Kohlehydrate, Eiweißkörper. Den Abschluß bilden wieder 3 Abschnitte allgemeineren Inhalts: Die Eigenschaften in Lösung, Filme, Folien und Membranen, der molekulare Feinbau der pflanzlichen und tierischen Gewebe.

Mit diesen Überschriften ist das außerordentlich weite Gebiet abgesteckt, durch das der Leser geführt wird. Er begegnet Stoffen wie dem Schwefel, Polyphosphornitrilchlorid, Phosphaten und Silicaten; Paraffinen, natürlichem und künstlichem Kautschuk, den zahllosen Kunststoffen, und gelangt über Cellulose und Proteine zu Wolle und Muskel, Fermenten und Viren.

Schon die Behandlung dieses vielseitigen Materials unter einheitlichem Gesichtspunkt ist ein großes Verdienst. Wichtiger ist jedoch, daß die Darstellung in gleicher Weise von der Denkweise der Strukturchemie, physikalischen Chemie und Biochemie durchdrungen ist. Der Gegenstand ist groß gesehen, mit starken Konturen gezeichnet und mit kräftigen Farben dargestellt. Eine bedeutende wissenschaftliche Darstellung gleicht hierin einem Gemälde. Aber sie ist enger an den Stoff gebunden als dieses. Mit anderen Worten: Die Genauigkeit im einzelnen ist nicht minder wichtig als die große Linie. In dieser Hinsicht mögen an Hand weniger Beispiele einige Bemerkungen gestattet sein.

In der Entwicklung der Celluloseformel verdiente hervorgehoben zu werden, daß die von K. H. MEYER und H. MARK ausgesprochene digonale Schraubung eine quantitative Aussage über die Wiederkehr der Cellobiosebindung nur in den Kristalliten der Cellulose erlaubt, nicht aber für die Cellulose im ganzen; daß die Kristallite 90% der gewachsenen Cellulose ausmachen, ist eine Schätzung des Verf., die weit über die üblichen Annahmen hinausgeht. Die von SPONSLER und DORE benutzten Kugelmodelle, die auch W. N. HAWORTH übernommen hat, sollten mit größerer Zurückhaltung verwendet werden; denn sie geben nur die Atomabstände wieder und drücken damit nicht mehr aus als die alten Modelle von KEKULÉ, dagegen geben sie gar zu leicht Anlaß zur irrigen Vorstellung, daß es sich um Raumerfüllungsmodelle handele.

W. N. HAWORTH hat die Struktur der Cellobiose ermittelt; über die Zahl der Cellobiosebindungen hat er keine maßgebenden Aussagen machen können. Diese ergeben sich aus der Menge an Cellobiose und der Kinetik des Abbaus der Cellulose, Cellotetraose, Cellotriose und Cellobiose. Von diesen Arbeiten ist nur eine frühere, nicht aber die maßgebende abschließende, angeführt; deshalb sind auch die Angaben über die Aktivierungswärmen und die sterischen Faktoren des Säureabbaus auf S. 321 überholt. Die strenge Durchführung des Prinzips der Superposition der optischen Drehung, vielleicht der anschaulichste quantitative Beweis, ist nicht erwähnt. Die Polymeranalogie STAUDINGERS verdiente auch bei der kritischen Einstellung des Verf. oder gerade ihretwegen besprochen zu werden.

Die Chemie des Pektins wird nicht so sehr beherrscht durch die von K. H. MEYER und H. MARK 1930 ausgesprochene, zweifellos geistvolle Vermutung, daß Ketten mit 1-4-Verknüpfung vorliegen, sondern durch die von MORELL und LINK u. a., wenn auch später, vorgebrachten chemischen Beweise für die Kettenstruktur, sowie die experimentelle Feststellung von LEVENE und KREIDER, daß die Galacturonsäureglieder die erwähnten Haftstellen haben. Diese Beweise, die vom Verf. natürlich angeführt werden, verdienen unbedingt den Vorrang in der Darstellung.

An den wenigen Beispielen sollte gezeigt werden, daß die genauere Beachtung von Einzelheiten und gewissen Imponderabilien, deren Bedeutung sehr hoch eingeschätzt werden muß, die Wirkung des gesamten Werkes erhöhen würde. Anders als in einer Einzelschrift verlangt der große Zuschnitt und die nochmals hervorzuhebende Bedeutung dieses Werkes die liebevolle Betreuung des gesamten Stoffes, wenn es, was der letzte Zweck sein soll, alle Beteiligten zur freudigen Weiterarbeit anspornen soll.

KARL FREUDENBERG.

¹⁾ Naturwiss. 28, 579 (1940).

Viktor Schumann.

Zum 100. Geburtstage des Begründers der Vakuumspektroskopie.

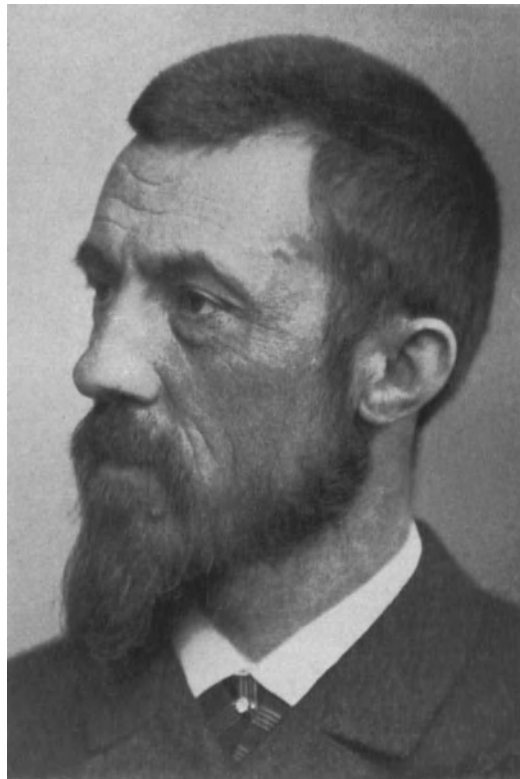
Von HANS BOMKE, Berlin-Charlottenburg.

Am 21. Dezember 1841 wurde VIKTOR SCHUMANN in Markranstädt bei Leipzig als Sohn eines praktischen Arztes geboren. Die heutige Spektroskopie ehrt an diesem Tage das Andenken des Begründers der Vakuumspektroskopie, dessen bahnbrechende wissenschaftliche Leistungen in aller Welt bekannt sind. Die deutsche Wissenschaft verehrt darüber hinaus in VIKTOR SCHUMANN den großen und selbstlosen Idealisten, der durch sein Leben bewies, daß wissenschaftliche Erkenntnis und Forschung ihm höher standen als Gesundheit und materielles Glück. Denn das ist das Wesentliche und Bemerkenswerte an SCHUMANN'S Leistungen, daß er, aus dem mit materiellen Gütern wenig bedachten deutschen Bürgerstande stammend und während des Hauptteils seines Lebens in einem nicht-wissenschaftlichen Berufe hart für sein materielles Fortkommen arbeitend, dennoch den Weg zur Wissenschaft fand und hier sogar, als Privatmann und als Außenseiter, ohne wesentliche Hilfe und Unterstützung von seiten der zünftigen Wissenschaft, bahnbrechende Entdeckungen machen konnte, die die Spektroskopie im Gebiet des Vakuumultraviolett begründeten und damit ein auch heute noch nicht abgeschlossenes großes neues Forschungsgebiet erschlossen.

Schon als Schüler zeigte SCHUMANN ein außer-gewöhnliches Interesse für alle technischen Dinge. So war es ganz den Neigungen SCHUMANN'S entsprechend, daß er, nach Abschluß seiner Schulzeit auf der Leipziger Realschule, zunächst als Volontär in eine Rothenburger Maschinenfabrik eintrat, um dort die praktischen Voraussetzungen für die ihm vorschwebende Ingenieurslaufbahn zu erwerben. Diese gründliche praktische Ausbildung

sollte sich dann später auch für die wissenschaftlichen Arbeiten SCHUMANN'S von größtem Nutzen erweisen. Nach Abschluß der praktischen Lehrzeit bildete sich SCHUMANN dann in den Jahren von 1860 bis 1864 auf der höheren Gewerbeschule in Chemnitz gründlich als Ingenieur aus und trat, nach Beendigung der Studien, in eine Chemnitzer Maschinenfabrik ein. Schon als junger Anfänger

beschreitet SCHUMANN bei seinen Konstruktionen eigene und für den damaligen Maschinenbau neuartige Wege. So kehrt er bald wieder nach Leipzig zurück, wo er sich eine eigene kleine Werkstatt herrichtet und für die damals in Leipzig aufblühende Buchindustrie neue Maschinentypen entwickelt. Bald entsteht so aus kleinen Anfängen eine gemeinsam mit einem Partner begründete Maschinenfabrik, deren technische Leitung SCHUMANN bis zum Jahre 1872 innehat. In diesem Jahre wird SCHUMANN Partner der angesehenen Maschinenfabrik der Gebrüder Hogenforst und leitet dieses Unternehmen bis zum Jahre 1893. In harter und verantwortungsvoller Arbeit legt SCHUMANN in diesen Jahren den Grundstock eines bescheidenen Vermögens, welches ihm in späterer Zeit ermöglichen soll, sich ganz seinen privaten wissen-



VIKTOR SCHUMANN im Alter von 52 Jahren.

schaftlichen Interessen zuzuwenden. Zunächst jedoch verlangt die Tätigkeit als technischer Leiter der Fabrik noch die ganze Arbeitskraft des jungen Ingenieurs, dessen Name in der Leipziger Maschinenindustrie bereits einen guten Klang hat. Die von SCHUMANN damals konstruierten Buchbindermaschinen zeigen die ausgesprochene Begabung SCHUMANN'S für elegante und dennoch äußerst zweckmäßige Anordnungen. Die von ihm entwickelten Maschinentypen werden für die weitere Entwicklung dieses Gebietes des

Präzisionsmaschinenbaues bahnbrechend und nehmen die heute allgemein üblichen, oft als amerikanisch bezeichneten Methoden der größtmöglichen sachlichen Zweckmäßigkeit und Einfachheit im Maschinenbau vorweg.

Die erste Zuwendung SCHUMANNS zu privaten wissenschaftlichen Arbeiten fällt in das Jahr 1878. Schon während seiner Studienzeit in Chemnitz hatte er sich mit chemischen Versuchen beschäftigt und oft das Geld für die Chemikalien von seinem knappen Monatswechsel absparen müssen. Jetzt, 1878, nahm er in den knappen Stunden seiner Freizeit, die ihm neben der anstrengenden beruflichen Arbeit blieben, seine alte Lieblingsbeschäftigung wieder auf und wandte sich vor allem photographischen Versuchen zu. Diese wissenschaftliche Arbeit, zunächst nur als geistige Entspannung und Ablenkung von den Mühen des Berufes gedacht, wurde ihm bald zu wirklicher Leidenschaft und zum Lebensinhalt. Die photographische Technik befand sich damals in einer raschen Entwicklung. Soeben vollzog sich der Übergang von dem alten nassen Kollodiumverfahren zu dem der wesentlich empfindlicheren trocknen Gelatineplatte. Schon bei Beginn seiner photographischen Untersuchungen gelang SCHUMANN eine Entdeckung, die ihn in den Kreisen der wissenschaftlichen Photographen bekannt machte. Die damals allgemein verwendete Bromsilberplatte wies nur eine ziemlich geringe Lichtempfindlichkeit auf, die zudem für gelbe und rote Strahlen praktisch ungenügend war. SCHUMANN konnte nun durch eingehende Versuche feststellen, daß durch einen mäßigen Jodsilberzusatz sowohl die allgemeine Empfindlichkeit der Platte sehr gesteigert als auch vor allem eine brauchbare Rotempfindlichkeit hervorgerufen werden konnte. SCHUMANNS Ergebnisse fanden bei den damaligen Autoritäten der Photographie jedoch nicht sofort die gebührende Anerkennung, da andere Forscher, wie ABNEY, EDER und VOGEL, bei Jodzusatz statt dessen sogar eine Verringerung der Plattenempfindlichkeit erhalten hatten. Längere Zeit arbeitete SCHUMANN unbeirrt an der Aufklärung dieses Widerspruches. 1883 kann er dann zeigen, daß je nach der besonderen Art der Herstellung der Jod-Bromsilberplatten ein völlig verschiedenes Verhalten der Platten erzielt werden kann. SCHUMANN hatte bei seinen ersten Versuchen, nach denen er über die Empfindlichkeitssteigerung seiner Jod-Bromsilberplatten berichtete, das Jodsilber und das Bromsilber zugleich in Wasser aufgelöst und aus der gemeinsamen Lösung die Gelatineemulsion hergestellt. ABNEY, EDER, VOGEL und andere Forscher, die SCHUMANNS Ergebnisse nicht hatten reproduzieren können, hatten bei ihren Versuchen eine Bromsilberemulsion und eine Jodsilberemulsion getrennt hergestellt und erst nachträglich die beiden Emulsionen zusammengeworfen. Erst durch die mehrjährige Arbeit SCHUMANNS konnte so der Widerspruch aufgeklärt und der grundsätzliche Unterschied der „gemischten“ und der „ungemischten“

Methode der Plattenherstellung klar herausgestellt werden. Einen weiteren bedeutenden Erfolg erzielte SCHUMANN bald danach auch in der Herstellung farbempfindlicher Platten. Schon etwa zehn Jahre vorher hatte VOGEL gefunden, daß photographische Platten durch den Zusatz von geeigneten Farbstoffen sensibilisiert werden können, jedoch machte die Übertragung des ursprünglich nur bei der nassen Kollodiumplatte angewendeten Verfahrens auf die Gelatineplatte zunächst große Schwierigkeiten. Wie SCHUMANN 1885 fand, kommt es hier ähnlich wie bei den Jod-Bromsilberplatten sehr auf die Art und Weise an, in der die Platten mit dem Farbstoff sensibilisiert werden. Man kann nämlich den Farbstoff bereits bei der Plattenherstellung der Emulsion zufügen oder aber auch erst die fertigen Platten in der Farbstofflösung baden. Im letzteren Falle ist, wie SCHUMANN feststellte, die Farbempfindlichkeit der Platte sehr viel größer. Einen ganz unerwarteten Erfolg erzielte SCHUMANN ferner bei der Anwendung von Cyanin als Sensibilisator, indem die so sensibilisierten Platten bis weit in den roten Spektralbereich hinein eine sehr hohe Empfindlichkeit zeigten. Die photographischen Arbeiten aus jenen Jahren hatte SCHUMANN in der Zeitschrift des Vereins der Berliner Photographen veröffentlicht und sich dadurch bereits damals in Photographenkreisen des In- und Auslandes einen Namen geschaffen. Der Berliner Verein, der SCHUMANN bereits 1882 zu seinem Ehrenmitglied ernannt hatte, überreichte ihm im Jahre 1885 für seine Verdienste auf den Gebieten der spektralen und ortho-chromatischen Photographie eine besondere Ehrenadresse. Durch die Beschäftigung mit der Farbenempfindlichkeit der photographischen Platte wurde SCHUMANN allmählich mehr und mehr auf das Gebiet der eigentlichen Spektroskopie geführt. Ein kleiner handelsüblicher Spektralapparat, den SCHUMANN zur Untersuchung der Spektralempfindlichkeit der farbempfindlichen Platten benutzt hatte, genügte jetzt seinen erweiterten Ansprüchen bald nicht mehr. An einem größeren, ihm von STEINHEIL angefertigten Apparat störte ihn vor allem der Umstand, daß in den Glasprismen die violetten Strahlen merklich stärker absorbiert wurden als die gelben und roten. Um diese Absorption, durch die das ursprüngliche Spektrum naturgemäß verfälscht werden mußte, nach Möglichkeit auszuschalten, ersetzte SCHUMANN die Glasoptik durch Quarzlinen und Kalkspatprismen, da jene Substanzen, wie bereits damals bekannt war, auch im Violetten kaum absorbieren. Hiermit begannen SCHUMANNS berühmte Arbeiten auf dem Gebiet der Spektroskopie der kurzwelligen Lichtstrahlung, durch die sein Name als Begründer eines neuen und wichtigen Forschungszweiges der Spektroskopie in die Geschichte der Physik eingehen sollte. Um die bahnbrechende Bedeutung dieser Leistungen SCHUMANNS ganz zu würdigen, ist es notwendig, den Stand der Forschung auf diesem Gebiete zur Zeit des Beginns der SCHU-

MANNschen Untersuchungen zu vergegenwärtigen. Das sichtbare optische Spektrum, das nur den Bereich einer knappen Oktave umfaßt, erstreckt sich bekanntlich von etwa 7600 Å bis etwa 3900 Å. Um das Jahr 1800 waren dazu das von W. HERSCHEL entdeckte ultrarote sowie das von H. RITTER aufgefundene ultraviolette Spektralgebiet gekommen. Unter Verwendung der fluoreszierenden Uranylglasplatte einerseits, der photographischen Platte andererseits hatten dann Forscher wie WOLLASTON und BEQUEREL das ultraviolette Spektrum bis zu einer Wellenlänge von etwa 3400 Å verfolgen können. 1852 hatte STOKES erkannt, daß das Aufhören des ultravioletten Spektrums bei 3400 Å durch die bei dieser Wellenlänge einsetzende starke Absorption der für optische Instrumente gewöhnlich benutzten Glassorten bedingt ist. Indem STOKES Linsen und Prismen aus isländischem Kalkspat oder aus natürlichem Quarz verwendete, konnte er das Sonnenspektrum bis zu einer Wellenlänge von 3000 Å herab verfolgen. Wie wir heute wissen, ist diese Begrenzung des kurzwelligen Sonnenspektrum eine Folge des Ozongehaltes der höheren Atmosphärenschichten. In der Tat konnte auch STOKES mit seinem Quarzspektrographen, als er einen zwischen Aluminiumelektroden erzeugten elektrischen Funken als Lichtquelle benutzte, sogleich ein noch weit kurzwelligeres Spektrum erhalten, dessen kürzeste Linie bei 1850 Å lag. Jedoch gelang es in den auf die STOKESSchen Untersuchungen folgenden Jahrzehnten trotz aller darauf verwandten Mühe nicht, zu noch kürzeren Wellen vorzudringen. Dagegen hatte um 1880 CORNU wichtige Untersuchungen über die kurzwellige Grenze des Sonnenspektrums angestellt. Die von CORNU ausgearbeitete Untersuchungsmethode benutzte den Umstand, daß je nach der Höhenlage des Beobachtungsortes und je nach dem Zenitabstande der Sonne eine Atmosphärenschicht von sehr verschiedener Dicke von dem Sonnenlicht durchstrahlt wird. Wenn daher die kurzwellige Begrenzung des Sonnenspektrums durch eine Absorption in der Erdatmosphäre hervorgerufen wird, so sollte man je nach der Dicke der durchstrahlten Luftschicht eine etwas verschiedene kurzwellige Grenze des Sonnenspektrums erwarten, wie sie in der Tat auch von CORNU bei seinen Untersuchungen gefunden wurde. Unter Zugrundelegung einer plausiblen Annahme über die Dichteverteilung in der Erdatmosphäre hatte CORNU aus seinen Versuchen geschlossen, daß eine Luftschicht von 10 m Länge bei Atmosphärendruck bis zu einer Wellenlänge von 2118 Å noch durchlässig sein müßte, eine Schicht von 1 m Dicke bis 1842 Å, eine solche von 10 cm Dicke sogar noch bis 1566 Å. Tatsächlich ist dies jedoch keineswegs der Fall, wie man vor Beginn der Arbeiten SCHUMANNs bereits festgestellt hatte. Auch SCHUMANN kam auf Grund zahlreicher Versuche ebenfalls bald zu der Auffassung, daß die Absorption der kurzwelligen Strahlen in der Luft mindestens ein sehr maß-

geblicher Faktor für das Abbrechen des Spektrums bei kurzen Wellen sein müsse. In der Erkenntnis, daß ein möglichst geringer Abstand zwischen Lichtquelle und photographischer Platte wesentlich sei, benutzte SCHUMANN für seinen Quarzspektrographen Linsen von nur 15 cm Brennweite. Die Lichtquelle, ein Aluminiumfunke, befand sich unmittelbar vor dem Spektrographenspalt, der zur Vermeidung des bei den Untersuchungen außerordentlich störenden diffusen Streulichtes längerer Wellen nur eine Höhe von 0,2 mm aufwies. Nach mühevollen Versuchen konnte SCHUMANN mit dieser Apparatur im Jahre 1890 Aluminiumlinien bis zu einer kürzesten Wellenlänge von 1820 Å herunter aufnehmen und so als erster Forscher die bereits 1852 von STOKES erreichte Grenze von 1850 Å unterschreiten. Aus dem Umstand, daß entgegen den Schlüssen von CORNU der Gewinn an kurzwelliger Strahlung bei Verringerung der Luftschichtdicke aber nur geringfügig war, folgerte SCHUMANN nun, daß außer der Absorption in der Luft noch eine weitere unbekannte Absorption innerhalb des Spektralapparates wirksam sein müsse. Hierauf deutete vor allem auch das allmähliche Verblässen der Linien auf der kurzwelligen Seite des von ihm erhaltenen Spektrums hin. Als überaus glücklich erwies sich jetzt der Gedanke SCHUMANNs, daß vielleicht das Material der photographischen Platte selbst die kurzwelligen Strahlen stark absorbieren könne. Versuche mit Gelatinehäutchen von nur etwa $4 \cdot 10^{-6}$ cm. Dicke zeigten ihm dann auch, daß Gelatine in dem Gebiet zwischen 1850 und 1820 Å eine sehr starke Absorption aufweist. Nach dieser „Erkenntnis“ begann SCHUMANN die bahnbrechenden Arbeiten, die schließlich zur Herstellung einer für das extrem kurzwellige Ultraviolett hervorragend geeigneten gelatinearmen Photoplatte führten. Die ersten Versuche, bei denen er eine völlig gelatinefreie Platte verwendete, gaben allerdings noch kein befriedigendes Resultat, da die Bromsilberkörner beim Entwickeln der Platte wieder weggeschwemmt wurden. Dank seiner zähen Energie gelang es SCHUMANN aber bereits 1893, eine sehr gelatinearme Emulsion herzustellen, die bei genügender mechanischer Haftfähigkeit der Bromsilberkörner auf der Glasunterlage und bei guten allgemeinen photographischen Eigenschaften den geforderten hohen Grad von Durchlässigkeit für die extrem kurzwelligen Strahlen besaß. Einige auch dieser Platte zunächst noch anhaftende kleinere Mängel konnte SCHUMANN im Jahre 1901 noch selbst beheben. Bis auf den heutigen Tag ist diese nach den Originalvorschriften SCHUMANNs hergestellte neuartige Photoplatte, die zu Ehren ihres Erfinders allgemein als Schumann-Platte bezeichnet wird, das wichtigste und empfindlichste Hilfsmittel für die Spektroskopie im extrem kurzwelligen Gebiet des optischen Spektrums geblieben. Darüber hinaus ist die Schumann-Platte heute auch für die Massenspektrographie und für die Untersuchung langsamer Elektronen- und Ionen-

strahlen ein wichtiges Hilfsmittel geworden. Bereits die ersten im Jahre 1893 von SCHUMANN mit der neuen Platte unternommenen Versuche zeigten ihm, was er schon früher vermutet hatte, daß die nunmehr vermiedene Absorption des kurzwelligen Lichtes in der Bindegelatine der Platte nicht der alleinige Grund für die Schwierigkeiten beim Vordringen zu kürzeren Wellenlängen war. SCHUMANN ersetzte daher jetzt die Quarzprismen und Linsen seiner Apparatur durch eine entsprechende Optik aus Flußspat, nachdem er gefunden hatte, daß dieses Material im Gebiet von 1850 \AA nur eine geringe Absorption aufweist, während Quarz bei dieser Wellenlänge schon sehr merklich absorbiert. Außerdem kam er jetzt zu dem kühnen Schluß, daß entgegen den schon erwähnten CORNUSchen Überlegungen die atmosphärische Luft auch bei geringsten Schichtdicken für Licht von etwa 1820 \AA Wellenlänge völlig undurchlässig sein müsse. Die gesamte optische Apparatur mußte man demnach in ein evakuiertes Gefäß einbauen, wenn man in das Wellenlängengebiet unterhalb von 1820 \AA eindringen wollte. Auf Grund dieser Überlegungen entstand so 1893 der erste SCHUMANNsche Flußspatvakuumspektrograph. Wie viele seiner anderen Apparaturen hat SCHUMANN auch diesen ersten Vakuumspektrographen in seiner kleinen Laboratoriumswerkstatt selbst hergestellt, da keine der damaligen optischen Firmen den von ihm hinsichtlich Präzision der Ausführung geforderten Ansprüchen gewachsen war. Bei diesem ersten Apparat befand sich die Lichtquelle noch außerhalb des Vakuumgefäßes, das aus diesem Grunde ein aus einer dünnen Flußspatplatte bestehendes Eintrittsfenster für die Strahlung besaß. Bereits die ersten 1893 mit diesem Apparat erhaltenen Aufnahmen ergaben ein sehr intensives und linienreiches kurzwelliges Spektrum, welches weit über die bisherige Grenze bei 1820 \AA hinausging. In den folgenden Jahren konnte SCHUMANN seinen Vakuumspektrographen in den technischen Einzelheiten noch erheblich verbessern. Die aus dem Jahre 1900 stammende Neukonstruktion ist so sinnvoll durchentwickelt, daß sie gegenüber den heutigen Flußspatvakuumspektrographen nur geringfügige Nachteile aufweist. Bei dieser zweiten Apparatur war auch die als Lichtquelle dienende GEISSLERSche Röhre in das Vakuumgefäß verlegt, um auch die letzte Luftabsorption auszuschalten. Die einzelnen Teile des Spektrographen waren durch sinnreiche, für diesen Zweck von SCHUMANN entwickelte konische Schriffe von außen ohne Zerstörung des Vakuums gegeneinander verschiebbar und drehbar, so daß Justierungen unter Vakuum möglich waren. Ein besonderes Problem lag auch in der Herstellung des Spaltes, von dessen Feinheit und Präzision die Schärfe der erhaltenen Spektren abhängig war. Da die im Handel erhältlichen Spalte keineswegs den für die Vakuumspektroskopie notwendigen Präzisionsanforderungen entsprachen, benutzte SCHUMANN Spaltschneiden aus von ihm selbst ge-

härtetem Stahl, die er durch langwieriges und mühevolltes Nachschleifen schließlich so genau und fehlerfrei erhielt, daß er bei manchen Aufnahmen mit Spaltbreiten von nur einem tausendstel Millimeter arbeiten konnte und die dabei erhaltenen Spektrallinien selbst bei 345facher Vergrößerung noch völlig scharfe Ränder aufwiesen. Allerdings hatte die Herstellung dieser Präzisionsspalte, deren Güte erst durch die heutige hochentwickelte Technik übertroffen werden kann, eine Arbeit von über einem Jahr gekostet. Da bei dem verbesserten SCHUMANNschen Apparat auch die Lichtquelle in das Vakuumgefäß eingebaut war und da SCHUMANN auf Grund seiner Versuche zu der Auffassung gekommen war, daß die elektrische Entladung in einer GEISSLERSchen Röhre die geeignetste Lichtquelle für extrem kurzwellige Strahlen sei, mußte SCHUMANN zwecks Aufrechterhaltung der elektrischen Entladung im Geissler-Rohr seine Apparatur mit einem Gas von geeignetem niedrigem Druck füllen. Naturgemäß durfte aber dieses Gas in dem zu untersuchenden kurzwelligen Gebiet keine merkliche Absorption aufweisen. Als besonders geeignet stellte sich hierfür der Wasserstoff heraus, der bei niedrigem Druck nicht nur für die von SCHUMANN untersuchten Strahlungen praktisch völlig durchlässig ist, sondern in der elektrischen Entladung zudem auch ein sehr linienreiches und intensives kurzwelliges Spektrum ergibt, dessen Untersuchung sich daher SCHUMANN in den folgenden Jahren in der Hauptsache zuwandte. Die von ihm gefundenen zahlreichen kurzwelligen Linien des Wasserstoffspektrums gehören, wie man heute weiß, fast alle dem Spektrum des molekularen Wasserstoffs an, dessen restlose Erforschung und Deutung erst in den letzten Jahren gelungen ist. Nur eine sehr intensive Linie, die SCHUMANN an der äußersten kurzwelligen Grenze des von ihm erhaltenen Wasserstoffspektrums beobachtete, gehört dem atomaren Wasserstoff an. Es ist dies die bei 1215 \AA liegende bekannte Resonanzlinie des Wasserstoffatoms, die die erste Linie der Lymanserie darstellt. Außer diesen Untersuchungen am kurzwelligen Wasserstoffspektrum gehen auf SCHUMANN auch die ersten qualitativen Beobachtungen über die Absorptionsspektren anderer einfacher Gase, vor allem Sauerstoff und Stickstoff, zurück. Unter anderem konnte SCHUMANN so nachweisen, daß der kurzwellige Teil der von ihm entdeckten Strahlung bereits von einer Luftschicht von nur $0,1 \text{ mm}$ Dicke bei Atmosphärendruck vollständig absorbiert wird. Ein Nachteil der von SCHUMANN ausgebildeten Flußspatvakuumspektrographen lag allerdings in der Unmöglichkeit, aus der nur bis zu einer Wellenlänge von 1850 \AA herab bekannten Dispersionskurve des Flußspats die Wellenlängen der in dem neuentdeckten Gebiet liegenden Spektrallinien zu bestimmen. SCHUMANN selbst hatte bereits erkannt, daß hierzu eine direkte Wellenlängenbestimmung dieser Linien mit dem Beugungsgitter erforderlich sei und auch bereits mit einem kleinen

Gitter einige vorläufige derartige Versuche unternommen. Genauere Messungen nach dieser zur Wellenlängenmessung im extremen Ultraviolett allein geeigneten Methode auszuführen, blieb allerdings SCHUMANN versagt, da diese Versuche den Neubau eines anderen Vakuumspektrographen erfordert hätten und eine damals beginnende schwere Krankheit die Arbeitsfähigkeit SCHUMANNS schon stark einschränkte. So hatte SCHUMANN auf Grund seiner vorläufigen Wellenlängenbestimmungen die von ihm erreichte kurzwellige Grenze damals noch auf etwa 1000 \AA geschätzt, während er, wie wir seit den Untersuchungen LYMANs wissen, tatsächlich nur bis zu 1215 \AA vordringen konnte. Dennoch war, als gegen 1901 ein fortschreitendes schweres Leiden SCHUMANN zur gänzlichen Einstellung seiner unter großen materiellen Opfern und trotz schwerster Belastung durch Beruf und Krankheit durchgeführten Forschungsarbeit zwang, durch seine Pionierarbeit nicht nur der Zugang in ein bis dahin völlig unbekanntes Gebiet der kurzwelligen Strahlungen zwischen den normalen optischen Spektren und dem Gebiet der Röntgenstrahlen der Forschung eröffnet, sondern auch der kommenden Forschung bereits der Weg gewiesen, auf dem sie zu neuen großen Erfolgen kommen sollte. Ist so VIKTOR SCHUMANNs wissenschaftliche Lebensarbeit eine Großtat, die den Vergleich mit anderen grundlegenden Pionierarbeiten und Ersterschließungen großer neuer Forschungsgebiete nicht zu scheuen hat, so erscheint sein Verdienst noch um so ruhmvoller, als diese Forschungsarbeit in selbstlosester Weise unter den größten persönlichen Opfern und oft auch Entbehrungen geleistet wurde. Bis zum Jahre 1893 war ja SCHUMANN als technischer Leiter einer Maschinenfabrik in seiner Arbeitskraft voll beansprucht, so daß er die wichtigen und entscheidenden Forschungsarbeiten, die in jene Jahre fallen, nur in der knappen Freizeit, die ihm neben seiner beruflichen Tätigkeit blieb, ausführen konnte. Oft war da zum Experimentieren nur die kurze Mittagspause sowie die späte Nacht verfügbar. Urlaub und Erholung gab es in diesen Jahren für den unermüdlichen Forscher nicht. SCHUMANNs Gesundheit, die schon früher nicht die beste gewesen war, begann bei dieser während vieler Jahre bis aufs äußerste getriebenen Beanspruchung des Körpers und der Nerven zu leiden. Bereits 1879 hatte sich bei ihm als Folge der anhaltenden Überarbeitung und der Tätigkeit in der Dunkelkammer ein Nachlassen der Sehkraft der Augen gezeigt, das ihn zu einer halbjährigen Unterbrechung der Forschungen zwang. Später kam dieses Leiden in verstärktem Maße wieder, so daß SCHUMANN Ende der neunziger Jahre auf dem einen Auge fast gänzlich erblindet war und auch das andere Auge nur noch einen Teil der normalen Sehkraft aufwies. Hinzu kam ein schweres Nervenleiden, das den Forscher dann um die Jahrhundertwende schließlich ganz zur Aufgabe der Forschungstätigkeit zwang, nachdem er sich schon 1893 von

der beruflichen Tätigkeit zurückgezogen hatte. Aber auch in materieller Beziehung hat SCHUMANN manche Opfer bringen müssen, um seine Forschungen durchführen zu können. Zwar ermöglichte ihm sein Einkommen ein gesichertes Leben, aber die für seine Versuche benötigten wertvollen optischen Geräte kosteten ihn, der mit Ausnahme einer einzigen Zuwendung aus den Mitteln der Smithsonian Institution in Washington stets nur auf seine privaten Mittel angewiesen war, mehrmals den schwer erarbeiteten Verdienst von Jahren. Oft sogar hat sich SCHUMANN, um für seine Forschungen notwendige Anschaffungen machen zu können, monatelang in seinem persönlichen Leben auf das äußerste einschränken müssen. Während seiner Tätigkeit in der Fabrik hatte SCHUMANN mehrmals die berufliche Arbeit für einige Zeit beiseite gelassen, um mit dem verdienten Gelde während dieser Arbeitspause allein der wissenschaftlichen Forschung leben zu können. Er dehnte diese Unterbrechungen der beruflichen Arbeit dann immer möglichst lange aus und ertragte die sich einstellenden Entbehrungen mit sarkastischem Humor. Er legte, wie er einmal Besuchern sagte, sich dann die rote Wasserstofflinie aufs Brot und war zufrieden. Der Glaube an die Forschung und die unvergleichliche Freude des Entdeckers halfen ihm, trotz beruflicher Überlastung, wirtschaftlicher Sorgen und Krankheiten sein wissenschaftliches Werk so weit zu vollenden, daß schon bald danach andere, vom Glück und den äußeren Umständen mehr begünstigte Forscher auf den von SCHUMANN gewiesenen Wegen weitergehend neue bahnbrechende Entdeckungen machen und die Vakuumspektroskopie der Spektroskopie im Sichtbaren gleichberechtigt an die Seite stellen konnten. Seit 1905 war es dem amerikanischen Spektroskopiker THEODOR LYMAN, der an Stelle des Flußspatspektrographen das Konkavgitter in das Vakuumgebiet einführte, gelungen, die Wellenlängen der extrem kurzwelligen Strahlungen exakt zu messen. Da durch Benutzung des Reflexionsgitters bei LYMAN jegliche absorbierende Substanz zwischen der Lichtquelle und der photographischen Platte fortfiel, konnte LYMAN zugleich auch weit über die von SCHUMANN erreichte Grenze von 1215 \AA hinaus in das Gebiet noch kürzerer Wellenlängen vordringen. Bereits 1906 hatte LYMAN eine kürzeste Wellenlänge von etwa 900 \AA gemessen. 1916 erreichte er mit derselben Methode das Gebiet um 500 \AA . Kurze Zeit später, im Jahre 1918, konnten MILLIKAN und seine Mitarbeiter, die an Stelle der von LYMAN benutzten normalen Konkavgitter besonders leichtgeritzte Gitter verwendeten und außerdem eine neuartige und für derartige Untersuchungen besonders geeignete Lichtquelle, den Hochvakuumfunken oder „hot spark“, in die Vakuumspektroskopie einführten, lichtstarke Spektre bis zu 200 \AA herunter erhalten. Seit 1925 ermöglichte es dann die von H. A. COMPTON eingeführte und seitdem vor allem von M. SIEGBAHN, EDLÉN und Mitarbeitern weiter aus-

gebildete Methode des streifenden Einfalls, auch diese Grenze noch zu unterschreiten. Seit einigen Jahren sind so der optischen Spektroskopie alle Wellenlängengebiete bis zu etwa 20 \AA herab zugänglich. Damit hat man bereits das Gebiet der ultraweichen Röntgenstrahlen erreicht, das auch nach der üblichen röntgenspektrographischen Methode der Kristallbeugung untersucht werden kann, so daß heute in konsequenter Weiterführung der von VIKTOR SCHUMANN begonnenen Forschungsarbeit die so lange bestehende Lücke zwischen den optischen Strahlen und den Röntgenstrahlen geschlossen ist und die Methoden der Vakuumspektroskopie auch bereits mit Erfolg bei Untersuchungen von ultraweichen Röntgenstrahlen verwendet werden. Aus der Tatsache, daß vor SCHUMANNs Arbeiten das optische Spektrum nicht mehr als anderthalb Oktaven umfaßte, daß durch SCHUMANNs eigene Pionierarbeit dieses Spektrum bereits um eine Oktave erweitert werden konnte, daß durch die späteren Forschungen dieses Gebiet um weitere fünf Oktaven vergrößert wurde, erklärt es sich, daß die vakuumspektroskopische Forschung für die Vertiefung der Kenntnisse von den Gesetzmäßigkeiten der Atom- und Molekülspektren sowie des Atom- und Molekülbaus von maßgeblicher Bedeutung geworden ist. Es sei hier nur an die von MILLIKAN und nach ihm von zahlreichen anderen Forschern ausgeführten Untersuchungen über die Spektren hochionisierter Atome erinnert, die zur Entdeckung der Gesetzmäßigkeiten der isoelektronischen Reihen, der regulären und irregulären Dubletts führten und damit erstmalig eine allgemeine Systematik der optischen Spektren ermöglichten, an die auf vakuumspektroskopische Untersuchungen zurückgehende BOWENSche Deutung der Nebellinien als verbotener Übergänge zwischen Niveaus hochionisierter Atome, an die durch die Vakuumspektroskopie ermöglichte genaue Bestimmung der nach dem FRANK-HERTZschen Elektronenstoßverfahren nur weniger exakt erhaltbaren Ionisierungspotentiale, an die für die Kenntnis des Molekülbaues und damit auch für viele chemische Probleme wichtigen Untersuchungen über kurzwellige Bandenspektren sowie an die Auffindung der ihrem Wesen nach zwischen den

normalen optischen und den Röntgenspektren stehenden, auf der Anregung eines inneren Elektrons beruhenden b-Spektren erinnert. VIKTOR SCHUMANN, der seiner fortschreitenden Krankheit halber sich seit 1903 gänzlich von aller wissenschaftlichen Arbeit hatte zurückziehen müssen, war es durch ein freundliches Geschick vergönnt, wenigstens den Beginn dieser großartigen Weiterentwicklung der Vakuumspektroskopie noch selbst zu erleben. SCHUMANN starb am 1. September 1913 in Leipzig im Alter von 72 Jahren. Seine wissenschaftlichen Leistungen waren damals schon in der ganzen wissenschaftlichen Welt bekannt und von vielen Seiten wurden dem Forscher jetzt Anerkennungen und Ehrungen zuteil. Die Wiener Akademie hatte in Erkennung der bahnbrechenden Leistungen SCHUMANNs schon 1893 die wichtigen Arbeiten über das Vakuumultraviolett in ihren Mitteilungen veröffentlicht. 1894 ernannte die philosophische Fakultät der Universität Halle VIKTOR SCHUMANN zu ihrem Ehrendoktor. Die Smithsonian Institution in Washington unterstützte einige Arbeiten SCHUMANNs durch eine Gabe aus dem Hodgkins-Fond. Aus diesem Grunde legte SCHUMANN 1903 einen Teil seiner vakuumspektroskopischen Ergebnisse in den Veröffentlichungen der Smithsonian-Institution nieder. Die mathematisch-physikalische Klasse der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften schließlich ernannte SCHUMANN 1911 anlässlich seines 70. Geburtstages zu ihrem ordentlichen Mitglied. Die schönste Anerkennung der Verdienste SCHUMANNs liegt jedoch unbestreitbar in der Tatsache, daß die von ihm ausgearbeiteten experimentellen Methoden auch heute noch in der Vakuumspektroskopie mit größtem Erfolg angewendet werden, und daß die gelatinearme Schumann-Platte sowie das zwischen 1850 und 1250 \AA liegende Schumann-Ultraviolett den Namen ihres Entdeckers und Schöpfers tragen. Über seine bahnbrechenden Forschertaten hinaus aber ist der Name VIKTOR SCHUMANNs ein leuchtendes Beispiel einer opferfreudigen Forscherpersönlichkeit, dessen selbstlos reine Gesinnung und nimmer verzagende Forscherbegeisterung auch für spätere Forschergenerationen vorbildlich bleibt.

Versuch einer morphologischen Ordnung der tierischen Entwicklungsgänge.

Von R. GEIGY und A. PORTMANN, Basel.

Die fortschreitende Entwicklungsgeschichte und Genetik führen zu einer immer eingehenderen Kenntnis einzelner Tierformen und Entwicklungsgänge, zwangsläufig aber auch, durch die Praxis der Laboratoriumsforschung, zu einer Auslese von relativ wenigen Untersuchungsobjekten. Auch der strenge Zwang zur Beschränkung in den einführenden zoologischen Vorlesungen und Kursen hat auf anderen Wegen eine Auslese der beachteten Objekte im Gefolge. Dadurch geht aber der Überblick über den Reichtum der Formen und der Entwicklungsgeschichte verloren, da zwangs-

läufig von der tatsächlichen Mannigfaltigkeit abgesehen werden muß. Dieser Mangel wird wohl von vielen Biologen empfunden und als unvermeidlich hingenommen; aber dieses Hinnehmen ist für das fernere Gedeihen der Forschung eine Gefahr, indem sowohl die Auswertung gerade der wichtigsten experimentellen Ergebnisse als die biologische Darstellung durch einen allzu eingeschränkten Horizont beeinträchtigt werden.

So kann z. B. über die Existenz sog. „Metamorphosehormone“ bei Arthropoden in letzter Konsequenz nur entschieden werden, wenn dem

Biologen die Tatsache vor Augen steht, daß bei dieser Gruppe die Aufeinanderfolge der verschiedenen Jugendstadien an sich schon, ganz abgesehen von den Vorgängen der Metamorphose, von hormonal bedingten Prozessen (Häutungsmechanismen) abhängig ist. Erst ein klares Unterscheiden zwischen solchen periodischen, gruppentypischen Erscheinungen, wie sie die Häutungen bei Gliederfüßern darstellen, und den einmaligen, viel spezielleren Abläufen der Metamorphose ermöglicht die Bewertung eines gefundenen Hormons.

Die Konzentration der Aufmerksamkeit auf einzelne Standardfälle drängt eine Fülle von Erscheinungen gleichsam an den Rand des biologischen Augenmerks. Die „ausgewählten“ Fälle erlangen den Rang des „Typischen“, die verdrängten Phänomene aber werden als „Ausnahmen“ taxiert, was unter Umständen den Naturverhältnissen gar nicht entspricht. Ein Unterrichtsbeispiel mag noch weiter diese Situation charakterisieren. Ausgehend von der Abstammungsidee wird die postembryonale Entwicklung der Mollusken in der Regel „am zweckmäßigsten“ an Beispielen von Ontogenesen mit Trochophora- und Veligerstadien dargestellt werden. Geraten dadurch schon so wichtige Fälle wie derjenige der Tintenfische etwas in den Hintergrund, so bleiben um so mehr verborgene Prozesse wie die Entwicklung ohne Veliger bei Lungenschnecken unbeachtet. Weiterhin treten eigenartige Komplikationen, wie etwa die Entwicklung mit Riesenentomeren oder unter Aufnahme von Nähreiern bei manchen Schnecken kaum je in einer einführenden Darstellung in Erscheinung. Die Verhältnisse bei Teichmuscheln aber, wo das sonderbare Glochidium sein Larvenleben an Fischkiemen verbringt, werden höchstens anhangsweise als eine Art Kuriosität gewürdigt.

Die eben geschilderte Lage hat die Verfasser dieser Mitteilung schon seit einigen Jahren beschäftigt. Auf den Gebieten der Entwicklungsgeschichte und der Metamorphoseforschung in verschiedenen Richtungen arbeitend sind sie, in Erkenntnis der angeführten Mängel, zu gemeinsamen Gesichtspunkten und schließlich zu Vorschlägen gelangt, die vielleicht geeignet sind, den Überblick über die tierischen Ontogenesen umfassender und einheitlicher zu gestalten. Sie bieten auf den nachfolgenden Seiten eine gedrängte Darstellung, die als eine vorläufige Mitteilung aufzufassen ist, welche notwendigerweise auf eingehende Beschreibung und volle Beweisführung verzichten muß; absichtlich unterbleiben hier auch jegliche Literaturhinweise.

Aus Gründen, die sich nachher ergeben werden, stellen wir die Erscheinungen der Metamorphose in den Mittelpunkt dieser Übersicht und versuchen zunächst, die historische Entwicklung der Problemstellung zu umreißen.

Die Beschreibung der Larven und die Zuweisung zu ihren Endformen stellt einen gewaltigen

Anteil der vergangenen zoologischen Erforschung der Metamorphose dar. Unter der Vorherrschaft der Abstammungslehre ist dann die Fülle dieses Materials vielfach einer einseitigen Deutung unterworfen worden. In extremer Anwendung des sog. biogenetischen Grundgesetzes wurde manchen Larven der Charakter einer Ahnenform größerer Gruppen zuerkannt (die Theorien über die Trochophora der Ringelwürmer und Weichtiere, über den Nauplius der Krebse und die Dipleurula der Stachelhäuter sind bekannte Illustrationen dieser Auffassung), oder man mühte sich, in der Larvenorganisation einzelne Ahnenmerkmale als palinogenetische von neu erworbenen caenogenetischen zu unterscheiden. Noch von einer anderen Seite suchte man die Mannigfaltigkeit der Metamorphosephänomene tiefer zu erfassen: indem man der Bedeutung der Dotterversorgung des Keimes für den Ablauf der postembryonalen Entwicklung nachging. Dem Dotterreichtum des Eies, der schon die Embryonalphase so entscheidend zu beeinflussen schien, wurde auch für die späteren Geschehnisse der Ontogenese eine wesentliche Rolle zugeschrieben. Stark schematisierend nahm man an, daß der Dotter, in reichlicher Menge vorhanden, eine sog. direkte Entwicklung ermöglicht, während sein spärliches Vorhandensein die Ausbildung einer Zwischenform (Larve) verlangt, welche selbständig sich während die für die Weiterentwicklung nötigen Stoffe beschaffen muß. Wir hoffen zu zeigen, daß diese Annahme das Problem in zu einfacher Weise zu lösen versucht. Daß Dotterreichtum die Metamorphose weder vereinfachen noch ausschließen kann, zeigt schon das Beispiel des Feuersalamanders, dessen Eier zu den dotterreichsten Urodelenkeimen gehören und der trotzdem (sogar der Viviparität zum Trotz!) eine volle, komplizierte Metamorphose durchläuft.

Die wachsende Skepsis gegen die eben erwähnten Interpretationen hat, ähnlich wie in der Erforschung der Frühentwicklung, auch die Betrachtungsweise der postembryonalen Phase gewandelt. Durch Intensivierung der histologischen, physiologischen, embryologischen und genetischen Analysen trat nach und nach das komplizierte Geschehen der Metamorphose den Biologen als ein weites und neuartiges Forschungsfeld entgegen. Zugleich aber begann man dabei immer mehr das völlige Ungenügen der bisher gebräuchlichen Kriterien zu empfinden, an Hand deren die Ontogenesenabläufe in direkte und indirekte gesondert wurden.

Gehen wir in aller Kürze den Ursachen dieses Ungnügens nach, so treten uns zwei Umstände besonders deutlich entgegen, welche eine dem Wesen der Vorgänge entsprechende Unterscheidung der beiden Entwicklungsarten und damit ein konsequent morphologisches System der Ontogenese verhindert haben.

In der allgemein anerkannten Definition der „Larve“ als ein *beim Verlassen der Eihüllen oder*

des Mutterleibes dem Adulten mehr oder weniger unähnliches Stadium liegt bereits der Keim des oben erwähnten Dilemmas. — Die Begriffe „ähnlich“ und „unähnlich“, so klar sie auf mathematischem Gebiet sind, erlauben in diesem Falle keine befriedigende Anwendung. Die subjektive Spannweite beim Gebrauch dieser Begriffe führt nämlich leicht dazu, die Grenzen zwischen indirekter und direkter Entwicklung zu verwischen, indem je nach Auffassung dasselbe Stadium bald als Larve, bald als Jungtier bezeichnet wird. Wie verschieden wird z. B. der Begriff Larve nur schon bei der Bewertung der Insektenstadien verwendet! — Irreführend ist außerdem die allgemeine Gepflogenheit, bei der Entscheidung, ob Larve oder Jungtier, einfach nur auf das *Aussehen im Moment des Schlüpfens oder der Geburt* abzustellen. In mehreren Gruppen mit typischer Metamorphose treten Fälle auf, wo sich klare metamorphotische Vorgänge innerhalb von Eihüllen oder im Mutterleib abspielen (Salamandra- und Pipa-Arten, *Hylodes martinicensis*; *Purpura*, *Buccinum* und andere Prosobranchier unter den Schnecken usw.). Wird nun der Schlüpfzustand als Kriterium für die Entwicklungsweise verwendet, so besteht die Gefahr, daß solche Fälle der direkten Entwicklung zugerechnet werden, nur weil hier ausnahmsweise wesentliche Abschnitte des Larvenlebens verborgen bleiben.

Wir glauben, daß der chaotischen Vermengung der Begriffe nur dadurch abgeholfen wird, daß man die Metamorphose wieder schärfer zu fassen versucht, indem man von der morphologischen, im besonderen der histologisch-embryologischen Seite her in ihr Wesen eindringt. Von diesem Gesichtspunkt aus stellt sie sich dar als ein im Bauplan der Art erblich fixierter Strukturumbau, der immer wieder auf folgende 3 wichtigste Vorgänge zurückgeführt werden kann:

a) Auf den *Abbau* bestimmter Körperpartien oder Organe durch Histolyse (zuweilen begleitet von Phagocytose). Er betrifft die transitorischen, *larvalen Bildungen*.

b) Auf den *Neuaufbau* gewisser Partien aus Anlagen, die bisher in embryonalem Zustand verharrten und nun zur Entwicklung und Ausdifferenzierung kommen. Dieser betrifft somit die *adulten Bildungen* („Adultkeim“).

c) Auf das *Weiterbestehen* gewisser Partien, die sich durch die Metamorphose „hindurchretten“, sie überdauern und in den adulten Organismus übernommen werden, entweder ohne sichtbare Begleiterscheinungen oder nach Überwindung einer „strukturellen Krise“ (Kernpyknosen, Plasmaausstoßungen usw.). Es betrifft dies die von Anfang an definitiven, *larvo-adulten Bildungen*.

Bezeichnen wir einen Entwicklungsgang, in dem diese 3 Prozesse vorkommen, als indirekt, so lassen sich die postembryonalen Phasen der tierischen Ontogenesen ihrem Wesen nach in die 2 folgenden Haupttypen gliedern:

Direkte Entwicklung.

Jungtier → Adulttier

Keine Umwandlung
Allmähliche Weiterentwicklung

Indirekte Entwicklung.

Larve → (Puppe)* → (Jungtier)* → Adulttier (Imago)

Umwandlung = Metamorphose
durch die oben erwähnten
drei Prozesse

Beschränken wir die Bezeichnung indirekte Entwicklung in der eben angedeuteten Weise, so heben wir zugleich auch jegliches Mißverständnis darüber auf, was nun eigentlich als Larve aufzufassen sei. Larven sind demnach Entwicklungsstadien, die auf Embryonalstadien folgen, sich von ihnen aber durch besondere transitorische Bildungen („Larvenorgane“) unterscheiden, deren Funktion in diese Entwicklungsperiode fällt. Andererseits zeichnet sich das Larvenstadium auch dadurch aus, daß manche Bildungen, welche wesentlich zur Charakteristik des adulten Zustandes mit beitragen, zu dieser Zeit noch auf embryonalen Ausbildungs- und Funktionsstufen verharren (z. B. die Imaginalscheiben der Insekten, die Ektodermeinsenkungen der Schnurwurmlarven usw.).

Je eingehender man die große Fülle der Larven gestalten durchprüft, desto klarer und bedeutender heben sich 2 Grundtypen dieses Entwicklungszustandes heraus, deren Sonderung uns als eine wertvolle Klärung der Entwicklungsgeschichte erscheint und die wir als *Frühhlarve* oder *Primärlarve* einerseits und als *Spätlarve* oder *Sekundärlarve* andererseits bezeichnen. Sie werden im folgenden kurz charakterisiert:

a) Die *Früh-* oder *Primärlarve* differenziert ihre larvalen Bildungen auf frühembryonalen Stufen (besonders oft zum Zeitpunkt der Entodermbildung). Ihre Gruppenzugehörigkeit ist deshalb nie aus ihrer Eigengestalt direkt erkennbar. Sie ist stets aquatil (freilebend fast ausschließlich marin; selten parasitisch) und auf Wirbellose beschränkt.

Beispiele: Trochophora der Würmer und Weichtiere, MÜLLERSche Larve der Strudelwürmer, Pilidium der Schnurwürmer, Miracidium der Saugwürmer, Actinotrocha der Phoroniden, Tornaria der Enteropneusten, die vielen Larven der Stachelhäuter usw.; die parasitischen Larven der Haarwürmer und Kratzer¹⁾.

* Die Klammern deuten an, daß dieses Stadium fehlen kann. Eine Puppe kommt nur bei den holometabolen Insekten vor, dagegen fehlt dort das Jungtierstadium, indem in der Puppe gleich das erwachsene Insekt ausgebildet wird.

¹⁾ Es entspricht nicht der Aufgabe dieser Mitteilung, lückenlose Listen der jedem dieser Ontogenesetypen zuzuordnenden Gruppen zu geben. Diese und alle folgenden Beispielsreihen machen keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

b) Die *Spät-* oder *Sekundärlarve* differenziert ihre larvalen Bildungen auf einer Entwicklungsstufe, die bereits alle wesentlichen gruppentypischen Merkmale erkennen läßt. Darum ist auch, im Gegensatz zur Frühlarve, ihre Gruppenzugehörigkeit direkt erkennbar. Entsprechend der sich später vollziehenden Differenzierung sind die Aufenthaltsmöglichkeiten der Spätlarve reichhaltiger, so daß sie in verschiedenstem Milieu auftritt (marin, limnisch, hygrophil, terrestrisch, parasitisch). Sie kommt sowohl bei Wirbellosen als bei Wirbeltieren vor.

Beispiele: Cercarien der Saugwürmer, Veliger der Weichtiere, Glochidien der Teichmuscheln, alle Larven der Arthropoden und der Wirbeltiere usw.

Eine konsequente Einschränkung des Begriffs der indirekten Entwicklung ist Voraussetzung für jede Ordnung der Ontogenesen. Daher mußte diese Klärung unserem Ordnungsversuch vorausgehen.

A. Formen unabhängiger Ontogenesen.

Der nun folgende Versuch ordnet die sämtlichen tierischen Ontogenesen nach dem Grad der Komplikation, die ihren Verlauf sowohl als die dabei verwirklichten Strukturen charakterisiert. Wir heben den rein deskriptiven Charakter unserer Kriterien deshalb besonders hervor, weil uns jede phylogenetisch orientierte Ordnungsweise als spekulative und allzu unsichere Basis erscheint. Phylogenetische Erwägungen auch auf diesem Gebiet scheinen uns nur dann gerechtfertigt, wenn sie abschließend die Deutung eines deskriptiv gewonnenen Tatsachenmaterials erstreben.

Prüft man die Ontogenesen nach diesem Grundsatz, so treten einige Entwicklungsgänge hervor die ein Mindestmaß an Komplikation aufweisen und bei denen die Endgestalt ohne Umwege durch die Entwicklung im Ei erreicht wird. Wir bezeichnen einen derartigen Entwicklungsablauf als:

1. Primäre direkte Entwicklung.

Korallenpolypen, Rippenquallen, viele Strudelwürmer, Fadenwürmer, Rädertiere, Pfeilwürmer, Pfeilschwänze, apterygote Insekten, Tunicaten.

In keiner der obenerwähnten Gruppen tritt ein Entwicklungsstadium auf, welches die Bezeichnung Larve im hier vertretenen Sinne rechtfertigen würde. Gegen diese Behauptung dürfte sich hinsichtlich der meisten Rippenquallen, Strudelwürmer, Fadenwürmer, Rädertiere und Pfeilwürmer wohl kein ernstlicher Zweifel regen.

Die Zuordnung der Korallenpolypen zu dieser Gruppe verlangt eine Rechtfertigung, da bei diesen dem Ei eine mit Flimmerepithel bekleidete, freischwimmende sog. Planula entschlüpft, die allgemein als Larve bezeichnet wird. Uns erscheint in den gesamten feineren Strukturen der Planula kein einziges Merkmal, das als transitorische, also larvale Bildung angesprochen werden könnte. Das

Wimperkleid ist ein Attribut der Coelenteratenstruktur überhaupt, auch der adulten. Die Formveränderungen, die wir beim Festsetzen der Planula und bei ihrem Ausbau zum Primärpolypen beobachten, sind Differenzierungen eines embryonalen Gebildes, die auf den Endzustand hingerichtet sind und bei denen irgendwelche Abbauprozesse fehlen. Sogar die Ernährungsweise bleibt während des zu sehr verschiedenen Zeitpunkten der Entwicklung beginnenden freien Lebens eine rein embryonale, denn eine Mundöffnung ist in den meisten Fällen noch gar nicht differenziert.

Was die Pfeilschwänze und apterygoten Insekten anbetrifft, so muß in erster Linie daran erinnert werden, daß bei den Arthropoden alle im Laufe eines Entwicklungsstadiums realisierten Differenzierungen erst beim jeweils anschließenden Häutungsprozeß in Erscheinung treten. Daraus resultiert eine die ganze Entwicklungsweise dieser Gruppen kennzeichnende Sprunghaftigkeit, die aber keineswegs mit Metamorphoseerscheinungen verwechselt werden darf. Berücksichtigt man diesen wichtigen Umstand, so ergibt sich die Zuordnung der eben erwähnten Gruppen zur primären direkten Entwicklung ohne weiteres. Der Ausdruck „Anamorphose“, der sich für diese Entwicklungsgänge in der Entomologie eingebürgert hat, will ja im Grunde nichts anderes kennzeichnen, als diese besondere Art direkter postembryonaler Weiterentwicklung. Die Komplikation der frühen Embryonalphase durch ein besonderes transitorisches Dotterorgan wird uns in anderem Zusammenhang noch beschäftigen.

Unter den hier aufgezählten Gruppen finden sich auch zwei typisch terrestrische: die Erdnematoden und die apterygoten Insekten. Wir machen auf diesen Umstand deshalb besonders aufmerksam, weil sich sehr häufig die Ansicht findet, terrestrische Entwicklung sei unter allen Umständen sekundär, die primäre aber stets an Wasser gebunden. Es ist deshalb wichtig festzustellen, daß die einfachste uns bekannte Entwicklungsform, die primäre direkte, auch in rein terrestrischem Milieu vor sich gehen kann und lediglich hohen Feuchtigkeitsgehalt des Mediums verlangt. Diese Tatsachen dürfen bei theoretischen Erwägungen über die Phylogese von Landtieren nicht übersehen werden.

Auf eine besondere Art der direkten Entwicklung, die, wie wir glauben, bisher in ihrem Charakter verkannt worden ist, müssen wir speziell eingehen. Es handelt sich in diesem Falle um Arten, deren Endform im Zusammenhang mit Anpassungen, die hier nicht zu erörtern sind, sehr weit vom Grundplan der betreffenden Gruppe abweichen: So die sessilen Ascidien unter den Tunicaten aber auch extreme Varianten der Rippenquallen, wie der bandförmige Venusgürtel oder die abgeplattete, kriechende Coeloplana. Bei allen diesen Formen bewahren die Jugendstadien die gruppentypische Erscheinung, so daß sie die aberrante Endgestalt nur durch weitgehende, besonders bei den Ascidien

sehr tiefgreifende Umwandlungen erreichen können. Diese Prozesse wurden bisher, wie selbstverständlich, als eine Metamorphose und entsprechend auch die Jugendstadien als Larven aufgefaßt. Da es uns, wie bereits einleitend betont worden ist, um eine klare Einschränkung des Begriffes der Metamorphose zu tun ist, müssen wir diese Auffassung ablehnen. Die Jugendstadien der hier vorliegenden Sonderfälle zeigen kein einziges der von uns als transitorische Larvenorgane geforderten Merkmale, sondern sie repräsentieren den Gruppentypus in reinsten, von Zusätzen völlig freier Form, sie dürfen also auf keinen Fall als Larven taxiert werden. Entsprechend fällt auch der Grund dahin, solche Entwicklungsgänge den eigentlichen Metamorphosen einzureihen. Da aber die Endform doch nur durch weitgehenden Umbau erreicht werden kann, so schlagen wir für die Bezeichnung dieser Erscheinung den Ausdruck *Pseudometamorphose* vor¹⁾. Unser nomenklatorischer Vorschlag bezweckt somit eine Richtigeinstellung sowohl als die Hervorhebung eines bisher zu wenig beachteten Phänomens.

Bei den nun folgenden beiden Ontogenesetypen nehmen die Entwicklungsgänge einen sog. indirekten Verlauf, weil in die Postembryonalphase Larvenstadien eingeschaltet sind.

2. Indirekte Entwicklung mit Primärlarven.

Schwämme (?), viele polyclade Strudelwürmer, viele Schnurwürmer, die Archianneliden und Polychäten, Phoroniden, Moostierchen, Brachiopoden, Enteropneusten, Echinodermen, primäre Schnecken und Muscheln.

Im Gegensatz zum vorherigen zeichnet sich dieser Typus durch transitorische, larvale Merkmale aus, die auf frühembryonaler Stufe ihre Ausbildung erfahren. Die „strukturelle Wertigkeit“ dieser Larven, d. h. der Grad ihrer gestaltlichen Prägung, ist infolgedessen eine sehr geringe. Die Gastrulastufe, deren unmittelbare Ausgestaltung die meisten dieser Gebilde darstellen, bietet nur wenige Möglichkeiten der formalen Variation: Immer wieder sind es Wimperschnüre, Scheitelschöpfe, Lappenbildungen des Ektoderms usw., welche als Hauptattribute der äußeren Gestalt solcher Frühlarven auftreten. Auch die immer wieder beachteten Anklänge an radiäre Symmetrie erklären sich aus der erwähnten, auf früher Stufe erfolgenden Differenzierung. So ist es auch nicht zu verwundern, daß die Primärlarven der verschiedensten Tiergruppen sehr auffällige Konvergenzerscheinungen aufweisen (Trochophora-Typus). Aus diesen auf phylogenetische Verwandtschaften schließen zu wollen, dürfte sich nicht gerade als ein lohnendes Unternehmen erweisen, da solche Formähnlichkeiten zwangsläufig aus der

¹⁾ Diesem Typus muß z. B. auch der eigenartige Fall der Verwandlung der pelagischen Jungschollen in die Gestalt des Plattfisches zugezählt werden (ein Fall, der im übrigen nicht mehr eine *primäre* direkte Entwicklung ist).

Enge der Gestaltungsmöglichkeiten erklärt werden können.

Am Aufbau der transitorischen Organe der Primärlarven sind meist alle 3 Keimblätter beteiligt, wobei die auffälligsten Bildungen dem Ektoderm und dem Mesoblast entstammen. Das Ektoderm liefert die eben erwähnten, so charakteristischen larvalen Bewegungsorgane: die Cilienbekleidungen, welche oft zu Wimperschnüren und -schöpfen gesteigert sind. Dieses larvale Ektoderm bildet auch besondere Schwebeorgane, wie die Lappen des Pilidiums oder der Actinotrocha, Fortsätze, wie die Arme der Echinodermenlarven oder die Schwebeborsten vieler Polychätenlarven; es formt Haftorgane, wie die sog. „Saugnäpfe“ gewisser Bryozoenlarven und die Haftarme der Brachiolarien; auch entstammen ihm besondere Larvensinnesorgane und -nerven und in der Regel die so häufigen transitorischen Nierenbildungen. Zu den charakteristischen larvalen Leistungen des Mesoblasts zählen die mesenchymatösen Muskel- und Skelettelemente.

Alle diese transitorischen Organe verschwinden im Verlauf der Metamorphosekrise durch autolytische Vorgänge und Abstoßung der unnütz gewordenen Bildungen. Der damit verbundene Aufbau der Endgestalt nimmt seinen Ausgang meist von kleinen, eng und gruppentypisch lokalisierten Adultkeimstätten, die meist aus ektodermalen und mesoblastischen Elementen bestehen. Einzig der Darm — im Fall der Echinodermen nur sein Mittelteil — geht in größerem Umfange in die Endgestalt über und bildet den Keim des definitiven, stets viel reicher ausgebauten Darmsystems. Oft ist er zur Erfüllung dieser neuen Aufgabe erst nach einer tiefgehenden strukturellen Krisis befähigt, während deren ein vorübergehendes Schwinden der Zellgrenzen, Ausstoßungen von Plasmateilen, Kernpyknosen u. dgl. beobachtet werden (Echinodermen).

3. Indirekte Entwicklung mit Sekundärlarven.

Saugwürmer (Cercarien), die meisten Schnecken und Muscheln, Krebs, hemi- und holometabole Insekten, Acrania, Cyclostomata, Altfische und manche Teleostier, Amphibien.

Da die transitorischen Larvenorgane bei diesen Spätlarven auf vorgerückteren ontogenetischen Stufen ausgebildet werden (z. B. bei den Amphibien nach Zurücklegung des sog. Schwanzknospentadiums, bei den Insekten frühestens im vorgeschrittenen Keimstreif), ist die strukturelle Wertigkeit oder gestaltliche Prägung dieses Larventypus eine viel bedeutendere als diejenige der Frühlarven. Soweit auch die Larvenorganisation vom jeweiligen Endzustand abweichen kann (Made — Fliege, Kaulquappe — Frosch), so ist ihr doch stets der gruppentypische Bauplan vorgegeben. Konvergenzen unter Larven von so verschiedener systematischer Zuordnung, wie sie bei Primärlarven häufig sind, fehlen deshalb bei diesem Ontogenesetypus vollständig. Die Aufklärung der

Zugehörigkeit solcher Larven zu ihren arteigenen Endzuständen hat oft große Mühe gekostet, stets aber stand von vornherein die gruppentypische Zuweisung fest. So ist z. B. die Crustaceen-Natur eines Nauplius nie verkannt worden, die Zuordnung aber zu den verschiedenen Krebsarten, ja allein schon zu größeren Krebsgruppen, erfordert größte Spezialkenntnisse. Ganz entsprechend liegen die Verhältnisse bei den Kaulquappen der Anuren und den bekannten Larven der Urodelen. Ausgeprägte Konvergenz zeigen diese letzteren nur mit Larven archaischer Fischarten, wie Lungenfische, Flösselhechte und manche Störe. Aber diese gestaltliche Ähnlichkeit beruht hier nicht, wie bei den Primärlarven, auf dem geringen Ausbildungsgrad der Formstufe, auf welcher die Differenzierung zur Larve erfolgt, sondern auf naher Gruppenverwandtschaft.

Da der Beginn der Differenzierung bei Sekundärlarven relativ spät erfolgt und ihr Fortgang sich über eine beträchtliche Zeitspanne erstrecken kann, so bietet der Typus der Spätlarve die Möglichkeit zu sehr viel mannigfaltigeren larvalen Bildungen als die Primärlarve. Ihr Anteil an der Gestaltung des Gesamtkörpers sowie das Ausmaß ihrer Differenzierung wechselt bei der Sekundärlarve in weiten Grenzen, sowohl zwischen verschiedenen Gruppen, als auch in engeren Verwandtschaftskreisen. Den letzteren Fall illustrieren Veliger, Nauplius, Zoa und die vielen pelagischen Krebslarven, bei denen die charakteristischen Schweborgane wie das Velum, bzw. die Körperfortsätze, bald sehr bescheiden, bald geradezu ausschweifend geformt sein können. Am stärksten überwiegt der larvale Anteil im Körper der Kaulquappen und besonders bei den Larven aller sog. holometabolen Insekten (Netzflügler, Käfer, Schmetterlinge, Hautflügler und Zweiflügler). Bei den letzteren ist der adulte Anteil auf die als „Imaginalscheiben“ bekannten embryonalen Anlagen beschränkt, welche durch den ganzen Organismus hin zerstreut sind, während der eigentliche Körper rein larval ist. Dieser Umstand bestimmt auch den Umfang der Metamorphoseprozesse, die hier in einer vollkommenen, auf die kurze Zeit der sog. Puppenruhe zusammengedrückten Restitution fast aller Gewebe und in der gleichzeitigen Entfaltung der imaginalen Neubildungen ihren höchsten Ausdruck findet. — Ähnlich extrem, wenn auch weniger durchgreifend und konzentriert (Fehlen eines Puppenstadiums), vollzieht sich die Metamorphose der Hemimetabolen (Libellen, Ephemeriden, Plekopteren) sowie auch diejenige der Anuren-Larven. Bei diesen letzteren sind im Verlauf der Umwandlung sukzessive die äußeren Kiemen und Saugnäpfe, die Haut, die Mundbewaffnung, der umfangreiche Schwimmschwanz, der Schädel, der Operkel- und innere Kiemenapparat, die Darmspirale usw. sehr ausgiebigen Rückbildungen und Umbauten unterworfen. Die im Vergleich dazu so viel einfacheren Metamorphosevorgänge der meisten Urodelen wei-

sen uns wieder auf die großen Unterschiede innerhalb eines engeren Verwandtschaftskreises hin.

Die Spätlarvenperiode erstreckt sich oft über längere Zeit, während der uns nicht etwa „eine Larve“, sondern eine Reihe sich wandelnder Stadien begegnet, Stadien, die allerdings nur bei den Arthropoden durch die Häutungen der in immer wieder nuancierter Form erstarrenden Oberfläche voneinander auffälliger gesondert sind, sonst aber in fließender Entwicklung ineinander übergehen. Ein drastisches Beispiel für diese allmähliche Wandlung der Larvenform bietet die Ontogenese der Anuren, deren frühestes Larvenstadium (äußere Kiemen, Saugnäpfe) sehr stark von den späteren Kaulquappenstadien abweicht. Das Extrem solcher gestaltlichen Wandlungen innerhalb der Larvenzeit einer Art erreichen wohl manche höheren Krebse (Natantia). Die Garnele *Penaeus* z. B. durchläuft eine reiche Skala von pelagischen Larvenformen wie Nauplius, Metanauplius, Protozoa, Zoa und Mysisstadium. Jeder Übergang zum nächsthöheren Stadium bringt Veränderungen der larvalen Organisation und Gestalt mit sich und schließlich in der Endperiode eine immer deutlichere Annäherung an die Endform durch tiefgreifenden, adaptativen Umbau der Extremitäten, Augen, Antennen usw. Aus diesem letzten und auch aus dem Beispiel der Anuren ergibt sich, daß es bei solch fließender Entwicklung oft schwer hält, diese Larvenwandlungen und die letzte Verwandlung zur Endform (eigentliche Metamorphose) scharf auseinanderzuhalten. — Analoge Formwandlungen der Larve beobachtet man übrigens auch bei Primärlarven (Trochophora der Anneliden, Echinodermlarven). — Besondere Erwähnung verdient der interessante Fall mancher Mollusken (Prosobranchier wie *Patella*, Muscheln wie *Yoldia*, *Nucula*, *Dreissensia*), wo bei einer und derselben Art die früheste Larvengestalt als Trochophorotyp noch die Primärstufe repräsentiert, während der weitere Entwicklungsverlauf zu Veligerbildungen führt.

B. Formen abhängiger Ontogenesen.

Aus der großen Fülle der gegenwärtig vorkommenden Ontogenesen läßt sich nur ein Teil vollständig klar den bisher geschilderten 3 Entwicklungstypen zuordnen. Die übrigen — eine bedeutende Zahl — zeigen uns Entwicklungsverhältnisse, die alle an Komplikation die bisher dargestellten übertreffen. So verschieden auch im einzelnen diese Komplikationen sich äußern, so gründen sie sich doch in allen Fällen auf ein *Abhängigkeitsverhältnis zwischen embryonalen bzw. post-embryonalen Entwicklungsstadien einerseits und der Elterngeneration andererseits*. Wir denken bei dieser Feststellung nicht an jene allgemeinste Art der Milieuhängigkeit, die auch für jedes „unabhängige“ tierische Entwicklungsstadium besteht, indem es darauf angewiesen ist, daß die Eier von der Mutter im geeigneten Medium, an der geeigne-

ten Nährpflanze usw. abgelegt werden. Vielmehr fassen wir in dieser Kategorie abhängiger Ontogenesen solche Entwicklungserscheinungen, in denen die Elternleistungen dieses selbstverständliche Maß an Fürsorge beträchtlich überschreiten, indem entweder in der embryonalen oder in der postembryonalen Phase oder auch in beiden zugleich sich *morphologische* oder *verhaltensmäßige* Erscheinungen feststellen lassen, welche die werdende Generation und die Eltern in besonderer Weise verbinden. In der nachfolgenden Beispielsreihe soll der Versuch gemacht werden, die sehr mannigfaltigen Phänomene solcher abhängiger Ontogenesen und deren Bedeutung im Gesamtüberblick des Entwicklungsgeschehens hervorzuheben. Es wird sich dabei zeigen, daß diese Form des komplizierteren, abhängigen Entwicklungsganges in jedem der drei bisher dargestellten Ontogenesetypen auftreten kann. Deshalb reihen wir sie hier nicht einfach als vierten Typus an, sondern stellen sie als eine besondere Kategorie höheren Ranges der unabhängigen Entwicklung gegenüber. Denn diese abhängigen Entwicklungen sind gegenüber jedem der bisher dargestellten 3 Typen stets als sekundär zu bewerten.

a) *Abhängige Embryonen (sekundäre direkte Entwicklung)*. Schon bei der Darstellung der primären direkten Entwicklung ist darauf hingewiesen worden, daß sich der embryonale Teil der Ontogenese durch die Ausbildung besonderer transitorischer *Dotterorgane* komplizieren kann. Solche Bildungen sind etwa die Dorsalorgane bei manchen Arthropoden, der Dottersack bei Cephalopoden, Selachiern, Teleostiern, Reptilien, Vögeln und Kloakentieren. Bei allen diesen Formen liefert der Mutterkörper bereits ins Ei eine beträchtliche Nährstoffmenge, welche die künftige Ontogenese gestaltlich weitgehend bestimmt und sie zu einer „abhängigen“ macht. Wir betrachten diesen Fall dotterreicher Keime als erste Stufe solcher Abhängigkeit, die von Grenzfällen wie der primären Entwicklung der Apterygoten in allmählicher Steigerung zu klar sekundären Entwicklungsgängen führt. Als erste Ansätze solcher Steigerung könnte man bei extremer Auslegung bereits die Differenzierung von besonderen Nährzellen in den Ovarien bewerten.

In vielen Fällen, manchmal mit Dotterreichtum verbunden, tritt eine andere Abhängigkeit auf: die *Placentabildung* viviparer Formen, wie Säuger, gewisse Reptilien und Selachier, sowie Peripatus-Arten. Da diese Erscheinungen allgemein bekannt und ausführlich beschrieben sind, begnügen wir uns hier mit dieser Erwähnung. Wir heben lediglich hervor, daß alle soeben erwähnten Fälle von Dotterorgan- und Placentabildung als *direkte Entwicklung* aufzufassen sind. Wir betonen dies, weil in diesen Ontogenesen transitorische Organe von bedeutendem Umfang als sog. Embryonalanhänge gebildet werden (Dottersack, Amnion, Allantois, fötaler Placentaanteil). Alle diese Gebilde haben transitorischen Charakter, sie gleichen also darin

den Larvenorganen. Anstatt aber einem typischerweise freilebenden Organismus — einer Larve — anzugehören, sind diese transitorischen Bildungen wesentliche Glieder eines weitgehend von der Umgebung abgeschlossenen Systems, das sowohl den künftigen Körper — den Embryo — als auch beträchtliche Nährstoffmengen (Dotter), sowie diese Hilfsorgane mitumfaßt. Im Gegensatz zu den Larvenorganen bestimmen diese transitorischen Embryonalorgane (wenn wir vom Einzelfall der Uteruskiemen bei Selachierembryonen absehen) die eigentliche Gestaltung des Tierkörpers nicht, da sie ihm lediglich als Diener beigegeben sind. Die Entwicklung dieser Tierkörper ist in jeder morphologischen Hinsicht direkt (Embryo → Jungtier → Adultform). Dagegen ist der Grad der Kompliziertheit des ganzen Embryonalsystems so bedeutend, daß ihm unbedingt, im Vergleich zu den in Abschnitt 1 betrachteten Ontogenesen, *sekundärer Charakter* zuerkannt werden muß. Wir bezeichnen diesen häufigen Fall als *sekundäre direkte Entwicklung*.

b) *Abhängige Larven*. Entsprechende Steigerungen der ontogenetischen Komplikation, wie sie soeben für die direkte Entwicklung aufgeführt worden sind, finden sich auch in großer Mannigfaltigkeit bei sämtlichen Tiergruppen mit Metamorphose. Wir beobachten in Gruppen, die als Norm freie Larven ausbilden, daß bei einzelnen Arten die Larvenperiode teilweise oder ganz innerhalb der Eihülle (seltener im mütterlichen Körper) abläuft. Dies erscheint in gewissen Fällen als eine deutliche Abhängigkeit von der Elterngeneration, indem solche unfreie Larvenentwicklung durch zusätzliche Nährstoffe, wie Eiweiß bzw. gesteigerten Dottergehalt des Keims, gesichert wird. Beides kommt in den verschiedensten Abstufungen, vielfach auch miteinander kombiniert vor. Der Gradunterschied in dieser elterlichen Versorgung des Keims geht so weit, daß die einfachsten Stufen sich nur wenig von typischer Entwicklung mit freien Larven unterscheiden (Dreissensia, Nassa, einzelne höhere Krebse, Alytes, Salamandra maculosa), während die höheren Grade sehr weit von der gruppentypischen Norm einer Metamorphose abweichen. Einerseits erscheinen dann in solchen Fällen die transitorischen Larvenorgane und entsprechend alle Metamorphosephänomene mehr oder weniger abgeschwächt (Hylodes martinicensis und alle Wabenkröten; Entoprocte Bryozoen wie Pedicellina) oder sie sind fast vollständig unterdrückt (DESORSche Larve der Nemertinen); andererseits treten an solchen Entwicklungsstadien besondere Bildungen auf, die mit den neuen Bedingungen des abhängigen Larvenlebens zusammenhängen. Auch sie können zusammengehen mit mehr oder weniger ausgeprägter Metamorphose (Eiweißorgane bei Fusus, Paludina; Glockenkiemen von Nototrema, Cryptobatrachus u. a.; Nähreierphänomene bei Buccinum, Purpura und anderen Prosobranchiern sowie bei Salamandra atra usw.), oder mit völliger Unterdrückung derselben (Ei-

weißorgane bei Oligochäten, Hirudineen, Pulmonaten).

Daß in Fällen wie bei Salamandra oder Paludina *Viviparität* eintritt, ist im vorliegenden Zusammenhang unwesentlich, weil dadurch, im Gegensatz etwa zum Fall der Säuger, der Ablauf der Gestaltentwicklung nicht beeinflußt wird.

Ebensowenig verändert eine ganz andere Art der Komplikation die gestaltlichen Entwicklungsvorgänge: die oft sehr eindrucksvolle *Brutpflege* mancher Arthropden (Aufzucht der Jungen an Brutbeinen oder in Bruträumen bei höheren Krebsen und Asseln, Bildung von Futterpillen bei Mistkäfern, Anlegen von vegetarischen oder animalischen Nährvorräten bei Bienen und Grabwespen, Brutpflege im Bienen-, Ameisen- und Wespenstaat usw.). Wir erwähnen sowohl die *Viviparität* wie die Brutpflege an dieser Stelle nur, weil beide Erscheinungen klare Abhängigkeit von den Eltern bedeuten.

c) *Abhängige Jungtiere*. Die Erscheinung der Brutpflege führt uns zu einer letzten Gruppe abhängiger Ontogenesen, die sich bei Formen mit direkter Entwicklung findet und wo die elterliche Fürsorge dem Jungtier gilt. Vielfach beschränken sich die Beziehungen auf Schutz, Wärmen, Führen oder Ernähren, ohne daß dieser Bindung an die Eltern besondere gestaltliche Merkmale beim Jungtier entsprechen. (Die Jugendstadien der Termiten sowie die nestflüchtenden Jungsäuger und Jungvögel repräsentieren diesen Fall.) Innere Umstellungen in der physiologischen Organisation, wie sie mit einer solchen postembryonalen Ernährung verbunden sein können, sowie auch die psychischen Beziehungen zu den Eltern führen auf dieser einfachsten Stufe selten zu morphologisch faßbaren Veränderungen¹⁾.

Von solchen Beziehungen ohne äußerlich sichtbare Umgestaltung der Jugendstadien führt eine reiche Stufenreihe zu komplexeren Graden der Abhängigkeit mit gestaltlichen Zusatzbildungen beim Jungtier. So zeigen schon die Nestflüchter bei Vögeln besondere postembryonale Dunenkleider, die später verlorengehen, oder es ist bei früher Geburt, also bei Nesthockern, die unvollständige Ausbildung mancher Organe durch transitorische Mehrleistungen ausgeglichen (Augen- und Ohrenverschluß durch epitheliale Wucherung bei Säugern, Versenkung von Federanlagen bei Vögeln). Den stärksten Grad erreichen solche transitorische Zusätze an Jungtieren bei den extremen Nesthockern mancher Vogelgruppen, wo durch Fersenhöcker, Schnabelwülste, Rachenfarben und -male, Leuchtpelzen im Schnabelgebiet die Gestaltung des Jungen oft bis zur Unkenntlichkeit vom Adulttypus abweicht und wo auch die Notwendigkeit der Pflege durch die Alttiere ein Höchstmaß erreicht

¹⁾ Die Schlundrinne im Magen der Wiederkäuher stellt einen ganz eigenartigen Sonderfall dar, da sie nur während der Saugperiode funktioniert, aber im fertigen Organismus als kindliches Organ wie ein Rudiment bestehen bleibt.

(komplizierter Nestbau, Nesthygiene durch Kotwegnahme usw.). Ähnliche extreme Abhängigkeit vom Alttier zeigt die Umgestaltung des Jugendstadiums bei Beuteltieren: Früh differenzierte Kletterklauen der Vorderextremität des Jungtieres, transitorische Befestigung an der Zitze der Mutter durch seitliches Verwachsen der Mundränder.

Angesichts der weitgehenden Verschiedenheit zwischen Jugend- und Reifeform bei extremer Abhängigkeit könnte man versucht sein, diese Jugendformen geradezu als „Larven“ zu bezeichnen, da sie eine tatsächliche Maskierung des Endzustandes darstellen. Unsere Definition der Larve soll aber einer allzu vieldeutigen und dadurch unbestimmten Verwendung dieses wichtigen ontogenetischen Begriffs durch bewußte Einengung des Gültigkeitsbereichs entgegenarbeiten. Wir halten deshalb im Interesse klarer biologischer Begriffsbildung an unserer anfangs gegebenen Definition der Larve fest. Im vorliegenden Falle handelt es sich um Jugendstadien einer gruppentypisch *direkten* Ontogenese, deren scheinbar „larvale“ Merkmale lediglich im Zusammenhang mit der Abhängigkeit vom Alttier verständlich sind, im völligen Gegensatz zu den transitorischen Organen bei Gruppen mit echten, unabhängigen Larven, bei denen die Ontogenese gruppentypisch indirekt verläuft.

Je höher die Tiergruppe organisiert ist, bei der wir abhängige Ontogenese feststellen, desto komplizierter sind deren Erscheinungsarten und um so mehr weichen auch die vergleichbaren Varianten bei verschiedenen Tiergruppen voneinander ab. Da wir die Aufmerksamkeit ganz besonders auf diese Tatsache der ontogenetischen Mannigfaltigkeit bei hoher Organisationsstufe lenken möchten, so soll diese Mannigfaltigkeit nicht durch einen nomenklatorischen Zwang in wenige Gruppen gepreßt werden. Deshalb verzichten wir auf eine Gliederung in feste Kategorien. Dagegen scheint uns die Festlegung der „Abhängigkeit“ durch eine entsprechende Bezeichnung sinnvoll, und wir unterscheiden darum *abhängige Embryonen*, *abhängige Frühlarven*, *abhängige Spätlarven* oder *abhängige Jungtiere*, je nach dem Stadium, auf dem sich der erhöhte elterliche Anteil an der Ontogenese in Abänderungen gestaltlicher Art äußert.

Neben der in unseren Ordnungsversuch einbezogenen Abhängigkeit von Eltern existieren andere, gleichfalls sehr enge Abhängigkeiten tierischer Ontogenesen, die sich aber auf fremde tierische oder pflanzliche Organismen beziehen. Deshalb wurden Erscheinungen wie *Commensalismus*, *Symbiose* und *Parasitismus* hier nicht berücksichtigt, weil wir bestrebt sind, bei der Ordnung der tierischen Ontogenesen auf streng morphologischem Boden *im Gestaltkreis der Art* zu bleiben. Das bedingt, daß von überindividuellen Beziehungen nur die zwischen Eltern und Nachkommen bestehenden berücksichtigt werden dürfen, da jede Weiterung

ein Abgleiten in ökologische Bereiche bedeuten würde. Parasitismus z. B. ist in unserem Zusammenhang lediglich *eine* von vielen Milieubeziehungen, wenn auch freilich eine, der besonders tiefgreifende gestaltliche Sonderheiten entsprechen. Eine Ausnahmestellung nimmt aber der Parasitismus nicht ein, denn alle bisher geschilderten Entwicklungszustände, seien es Embryonen, Larven oder Jungtiere, können transitorische Bildungen aufweisen, die oft mit besonderen Verhältnissen des Milieus in Zusammenhang stehen. Derartige Gebilde, wie Dotterorgane, Larvenkiemen, Schnabelwülste, wurden hier ausschließlich nach ihrem Formwert, keineswegs aber in bezug auf ihren Anpassungscharakter beurteilt.

Unter den Erscheinungen, die in unserer Darstellung bisher unberücksichtigt geblieben sind, verdienen diejenigen der *Metagenese* und der *Heterogonie* noch besondere Erwähnung. Es scheint nahezuliegen, Entwicklungszyklen wie denjenigen der Hydrozoen, der Bandwürmer, Saugwürmer oder der Rotatorien und der Aphiden als besondere ontogenetische Kategorien aufzuführen. Einer vertieften Analyse dagegen stellen sich diese komplexen Entwicklungsabläufe lediglich als eine Folge ontogenetischer Vorgänge dar, von denen jeder ohne Schwierigkeit einem der hier aufgestellten Typen zugewiesen werden kann. Die in solchen Fällen häufigen vegetativen Entwicklungsprozesse gehören alle ohne Ausnahme dem primären direkten Typus an.

Unsere Darstellung bleibt bewußt rein deskriptiv und bewahrt gegenüber jeder evolutiv gefärbten Nomenklatur die vollste Zurückhaltung. Dies bedarf in einer Zeit, wo die gesamte Biologie von der Evolutionstheorie durchdrungen ist, wohl eines Wortes der Rechtfertigung.

Morphologie kann als Wissenschaft nur aufbauen auf einer Ordnung des Formenbestandes, die aus den vorliegenden Realitäten gewonnen wird. Deshalb suchen wir auch die Mannigfaltigkeit der Ontogenesen lediglich aus den dem Forscher direkt zugänglichen Tatsachen heraus zu ordnen in der Überzeugung, daß nur ein solcher Ordnungsversuch die fruchtbare Basis für den zweiten Schritt der biologischen Forschung, für die Auslegung dieser Tatsachen, für die Deutung des hier geordneten Formenzusammenhanges bieten wird. Wir wollen nicht vergessen, daß auch das morphologische System der Tiere vor jeder Abstammungslehre und unabhängig von ihr gebaut worden ist und daß die Deszendenztheorie lediglich den Inhalt dieses Systems übernommen und auf ihre Weise interpretiert hat.

Auch das im vorstehenden Gebotene kann jederzeit in der Sprache der Evolutionstheorie gelesen werden. Es wird niemand daran zweifeln, daß man in ihrem Sinne die primäre direkte Entwicklung, wie diejenige mit Frühlarven, als „primitiv“ gegenüber der Entwicklung mit Spätlarven und der sekundären direkten Entwicklung

auffassen muß. Es liegt nahe, in der primären direkten Entwicklung, als der gestaltlich sicher einfachsten Ontogeneseform, auch die primitivste Entwicklungsart überhaupt zu sehen, doch ist es sehr gewagt, eine solche Frage entscheiden zu wollen. Wir stellen deshalb auch die Entwicklung mit Frühlarven zu den primären Entwicklungsvorgängen. — Unschwer läßt sich dagegen die Entwicklung mit sekundären Larven in einzelnen Fällen als eine Steigerung der Entwicklung mit Frühlarven auffassen, so wenn z. B. bei Gastropoden trochophorartige Frühlarven und so typische Spätlarven wie die Veliger nebeneinander vorkommen. Ebenso leicht kann die komplexe Form der indirekten, holometabolen Insektenentwicklung aus der direkten, ametabolen der einfachen Formen abgeleitet werden, wobei hemimetabole Typen als Übergangsstufen bewertet werden können. Daß Ontogenesen mit Spätlarven durch steigende Abhängigkeit von der Elterngeneration in Zustände mit sekundärer direkter Entwicklung übergehen können, läßt sich in Gruppen wie den Mollusken (Pulmonata) oder bei höheren Krebsen (Potamobius) wahrscheinlich machen.

Daß sämtliche abhängigen Entwicklungsabläufe Erscheinungen von spezialisierten und hochorganisierten Gruppen sind und damit im Sinne der Evolutionsauffassung ausgesprochen sekundär, braucht gleichfalls keiner Erörterung. Je höher eine Tiergruppe nach ihrer Organisation im System einzureihen ist, je evoluerter sie also im Sinne der Abstammungslehre ist, desto auffälliger *häufen* sich bei ihr die sekundären Ontogeneseprozesse. So zeigen die Vögel z. B. nicht wie die einfachere Organisationsstufe der Reptilien lediglich sekundäre direkte Entwicklung mit abhängigen Embryonen, sondern außer diesen auch noch abhängige Jungtiere in sehr verschiedenem Grad der Ausprägung. Hochentwickelte Insektenformen entfernen sich im Entwicklungsgang von den einfachen Formen mit primärer direkter Entwicklung nicht allein durch ein Dotterorgan in der Embryonalphase (abhängige Embryonen), sondern auch durch Bildung von Spätlarven und zudem in den höchsten Organisationsgraden der Hymenopteren durch Abhängigkeit dieser Spätlarven. — Ebenso wie der Morphologe die Endform nach den Graden ihrer gestaltlichen Komplikation in Evolutionsreihen ordnen kann, so wird er ohne Schwierigkeit auch die Ontogenesen der betreffenden Gruppen in einer vergleichbaren Relation von steigender Komplikation vorfinden, — kann also eine entsprechende „Evolution der Ontogenesen“ annehmen. Der Unterschied im Formwert von Crinoiden zu Asteriden oder Echiniden hat seine Parallelen in verschiedenen Komplikationen ihrer Frühlarven; dem organisatorischen Abstand, der etwa apterygote Insekten von hochorganisierten Pterygoten trennt, entspricht auch der Gegensatz zwischen der einfachen direkten Entwicklung und der Entwicklung mit Spätlarven oder gar abhängigen Spätlarven.

Unsere Ordnungsgruppen sind also ohne weiteres anwendbar in einer auf Evolutionsprobleme gerichteten Darstellung. Wenn wir trotzdem sowohl die Verwendung spezifisch evolutiver Ausdrücke wie „primitiv“, „evoluiert“ wie auch jede phylogenetische Interpretation von Ontogenesezuständen vermeiden, so erfolgt diese Einschränkung, wie gesagt, aus der Überzeugung, daß der

Forschung mit einer objektiven, aus den gegenwärtig nachprüfbaren Formzusammenhängen allein abgeleiteten Ordnung sowie mit einer entsprechenden Nomenklatur besser gedient sei. Ja, eine solche Ordnung wird das aus den Tatsachen jederzeit Ableitbare vom unsicheren, im Laufe der Zeit wechselnden Bereich der Deutung sondern helfen.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Über das Verhalten nichtpolarer Kristalle dicht unterhalb des Schmelzpunktes und beim Schmelzpunkt selbst.

Die Oberflächen nichtpolarer Kristalle verhalten sich gegenüber der eigenen Schmelze verschieden: Die Flächen mit großer Netzdichte werden nur unvollkommen benetzt, während alle anderen Flächen vollkommen benetzbar sind¹⁾. Dies kann mit dem Unvermögen der Bausteine an den Kristallflächen mit großer Netzdichte, ihr Schwingungsvolumen innerhalb der Netzebene selbst auszudehnen, erklärt werden. Es ist weiter anzunehmen, daß die durch die eigene Schmelze vollkommen benetzbaren Kristallflächen bereits unterhalb des Schmelzpunktes eine quasiflüssige Schicht ausbilden. Daraus lassen sich dann weitere Schlüsse ziehen: In der Nähe des Schmelzpunktes kann eine Abrundung von Ecken und Kanten eines solchen Kristalls eintreten. Das Innere ursprünglich kleiner Kriställchen wird im allgemeinen bei höheren Temperaturen als eine große Kristallmasse schmelzen.

¹⁾ Über *Ga* und *Hg* vgl. M. VOLMER und O. SCHMIDT, Z. physik. Chem. (B) 35 467 (1937). Über *Cd* vgl. I. N. STRANSKI, Z. physik. Chem. (B) 38 456 (1938).

Ein ausführlicher Bericht über diesen Gegenstand erscheint in der Zeitschrift für Physik.

Breslau, den 17. November 1941. I. N. STRANSKI.

Anmerkung zu unserer Arbeit „Enzymatische Hydrolyse von Heroin“¹⁾.

Von anderer Seite wurde unsere Aufmerksamkeit auf eine Arbeit von C. I. WRIGHT (Science, 13. September 1940) gelenkt, wo dieser Autor den Beweis erbringt, daß Heroin durch ein Ferment des Blutes — eine Esterase — gespalten wird. Diese Arbeit ist unserer Aufmerksamkeit entgangen, weil uns die Zeitschrift wegen der Kriegsumstände fehlt. Wir haben inzwischen noch festgestellt, daß die Esterase von C. I. WRIGHT identisch ist mit der Blutlipase (Substrat: Äthylacetat). Es ist uns ein Vergnügen, hier ausdrücklich zu betonen, daß C. I. WRIGHT unbedingt die Priorität für das Auffinden der enzymatischen Hydrolyse von Heroin zukommt.

Gent (Belgien), Physiologisch-chemisches Laboratorium der tierärztlichen Schule der Universität Gent, den 19. November 1941. L. MASSART. R. DUFAIT.

¹⁾ L. MASSART, R. DUFAIT, Naturwiss. 29, 572 (1941).

Besprechungen.

RIEHL, NIKOLAUS, **Physik und Anwendungen der Lumineszenz.** (Technische Physik in Einzeldarstellungen hrsg. von W. MEISSNER u. G. HOLST, Bd. 3.) Berlin: Springer 1941. VII, 218 S. u. 83 Abbild. Preis brosch. RM 21.—, geb. RM 22.80.

Wie schon aus dem Titel des Buches hervorgeht, zerfällt es inhaltlich in zwei Teile, die räumlich je etwa eine Hälfte ausmachen. Der erste Teil bringt nach zwei einleitenden orientierenden Kapiteln und einem dritten über Arbeitsmethoden und apparative Hilfsmittel zunächst die Phänomenologie. Dabei ist das vierte Kapitel nach chemischen Gesichtspunkten geordnet — es stellt gewissermaßen das Rudiment des in den meisten Darstellungen des gleichen Gebiets vorhandenen Rezeptteiles dar — während das fünfte Kapitel die „Physik“ bringt. Hier ist von allgemeinerem Interesse die — schon von R. TOMASCHEK [Sitzungsber. Ges. Naturwiss. Marburg 63, 128 (1928)] vor längerer Zeit als notwendig erkannte — Energieleitung innerhalb des Phosphors vom Ort der Absorption zum Ort der Emission des Lichtes. Bemerkenswert erscheint dem Ref. auch das über Abklingung Gesagte: Einmal wird das spontane Nachleuchten scharf von der eigentlichen Fluoreszenz und Phosphoreszenz getrennt. Andererseits wird die Gültigkeit des einer bimolekularen Reaktion entsprechenden Abklingungsgesetzes als kennzeichnend für spontanes Nachleuchten und Phosphoreszenz angesehen. Letzteres ist von großer Wichtigkeit für die im 6. und 7. Kapitel behandelte Theorie. Die nicht minder interessante Frage, wie wir uns den Einbau des Leuchtstoffes im Kristallgitter vorzustellen haben, behandelt das 8. Kapitel. Im 2. Teil des Buches,

dem 9. Kapitel, finden wir auf größerem Raum dargestellt die Anwendung der Lumineszenz in Wissenschaft und Technik. Man wird immer wieder lebhaft berührt von dem breiten modernen Anwendungsbereich einerseits und der, man möchte fast sagen, ehrwürdigen Rolle andererseits, die die Lumineszenz am Beginn der Physik des 20. Jahrhunderts als Indikator für Kathoden-, α - und Röntgenstrahlen gespielt hat.

Der Verf. hat, wie bekannt, um die wissenschaftliche und technische Entwicklung der Lumineszenz große Verdienste, und so wird es niemand verwundern, daß seine und seiner Mitarbeiter Arbeiten im Vordergrund stehen. Aus dem gleichen Grunde ist seinem Buch sehr zu seinem Vorteil die lebhafteste Darstellungsweise einer Originalarbeit eigen. Die schöne Einheitlichkeit ist zum Teil die Folge einer klugen Beschränkung des Gegenstandes. Dem Ref. scheint, als ob dabei eher zu exakt, zu ängstlich als zu großzügig vorgegangen worden sei (Kapitel IVe). An mehreren Stellen würde man gern Genaueres wissen. Doch ist es ja leider eine Allgemeinerscheinung in Schriften technisches Interesse besitzender Gegenstände, daß aus Geheimhaltungsgründen die *wissenschaftliche* Darstellung manchmal arg zensiert werden muß. Statt uns zu beklagen, wollen wir aber lieber dem Verf. für die Menge des „nach unveröffentlichten Versuchen“ Mitgeteilten dankbar sein. Im ganzen ein interessantes Buch, das nicht nur in Fachkreisen weite Verbreitung verdient und auch finden wird.

Druck und Ausstattung des Buches sind vorzüglich und lassen wirklich keinerlei Kriegerscheinung erkennen. P. BRAUER.

TISCHLER, FRIEDRICH, **Die Vögel Ostpreußens und seiner Nachbargebiete**. Schriften der Albertus-Universität. Hrsg. Ostpr. Hochschulkreis. 2 Bde. XVII, XV, 1304 S., 5 Abb., 1 Karte. Königsberg Pr.: Ost-Europa-Verlag 1941. Geb. RM 30.—

Das neue Werk von TISCHLER ist weit mehr als eine Neuauflage seines Buches über die Vögel der Provinz Ostpreußen aus dem Jahre 1914. Es kann in seiner jetzigen Form unbedingt als ein Vorbild monographisch faunistischer Arbeiten angesehen werden. TISCHLER hat nicht allein die Literatur über die ostpreußische Vogelwelt in einer nicht mehr zu überbietenden Vollständigkeit herangezogen, sondern er hat in größter Sorgfalt mit einer großen Anzahl von ostpreußischen Beobachtern (ihre Namen sind in einem 8 Seiten umfassenden Verzeichnis angegeben) über alle Einzelheiten eingehenden Schriftwechsel geführt. Da diese Arbeitsweise neben der sehr umfassenden eigenen Beobachtung das Lebenswerk des Verfassers bedeutet, so ist in seiner neuen Monographie wirklich alles zusammengetragen, was für jemand, der sich in irgendeinem Zusammenhang für die Vogelwelt Ostpreußens interessiert, wissenswert sein könnte. Es dürfte schwer fallen, einen ornithologischen Gesichtspunkt ausfindig zu machen, über den man sich nicht in TISCHLERS Buch hinreichend orientieren könnte, womit die Hauptaufgabe einer faunistischen Monographie als bestens gelöst angesehen werden muß. Ostpreußen nimmt bekanntlich in faunistischer Hinsicht wegen seiner östlichen Lage eine Sonderstellung in Deutschland ein, so daß auch der Stoff des von TISCHLER Dargestellten an sich schon interessanter ist, als er dies hätte für ein anderes deutsches Gebiet sein können. Eine in jeder Hinsicht zuverlässige Bearbeitung von Ostpreußens Vogelwelt durch ihren besten Kenner ist daher besonders zu begrüßen. Hinsichtlich vieler sehr interessanten Einzelheiten muß hier auf das Buch selbst verwiesen werden.

F. STEINIGER (Berlin-Dahlem).

GINBERGER, AUGUST, **Pflanzengeographisches Hilfsbuch**, zugleich ein botanischer Führer durch die Landschaft. Unter Mitwirkung von JOSEF STADELMANN. Wien: Springer-Verlag 1939. VII, 272 S., 77 Textabb. 15 × 23 cm. Preis brosch. RM 15 —, geb. RM 16.50.

Das vorliegende Werk ist das letzte des inzwischen verstorbenen Wiener Pflanzengeographen, eine Schöpfung von eigenartiger Zielsetzung und zum Teil origineller Durchführung. Es will nicht die Kenntnis der Vegetation vermitteln, wie man aus dem Untertitel vermuten könnte, sondern eine Kenntnis der Pflanzen und ihrer Lebenserscheinungen, soweit sie für die Landschaft und ihr Zustandekommen wichtig ist. Der Verf. bezeichnet es als einen Versuch, „die Botanik für den Geographen zu sehen und darzustellen“, will aber kein pflanzengeographisches Kompendium für Geographen bieten. Nur ein erster, 40 Seiten langer Abschnitt handelt von den Grundbegriffen der Pflanzengeographie, ein zweiter, ähnlich knapper, eigentlich an die erste Stelle gehöriger, führt ein in Morphologie, Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Beide sollen nur hinleiten zu dem Hauptteil, einer Übersicht der „Vegetationsformen“, besser Lebensformen oder Wuchsformen der Pflanzen, einer Physiognomik der Einzelgewächse, nicht des Pflanzenkleides.

Als Einführung in die Pflanzengeographie werden besonders die Standortsfaktoren behandelt, in die der Verf. auch die historischen Faktoren, also eigentlich die genetische Pflanzengeographie einbezieht, kommt dann aber doch zu einer scharfen Gegenüberstellung

von Anpassungsmerkmalen und Organisationsmerkmalen. Während für den Botaniker die Organisationsmerkmale und die sich davon ableitenden Begriffe Sippe, Verwandtschaft, Florenelement, Flora und Florengebiet von größerer Wichtigkeit seien, bedeuteten für den Geographen die Anpassungserscheinungen, von denen sich Konvergenz, Wuchsform, Pflanzenformation, Vegetation und Vegetationsgebiete herleiten, wichtigstes Hilfsmittel. In konsequenter Fortführung dieser für beide Teile wohl etwas überspitzten Abgrenzung kommt der Verf. zu dem Versuch, im Hauptteil des Buches ein weit ausgearbeitetes System, ja fast eine Art Bestimmungsschlüssel der Wuchsformen der Pflanzen zu geben, das die bisherigen Versuche seit A. von HUMBOLDTS Physiognomik, aber auch (durch die Aufgliederung der Phanerophyten) RAUNKIAERS System der Lebensformen weit übertrifft. Man muß dem neuen System Vollständigkeit (durch die Einbeziehung der kryptogamischen Formen), Verständlichkeit der allerdings rein deutschen Benennung, Eindeutigkeit und Einprägsamkeit zuerkennen. Wenn es auch noch nicht möglich sein wird, danach alle Pflanzen eines Bestandes in ihrer Lebensform, ohne Berücksichtigung ihrer Namen und Verwandtschaften, unzweideutig bis zur Wiedergabe eines getreuen Bildes zu charakterisieren, so dürfte die neue Übersicht doch dem Geographen bei der Beschreibung von Landschaften, dem Botaniker bei der Aufnahme noch fremder Vegetationstypen, dem Systematiker und Sammler bei der kurzen Benennung der Lebensformen wertvolle Dienste leisten. Die Wuchsformen der Bäume werden z. B. durch die gleichzeitige Berücksichtigung von Kronenform, Stamm, oberirdischer Bewurzelung, Belaubung und Bedornung wesentlich besser als bisher erfaßt. Eine noch weitere Verfeinerung würde das System nach meinen Erfahrungen für die Fülle der Tropenbäume und Sträucher durch die Mitberücksichtigung der Berindung erfahrung können. Pflanzenmorphologisch ließe sich der neue Versuch einer Gliederung der Lebensformen sicher noch wesentlich vertiefen (vgl. z. B. die Arbeiten von W. RAUH über die Spaliersträucher und Polsterpflanzen), doch lag das nicht in der Zielsetzung des Buches. Um so reizvoller wäre es gewesen, die Vegetationstypen der Erde nach ihrer Zusammensetzung aus diesen Lebensformen („Lebensformenspektrum“) gezeichnet zu sehen. Ein solcher Versuch dürfte sich lohnen, erfordert aber noch spezielle Vorarbeiten. Das vorliegende Werk wird auch in seiner Beschränkung einen sichtbaren Platz in der Geschichte der Pflanzengeographie einnehmen.

CARL TROLL, Bonn.

BAUMGÄRTEL, TRAUGOTT, **Mikrobielle Symbiosen im Pflanzen- und Tierreich**. (Die Wissenschaft. Einzeldarstellungen aus der Naturwissenschaft und Technik. Bd. 94 Hrsg. v. WILHELM WESTPHAL.) Braunschweig: Fr. Vieweg & Sohn 1940. VI, 132 S. u. 24 Abb. RM 7.60, geb. RM 9.20.

Zum ersten Male wird hier der Versuch gemacht, die Symbiosen des Tier- und Pflanzenreiches in zusammenfassender Darstellung zu behandeln. Daß bei der Fülle des Stoffes nur wenige Beispiele herausgegriffen werden konnten, liegt auf der Hand. Allerdings sind dabei manche wichtige Kapitel entweder zu kurz gekommen, wie z. B. die Mykorrhiza der höheren Pflanzen, oder sie fehlen ganz, wie die Zikadensymbiosen, die selbst in einer knapp gehaltenen Übersicht nicht zu missen sind! Leider kann man sich auch da und dort des Eindrucks einer teils etwas flüchtig geratenen Bearbeitung nicht erwehren.

ANTON KOCH, Breslau.

Isomere Atomkerne.

Von E. STUHLINGER, Charlottenburg.

1. *Einleitung.* In der organischen Chemie sind seit langem Moleküle bekannt, die in zwei verschiedenen Modifikationen vorkommen. Der Unterschied zweier solcher Moleküle liegt in der geometrischen Anordnung ihrer einzelnen Atome oder Atomgruppen. Die verschiedene Molekülstruktur äußert sich in der Drehrichtung der Polarisations-ebene, im Schmelz- und Siedepunkt, im dielektrischen Verhalten oder in anderen chemischen und physikalischen Moleküleigenschaften. Da beide Moleküle in bezug auf die Anzahl und auch die Art ihrer Atome identisch sind, werden sie als „isomere Moleküle“ bezeichnet.

Unter den Atomkernen hat man in den letzten Jahren eine Anzahl radioaktiver Kerne kennengelernt, die ebenfalls in zwei verschiedenen Zuständen existieren können. Das unterscheidende Merkmal beider Kernzustände ist die Lebensdauer beim radioaktiven Zerfall. Die Anzahl der Protonen und Neutronen, also Ordnungszahl und Kernmasse, ist bei beiden Modifikationen gleich; HAHN (1) führte daher für solche Kernzustände die Bezeichnung „isomere Kerne“ ein. Der Grund für die verschieden lange Lebensdauer ist in einem verschiedenen Energiegehalt der beiden Isomere zu sehen. Weitere Unterschiede, etwa in der inneren Struktur der Kerne, konnten bisher nicht nachgewiesen werden.

Das erste Beispiel isomerer Kerne wurde 1921 von HAHN (1) entdeckt. Er fand, daß UX_2 und UZ in bezug auf Masse und Ladung identische Kerne sind. UX_2 zerfällt mit 1,1 Minuten Halbwertszeit zu U_{II} , während UZ mit einer Halbwertszeit von 6,7 Stunden ebenfalls in U_{II} übergeht. GAMOW (2) wies 1934 auf ein weiteres Beispiel von Kernisomerie hin: RaD^{210} , das durch Emission von β -Strahlen in RaE übergeht, ist ein Isomer zu dem stabilen Pb^{210} . Ein Versuch GAMOWS, die Isomerie durch Einführung negativer Protonen als „Strukturisomerie“ zu deuten, setzte sich nicht durch. Dagegen bewährte sich ein Vorschlag zur Deutung der Isomerie, den v. WEIZSÄCKER (3) nach der Entdeckung weiterer Isomere 1936 machte. Danach ist einer der beiden Kernzustände als Grundzustand, der andere als metastabiler Anregungszustand desselben Kerns zu betrachten. Der betreffende Kern vermag im metastabilen Zustand eine merkliche Zeit zu verweilen, da der sofortige Übergang in den Grundzustand durch Auswahlregeln verboten ist. Beim Zerfall geht der angeregte Kern entweder durch Emission eines γ -Quants in den Grundzustand oder durch β -Zerfall in den isobaren Nachbarkern über.

Ähnliche metastabile Zustände sind aus der Elektronenhülle der Atome bekannt. Sie führen beispielsweise zum Nachleuchten einer Stickstoffatmosphäre, durch die eine elektrische Entladung geschickt wurde. Die Ursache für die relativ große Lebensdauer solcher Atomzustände ist ein hoher Drehimpulsunterschied zwischen dem metastabilen Zustand und dem Grundzustand. In entsprechender Weise wird nach v. WEIZSÄCKER das Übergangsverbot zwischen dem metastabilen Kernzustand und dem Grundzustand durch eine starke Verschiedenheit der Kerndrehimpulse hervorgerufen. Das Übergangsverbot bewirkt, daß die mittlere Lebensdauer, die bei gewöhnlichen Anregungszuständen etwa 10^{-14} Sek. beträgt, auf mehrere Stunden oder Tage heraufgesetzt wird.

Eine Schwierigkeit trat bei dieser Deutung der Isomerie vorübergehend auf, als man die zahlreichen Aktivitäten, die beim Bestrahlen des Urans mit Neutronen entstehen (4), isomeren Transuranen zuschreiben wollte (5). Man mußte dabei nämlich zulassen, daß die Verschiedenartigkeit zweier isomerer Zustände an die Folgekerne vererbt wird. Die Zuhilfenahme isomerer Transurane zur Erklärung der zahlreichen Uran-Aktivitäten wurde hinfällig, als HAHN und STRASSMANN (6) den Spaltprozeß des Urans entdeckten und die verschiedenen Aktivitäten dem radioaktiven Zerfall der Spaltprodukte zuordnen konnten.

2. *Kernisomerie beim Brom.* Die wichtigsten Erkenntnisse über die Natur isomerer Kerne wurden durch die Untersuchungen von BOTHE und seinen Mitarbeitern am Brom gewonnen. Das radioaktive Isotop Br^{80} besitzt zwei isomere Zustände mit 4,5 Std. und 18 Min. Halbwertszeit. Der energetisch höhere Zustand ist das 4,5-Std.-Isomer, es geht durch Abstrahlen von γ -Quanten in den Grundzustand über. Von hier aus zerfällt der Br^{80} -Kern durch Emission von β -Strahlen in einen Kryptonkern. Die Energieniveaus und die Strahlungen des Br^{80} sind in Fig. 1 schematisch dargestellt.

Die Entdeckung der Bromisomere gelang auf folgendem Weg: Wurde stabiles Brom, das sich aus den Isotopen 79 und 81 zusammensetzt, mit thermischen Neutronen bestrahlt, so entstanden durch Neutronenanlagerung zwei radioaktive Isotope mit den Massen 80 und 82. Man beobachtete aber drei verschiedene Aktivitäten, die mit den Halbwertszeiten 18 Min., 4,5 Std. und 36 Std. abfielen (7, 8, 9). BOTHE und GENTNER (10, 11) erzielten auch durch Abspalten von Neutronen mittels

harter γ -Strahlen radioaktive Isotope von Brom. Sie fanden ebenfalls 3 Aktivitäten, obwohl bei ihrer Versuchstechnik nur die beiden Isotope 78 und 80 entstehen konnten. Die 3 Halbwertszeiten waren 5 Min., 18 Min. und 4,5 Std. Offensichtlich stimmen die ersten beiden durch Neutronenanlagerung entstandenen Zerfallszeiten mit den letzten beiden durch Neutronenabspaltung hervorgerufenen Zerfallszeiten überein. Da Br^{80} als einziges Isotop durch beide Methoden erzeugt werden kann, schlossen BOTHE und GENTNER, daß sowohl die 18-Min.-Aktivität wie auch die 4,5-Std.-Aktivität dem Br^{80} zugehört und daß Br^{80} in zwei isomeren Zuständen existieren kann.

Welche von diesen beiden Halbwertszeiten dem energetisch höheren Zustand des Br^{80} zuzuschreiben ist, konnten BOTHE und GENTNER entscheiden, in-

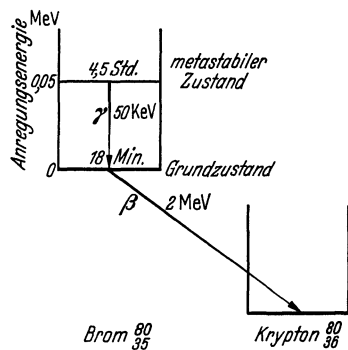


Fig. 1. - Termschema des Br^{80} . (Vereinfacht.)

dem sie das Mischungsverhältnis der beiden Isomere in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Anregungsenergie untersuchten (12). Bei Verwendung der $(\text{B} + p)$ - γ -Strahlung, deren Quantenenergie etwa 12 MeV beträgt, war die anfängliche Häufigkeit des 4,5-Std.-Isomers 3 mal geringer als die des 18-Min.-Isomers. Benützte man zur Anregung die $(\text{Li} + p)$ - γ -Strahlung mit 17 MeV, so entstand das 4,5-Std.-Isomer ebenso häufig wie das 18-Min.-Isomer. Ein noch deutlicherer Unterschied im Mengenverhältnis zeigte sich, als man Br^{80} aus Se^{80} durch einen (p, n) -Prozeß herstellte (13). Betrug die Protonenenergie 4 MeV, so war das 4,5-Std.-Isomer 15 mal seltener als das 18-Min.-Isomer. Protonen von nur 3,2 MeV erzeugten das 18-Min.-Isomer noch in merklichem Maße, das 4,5-Std.-Isomer vermochten sie aber nicht mehr anzuregen. Das Häufigkeitsverhältnis beider Isomere hängt also entscheidend von der Anregungsenergie ab, die der Br^{80} -Kern bei seiner Entstehung erhält, und zwar verschiebt sich das Mischungsverhältnis mit wachsender Anregungsenergie zugunsten des 4,5-Std.-Isomers. Hieraus folgt, daß das 4,5-Std.-Isomer energetisch über dem 18-Min.-Isomer liegt.

Die Strahlungen, die von den beiden Isomeren ausgehen, sind mehrfach untersucht worden (9, 14). Eine gewisse Trennung der beiden Aktivitäten konnte durch verschieden lange Bestrahlung des

Ausgangselementes erzielt werden. Zunächst schien es, daß sowohl von dem kurzlebigen wie auch von dem langlebigen Isomer eine β -Strahlung mit etwa 2 MeV Maximalenergie ausgesandt wird. Später sprachen ROUSSINOW und YUSEPHOWICH (15) die Vermutung aus, daß das 4,5-Std.-Isomer gar keine β -Strahlen emittiert, sondern unter Aussendung von γ -Strahlen in das 18-Min.-Isomer übergeht. Nach dieser Annahme ist das langlebige Isomer die Muttersubstanz des kurzlebigen. Beide Aktivitäten kommen einige Zeit nach ihrer Entstehung ins radioaktive Gleichgewicht, und die β -Strahlung des 18-Min.-Isomers klingt praktisch mit der Halbwertszeit der Muttersubstanz, also mit 4,5 Std., ab.

Ein derartiger genetischer Zusammenhang zwischen den beiden Isomeren legte es nahe, eine Trennung der Isomere zu versuchen, und zwar mit derselben Methode, mit der SZILARD und CHALMERS (16) die Abtrennung eines radioaktiven Isotops aus einer Lösung des stabilen Elementes durchgeführt hatten. Ein in dieser Richtung von SEGRÉ, HALFORD und SEABORG (17) unternommener Versuch war von vollem Erfolg; das 18 Min.-Isomer konnte auf chemischem Wege vom 4,5-Std.-Isomer abgetrennt werden.

3. Die chemische Abtrennung radioaktiver Isotope und Isomere. Es scheint zunächst unmöglich, eine Isotopentrennung mit Hilfe chemischer Methoden durchzuführen, da die verschiedenen Isotope eines Elements durch die gleichen chemischen Eigenschaften ausgezeichnet sind. Bei einer Reihe künstlich herstellbarer Isotope treten aber im Verlauf ihrer Entstehung physikalische Erscheinungen auf, die die Anwendung einfacher chemischer Abtrennmethoden ermöglichen. So werden von Atomkernen, die sich durch Anlagern thermischer Neutronen aus dem leichteren Nachbarisotop bilden, unmittelbar nach der Entstehung γ -Quanten emittiert. Jeder Kern erhält durch die Ausstrahlung eines γ -Quants einen durch den Impulssatz gegebenen Rückstoß. Die Rückstoßenergie beträgt bei einer Quantenenergie von 1 MeV und einem Atomkern mittlerer Masse rund 10 eV. Sie hat dieselbe Größenordnung wie die chemische Bindungsenergie organischer Moleküle. Sind also die bestrahlten Atome in Molekülen gebunden, so vermögen diejenigen Kerne, die ein Neutron anlagern und daraufhin ein γ -Quant emittieren, durch ihren Rückstoß die chemische Bindung zu sprengen. Sie liegen dann als freie Atome oder, wenn man mit Lösungen arbeitet, als Ionen vor und lassen sich durch Ausfällen und Abfiltrieren von der Menge der übrigen, nicht umgewandelten Atome trennen. Voraussetzung für dieses Verfahren zur Trennung von Isotopen ist, daß das zu bestrahlende Element in einer geeigneten Molekülverbindung vorliegt, die im gelösten Zustand keiner Dissoziation unterliegt. Als brauchbar erwiesen sich vor allem organische Verbindungen der Äthyl- und Butylgruppe.

Die Substanzmengen von Isotopen, die durch Neutronenbestrahlung hergestellt und auf die eben

beschriebene Weise abgetrennt werden können, sind mit den heute verfügbaren Mitteln noch unwägbar klein. Ihr Nachweis ist trotzdem sehr einfach, wenn es sich um radioaktive Isotope handelt. Während vor der chemischen Ausfällung und Abtrennung die gesamte bestrahlte Lösung radioaktiv ist, konzentriert sich nach der Abtrennung die ganze Aktivität auf das Filtrat; die Lösung bleibt inaktiv zurück. Um das Arbeiten mit den äußerst geringen Filtratmengen zu erleichtern, mischt man der Lösung vor dem Ausfällen des Niederschlags ein wenig von dem stabilen Element als Träger zu, das zusammen mit dem radioaktiven Isotop ausfällt und die Filtratmenge erhöht.

Das erste Isotop, das SZILARD und CHALMERS 1934 in dieser Weise abtrennen konnten, war radioaktives Jod. Sie bestrahlten eine große Menge wäßriger Äthyljodidlösung mit verlangsamt Neutronen, wobei ein radioaktives Isotop des Jods entstand. Sämtliche Kerne des neugebildeten Isotops strahlten ihren Energieüberschuß sofort in Form eines γ -Quants ab; infolge des Kernrückstoßes lösten sie sich dabei aus dem Molekülverband. Sie waren zunächst als freie Ionen in der Lösung vorhanden. Nach Beimischen einer Silberlösung und Zusatz von etwas freiem Jod als Träger bildeten sie einen unlöslichen Niederschlag von Silberjodid, der leicht aus der Äthyljodidlösung abgetrennt werden konnte. Der Niederschlag zeigte eine sehr starke Aktivität, während die zurückbleibende Lösung praktisch inaktiv war. — Um den weiteren Ausbau dieses Abtrennverfahrens bemühten sich ERBACHER und PHILIPP (18). Sie konnten eine Reihe radioaktiver Halogene aus organischen Verbindungen der inaktiven Elemente abscheiden. In allen Fällen ließ sich auf diesem Wege die Konzentration der aktiven Substanz um viele Zehnerpotenzen erhöhen.

Die beiden Isomere des Broms können nach der gleichen Methode getrennt werden, da das höhere Isomer beim Übergang in den Grundzustand ebenfalls eine γ -Strahlung emittiert. Sind die aktiven Bromatome in Molekülen gebunden, so lösen sich die Atome des tieferen Isomers infolge ihres Kernrückstoßes aus dem Molekülverband los und können als unlöslicher Niederschlag ausgefällt und abfiltriert werden.

SEGRÈ und seine Mitarbeiter wählten eine wäßrige Lösung von Äthylbromid als Ausgangssubstanz für die Isomerentrennung. Durch Bestrahlen mit langsamen Neutronen bildete sich das aktive Isotop Br^{80} . Zur Isolierung des tieferen Isomers mußten zwei aufeinanderfolgende chemische Abtrennungen vorgenommen werden. Die erste Trennung diente zur Konzentration des radioaktiven Brom-Isotops: die neugebildeten Br^{80} -Atome, die bei ihrer Entstehung ein γ -Quant emittiert hatten und infolgedessen als freie Ionen vorlagen, wurden durch Zusatz einer Natriumverbindung als Natriumbromid ausgefällt. Das aktive Brom dieses Niederschlags, das noch beide Isomere nebeneinander enthielt, wurde nun zu

einer wäßrigen Lösung von Butylbromid verarbeitet. Diejenigen Bromkerne der Butylbromidmoleküle, die jetzt vom höheren isomeren Zustand durch Emission eines γ -Quants in den tieferen übergingen, lösten sich infolge ihres Kernrückstoßes erneut aus dem Molekülverband. Sie bildeten zunächst Bromwasserstoff und konnten nach Zusatz einer Silberlösung als Silberbromid ausgefällt und abgetrennt werden. Der Silberbromidniederschlag zeigte eine intensive 2-MeV- β -Strahlung von 18 Min. Halbwertszeit, obwohl die Abtrennung erst viele Stunden nach der Bestrahlung des Äthylbromids vorgenommen worden war. Die zurückgebliebene Butylbromidlösung dagegen war anfangs nahezu frei von der charakteristischen 2-MeV- β -Strahlung und emittierte im wesentlichen nur eine weiche γ -Strahlung von 4,5 Std. Halbwertszeit. Sie bildete die β -Aktivität aber mit einer Anklingzeit von 18 Min. nach; später fiel die β -Strahlung ebenfalls mit 4,5 Std. Halbwertszeit ab. Diese Ergebnisse zeigen eindeutig, daß der 4,5-Std.-Körper durch Emission von γ -Strahlen in den 18-Min.-Körper übergeht und daß die β -Strahlung nur von dem 18-Min.-Isomer ausgesandt wird.

Die Energie der Brom- γ -Strahlung beträgt etwa 50 keV. Der Bromkern erhält bei der Emission solcher γ -Strahlen eine Rückstoßenergie von nur $\frac{1}{100}$ eV, die zum Sprengen einer chemischen Bindung nicht ausreicht. Erstaunlicherweise ist eine Trennung der Isomere als Folge der Kernstrahlung trotzdem möglich. Der Grund liegt darin, daß der größte Teil der Brom- γ -Strahlung sofort nach Verlassen des Kerns in der K-Schale der eigenen Elektronenhülle ein Photoelektron auslöst, das die Quantenenergie abzüglich seiner Bindungsenergie als kinetische Energie übernimmt. Bei der relativ niedrigen Quantenenergie von 50 keV ist der Impuls eines Elektrons wesentlich höher als der Impuls eines γ -Quants gleicher Energie. Das Bromatom erhält also einen stärkeren Rückstoß, wenn es ein Elektron seiner Atomhülle emittiert, als wenn nur ein γ -Quant den Kern verläßt. Wie man sich leicht überzeugt, beträgt die Rückstoßenergie eines Bromatoms nach einer solchen „inneren Umwandlung“ eines 50-keV- γ -Quants etwa $\frac{1}{3}$ eV. Diese Energie genügt zwar zum völligen Brechen der chemischen Bindung noch nicht, aber sie führt zu einem angeregten Molekülzustand, der das Bromatom zum Eingehen neuer chemischer Verbindungen befähigt.

Eine derartige „Aktivierung“ von Atomen kann in geringem Ausmaß schon allein durch die Wärmebewegung der Moleküle eintreten. So läßt sich aus einer gewöhnlichen, nicht radioaktiven Äthylbromidlösung einige Zeit nach der Herstellung Brom in Form eines Natriumbromidniederschlags ausfällen. Die abtrennbare Menge ist allerdings um viele Größenordnungen geringer als die unter der Einwirkung der Kern- γ -Strahlung freigesetzte Brommenge. — Die Einzelheiten dieses Aktivierungsvorganges sind noch nicht geklärt.

Die Abtrennung des tieferen Bromisomers wurde an einer Reihe verschiedener Bromverbindungen unter wechselnden Bedingungen durchgeführt (19). Dabei stellte sich heraus, daß nur 85% des im ganzen vorhandenen 18-Min.-Isomers abgetrennt werden können, der Rest verbleibt im Ausgangsmaterial. Man hat daraus zu schließen, daß nur bei 85% der zerfallenden Kerne das γ -Quant eine innere Umwandlung erfährt, während die restlichen 15% vermutlich durch einfache

Emission eines γ -Quants in den 18-Min.-Körper übergehen.

Die innere Umwandlung einer γ -Strahlung wurde erstmalig von PONTECORVO (20) am Rhodium nachgewiesen. Bald darauf wurde sie als häufige Eigenschaft weicher Kern- γ -Strahlen erkannt. Die Umwandlung findet meist in der K-Schale, manchmal auch in der L- oder M-Schale statt (21). Beim Ersetzen des durch innere Umwandlung verlorengegangenen Hüllenelektrons

Tabelle 1. Isomere Kerne mit γ -labilem Anregungszustand und β -labilem Grundzustand. (K-El. = K-Elektronen-Einfang.)

1 Element	2 Angeregter Zustand (γ -aktiv)			5 Grundzustand (β -aktiv)		7 Chemische Trennung der Isomere	8 Spindifferenz nach BETHÉ	9 Literatur
	Halbwertszeit	3 Energie in MeV	4 Innere Umwandlung	Halbwertszeit	6 Energie in MeV			
Ca ⁴⁹ ₂₀	2,5 Std.	0,8	—	30 Min.	e ⁻ 2,3	—	5—6	62
Sc ⁴⁴ ₂₁	52 Std.	0,25	teilweise	4 Std.	e ⁺ 1,5	—	4—5	63
? V ⁴⁹ ₂₃	600 Tg.	—	—	33 Std.	—	—	—	65
? Co ^{58/60} ₂₇	11 Min.	—	—	70 Tg. od. 7 Jahre 81 Sek.	—	—	—	62, 66, 67
? Cu ^{58/60} ₂₉	7,9 Min.	—	—	57 Min.	e ⁻ 0,99	ohne Erfolg	5—6	68
Zn ⁶⁹ ₃₀	13,8 Std.	0,47	nicht umgewandelt	19 Min.	e ⁻ 1,5	ja	3—4	70, 71
Se ^{79/81} ₃₄	1 Std.	0,093	völlig umgewandelt	18 Min.	e ⁻ 2,0	ja	3—4	7—15, 17, 19, 22—26
Br ⁸⁰ ₃₅	4,5 Std.	0,049	teilweise	66 Tage	K-El.	—	4—5	93, 48
Sr ⁸⁵ ₃₈	70 Min.	0,17	teilweise	80 Std.	K-El.	—	5	93, 48
Y ⁸⁷ ₃₉	14 Std.	0,5	teilweise	78 Std.	e ⁺ 1,0	—	—	93, 48
? Zr ⁸⁹ ₄₀	4,5 Min.	—	—	stabil oder langlebig	—	—	4	73
Ma ⁹⁹ ₄₃	6,6 Std.	0,136	teilweise	45 Sek.	e ⁻ 2,3	—	3—4	20, 74, 75, 64, 96
Rh ¹⁰⁴ ₄₅	4,3 Min.	0,08	teilweise	2,2 Min. od. 22 Sek.	2,8	—	—	77, 78
? Ag ^{108/110} ₄₇	225 Tg.	—	—	20 Min.	e ⁺ 2,1	—	—	29, 79, 80, 81
? In ¹¹⁰ ₄₉	65 Min.	—	—	72 Sek.	e ⁻ 2,0	—	5	28
In ¹¹⁴ ₄₉	50 Tg.	0,19	völlig umgewandelt	10 Std.	e ⁻	ja	5	41, 83
Te ¹²⁷ ₅₂	90 Tg.	0,09	völlig umgewandelt	72 Min.	e ⁺ , K-El.	ja	4—5	41, 83
Te ¹²⁹ ₅₂	32 Tg.	0,07	völlig umgewandelt	25 Min.	e ⁻	ja	—	41, 83
Te ¹³¹ ₅₂	1,2 Tg.	—	teilweise	10 Min.	—	—	—	84, 85
? X ¹³⁵ ₅₄	9,5 Std.	—	—	3 Std.	e ⁻ 1,0	—	—	86, 87, 97
? Cs ¹³⁴ ₅₅	20 Mo.	—	—	12 Min.	—	—	—	88
? Eu ^{132/4} ₆₃	105 Min.	—	—	3,5 Min.	—	—	—	89
? Gd ¹⁵⁹ ₆₄	17 Std.	—	—	21 Sek.	—	—	—	89
? Yb ¹⁷⁵ ₇₀	41 Std.	—	—	8,2 Std.	K-El.	—	—	90
? Ta ¹⁸⁰ ₇₃	20 Min.	—	—	1,5 Min.	2,1	—	—	86, 91, 92
? Ir ^{192/4} ₇₇	18 Std.	—	—	18 Std.	—	—	—	92, 95
? Pt ¹⁹⁷ ₇₈	3,3 Tg.	—	—	5,6 Tg.	e ⁻ 0,36	—	5	21, 92, 99
Au ¹⁹⁶ ₇₉	13 Std.	0,37	teilweise	4 Min.	—	—	—	80
? Tl ²⁰⁰ ₈₁	3,8 Std.	—	—	6,7 Std.	e ⁻ 1,55	—	—	42, 43, 1
UX ₂	1,1 Min.	—	—					

Tabelle 2. Isomere mit zwei β -labilen Anregungszuständen.
(K = K-Elektronen-Einfang.)

1	2	3	4	5	6
Element	Emittierte Strahlung	Halbwertszeit	Energie in MeV	Folgeprod.	Literatur
Ti ₂₂ ⁵¹	e ⁻ ; γ	2,8 Min.	0,36	V ₂₃ ⁵¹	64
	e ⁻ ; γ	72 Tage			
Mn ₂₅ ⁵²	e ⁺ ; γ	21 Min.	2,2	Cr ₂₄ ⁵²	113, 114, 115
	e ⁺ ; γ ; K	6,5 Tage	0,8		
As ₃₃ ⁷⁶	e ⁺ ; K	13 Tage	2,6	Ge ₃₂ ⁷⁶	107, 116
	e ⁻ ; γ	27 Std.	3,2		
Sr ₃₈ ⁸⁹	e ⁻	55 Tage	1,9	Y ₃₉ ⁸⁹	108
	e ⁻ ; γ	3,0 Std.	0,6		
Ag ₄₇ ¹⁰⁶	e ⁺ ; K	25 Min.	2,1	Pd ₄₆ ¹⁰⁶	43, 101, 109, 110, 111
	e ⁻ ; γ	8,2 Tage	1,3		
In ₄₉ ¹¹⁶	e ⁻	13 Sek.	3,1	Sn ₅₀ ¹¹⁶	81, 100, 102, 103, 106, 117
	e ⁻ ; γ	54 Min.	1,2		
Cp ₇₁ ¹⁷⁶	e ⁻	10 ¹² Jahre	—	Hf ₇₀ ¹⁷⁶	56, 104
	e ⁻	4 Std. od. 6,5 Tage			

emittiert das Atom seine charakteristische Röntgenstrahlung. Bei den Bromisomeren wurde eine Röntgenstrahlung von 4,5 Std. Halbwertszeit sowohl mit einem Kristallspektrographen (22) wie auch durch selektive Absorption (23) gefunden und als Brom-Röntgenstrahlung identifiziert. Neben diesen Röntgenstrahlen fand sich eine γ -Strahlung von 37 keV (24); 2 Gruppen von Umwandlungselektronen zeigten weitere γ -Linien von 25 keV und 50 keV an (25, 26). In ein befriedigendes Zerfallsschema konnten diese γ -Linien noch nicht eingeordnet werden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die 50-keV- γ -Strahlung dem Gesamtenergieunterschied zwischen den beiden isomeren Zuständen entspricht.

3. Die Isomere des Indiums. Bei den Elementen Strontium, Silber, Indium und Tellur treten meh-

rere Isotope in isomeren Formen auf. Unter den Indium-Isotopen zeigen sowohl die beiden stabilen Kerne 113 und 115 wie auch die radioaktiven Kerne 110, 114 und 116 Isomerie. Die metastabilen Zustände von In¹¹⁰ und In¹¹⁴ gehen durch Ausstrahlung eines γ -Quants in den β -aktiven Grundzustand über; der weitere Zerfall in den isobaren Nachbarkern erfolgt bei In¹¹⁰ durch Aussenden eines Positrons, bei In¹¹⁴ durch Aussenden eines Elektrons (s. Tabelle 1). Beim In¹¹⁶ sind beide isomere Zustände elektronenaktiv (s. Tabelle 2). Die Bildung der In¹¹⁶-Isomere weist interessante Einzelheiten auf (117): das Isotop In¹¹⁶ entsteht aus In¹¹⁵ durch Einfang von 1-eV-Resonanzneutronen. Die Neutronenanlagerung führt zunächst zu einem hoch angeregten In¹¹⁶-Kern, der einen Teil seiner Anregungsenergie sofort in Form

Tabelle 3. Isomere Kerne mit stabilem Grundzustand.
(K = K-Elektronen-Einfang.)

Element	Halbwertszeit	Energie des angeregten Zustands in MeV	Stoßanregung:	Spin des Grundzust.	Spindifferenz (nach BETHE)	Radioakt. Muttersubst.	Zerfall der Muttersubst.	Literatur
Kr ₃₆ ⁸³	113 Min.	0,049	—	9/2	3—4	Br ₃₅ ⁸³	e ⁻	72
Sr ₃₈ ⁸⁷	2,7 Std.	0,37	(n, n)	9/2	5	Y ₃₉ ⁸⁷	K	48
			(p, p)					
Nb ₄₁ ⁹³	55 Tg.	0,20	—	9/2	5	Zr ₄₀ ⁹³	e ⁻	94
Ag ₄₇ ^{107/09}	40 Sek.	0,093	(n, n)	1/2	3—4	Cd ₄₈ ^{107/9}	K	50
Cd ₄₈	50 Min.	—	(n, n)	1/2	—			
In ₄₉ ¹¹³	104 Min.	0,39	—	9/2	5	Sn ₅₀ ¹¹³	K	27, 28
In ₄₉ ¹¹⁵	4,5 Std.	0,338	(α , α)	9/2	5	Cd ₄₈ ¹¹⁵	e ⁻	28, 30 32, 98
			(p, p)					
			(n, n)					
			(e, e)					
Pb ₈₂ ²⁰⁷	1,6 Min.	0,2	(γ , -)	1/2	4—5	—	—	44
	(Bi ₈₃ ²⁰⁹)	6,35 Tg.	0,66	—	9/2	5—6	—	118

von γ -Quanten abstrahlt. Dabei fällt er entweder auf sein Grundniveau herab, das β -aktiv ist und zu Zinn weiter zerfällt, oder aber fällt er auf sein metastabiles Anregungsniveau und geht von hier aus ebenfalls durch Elektronenemission, aber mit einer anderen Halbwertszeit, in Zinn über. Beide Isomere werden also von demselben hohen Anregungsniveau aus gebildet. In Fig. 2 ist dargestellt, in welcher Weise die Isomere des In^{116} entstehen und zu Sn^{116} zerfallen.

Die metastabilen Zustände der beiden stabilen Isotope In^{113} und In^{115} können durch (d, n) -Prozesse aus Cadmium hergestellt werden (27, 28). Sie sind auch als Folgeprodukte radioaktiver Elemente bekannt, und zwar bildet sich das In^{113} -Isomer aus dem positronenaktiven Sn^{113} (28), während das In^{115} -Isomer aus dem elektronen-

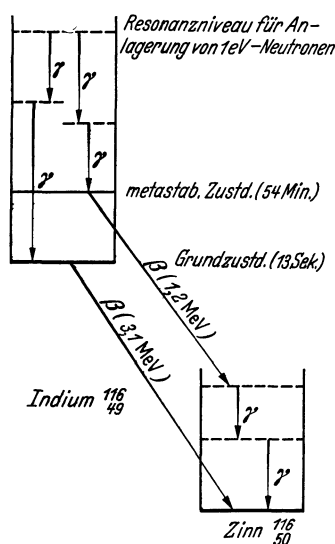


Fig. 2. Entstehung und Zerfall der Isomere des In^{116} . (Vereinfacht.)

aktiven Cd^{115} entsteht (29, 30). In Tabelle 3 sind Halbwertszeit und Zerfallsenergie dieser Indium-Isomere eingetragen. Bei der Bildung des In^{115} aus Cd^{115} tritt möglicherweise ein dritter isomeres Zustand in Erscheinung: Wie man aus dem in Fig. 3 dargestellten Zerfallsschema ersieht, emittiert Cd^{115} entweder eine 1,1-MeV- β -Strahlung und geht in das 4,5-Std.-Isomer des In^{115} über, oder aber emittiert es eine β -Strahlung von nur 0,6 MeV und bildet so einen Indiumkern, der eine um 0,5 MeV höhere Anregungsenergie besitzt als das gewöhnliche 4,5-Std.-Isomer. Von diesem Anregungszustand aus erfolgt zunächst der Übergang in das 4,5-Std.-Isomer und dann vollends der Übergang in den Grundzustand. Beim ersten Übergang wird eine γ -Strahlung emittiert, deren Energie sich zu 0,5 MeV ergab. Die Lebensdauer dieses oberen Zustandes scheint etwa 10^{-4} Sek. zu betragen (28, Anm. S. 993), so daß hier offenbar ein weiterer isomeres Zustand über dem Grundzustand des In^{115} vorliegt.

Das 4,5-Std.-Isomer des In^{115} verdient vor allem deshalb Beachtung, weil es aus dem Grundzustand durch einfache Stoßanregung gewonnen werden kann. Seine Herstellung gelingt durch Bestrahlung von Indium mit den schnellen Neutronen einer RaBe- oder RaB-Quelle und auch mit den 2,5-MeV-Neutronen der D-D-Reaktion, nicht aber mit den 0,5-MeV-Photoneutronen einer Ra γ -Be-Quelle (31, 32). Eine Bestrahlung von Indium mit den 5,8-MeV-Protonen eines Cyclotrons führte ebenfalls zu dem In^{115} -Isomer (33). Alphateilchen von 8,5 MeV regten den isomeren Zustand nicht an; erst mit Alphateilchen von 16 MeV glückte die Anregung (34, 35). Selbst unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen entsteht das aktive In^{115} (36, 37, 98); die zur Anregung erforderliche Mindestenergie beträgt 1,35 MeV. COLLINS und WALDMAN (38) erzielten sogar eine Anregung des Isomers durch Elektronen von 1,3 MeV. Indium ist damit nach Beryllium (39) das zweite Element,

bei dem man durch Bestrahlen mit Elektronen eine Kernumwandlung erreichen konnte. — Außer In^{115} gibt es noch einige andere Kerne, die sich durch

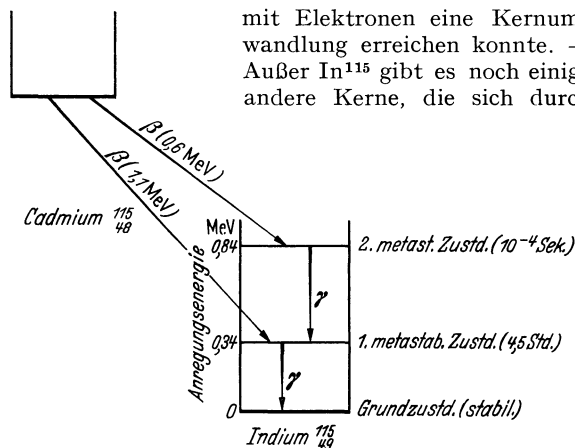


Fig. 3. Bildung der Isomere des In^{115} aus Cd^{115} .

Teilchenstoß in metastabile Zustände versetzen lassen. Ihre Beschreibung folgt in Abschnitt 6.

4. Weitere Isomere des γ - β -Typus. Die meisten der bisher bekannten isomeren Kerne zerfallen nach Art des Br^{80} oder des In^{114} zuerst durch Emission eines γ -Quants vom höheren in den tieferen Zustand und gehen dann durch β -Zerfall in den benachbarten isobaren Kern über. Die Kerne dieses Typus sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Aus der Tabelle ersieht man die Halbwertszeiten der beiden Zustände sowie die Energien der emittierten Strahlen. In Spalte 4 ist angemerkt, ob die γ -Strahlung einer inneren Umwandlung unterliegt. Spalte 7 zeigt, bei welchen Elementen eine chemische Trennung der beiden Isomere vorgenommen wurde. Spalte 8 enthält die vermutliche Drehimpulsdifferenz zwischen den beiden Zuständen; sie wurde nach einer von BETHE (40) angegebenen Formel abgeschätzt (s. Abschnitt 7). Zwei verschiedene Massenzahlen bei einem Kern bedeuten, daß die Zuordnung der

Isomerie zu einem bestimmten Isotop noch zweifelhaft ist. Bei Elementen, die mit einem Fragezeichen versehen sind, ist Isomerie zwar sicher nachgewiesen, aber noch nicht näher untersucht.

Bei der Mehrzahl der Kerne ist die Lebensdauer des oberen Zustandes größer als die des unteren. Beide Strahlungen befinden sich daher einige Zeit nach der Herstellung der Isomere im radioaktiven Gleichgewicht und fallen praktisch mit der Halbwertszeit des oberen, langlebigeren Zustandes ab. Die Einzeluntersuchung beider Isomere wird bei manchen Elementen durch chemische Isomerentrennung ermöglicht. Sie ist auf solche Kerne beschränkt, deren γ -Strahlung eine innere Umwandlung erleidet, denn im allgemeinen kann nur die Emission eines Umwandlungselektrons dem Atom die zur Lockerung der chemischen Bindung notwendige Rückstoßenergie erteilen. Die γ -Strahlung des Zinks erfährt keine innere Umwandlung; dementsprechend schlug auch der Versuch einer Isomerentrennung fehl (41). Bei Tellur sind 3 Isotope mit isomeren Anregungszuständen bekannt. Die Isomerentrennung gelang bei sämtlichen dadurch, daß sich Tellursäuremoleküle in

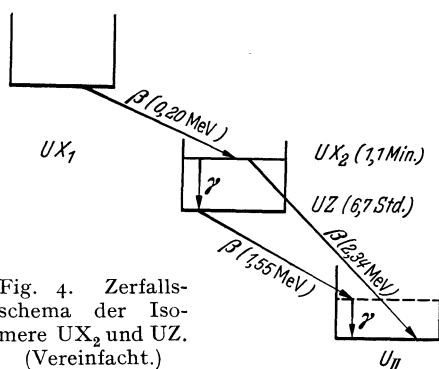


Fig. 4. Zerfallschema der Isomere UX_2 und UZ . (Vereinfacht.)

Moleküle der tellurigen Säure umwandeln, wenn der Tellurkern vom höheren in den tieferen Zustand übergeht. Die Ausbeute dieser chemischen Umwandlung als Folge des isomeren Kernübergangs betrug auch bei der Temperatur der flüssigen Luft noch 100% (41).

Die Kernisomerie des UX_2 und UZ , die schon 1921 von HAHN (1) entdeckt wurde, konnte in den letzten Jahren vollends geklärt werden (42, 43). Aus UX_1 entsteht zunächst UX_2 , das mit einer Halbwertszeit von 1,15 Min. entweder durch β -Zerfall in U_{II} übergeht oder aber durch Emission eines γ -Quants in den tieferen Zustand UZ zerfällt; UZ geht ebenfalls unter Elektronenemission mit einer Halbwertszeit von 6,7 Std. in U_{II} über (s. Fig. 4). Bei UX_2 haben also β -Zerfall und Emission eines γ -Quants vergleichbare Wahrscheinlichkeit, so daß beide Zerfallsarten nebeneinander beobachtet werden. Sie führen zu einem „verzweigten“ Zerfall, das Verzweungsverhältnis $\beta : \gamma$ beträgt etwa 660 : 1.

Ob auch bei anderen Isomeren ein verzweigter Zerfall des oberen Zustandes auftritt, ist nicht

sicher bekannt. Der Nachweis von zwei verschiedenen β -Spektren, deren Energiegrenzen nur etwa 100 keV auseinanderliegen, ist äußerst schwierig, da sich die Maximalenergie eines β -Spektrums nur ungenau bestimmen läßt. Leichter unterscheidbar sind die β -Spektren zweier Isomere, wenn ein Isomer zu einem angeregten Folgekern zerfällt. Im nächsten Abschnitt werden einige derartige Elemente besprochen. Die Grenzenergien beider β -Strahlungen unterscheiden sich hier nicht nur um die Energiedifferenz der beiden isomeren Zustände, sondern auch noch um die Anregungsenergie des einen Folgekerns. Die γ -Strahlung, durch die der Folgekern seine Anregungsenergie abstrahlt, erschwert andererseits das Auffinden von γ -Quanten aus einem verzweigten Zerfall des Isomers, denn beide γ -Strahlungen klingen mit der gleichen, für den isomeren Zustand charakteristischen Halbwertszeit ab.

5. *Isomere mit zwei β -labilen Anregungszuständen.* In Tabelle 2 sind die isomeren Kerne zusammengestellt, bei denen auch der höhere Zustand durch Emission eines β -Teilchens in den isobaren Nachbarkern übergeht. Der Übergang in den tieferen isomeren Zustand durch Abstrahlen eines γ -Quants ist bei diesen Kernen in so hohem Maße verboten, daß der β -Zerfall die größere Wahrscheinlichkeit besitzt und daher einem γ -Übergang zuvor kommt. Neben elektronenaktiven Isomeren kennt man, wie die Tabelle zeigt, auch positronenaktive Isomere. Positronenemission erfordert einen hohen Energieüberschuß des radioaktiven Kerns über den Endkern, da ein positronenaktives Atom außer der kinetischen Energie des β^+ -Teilchens sowohl ein Positron aus dem Kern wie auch ein Elektron aus der Atomhülle verliert und dadurch schon einen Energieverlust von rund 1 MeV erleidet. Bei einem elektronenaktiven Atom dagegen bleibt die Gesamtelektronenzahl des neutralen Atoms erhalten, da sofort nach dem Aussenden des Kernelektrons ein anderes Elektron in die Atomhülle eingebaut wird. Ein durch Elektronenemission zerfallendes Atom verliert also lediglich die kinetische Energie des β^- -Teilchens. Sie ist gleich dem Unterschied der Gesamtenergie von β^- -labilem Atom und Folgeatom und entspricht unmittelbar dem Massenunterschied zwischen dem aktiven Kern und dem Folgekern, denn an Stelle der Kernmassen werden in Wirklichkeit stets die Massen der neutralen Atome angegeben.

An die Stelle des Positronenzerfalls tritt häufig die Einfangung eines Elektrons der K-Schale in den Kern. Dieser Prozeß ist 1937 von ALVAREZ (45) am Vanadium entdeckt worden. K-Elektroneneinfang führt ebenfalls zu einem isobaren Kern mit einer um 1 niedrigeren Ordnungszahl, ist aber energetisch günstiger als Positronenemission. Die aufzubringende Energie beschränkt sich bei Elektroneneinfang auf ein Röntgenquant, das beim Wiederauffüllen der K-Schale von dem neu entstandenen Atom ausgestrahlt wird. Der Einfang

eines Hüllenelektrons ist dann wahrscheinlicher als Positronenemission, wenn die zur Verfügung stehende Zerfallsenergie kleiner als etwa 1 MeV ist. Liegt sie in der Nähe von 1 MeV, so kommt Positronenzerfall neben Elektroneneinfang vor, wie das Beispiel des Silbers in Tabelle 2 zeigt. Das Häufigkeitsverhältnis von Positronenemission zu K-Elektroneneinfang ist bei Silber 1 : 650.

Bei Kernen des β - β -Typus ist die Szilard-Chalmers-Methode der chemischen Isomerentrennung nicht anwendbar, da der tiefere Zustand nicht aus dem höheren hervorgeht. Beide Isomere liegen von Anfang an vor und zerfallen zu stabilen Kernen. Die Unterscheidung der Strahlungen beider Isomere ist bei Silber und Arsen besonders einfach, da bei diesen Elementen ein Zustand elektronenaktiv, der andere positronenaktiv ist. Schwieriger ist die Frage zu beantworten, welcher der beiden Zustände der energetisch höhere ist. Die Kernmassen der mittelschweren und schweren Elemente sind nicht so genau bekannt, daß die Energiedifferenz der beiden Endkerne daraus bestimmt werden könnte. In Analogie zu den Kernen des γ - β -Typus ist anzunehmen, daß auch bei Isomeren des β - β -Typus der Energieunterschied zwischen beiden isomeren Zuständen in der Gegend von 100 keV liegt.

6. *Isomere Kerne mit stabilem Grundzustand und ihre Anregung durch reine Stoßprozesse.* Die interessanteste Gruppe isomerer Kerne ist durch einen γ -labilen Anregungszustand und einen stabilen Grundzustand charakterisiert. Der Übergang des angeregten Zustandes in den stabilen Kern ist mit dem Abklingen einer Phosphoreszenzstrahlung vergleichbar. Bisher sind 8 Kerne dieses Typus bekannt, die in Tabelle 3 zusammengestellt sind. Fast alle wurden als Folgeprodukte radioaktiver Substanzen entdeckt und konnten, da diese Muttersubstanzen aus anderen Kernreaktionen bekannt waren, einer bestimmten Masse zugeordnet und damit eindeutig als Isomere stabiler Kerne identifiziert werden. Die Bildung der Isomere aus den Ursprungssubstanzen erfolgt, wie Spalte 8 der Tabelle zeigt, durch β -Zerfall oder K-Elektroneneinfang.

Bei einigen dieser Kerne konnte der isomere Zustand durch unelastischen Teilchenstoß vom Grundzustand aus erzeugt werden. SZILARD und CHALMERS stellten das 4,5-Std.-Isomer des In^{115} durch Neutronenstoß her (vgl. Abschnitt 3). Wenig später konnte auch bei Cadmium die Anregung eines isomeren Zustandes durch Neutronenstoß wahrscheinlich gemacht werden (46), und bei Strontium führte sowohl die Bestrahlung mit schnellen Neutronen der D-D-Reaktion (47, 48) wie auch die Einwirkung energiereicher Protonen (48) zur Anregung des Isomers. Bei der Bestrahlung von Silber mit Neutronen entstand eine Aktivität, die mit großer Wahrscheinlichkeit einem durch Neutronenstoß entstandenen Isomer des Ag^{107} oder Ag^{109} zuzuschreiben ist (49, 50). Beim Indium gelang die Anregung außer durch

Neutronenstoß auch durch den Stoß energiereicher Protonen (33) und α -Teilchen (34, 35) sowie durch Bestrahlen mit Elektronen (38) und Röntgenstrahlen (36, 37, 98). Auch beim Blei konnte ein isomeres Zustand durch Röntgenstrahlung angeregt werden (44), und zwar mit einer Mindest-röntgenenergie von 0,7 MeV. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich um das Isotop 207. Die Wirkungsquerschnitte derartiger Anregungsprozesse betragen 10^{-26} bis 10^{-32} qcm; sie liegen um mehrere Größenordnungen unter den Wirkungsquerschnitten, die etwa beim Einfang thermischer Neutronen auftreten.

Das metastabile Isomer des In^{115} liegt um 0,338 MeV über dem Grundzustand. Die Anregung des metastabilen Zustandes durch Stoßprozesse erfordert wesentlich höhere Geschosenergien, nämlich 5,6 MeV bei Protonen, 1,35 MeV bei Elektronen und 1,3 MeV bei Röntgenstrahlen. Bei Alphateilchen und Neutronen ist die notwendige Mindestenergie noch nicht genau bestimmt worden; die Anregung des Isomers wurde mit Alphateilchen von 16 MeV und Neutronen von 2,5 MeV durchgeführt. Die hohen Mindestenergien der positiv geladenen Teilchen hängen zweifellos mit dem Potentialwall des Indiums zusammen, der etwa 7,5 MeV für Protonen und 15 MeV für Alphateilchen beträgt. Bei Neutronen, Elektronen und Röntgenstrahlen ist die hohe notwendige Energie nur unter der Annahme verständlich, daß der Indiumkern zunächst auf einen relativ hohen Anregungszustand gehoben werden muß. Von hier aus fällt er dann, wahrscheinlich in mehreren Schritten, bis in den metastabilen Zustand von 0,338 MeV herab. Die Anregung durch Röntgenstrahlen spricht dafür, daß dieser anfängliche Zustand etwa 1,3 MeV besitzt. Die bei Elektronenanregung erforderliche Mindestenergie läßt auf die gleiche Höhe des anfänglichen Niveaus schließen, ebenso die Mindestenergie der Neutronen, die zwischen 0,5 und 2,5 MeV liegt. Ob auch bei der Anregung durch Protonen und Alphateilchen die Energieabgabe in das gleiche Niveau erfolgt, ist nicht bekannt. Eine Klärung dieser Frage könnte durch Streuversuche mit energiereichen geladenen Teilchen herbeigeführt werden, da sich aus ihrem Energieverlust die dem Kern übertragene Energie bestimmen ließe.

Zwei isomere Zustände eines Kerns unterscheiden sich nach der v. WEIZSÄCKERSchen Hypothese (3) im Kerndrehimpuls. Die Anregung des höheren Zustandes gelingt also nur bei gleichzeitiger Änderung des Kernspins. Diese Drehimpulsänderung vermögen Teilchen zu bewirken, die vom Kern mit einem auf den Kernmittelpunkt bezogenen Bahndrehimpuls eingefangen werden, der die geforderte Größe besitzt. Vermutlich findet nicht immer die gesamte notwendige Drehimpulsänderung schon beim Einfang des Teilchens statt. Sie kann auch schrittweise erreicht werden, indem der zunächst hoch angeregte Kern nacheinander verschiedene γ -Quanten emittiert und dabei seinen

Drehimpuls jedesmal um einen kleinen Betrag ändert, bis auf dem tiefsten Anregungsniveau die hohe Kernspindifferenz erreicht ist, die zu dem beobachteten Übergangsverbot führt. Es ist nahelegend, diese Art der Entstehung bei den Isomeren mit stabilem Grundzustand anzunehmen. Fast alle Elemente dieser Gruppe besitzen im Grundzustand den Spin $9/2$. Da Kernzustände mit kleinem Drehimpuls wahrscheinlicher sind als solche mit großem (51), ist denkbar, daß die zunächst hoch angeregten Kerne allmählich auf ein Niveau mit dem Spin $1/2$ herunterfallen. Die Drehimpulsdifferenz von 4 Einheiten zwischen diesem Niveau und dem Grundzustand könnte das Übergangsverbot und die damit verknüpfte hohe Lebensdauer verständlich machen. Allerdings müßte man auf Grund theoretischer Überlegungen (vgl. Abschnitt 7) bei Strontium, Niob und den Indiumisomeren zur Erklärung der beobachteten Lebensdauer eine Drehimpulsdifferenz von 5 Einheiten erwarten, so daß man für den isomeren Zustand dieser Kerne den unwahrscheinlich hohen Kernspin $19/2$ anzunehmen hätte. Eher verständlich wäre die Annahme, daß das Übergangsverbot bei diesen Kernen nicht durch die Drehimpulsdifferenz allein bedingt ist, sondern noch von anderen, bisher nicht bekannten Kerneigenschaften abhängt. Vermutungen in dieser Richtung sind von CORK und LAWSON (28) ausgesprochen worden.

Zu den Isomeren mit stabilem Grundzustand ist auch das RaD zu rechnen (vgl. Abschnitt 1). Der Grundzustand ist das aus Massenspektrogrammen bekannte Pb^{210} . RaD, der angeregte Zustand, geht nicht durch γ -Strahlung in den Grundzustand über, sondern zerfällt durch β -Strahlung in das selbst wieder β -aktive RaE. Der γ -Übergang in den Grundzustand ist so stark verboten, daß er neben dem β -Zerfall nicht in Erscheinung tritt.

Bei leichten Kernen ist ein Auffinden metastabiler Zustände seltener zu erwarten als bei schweren, da bei leichten Kernen die Energieabstände der einzelnen Energieniveaus relativ groß sind. Ein hoher Energieunterschied zwischen Grundniveau und metastabilem Zustand bewirkt aber, wie im nächsten Abschnitt ausgeführt wird, eine Verkürzung der mittleren Lebensdauer. Außerdem treten bei leichten Kernen erfahrungsgemäß nur kleine Drehimpulse auf. Möglicherweise liegt ein Fall von Isomerie bei dem Kern C^{13} vor. BOTHE und MAIER-LEIBNITZ (52) untersuchten die Energietönungen verschiedener Prozesse, die zu dem Kern C^{13} führen. Sie konnten zeigen, daß bei einer der Reaktionen der Kohlenstoffkern in einem angeregten Zustand zurückbleibt. Da keine γ -Strahlen vom Übergang des angeregten Zustandes in den Grundzustand nachzuweisen waren, schlossen BOTHE und MAIER-LEIBNITZ, daß der C^{13} -Kern in einem angeregten, metastabilen Zustand existieren kann. Seine Lebensdauer müßte nach ihren Versuchen größer als einige Tage sein.

7. *Theoretische Ansätze.* Ein Zusammenhang zwischen der Lebensdauer eines angeregten Zustandes und der Drehimpulsänderung beim Übergang in einen anderen Zustand ist seit langem bei den natürlichen β -Strahlern bekannt. Trägt man in einem Diagramm den Logarithmus der Zerfallskonstanten gegen den Logarithmus der Zerfallsenergie auf (sog. Sargent-Diagramm), so findet man, daß sich die β -strahlenden Kerne auf zwei verschiedenen, übereinander liegenden Geraden anordnen. FERMI (53) schrieb den Elementen der oberen Geraden einen „erlaubten“ Übergang mit der Kernspinänderung $\Delta l = 0$, den Elementen der unteren Geraden einen „einfach verbotenen“ Übergang mit der Spinänderung $\Delta l = 1$ zu. Eine Nachprüfung dieser Hypothese durch Bestimmung der Kernspins war bisher wegen der außerordentlich geringen verfügbaren Substanzmengen erst in einem Fall möglich, und zwar bei Rubidium, das durch β -Zerfall in Strontium übergeht. Rb^{87} besitzt den Kernspin $3/2$. Der Spin des Sr^{87} ist von HEYDEN und KOPFERMANN (54) an einem von HAHN und Mitarb. (55) hergestellten reinen Sr^{87} -Präparat zu $9/2$ bestimmt worden. Die Spinänderung beim Zerfall des Rb^{87} beträgt also $\Delta l = 3$; tatsächlich liegt der Rb^{87} -Kern im Sargent-Diagramm tief unter der zweiten Geraden und läßt damit auf eine hohe Drehimpulsänderung schließen. Das vor kurzem von HEYDEN und WEFELMEIER entdeckte natürlich radioaktive Cassiopeium 176 (56, 57), das zu Hafnium zerfällt, liefert ebenfalls eine Bestätigung der FERMI'schen Annahme: Cassiopeium liegt im Sargent-Diagramm noch tiefer als Rb^{87} . Sein Kernspin ist zu etwa 7 Einheiten festgestellt worden (58), während Hafnium den Kernspin $l = 0$ besitzt. Das starke Übergangsverbot des Cassiopeiums, das durch die tiefe Lage im Sargent-Diagramm angedeutet wird, findet durch die Spinänderung von 7 Einheiten seine Erklärung.

Der anschauliche Gehalt des obenstehenden, von FERMI eingeführten Gedankens läßt sich folgendermaßen ausdrücken: Soll ein Kern mit bestimmtem Drehimpuls in einen Folgekern mit anderem Drehimpuls durch β -Zerfall übergehen, so muß das β -Teilchen einen Drehimpuls von der Höhe der Kernspindifferenz mitnehmen. Es kann also den Kern nicht in Richtung eines Kernradius verlassen, sondern nur auf einer Bahn, auf der es in bezug auf den Kernmittelpunkt den geforderten Drehimpuls besitzt. Hierzu ist notwendig, daß der Entstehungsort des β -Teilchens in großem Abstand vom Kernmittelpunkt liegt. Das Neutron bzw. Proton, von dem das β -Teilchen emittiert wird, muß sich also im Augenblick des Zerfalls außerhalb vom Kern befinden. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist um so geringer, je größer der geforderte Mittelpunktsabstand des Kernteilchens ist. Dadurch ist verständlich, daß die Zerfallswahrscheinlichkeit um so kleiner wird, je größer die Spindifferenz beider Kerne ist.

Bei isomeren Kernen liegen die Verhältnisse

insofern anders, als man Kernübergänge zu betrachten hat, die unter Aussendung von γ -Quanten vor sich gehen. Zur Erklärung der relativ hohen Lebensdauern metastabiler Zustände übernahm v. WEIZSÄCKER den Grundgedanken der FERMI-Schen Theorie, indem er ebenfalls einen Drehimpulsunterschied zwischen metastabilem Zustand und Grundzustand für das Übergangsverbot verantwortlich machte. Beim Zerfall des höheren Zustandes wird der Betrag des Drehimpulsunterschiedes von der γ -Strahlung (Dipol- oder Mehrpolstrahlung) weggeführt, und zwar ist zur Abgabe des Drehimpulses l an das Strahlungsfeld die Emission einer 2^l -Polstrahlung notwendig. v. WEIZSÄCKER leitete für die Emissionswahrscheinlichkeit einer solchen γ -Strahlung einen Ausdruck her, der die Energiedifferenz zwischen beiden Zuständen, die Drehimpulsänderung, den Kernradius und die Ordnungszahl des Elementes enthält. Die mittlere Lebensdauer eines Zustandes, die der Emissionswahrscheinlichkeit der γ -Strahlung umgekehrt proportional ist, wird nach dieser Formel mit steigender Energiedifferenz zwischen beiden Zuständen kleiner, mit steigendem Drehimpulsunterschied nimmt sie rasch zu. Für die bisher bekannten Isomere lassen sich nach dieser Formel aus Zerfallsenergie und mittlerer Lebensdauer Drehimpulsunterschiede von 3–7 Einheiten errechnen.

BETHE (40) nahm ebenfalls eine Abschätzung der Zerfallswahrscheinlichkeit metastabiler Kernzustände vor. Er nahm das von BOHR eingeführte Tröpfchenmodell des Atomkerns zum Ausgangspunkt, bei dem nur die Dichte der Kernmaterie und nicht ihre nähere Struktur betrachtet wird. Ein solcher Kern vermag nur Quadrupol- oder Mehrpolstrahlung zu emittieren. BETHE bestimmte mit Hilfe der klassischen Elektrodynamik die Strahlungsintensität eines solchen, mit Oberflächenschwingungen behafteten Kerns und erhielt ebenfalls einen Zusammenhang zwischen Lebensdauer und Anregungsenergie als Funktion der Spinänderung. Tabelle 4, die der Arbeit von BETHE entnommen ist, zeigt die Lebensdauern verschieden hoch angeregter Zustände bei gegebenem Drehimpulsunterschied. Die in den Tabellen 1 und 3 angegebenen Drehimpulsdifferenzen wurden nach der BETHESchen Formel abgeschätzt.

Tabelle 4. Lebensdauern angeregter Zustände als Funktion der Anregungsenergie und der Drehimpulsdifferenz. (Nach BETHE.)

Anregungsenergie in keV	Mittlere Lebensdauer			
	$\Delta l = 2$	$\Delta l = 3$	$\Delta l = 4$	$\Delta l = 5$
10	$6 \cdot 10^{-4}$ Sek.	7 Std.	$5 \cdot 10^4$ J.	$5 \cdot 10^{12}$ J.
50	$2 \cdot 10^{-7}$ Sek.	0,3 Sek.	10 Tg.	10^5 J.
200	$2 \cdot 10^{-10}$ Sek.	$2 \cdot 10^{-5}$ Sek.	3 Sek.	10 Tg.

Die Lebensdauer gewöhnlicher Anregungsniveaus beträgt etwa 10^{-14} Sek. Aus der Tabelle entnimmt man, daß schon ein Drehimpulsunterschied von 2 Einheiten bei einer Anregungsenergie

von 200 keV zu einer mittleren Lebensdauer führt, die erheblich über diesem Wert liegt. Eine Erhöhung der Spindifferenz von $\Delta l = 2$ auf $\Delta l = 5$ kann eine Vergrößerung der mittleren Lebensdauer um 23 Zehnerpotenzen bedeuten.

Eine strenge Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeit angeregter Zustände wurde von KOYENUMA (59) durchgeführt, wobei ein Einkörpermodell des Atomkerns als Grundlage diente. Die Drehimpulsdifferenzen, die man nach diesen Untersuchungen bei den bisher bekannten Isomeren anzunehmen hat, betragen 3–4 Einheiten. Sie liegen etwas tiefer als die nach der v. WEIZSÄCKERSchen oder BETHESchen Formel abgeschätzten Werte. Der isomere Zustand des In^{115} könnte danach sehr wohl den Spin $1/2$ haben.

FLÜGGE (60) schlug vor, die Drehimpulsquantenzahl durch eine Schwingungsquantenzahl zu ersetzen, da das von BETHE angenommene Kernmodell nur Oberflächenschwingungen aufweist und daher eine anschauliche Deutung der Drehimpulsquantenzahl nicht zuläßt. Die Schwingungsquantenzahl ist gleich der Ordnungszahl der Kugelfunktion, die den jeweiligen Schwingungszustand der Kernoberfläche beschreibt. FLÜGGE berechnete die Energieausstrahlung eines Kerns, der Deformationsschwingungen ausführt und dabei allmählich in den schwingungslosen Zustand übergeht. Nach seinen Rechnungen würde bei den bisher bekannten Isomeren eine Änderung der Schwingungsquantenzahl um 3–4 Einheiten genügen, um die beobachteten Lebensdauern zu erklären.

8. *Empirische Gesetzmäßigkeiten.* Isomere Kerne sind hauptsächlich aus der Mitte und dem Ende des periodischen Systems bekannt. Bei leichten Elementen liegen erfahrungsgemäß die einzelnen Anregungsniveaus relativ weit auseinander, so daß für evtl. vorhandene metastabile Zustände im allgemeinen nur sehr kurze Lebensdauern zu erwarten sind.

MATTAUCH (61) hat darauf hingewiesen, daß die Existenz eines isomeren Zustandes weitgehend von der Zusammensetzung des betrachteten Kerns abhängt. So ist unter den „geraden“ Kernen, die sowohl eine gerade Protonen- wie auch eine gerade Neutronenzahl besitzen, kein einziger Fall von Isomerie bekannt. In geraden Kernen können immer zwei gleichartige Teilchen mit antiparallelem Spin zusammentreten, ihr Gesamtkernspin ist erfahrungsgemäß 0. Ein solcher Kern setzt sich aus lauter abgeschlossenen Zweierschalen zusammen. Die Energie seines Grundzustandes liegt daher besonders tief, was einen großen Energieunterschied zwischen Grundniveau und erstem Anregungsniveau zur Folge hat. Das Zustandekommen eines nachweisbaren isomeren Zustandes setzt aber, wie man aus Tabelle 4 ersieht, eine geringe Energiedifferenz zwischen Anregungszustand und Grundzustand voraus. Es ist daher verständlich, daß bei geraden Kernen keine Isomerie beobachtet wird.

Die Isomere mit stabilem Grundzustand, die in Tabelle 3 zusammengestellt sind, besitzen sämtlich ein unpaares Neutron oder ein unpaares Proton, ihre Massenzahl ist ungerade. Die unter den natürlich radioaktiven Kernen bekannten Isomere besitzen sogar eine ungerade Protonen- und eine ungerade Neutronenzahl. Solche doppelt ungeraden Kerne müssen als die am lockersten gebundenen Kerne angesehen werden. Unter den künstlich radioaktiven Kernen sind sowohl einfach ungerade wie auch doppelt ungerade Isomere bekannt. Betrachtet man sämtliche isomeren Kerne zusammen, so findet man, daß die doppelt ungeraden Kerne, die energetisch am ungünstigsten gebaut sind, die meisten isomeren Vertreter stellen.

Eine weitere Gesetzmäßigkeit, auf die MATTAUCH (61) aufmerksam machte, bezieht sich auf die Isomere mit stabilem Grundzustand. Bei diesen Kernen ist der Spin des Grundzustandes bekannt. Wie man aus Tabelle 3 entnimmt, beträgt er bei den meisten Kernen $9/2$. Diese Kerne sind gleichzeitig die einzigen, bei denen ein so hoher Spin bekannt ist. MATTAUCH schloß daraus, daß alle Kerne, die im Grundzustand den Spin $\geq 9/2$ besitzen, einen isomeren Zustand aufweisen. Bei Wismut, das in dieser Hinsicht noch nicht näher untersucht wurde, ist demnach ebenfalls ein metastabiler Zustand zu erwarten. Möglicherweise rührt eine kürzlich beobachtete Wismutaktivität von 6 Tagen Halbwertszeit von einem isomeren Zustand des Bi^{209} her (118).

Die kürzesten, sicher gemessenen Halbwertszeiten isomerer Zustände betragen einige Sekunden. Isomere mit noch kürzeren Lebensdauern sind durchaus denkbar. Ihre Entdeckung scheiterte bisher an den experimentellen Schwierigkeiten, die beim Nachweis kurzlebiger Aktivitäten auftreten. Wie man aus Tabelle 4 ersieht, haben metastabile Zustände von 100 keV Anregungsenergie nur dann eine Halbwertszeit von mehr als einigen Sekunden, wenn ihr Übergang mit einer Spinänderung von mindestens 4 Einheiten verknüpft ist. Auch bei kleineren Anregungsenergien führen nur Spinunterschiede von mindestens 3 Einheiten zu Lebensdauern, die mit den üblichen Methoden beobachtet werden können. Da kleine Drehimpulsunterschiede zwischen zwei benachbarten Zuständen zweifellos häufiger vorkommen als große, ist anzunehmen, daß es unter den Kernen noch zahlreiche kurzlebige Isomere gibt, die bisher der Beobachtung entgangen sind. Andererseits hat man auch mit metastabilen Zuständen zu rechnen, die eine so hohe Lebensdauer besitzen, daß sie praktisch als stabil gelten können. Sie unterscheiden sich lediglich im Kernspin von ihrem stabilen Grundzustand; ihr Nachweis bleibt daher der Spektroskopie vorbehalten.

Literatur.

1. O. HAHN, Ber. dtsh. chem. Ges. (B) 54, 1131 (1921) — Z. phys. Chem. 103, 461 (1923). — 2. G. GAMOW, Nature, Lond. 133, 833 (1934). — 3. C. F. v. WEIZ-

SÄCKER, Naturwiss. 24, 813 (1936). — 4. O. HAHN, L. MEITNER u. F. STRASSMANN, Ber. dtsh. chem. Ges. 69, 905 (1936). — 5. L. MEITNER, Züricher Vorträge über Kernphysik, S. 24 (1936). — 6. O. HAHN u. F. STRASSMANN, Naturwiss. 27, 11 (1939). — 7. E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, E. FERMI u. B. PONTECORVO, Ric. Sci. 6 (1), 581 (1935). — 8. B. KURTSCHATOW, J. KURTSCHATOW, W. MYSSOWSKY u. L. RUSINOW, C. R. Acad. Sci., Paris 200, 1201 (1935). — 9. A. J. ALICHANIAN, A. J. ALICHANOW u. B. S. DZELEPOW, Phys. Z. Sowjet. 10, 78 (1936). — 10. W. BOTHE u. W. GENTNER, Naturwiss. 25, 284 (1937). — 11. W. BOTHE u. W. GENTNER, Z. Phys. 106, 236 (1937). — 12. W. BOTHE u. W. GENTNER, Z. Phys. 112, 45 (1939). — 13. L. A. DU BRIDGE u. S. W. BARNES, J. H. BUCK u. C. V. STRAIN, Phys. Rev. 53, 447 (1938). — 14. A. H. SNELL, Phys. Rev. 52, 1007 (1937). — 15. L. J. ROUSSINOW u. A. A. YUSEPHOWICH, C. R. USSR. 20, 645 (1938); 22, 576 (1939). — 16. L. SZILARD u. T. CHALMERS, Nature, Lond. 134, 462 (1934). — 17. E. SEGRÉ, R. S. HALFORD u. G. T. SEABORG, Phys. Rev. 55, 321 (1939). — 18. O. ERBACHER u. K. PHILIPP, Z. Phys. Chem. Abt. A 176, 169 (1936). — 19. DON C. DE VAULT u. W. F. LIBBY, Phys. Rev. 55, 322 (1939); 58, 688 (1940). — 20. B. PONTECORVO, Phys. Rev. 54, 542 (1938). — 21. J. L. LAWSON u. J. M. CORK, Phys. Rev. 58, 580 (1940). — 22. P. ABELSON, Phys. Rev. 55, 424; 56, 753 (1939). — 23. L. J. ROUSSINOW u. A. A. YUSEPHOWICH, Phys. Rev. 55, 979 (1939). — 24. A. P. GRINBERG u. L. J. ROUSSINOW, Phys. Rev. 58, 181 (1940). — 25. L. J. ROUSSINOW u. A. A. YUSEPHOWICH, C. R. USSR. 24, 129 (1939). — 26. G. E. VALLEY u. R. L. MCCREARY, Phys. Rev. 56, 863 (1939). — 27. S. W. BARNES, Phys. Rev. 55, 241; 56, 859 (1939). — 28. J. L. LAWSON u. J. M. CORK, Phys. Rev. 57, 356 u. 982 (1940). — 29. J. M. CORK u. J. L. LAWSON, Phys. Rev. 56, 291 (1939). — 30. M. GOLDBABER, Nature, Lond. 142, 521 (1938). — 31. L. SZILARD u. T. A. CHALMERS, Nature, Lond. 135, 98 (1935). — 32. M. GOLDBABER, R. D. HILL u. L. SZILARD, Phys. Rev. 55, 47 (1939). — 33. S. W. BARNES u. P. W. ARADINE, Phys. Rev. 55, 50 (1939). — 34. K. LARK-HOROVITZ, J. R. RISSER u. R. N. SMITH, Phys. Rev. 55, 878 (1939). — 35. J. R. RISSER, K. LARK-HOROVITZ u. R. N. SMITH, Phys. Rev. 57, 355 (1940). — 36. B. PONTECORVO u. A. LAZAR, C. R. Acad. Sci., Paris 208, 99 (1939). — 37. G. B. COLLINS, B. WALDMAN, E. M. STUBBLEFIELD u. M. GOLDBABER, Phys. Rev. 55, 507 (1939). — 38. G. B. COLLINS u. B. WALDMAN, Phys. Rev. 57, 1088 (1940). — 39. G. B. COLLINS, B. WALDMAN u. E. GUTH, Phys. Rev. 56, 876 (1939). — 40. H. BETHE, Rev. Mod. Phys. 9 (2), 69 (1937). — 41. G. T. SEABORG, G. FRIEDLAENDER u. J. W. KENNEDY, J. Amer. chem. Soc. 62, 1309 (1940). — 42. N. FEATHER u. E. BRETSCHER, Proc. roy. Soc., Lond. 165, 530 (1938). — 43. N. FEATHER u. J. V. DUNWORTH, Proc. roy. Soc., Lond. 168, 566 (1938). — 44. G. B. COLLINS u. B. WALDMAN, Phys. Rev. 57, 338 (1940). — 45. L. ALVAREZ, Phys. Rev. 52, 134 (1937). — 46. M. DODÉ u. B. PONTECORVO, C. R. Acad. Sci., Paris 207, 287 (1938). — 47. H. REDDEMANN, Z. Phys. 116, 137 (1940). — 48. L. A. DU BRIDGE u. J. MARSHALL, Phys. Rev. 56, 706 (1939); 58, 7 (1940). — 49. T. BJERGE u. C. H. WESTCOTT, Nature, Lond. 134, 177 (1934). — 50. L. A. ALVAREZ, A. C. HELMHOLZ u. E. NELSON, Phys. Rev. 57, 660 (1940). — 51. S. FLÜGGE, Z. Phys. 117, 255 (1941). — 52. W. BOTHE u. H. MAIER-LEIBNITZ, Z. Phys. 107, 513 (1937). — 53. E. FERMI, Z. Phys. 88, 161 (1934). — 54. M. HEYDEN u. H. KOPFERMANN, Z. Phys. 108, 232 (1938). — 55. O. HAHN,

- F. STRASSMANN u. E. WALLING, *Naturwiss.* **25**, 189 (1937). — 56. M. HEYDEN u. W. WEFELMEIER, *Naturwiss.* **26**, 612 (1938). — 57. J. MATTAUSCH u. W. LICHTBLAU, *Z. Phys.* **111**, 514 (1939). — 58. H. SCHÜLER u. H. GOLLNOW, *Z. Phys.* **113**, 1 (1939). — 59. N. KOYENUMA, *Z. Phys.* **117**, 358 (1941). — 60. S. FLÜGGE, *Ann. d. Phys.* **39**, 373 (1941). — 61. J. MATTAUCH, *Z. Phys.* **117**, 246 (1941). — 62. J. J. LIVINGOOD u. G. T. SEABORG, *Rev. Mod. Phys.* **12**, 30 (1940). — 63. H. WALKER, *Phys. Rev.* **57**, 163 (1940). — 64. H. WALKER, E. J. WILLIAMS u. G. R. EVANS, *Proc. roy. Soc., Lond.* **171**, 360 (1939). — 65. L. A. TURNER, *Phys. Rev.* **58**, 679 (1940). — 66. F. A. HEYN, *Physica*, Haag **4**, 160 u. 1224 (1937). — 67. J. J. LIVINGOOD, F. FAIRBROTHER u. G. T. SEABORG, *Phys. Rev.* **52**, 135 (1937). — 68. L. A. DELSASSO, L. N. RIDENOUR, R. SHERR u. M. G. WHITE, *Phys. Rev.* **55**, 113 (1939). — 69. R. SAGANE, S. KOJIMA u. G. MIYAMOTO, *Proc. phys. math. Soc. Jap.* **21**, 728 (1939). — 70. J. J. LIVINGOOD u. G. T. SEABORG, *Phys. Rev.* **55**, 457 (1939). — 71. J. W. KENNEDY, G. T. SEABORG u. E. SEGRÈ, *Phys. Rev.* **56**, 1095 (1939). — 72. A. LANGSDORF jr. u. E. SEGRÈ, *Phys. Rev.* **57**, 105 (1940). — 73. G. T. SEABORG u. E. SEGRÈ, *Phys. Rev.* **55**, 808 (1939). — 74. E. C. CRITTENDEN, *Phys. Rev.* **56**, 709 (1939). — 75. J. B. RAJAM, P. C. CAPRON, M. DE HEMPTIENNE, *Ann. Soc. Sci., Brux.* **1** **59**, 403 (1939). — 76. E. C. CRITTENDEN u. R. F. BACHER, *Phys. Rev.* **54**, 862 (1938). — 77. J. J. LIVINGOOD u. G. T. SEABORG, *Phys. Rev.* **54**, 88 (1938). — 78. H. REDDEMANN u. F. STRASSMANN, *Naturwiss.* **26**, 187 (1938). — 79. S. W. BARNES, *Phys. Rev.* **56**, 414 (1939). — 80. L. D. P. KING, W. J. HENDERSON u. J. R. RISSER, *Phys. Rev.* **55**, 1118 (1939). — 81. J. L. LAWSON u. J. M. CORK, *Phys. Rev.* **52**, 531 (1937). — 82. L. D. P. KING u. W. J. HENDERSON, *Bull. Amer. phys. Soc.* (5) **14**, 11 (1939). — 83. G. T. SEABORG, J. J. LIVINGOOD u. J. W. KENNEDY, *Phys. Rev.* **55**, 794 (1939); **57**, 363 (1940). — 84. H. GÖTTE, *Naturwiss.* **28**, 449 (1940). — 85. C. S. WU, *Phys. Rev.* **58**, 926 (1940). — 86. E. AMALDI, O. D'AGOSTINO, E. FERMI, B. PONTECORVO, F. RASETTI u. E. SEGRÈ, *Proc. roy. Soc., Lond.* **149**, 522 (1935). — 87. K. ALEXEEVA, C. R. USSR, **18**, 553 (1938). — 88. K. FAJANS u. D. W. STEWART, *Phys. Rev.* **56**, 625 (1939). — 89. M. L. POOL u. L. L. QUILL, *Phys. Rev.* **53**, 437 (1938). — 90. O. OLDENBURG, *Phys. Rev.* **53**, 35 (1938). — 91. V. FOMIN u. F. G. HOUTERMANS, *Phys. Z. Sowjet.* **9**, 273 (1936). — 92. E. McMILLAN, M. KAMEN u. S. RUBEN, *Phys. Rev.* **52**, 375 (1937). — 93. L. A. DU BRIDGE u. J. MARSHALL, *Phys. Rev.* **57**, 348 (1940). — 94. R. SAGANE, S. KOJIMA, G. MIJAMOTO u. M. IKAWA, *Phys. Rev.* **57**, 750 (1940). — 95. M. L. POOL, J. M. CORK u. R. L. THORNTON, *Phys. Rev.* **52**, 239 (1937). — 96. B. PONTECORVO, *Nature*, Lond. **141**, 785 (1936). — 97. D. C. KALBFELL u. R. A. COOLEY, *Phys. Rev.* **58**, 91 (1940). — 98. D. L. NORTHROP, C. M. VAN ATTA, R. J. VAN DE GRAAFF u. L. C. VAN ATTA, *Bull. Amer. phys. Soc.* **15**, 9 (1940). — 99. J. M. CORK u. J. HALPERN, *Bull. Amer. phys. Soc.* **15**, 12 (1940). — 100. E. ZINGG, *Helv. phys. Acta* **13**, 219 (1940). — 101. T. ENNS, *Phys. Rev.* **55**, 1118 (1939). — 102. B. R. CURTIS u. J. R. RICHARDSON, *Phys. Rev.* **57**, 1121 (1940). — 103. A. C. G. MITCHELL u. L. M. LANGER, *Phys. Rev.* **57**, 1121 (1940). — 104. G. v. HEVESY u. H. LEVY, *Kgl. Dan. Akad.* **14**, 5 (1936). — 105. J. JTOH u. Y. WATASE, *Proc. phys. math. Soc. Jap.* **22**, 784 (1940). — 106. L. M. LANGER, A. C. G. MITCHELL u. P. M. MCDANIEL, *Phys. Rev.* **56**, 380 (1939). — 107. R. L. THORNTON, *Phys. Rev.* **49**, 207 (1936). — 108. D. W. STEWART, J. L. LAWSON u. J. M. CORK, *Phys. Rev.* **52**, 901 (1937). — 109. M. L. POOL, J. M. CORK u. R. L. THORNTON, *Phys. Rev.* **52**, 380 (1937). — 110. J. D. KRAUS u. J. M. CORK, *Phys. Rev.* **52**, 763 (1937). — 111. M. L. POOL, *Phys. Rev.* **53**, 116 (1938). — 112. H. WALKER, *Phys. Rev.* **52**, 777 (1937). — 113. B. T. DARLING, B. R. CURTIS u. J. M. CORK, *Phys. Rev.* **51**, 1010 (1937). — 114. A. HEMMENDINGER, *Phys. Rev.* **55**, 604 (1939). — 115. J. J. LIVINGOOD u. G. T. SEABORG, *Phys. Rev.* **54**, 391 (1938). — 116. P. HART-ECK, F. KNAUER u. W. SCHAEFFER, *Z. Phys.* **109**, 153 (1938). — 117. A. C. G. MITCHELL u. L. M. LANGER, *Phys. Rev.* **53**, 505 (1938). — 118. R. S. KRISHNAN u. E. A. NAHUM, *Proc. Cambr. phil. Soc.* **36**, 490 (1940).

Zum gegenwärtigen Stand der Allgemeinen Ökologie

mit besonderer Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen den Sinnesreaktionen und den andersartigen Umweltsbeziehungen.¹⁾

VON HERMANN WEBER, Straßburg.

Kein Gebiet biologischer Betätigung ist so schwer abzugrenzen wie die Ökologie, denn je nachdem wie man die Grenzziehung vornimmt, erhält man eine unter den zahlreichen anderen biologischen Teildisziplinen, also ein Gebiet mit besonderen Methoden und eigenen Teilzielen, oder als anderes Extrem das, was FRIEDERICHS in seinen neueren Schriften meint, wenn er von Ökologie spricht: die „Wissenschaft von der Natur“, die alle anderen Zweige der Naturwissenschaften erfaßt, ohne alle Schwierigkeiten auf philosophische Bereiche übergreift, ja nach dem Schluß von FRIEDERICHS' Buch „Ökologie als Wissenschaft von der Natur“ sogar auf die Theologie ausgedehnt werden

¹⁾ Vortrag, gehalten auf der Arbeitstagung „Allgemeine Biologie“ des Reichsforschungsrats, Berlin-Dahlem, 23. Oktober 1941.

könnte oder müßte, nicht an eigene Methoden gebunden ist und selbst das letzte Ziel wissenschaftlichen oder wenigstens naturwissenschaftlichen Arbeitens bildet. Aber auch wenn man sich mit so weitreichenden Ansprüchen nicht einverstanden erklären kann, so ist doch jedenfalls Ökologie, gefaßt als die „Wissenschaft von den Beziehungen der Lebewesen zu ihrer Umgebung“ oder, wie EIDMANN es soeben einfach ausgedrückt hat, als „Umweltforschung“, ein sehr weites Gebiet, das nach allen Seiten in benachbarte Bereiche der Biologie übergreift und übergreifen muß, weil es den Stoff dieser Gebiete, wenn auch oft in andersartiger geistiger Verarbeitung von anderer Fragestellung aus, braucht. Neben eigenen Techniken und Methoden, wie sie sich die Hydrobiologie, die Pflanzensoziologie, die Schädlingsökologie und an-

dere bereits ausgebaute ökologische Gebiete erarbeitet haben und die Tiersoziologie, wie überhaupt die Tierökologie des festen Landes zu erarbeiten im Begriff sind, kann sich daher der Ökologe vielfach der Methoden anderer Disziplinen bedienen, ja ganze Teilstücke aus anderen Fachgebieten in seine Arbeit einsetzen. Vieles von dem, was in den Sitzungen der vorhergehenden Tage etwa unter „Genetik“ oder „Stoffwechselphysiologie“ gebracht wurde oder noch unter „Mikrobiologie“ gebracht werden soll, könnte daher ebensogut im Rahmen der Arbeitsgruppe „Ökologie“ behandelt werden, wie überhaupt die Aufgaben der letzteren sich auch rein organisatorisch vielfach mit denen der anderen Arbeitsgruppen überschneiden, vor allem gegenwärtig, wo die so oft geforderte Synthese zwischen den Teilgebieten der Biologie — z. B. ganz offensichtlich zwischen Genetik, Systematik und Ökologie in der Populationsgenetik — auf dem Marsch ist. Gerade die Populationsgenetik zeigt, wie die Forderung nach Synthese ohne überflüssige Programmreden und ohne uferlose Spekulation auf ganz legitim naturwissenschaftlichem Weg von der Ökologie her oder wenigstens unter ihrer maßgebenden Beteiligung erfüllt werden kann, der Ökologie, die FRIEDERICHS, bevor sie ihm zur „Wissenschaft von der Natur“ schlechthin wurde, mit Recht als „Brückenwissenschaft“ bezeichnete und die ich eine „Dachwissenschaft“ nennen möchte, geeignet, verschiedene selbständige, voneinander getrennte Räume biologischer Forschung und Lehre einem einheitlichen Gebäude einzuordnen. Mit Rücksicht auf die große Ausdehnung der Ökologie und die besonders ausführliche Berücksichtigung der Botanik in anderen Programmtiteln wurde für den heutigen Tag die zoologische Seite der Ökologie in den Vordergrund gestellt. Trotzdem bleiben noch Schwierigkeiten genug, wenn ich nun versuche, einleitend zum Tagesthema *ein Bild von der gegenwärtigen Lage der ökologischen Forschung* zu geben. Einmal besteht, die Morphologie und Systematik vielleicht ausgenommen, nirgends so sehr wie in der Ökologie die Gefahr, sich bei der Darlegung von Tatbeständen in Einzelheiten zu verlieren, die für den Zuhörer an und für sich uninteressant sind. Ferner kommt man nirgends so sehr wie hier in Versuchung, in von anderen betreute Gehege einzudringen, und schließlich kann man im Hinblick auf die fast bei jedem Ökologen verschiedene Auffassung von den *Grundaufgaben, Zielen, Methoden und Grenzen ökologischer Forschung* einen Überblick über das Gebiet schlechterdings nicht geben, ohne sich mit diesen Grundfragen auseinanderzusetzen und damit notwendig ins Weltanschauliche vorzustoßen. Da aber eine Übersicht über die zahlreichen allgemeinen und programmatischen Schriften ökologischer Provenienz, die zumal die letzten zwei Jahrzehnte gezeitigt haben, zugleich einen Überblick über den jetzigen Stand der allgemeinen Ökologie und eine Standpunktsklärung für das Tagesthema bedeutet, soll trotz aller nahe-

liegenden Bedenken der Versuch einer Übersicht gemacht werden. Vollständigkeit¹⁾ ist dabei, dem Charakter eines Kurzberichtes entsprechend, nicht meine Absicht; einige Beispiele sollen für die *verschiedenen Richtungen* zeugen, deren man zunächst zwei unterscheiden kann, nämlich die Ganzheitstheoretiker strenger Observanz und die Andersgläubigen. Sieht man schärfer zu, so gliedern sich aus den letzteren mindestens 3 Gruppen heraus, nämlich die bewußten Mechanisten, ferner diejenigen Ökologen, die, an der amerikanischen Forschung geschult, überhaupt theoretisch wenig belastet sind, praktisch aber mechanistisch oder wenigstens „meristisch“ im Sinne DÜRKENS arbeiten, und endlich diejenigen, die die Ganzheit ebenfalls als Forschungsziel, aber nicht als neuen und schon gar nicht als einzigen *Weg* zur biologischen Erkenntnis anerkennen wollen und vielmehr bewußt darum bemüht sind, sich den Forschungsweg so wenig wie irgend möglich durch vorwegnehmende Axiome oder Prämissen in den Grundbegriffen verlegen zu lassen und sich, roh gesprochen, vom Gegenstand zum Ziel führen lassen wollen, nicht umgekehrt vom Forschungsziel zum Gegenstand.

Dieser Einteilungsversuch ist, wie jede Systematik natürlicher Gegebenheiten, mit Mängeln behaftet, deren auffälligster wenigstens für den mit den Unterschieden zwischen Programm und Ausführung weniger Vertrauten der ist, daß im praktischen Wesentlichsten, im Vorgehen bei der Forschung selbst, zwischen den Extremen durchaus nicht immer so viel Unterschied ist, wie die theoretischen Schriften glauben lassen: Es wird auch hier beim praktischen Arbeiten überall mit Wasser gekocht, das bei 100° siedet und höchstens in der verdünnten Höhenluft reiner Spekulation schon früher damit anfängt. Mit dieser Feststellung sollen natürlich die im Theoretischen wirklich bestehenden und, wie unten gezeigt werden wird, genügend großen Auffassungsunterschiede nicht gewegicht oder auch nur bagatellisiert werden, aber sie sollen an die richtige Stelle gerückt werden. Und nun Näheres über die verschiedenen Richtungen:

Um mit den bewußten Mechanisten anzufangen, so ist mit ihnen, sofern man darunter „Materialisten“ alter Prägung, also Vertreter der Forderung einer restlosen „Erklärbarkeit“ der Lebensvorgänge mittels physikalischer und chemischer Gesetzmäßigkeiten als Voraussetzung für jede wissenschaftliche Biologie versteht, in der modernen Ökologie kaum mehr zu rechnen, zum mindesten soweit sie in Europa von Ariern betrieben wird. Der lebhafteste Kampf, den die Ganzheitstheoretiker und die mit ihnen meist identischen Anhänger des Vitalismus gegen die Richtung auch heute noch glauben führen zu müssen — dasselbe gilt von

¹⁾ Infolge meiner soeben erfolgten Übersiedlung von Wien nach Straßburg ist mir ohnehin eine auch nur annähernd vollständige Auswertung der Literatur unmöglich.

anderen biologischen Teilgebieten, wie z. B. der Sinnesphysiologie —, richtet sich größtenteils gegen längst verlassene Positionen und könnte nachgerade aufgegeben werden, wenn nicht der Widerspruch gegen Mechanismus-Materialismus einen so unveräußerlichen und unentbehrlichen Hauptbestandteil der gegnerischen Richtungen ausmachte.

Weit größer ist, besonders in dem Teil der Ökologie, der von der praktischen Anwendung her seine Ausrichtung empfängt, die Zahl der Forscher, die, an den Amerikanern mit ihrer sehr entwickelten ökologischen Schädlingsforschung unmittelbar oder mittelbar geschult, sich über die theoretische Grundlegung ihrer Arbeiten keinen Skrupeln, allerdings auch keinen Illusionen hingeben und irgendein Teilgebiet der Ökologie, die Umgebungsbeziehungen einer Art oder auch nur einen Ausschnitt daraus, so bearbeiten, als sei dies ein Stück eines durch Häufung von Material allmählich verständlich zu machenden Mechanismus. Hierher gehört die Mehrzahl der ökologischen Arbeiten, die die Archive füllen, oft auch wenn ihre Verfasser einer Schule angehören, die die Ganzheitsbetrachtung auf ihre Fahne geschrieben hat.

Die Ganzheitstheoretiker werden hier einwenden, daß letztere Bemerkung überflüssig sei, weil selbstverständlich im Arbeitsgang der biologischen Einzelforschung nicht immer von Ganzheit die Rede sein könne, auch wenn diese den Hintergrund der ganzen Arbeit bilde. Der Einwand trifft aber nicht das Richtige, denn abgesehen von den, wie gesagt, als ausgestorben zu betrachtenden orthodoxen Mechanisten bestreitet heute niemand¹⁾, nicht einmal der in diesem Zusammenhang mit besonderer Vorliebe als Teufel an die Wand gemalte MAX HARTMANN, daß wir es in der Biologie mit „Ganzheiten“ zu tun haben und daß ihre Erfassung ein wesentliches Ziel der biologischen Forschung bilde. Aber das ist den Ganzheitstheoretikern ja bei weitem nicht genug, für sie ist Ganzheit etwas primär anschaulich Gegebenes, intuitiv Erfassbares und daher bei der Arbeit *von vornherein* einzusetzen. Sie begreifen, zuweilen ohne es selbst klar zu erkennen oder wenigstens ohne es auszusprechen — bewußt oder unbewußt unter dem Einfluß neovitalistischer Gedankengänge, — „Ganzheit“ entelechial als einen in das Getriebe des Organismus oder der Organismengesellschaften eingreifenden ordnenden und übergeordneten, also durchaus dem scholastischen Begriff „Ordo“ entsprechenden Faktor, dessen Einsetzung, wie bei FRIEDERICHs deutlich erkennbar wird, zuletzt darauf hinausläuft, von der Biologie her das „wiedergutzumachen“, was die Biologen „anrichteten“, als sie den Grund legten zur „Ent-

götterung des Weltalls“. Spricht man es aus, daß sich über diese Reparationsbemühungen, auch wenn FRIEDERICHs die Art der Gottesvorstellung dem einzelnen überläßt¹⁾, vor allem die Väter der Gesellschaft Jesu freuen und zahlreiche verbrannte Ketzer im Grabe umdrehen werden, dann wird sicher der Einwand kommen, daß derartige Feststellungen nicht in eine öffentliche wissenschaftliche Diskussion gehören. Und doch muß es, da ja auch Bücher nicht unter dem Ausschluß der Öffentlichkeit erscheinen, gestattet sein, gegen eine jeden Biologen treffende Diffamierung gleich der folgenden aufzutreten, die sich zusammen mit den oben angeführten Worten im Schlußteil von FRIEDERICHs' Buch „Ökologie als Wissenschaft von der Natur“ findet:

„Denkt man vom Ganzen aus, so muß man im grundsätzlichen ganz oben anfangen, und was da steht, ist eben der überindividuell geistige Bereich. Bei solchem Verfahren wird vieles berührt, was der Forschung nur schwach zugänglich ist, für einen nicht auf sich selbst gestellten, nicht entwurzelten Verstand aber intuitive Gewißheit sein kann, sei es unmittelbar, sei es weil er die Offenbarung in der Natur zu lesen versteht. Dafür einen Beweis antreten, heißt im Grunde den Gegenstand herabwürdigen. Aber wir leben, wie ich schon sagte, in einer Zeit, in der der Beweis des Selbstverständlichen verlangt wird. Denen, die im Aufstand gegen die ewigen Ordnungen sind — wie heute ein gewaltig großer Teil der Menschheit —, kann kein Beweis helfen . . .“

Ich will nicht weiter zitiere, das Gesagte genügt als Beispiel für die Folgen eines wirklich konsequent durchgeführten Denkens „vom Ganzen aus“. Davon noch ganz abgesehen, daß der wissenschaftliche Gegner „entwurzelten Verstandes“ geziehen oder gar als im Aufstand gegen die ewigen Ordnungen befindlich angeprangert wird²⁾, die Ökologie, auf die es uns hier hauptsächlich ankommt, wächst bei diesem Verfahren schon rein begrifflich notwendig ins Weite und fast unvermeidlich ins Maßlose, bis zu einem Totalitätsanspruch, den die so ausgerichtete Ökologie mit der ihr in der Grundhaltung verwandten Umweltlehre JAKOB V. UEX-

¹⁾ In der Ökologie gehörte merkwürdigerweise gerade DRIESCH, der Vater aller neueren vitalistisch gefärbten Ganzheitsbetrachtung, zu denjenigen, die den überindividuellen Einheiten, also z. B. den Populationen, Völkern, Biozönosen usw., den Ganzheitscharakter absprechen.

¹⁾ Wogegen haben denn die von FRIEDERICHs angeklagten Biologen und ihre Vorgänger auf anderen Gebieten der Naturwissenschaften gekämpft? Doch durchaus nicht etwa gegen eine beliebige, tolerant dem einzelnen überlassene Gottesvorstellung, sondern gegen das mit dem Anspruch auf Allgemeingültigkeit auftretende und mit allen Machtmitteln auch der Wissenschaft gegenüber durchgesetzte kirchliche Dogma. Hätte in diesem Freiheitskampf des nordischen Geistes die Kirche gesiegt, so gäbe es heute keine Biologie, und wir würden, um zu erfahren, wie viel Zähne das Pferd hat, im Aristoteles nachschlagen, statt dem Pferd ins Maul zu sehen.

²⁾ Ist nicht die ganze abendländische Naturwissenschaft, vom kirchlichen Standpunkt aus betrachtet, von Anfang an ein Aufstand gegen „ewige Ordnungen“, gegen scheinbar dem menschlichen Geist fest gezogene Erkenntnisstrahlen gewesen?

KÜLLS teilt. Mit welcher fast zwingenden Notwendigkeit diese Haltung zu jenen „ewigen Ordnungen“ hinführt, die im Thomismus als der „Philosophia perennis“ — auch „Biologia perennis“ konnte man schon lesen — verankert sind, das zeigen die in jeder neuen Schrift v. UEXKÜLLS und seiner Schule häufiger werdenden Wendungen aus dem Wortschatz der scholastischen Philosophie.

Nicht zuletzt waren es gerade diese Gründe, die mich zum Widerspruch gegen die UEXKÜLLSche Umweltlehre und vom Widerspruch aus zu neuen, versuchsweise das zweifellos Richtige aus v. UEXKÜLLS Gedankenwelt und der der anderen Richtungen vereinigenden Begriffsbildungen, Konzeptionen und Arbeiten führte. So darf ich mich als Vertreter der noch zur Besprechung übrigbleibenden Richtung betrachten, der ich vielleicht noch MARTINI mit seiner ausgesprochenen methodischen Vorsicht und sicher auch manchen meiner heutigen Zuhörer zurechnen darf, und der, hauptsächlich von anderen Gebieten her untermauert, v. BERTALANFFYS Standpunkt verwandt ist, mit dem ich mich mindestens in der Auffassung von Ganzheit grundsätzlich einig weiß: „Die organische Ganzheit stellt weder einen metaphysischen Begriff dar, noch ein Asyl der Unwissenheit, sondern vielmehr ein Problem, das mit den Methoden der exakten Naturwissenschaft behandelt werden kann und muß.“ Oder, um es mit meinen eigenen Worten auszudrücken: „Unter Ganzheit verstehen wir die naturgesetzlichen Zusammenhänge innerhalb eines raumzeitlichen Gefüges, gleichgültig ob es sich um einen Einzelorganismus, eine Population, eine Biozönose oder um ein abiotisches System, wie z. B. das ‚Klima‘, handelt. ‚Ganzheit‘ bedeutet also allgemein eine naturwissenschaftlich begriffene Gefügesgesetzlichkeit.“

Auf dieser Basis konnte der zentrale Begriff der Ökologie, der Begriff „Umwelt“, eine Klärung und Neufassung erfahren, die um so notwendiger erscheint, als, wie schon gesagt, heute bereits im Sprachgebrauch die Gleichsetzung von Ökologie und Umweltforschung erfolgt (EIDMANN 1941) und als andererseits der einzige bisher scharf definierte oder wenigstens definierbare Umweltbegriff, der v. UEXKÜLLS nämlich, für die Ökologie so gut wie unbrauchbar ist. Er würde, exakt gefaßt (nach WEBER 1939), lauten:

„Als Umwelt eines Tiersubjekts bezeichnet v. UEXKÜLL die axiomatisch als planmäßig geordnet betrachtete Gesamtheit der Wirkungen und Gegenwirkungen in dem als grundsätzlich nicht objektiv zeitlich abgrenzbar angesehenen Verhältnis zwischen einer rein subjektbezogenen, da als objektiv grundsätzlich nicht erkennbar betrachteten Umgebung und einer völlig isolierten, d. h. ohne räumlich-weltlichen Zusammenhang (monadologisch), mit anderen ‚Subjekten‘ gesehenen Person (=Subjekt), aber nur soweit diese Wirkungen und Gegenwirkungen den Weg über Rezeptoren, erregungsleitende Bahnen und Effektoren nehmen.“ Für die Ökologie unbrauchbar wird

der Begriff nicht allein durch seine erkenntnistheoretische Verklammerung, sondern vor allem durch seine allerdings mit jener Grundhaltung aufs engste verknüpften ausschließlichen Bezugnahme auf jeweils ein Subjekt, die die verbindlichen, für die Praxis unentbehrlichen objektiven Feststellungen unnötig erschwert, auf die Pflanze nicht anwendbar ist, ferner den Organismus vereinzelt, daher wiederum die Bezugnahme auf Generationenfolgen, Rassen, Arten, Populationen und Biozönosen überflüssigerweise schwierig macht und schließlich zu einer ablehnenden Haltung gegenüber dem Entwicklungsgedanken zwingt.

Wenn demgegenüber THIENEMANN neuerdings als „Umwelt“ „die Gesamtheit der Lebensbedingungen für einen bestimmten Organismus an einer bestimmten Lebensstätte“ bezeichnet, so hat diese Definition zwar den Vorzug größter Kürze und Einfachheit, aber den Nachteil, daß sie über die Einstellung ihres Autors zu den in Frage stehenden Grundproblemen wenig aussagt, wenn man es nicht als nähere Erklärung ansehen will, daß THIENEMANN angibt, damit etwa dasselbe sagen zu wollen, wie ich mit der folgenden, allerdings notgedrungen wesentlich umständlicheren, zudem die obige Ganzheitsdefinition voraussetzenden Formulierung:

Unter (Minimal-) Umwelt soll in der Biologie die im ganzen Komplex einer Umgebung enthaltene Gesamtheit der Bedingungen verstanden werden, die einem bestimmten Organismus gestatten, sich kraft seiner spezifischen Organisation zu halten, d. h. die ihm in einem zeitlich bestimmt abgegrenzten Abschnitt seiner Entwicklung innewohnenden Möglichkeiten der Lebensäußerungen (mit Einschluß der Fortpflanzung) in einem die individuelle Sterblichkeit wenigstens ausgleichenden Maß zu entfalten.

Der Begriff kann durch bestimmte objektive oder nichtobjektive Grenzziehungen im Raum und in der Zeit für jede organismische Einheit vom Entwicklungsstadium einer bestimmten Person bis zu beliebig ausgedehnten Generationenfolgen, reinen und gemischten Populationen und Biozönosen verwendet werden, er ist für die Pflanze, das Tier und, im biologischen Bereich wenigstens, auch für den Menschen brauchbar. Schließlich aber, und das ist für die Ökologie das Wesentliche, ist er nicht auf das Subjekt abgestellt und wird also ohne jede Rücksicht auf den weltanschaulichen Streit um die Wirklichkeit der Welt formuliert, aus der die Forschungsergebnisse der Biologie stammen und für die sie bestimmt sind, aus der insbesondere auch die praktischen Anforderungen kommen, die vom völkisch-wirtschaftlichen Leben her an die Ökologie gestellt werden. Gerade mit Rücksicht auf die angewandte Ökologie erscheint mir dies Vorgehen als das einzig mögliche. Welchen Anwendungsbereich und welchen heuristischen Wert der neue Umweltbegriff in Zukunft haben mag, muß sich beim Gebrauch zeigen, im Rahmen des heutigen Tagesthemas interessiert zunächst nur ein besonderer Punkt noch weiter:

Der neue Umweltbegriff enthält keinerlei Hin-

weis darauf, daß eine Gruppe der Umweltbeziehungen ausschließlich berücksichtigt oder auch nur vorgezogen werden soll, sei es die von UEXKÜLL (s. oben) bevorzugte Gruppe der Wirkungen und Gegenwirkungen, die den Weg über Rezeptoren, erregungsleitende Bahnen und Effektoren gehen,

anderen Prozesse zugunsten der Vorgänge in den „Reflexbögen“ sei der schwache Punkt der UEXKÜLLschen Lehre, die Vernachlässigung der reizphysiologischen Seite der Umweltbeziehungen sei dagegen die Schwäche der modernen Ökologie. An sich war, zumal im Anfangsstadium epidemiologischer

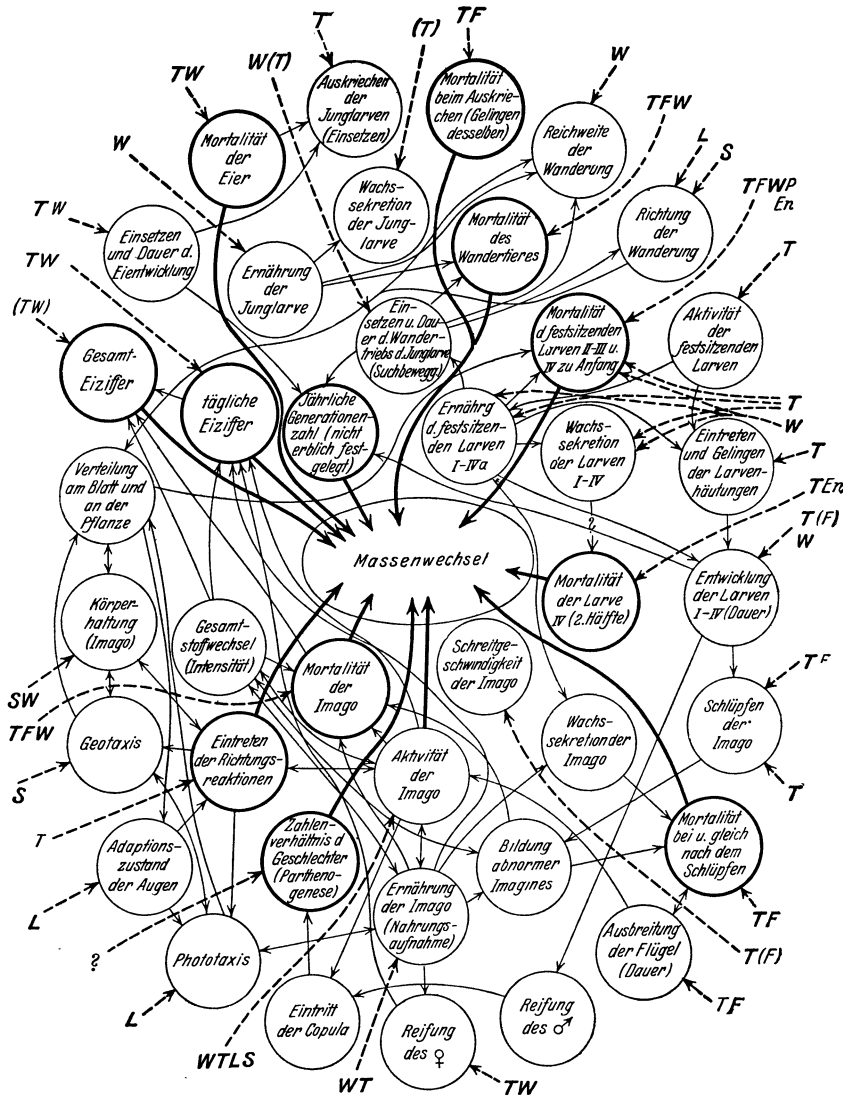


Fig. 1. Die Reaktionsbasis der „weißen Fliege“ *Trialeurodes vaporariorum*. Die untersuchten Vorgänge im Leben des Tieres sind als Kreise dargestellt, durch Pfeile sind die gegenseitigen Beziehungen, durch dickere Pfeile die Auswirkungen auf den Massenwechsel, durch gestrichelte Pfeile die Einwirkung der Außenfaktoren Temperatur (T), Feuchtigkeit (F), Wirtspflanze (W), Licht (L), Schwerkraft (S) oder des Parasiten *Encarsia (En)* rein qualitativ dargestellt. Das Schema soll die Verwicklung der sinnesphysiologischen mit den im engeren Sinn ökologischen Reaktionen, die Bedeutung der ersteren für den Massenwechsel und die Komplikation des ganzen Gefüges zeigen. Nach H. WEBER.

seien es die unmittelbar auf die Lebensvorgänge einwirkenden, in der Ökologie bisher fast ausschließlich berücksichtigten Umwelteinflüsse. Schon vor 10 Jahren stellte ich anlässlich meiner monographischen Bearbeitung der weißen Fliege *Trialeurodes vaporariorum* fest, die bewußte Vernachlässigung der

Forschung, letzteres Vorgehen verständlich und bis zu einem gewissen Punkte sogar berechtigt. Gerade die Epidemiologie der Schädlinge, die in den letzten Jahrzehnten zur Ökologie der Landtiere den größten und wichtigsten Beitrag geleistet hat, mußte das Hauptgewicht auf die Zusammen-

hänge legen, die den Massenwechsel ihrer Untersuchungsobjekte unmittelbar zu klären versprochen. Die beiden Hauptfaktoren, auf die es hier ankommt, das Vermehrungspotential und die Sterblichkeit, werden von Außenfaktoren sicher in erster Linie direkt, ohne Vermittlung des Nervensystems, beeinflusst. Aber neben diesen direkten Wirkungen, sie beeinflussend und regulierend, spielen auch reizphysiologische Vorgänge eine Rolle, wie sich bereits damals bei der Behandlung des für die Epidemiologie der Schadinsekten wichtigsten Faktors, der Temperatur, zu zeigen anfang. Die systematische Durchprüfung der Umweltbeziehungen einer Einzelart, wie ich sie an *Trialeurodes* durchführte, zeigte dann darüber hinaus, in welcher komplizierter, im einzelnen aus beistehender Figur ersichtlicher Weise die Reizreaktionen bezüglich der Aktivität und Ruhe, der Fraßtätigkeit und der Kotabgabe, des Auskriechens, Schlüpfens, der Niederlassung der Wandertiere usw. in die für Sterblichkeit und Vermehrung ausschlaggebenden Vorgänge eingreifen, wie andererseits sie selbst wieder rückwirkend von den inneren, an Stoffwechsel und Entwicklung beteiligten Vorgängen beeinflusst werden und wie sie schließlich gleich den letzteren unmittelbar von Außenfaktoren in ihrem Ausfall bestimmt sind, dergestalt etwa, daß *Trialeurodes* bei 35° das thermische Optimum für phototaktisch, bei 20° das für geotaktisch orientierte Ortsbewegungen hat.

Obwohl in den zahlreichen theoretischen und zusammenfassenden ökologisch-epidemiologischen Schriften jener Zeit (s. z. B. BLUNCK oder ZWÖLFER) in der Regel noch nicht einmal zwischen den Zeilen von der Bedeutung dieser Zusammenhänge die Rede war, in denen übrigens der Ganzheitsbegriff in einem durchaus naturwissenschaftlich faßbaren Sinn deutlich in Erscheinung tritt, nehme ich für mich nicht in Anspruch, sie entdeckt zu haben. Sie lagen in jenen Tagen „in der Luft“, wie das ja bei wissenschaftlichen Ideen oft der Fall ist, wenn der Stand der Forschung für sie reif gemacht hat, wurden fast gleichzeitig von verschiedenen Seiten aufgegriffen und erschienen dann, einmal ausgesprochen, so selbstverständlich, ja banal, daß man glauben konnte, sie seien immer dagewesen.

Als besonders wichtig und fruchtbringend hat sich dabei der Gedanke erwiesen, den ich in meinem Lehrbuch der Entomologie mit dem Satz ausdrückte: „Daraus, daß das Aufsuchen mikroklimatisch begünstigter Örtlichkeiten nur mit Hilfe der Sinnesorgane bewerkstelligt werden kann, ergibt sich die Bedeutung der von diesen abhängigen Reaktionen für den klimatisch bedingten Massenwechsel.“ Dies soll nun an Hand zweier Beispiele noch etwas näher ausgeführt werden:

Als Ergänzung der ökologischen Untersuchungen MATHIAS THOMSENS an Stuben- und Stechfliegen, also von einer ausgesprochen ökologischen Basis aus, haben ELLEN und MATHIAS THOMSEN in neuerer Zeit die Larven der Stubenfliege und einiger Stechfliegen auf ihre Vorzugstemperaturen hin untersucht, d. h. die Tem-

peraturzonen festgestellt, in denen sich die Tiere bei freier Wahl innerhalb eines Temperaturgefälles zusammenfinden. Bezüglich der Technik ist dabei bemerkenswert, daß eine abgeänderte Temperaturorgel Verwendung fand, ein Kasten, in dem sich die Versuchstiere, wie es ihrem Aufenthaltsort entspricht, in einem Medium (Mist) frei bewegen können und in dem ein Temperaturgefälle von etwa 9—50° erzielt wurde. Es stellte sich im Verlauf der sehr exakt durchgeführten Versuche heraus, daß die Larven der Stubenfliege als junge Larven im Fraßstadium eine hoch, zwischen 30 und 37° gelegene, die verpuppungsreifen Larven dagegen eine tief, nämlich um 15° gelegene Vorzugstemperatur besitzen und daß die Lage dieser Temperaturbereiche und die Umstimmung durchaus mit den Verhältnissen am natürlichen Wohnort, dem gärenden Misthaufen, und mit dem Verhalten der jungen und der reifen Larven im Düngerhaufen übereinstimmt. Entsprechend sind auch die Vorzugstemperaturen bei den 3 untersuchten Stechfliegenarten verschieden, je nach der Lebensweise der Art. Bei *Stomoxys calcitrans*, dem gewöhnlichen Wadenstecher, dessen Larven gewöhnlich in misthaltiger Streu von Kälberboxen bei Temperaturen von 20—30° leben, liegt die Vorzugstemperatur in der gleichen Zone, wahrscheinlich zwischen 23 und 26°. Bei den Larven von *Haematobia stimulans*, die in Kuhfladen leben, aber nur im Frühling und Herbst auftreten, liegt die Vorzugstemperatur recht tief, nämlich zwischen 15 und 26° (wahrscheinlich 19 und 23°). Larven von *Lyperosia irritans*, die sich ebenfalls in Kuhfladen entwickeln, aber nur im Hochsommer vorkommen, haben eine entschieden höher, nämlich zwischen 27 und 33° gelegene Vorzugstemperatur. Die Übereinstimmung zwischen der Vorzugstemperatur und der Temperatur des natürlichen Aufenthaltsortes ist offenkundig, und es kann nach dem Verhalten der verpuppungsreifen Stubenfliegenlarven keinem Zweifel unterliegen, daß die sinnesphysiologische Temperaturreaktion selbst so wenig beweglichen Tieren wie Fliegenlarven erlaubt, die ihnen jeweils zuträgliche Temperaturspanne aufzusuchen, eine Feststellung, die naturgemäß für Reaktionen auf andere Reizmodalitäten mutatis mutandis ebenfalls gilt und an anderen Tierarten in entsprechender Weise festgestellt werden kann.

Dafür mögen als weiteres Beispiel die Untersuchungen von MARTINI und TEUBNER an Stechmücken dienen, die, wiederum von ökologischen Fragestellungen ausgehend, die epidemiologischen besonders wichtigen Außenfaktoren, Temperatur und Luftfeuchtigkeit, in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit berücksichtigen und damit nicht allein für die Ökologie wichtige Ergebnisse liefern, sondern auch dem Sinnesphysiologen die bis heute unbeantwortete Frage nach dem Sitz, der Reichweite und der Wirkungsweise des offensichtlich bei den untersuchten (und vielen anderen) Insekten vorhandenen Sinnes für Unterschiede in der Luftfeuch-

tigkeit bzw. im Sättigungsdefizit stellen¹⁾. Innerhalb der heutigen Tagung sind gerade diese Untersuchungen von besonderem Interesse, weil aus ihnen die zur Zeit mit Unterstützung des Reichsforschungsrates laufenden Untersuchungen MARTINI und seiner Mitarbeiter²⁾ hervorgegangen sind, die, durch den Krieg unterbrochen, leider noch nicht abgeschlossen sind und über die ich daher gerne Herrn Kollegen MARTINI selbst hätte berichten hören. Da sich dies aber nicht ermöglichen ließ, muß auch ein Bericht über die ältere Arbeit genügen, Leitlinie und Ziel der Arbeiten aufzuzeigen, soweit sie mit dem Tagesthema in Zusammenhang stehen:

Die Lebensdauer der verschiedenen Stechmückenarten wird durch Temperatur und Feuchtigkeit in hohem Grade, aber in etwas verschiedener Weise beeinflusst: *Culex pipiens* und *Theobaldia annulata* halten sich bei niedrigen Temperaturen und hoher Feuchtigkeit (fast Sättigung) am längsten, ihre Lebensdauer nimmt mit zunehmender Wärme und abnehmender Luftfeuchtigkeit ab. Analog wirkende Temperaturen liegen bei *Stegomyia* meist wesentlich höher als bei den beiden genannten Arten, während *Anopheles maculipennis* sich zwar ähnlich verhält, aber gegen sehr hohe Sättigungsgrade empfindlich ist und sein Feuchtigkeitsoptimum etwa bei 80–90% hat. Fütterung ändert prinzipiell an diesen Verhältnissen nichts, wenn sie auch die Lebenslänge der Mücken sehr wesentlich erhöht.

Die ihnen somit nachweislich zuträglichen Lebensbedingungen wissen die Mücken auch im Versuch zu finden, in der Feuchtigkeitsleiter ziehen sich *Culex pipiens*, *Theobaldia annulata* und *Stegomyia fasciata* alsbald in der größeren Feuchtigkeit zusammen, während *Anopheles maculipennis* die Reaktion nur bei höheren Temperaturen deutlich zeigt und zudem gewöhnlich Feuchtigkeitsstufen von 80–95% bevorzugt. Bei Fütterung verwischen sich diese Reaktionen bei allen untersuchten Mücken im Sinne einer größeren Streuung, am meisten bei *Anopheles*, und bei dieser wiederum bei den Wintermücken, während die Sommermücken, zumal die frisch geschlüpften, rascher durch Ortswahl auf mikroklimatische Unterschiede reagieren. Auch hier entspricht wieder das natürliche Verhalten der Stechmücken dem Benehmen im Versuch, wie sich besonders deutlich in der Wahl bestimmter Mikroklimata als Überwinterungsplätze ausspricht: *Culex pipiens* und *Theobaldia annulata* überwintern gern an bis zur Sättigung feuchten Plätzen, während *Anopheles maculipennis* etwas weniger feuchte Orte, etwa zwischen 1,9 und 2,6 mm Sättigungsdefizit messende Keller, zum Durchwintern bevorzugt.

Wenn MARTINI seine und TEUBNERS Ergebnisse und methodischen Erfahrungen in folgender Weise zusammenfaßt, so spricht er ausführlicher und im

¹⁾ Die soeben erschienene Arbeit von GÖSSWALD geht diese Frage bei Ameisen an.

²⁾ Siehe A. HUNDERTMARK.

einzelnen am Beispiel begründet dasselbe aus, was ich ungefähr gleichzeitig mit dem oben zitierten Satz sagte:

„Die Problemstellung berücksichtigte vor allem, daß die Insekten wahlfähige Tiere sind. Zwar muß man wissen, wie das Klima ihre Entwicklung beschleunigt oder verzögert und wie Temperaturen und Feuchtigkeitsverhältnisse ihre Lebenslänge und Aktivität bestimmen. Aber man kann nun nicht einfach die so gefundenen wichtigen Werte in den meteorologischen Karten aufsuchen und danach Räume feststellen, die sehr günstig, günstig oder wenig günstig für die Vermehrung einer Mückenart sind, bzw. deren Vermehrung nicht erlauben. Ein so bewegliches Tier wie eine Mücke kann im kalten Lande und in kalter Jahreszeit warme Plätze und im heißen Land und in heißer Jahreszeit kühle Plätze finden.“

„Wenn es z. B. richtig wäre, daß eine bestimmte Mücke in offenen stehenden Gräben mit klarem Wasser brüte, die Larven aber nur in einer gewissen Temperaturspanne sich gesund entwickeln, dann wäre der Zusammenhang der Verbreitung solcher Art mit dem Klima einfach, aber die Mücke weiß offenbar gar nicht, was ein Fluß- oder Seerand ist, was eine Quelle, ein Brunnen usw. Dieselbe Art, die im Norden die wärmsten stehenden Gewässer annimmt, legt die Eier im Süden an die Ränder kühlerer fließender Gewässer oder Sickerwässer. HECHT hat gezeigt, daß im Versuch die Brutschale mit der kältesten Temperatur gewählt wird (*Anopheles bifurcatus* und *maculipennis*) und damit den experimentellen Grund gelegt für meine Anschauung vom geographischen und jahreszeitlichen Brutplatzwechsel. Da nämlich der *Anopheles bifurcatus* die Vorstellung: Bach, Seerand, Graben, Quelle, Zisterne, Brunnen in unserem Sinne nicht hat und nicht haben kann, sondern auf Feuchtigkeit und Wärme und vielleicht gewisse Gerüche, die in dieser Hinsicht seine Umwelt ausmachen, reagiert, ist ihm ein stehender Graben im Norden, ein fließender in Norddeutschland, Wasser im Baum Schatten in Südrußland und Brunnen in Palästina das gleiche. Er bewohnt als Larve eine bestimmte Wasserwärme und wechselt damit von Klimagürtel zu Klimagürtel die Art des Brutplatzes, wie wir sie vom menschlichen Standpunkt aus definieren. Dasselbe gilt jahreszeitlich. Aufgabe ist es, die Instinkte, Reflexe und Sinne zu ermitteln, welche diese Anpassung an das Zuträgliche ermöglichen.“

Es darf nicht unerwähnt bleiben, daß in diesen Ausführungen MARTINI, mit denen ich in allen wesentlichen Punkten übereinstimme, einer der wichtigsten und unbestritten richtigen Grundgedanken der UEXKÜLLSchen Umweltlehre enthalten ist, nämlich der Gedanke, daß dem Tier, zum mindesten dem wirbellosen, die Merkmöglichkeit für das „Gegengefüge“ des Objekts, für den wesenhaften Zusammenhang zwischen den an einem Objekt zusammenfallenden artspezifischen „Merkmalen“ und „Wirkungsflächen“ fehle. In MARTINI'S Worten liegt eben neben einer eingehenden

den Begründung der oben und früher von mir erhobenen Forderung nach Berücksichtigung der sinnes- und nervenphysiologischen Vorgänge in der Ökologie die Bestätigung der Richtigkeit einer möglichst umfassend gehaltenen und die UEXKÜLLschen „Umweltdinge“ einbegreifenden Umweltkonzeption. Und darum könnten sie den Schluß meiner einführenden Betrachtungen bilden, wenn sie nicht noch eine Vorausschau in die Zukunft nahelegten:

So wie heute bereits die Berücksichtigung sinnes- und nervenphysiologischer Abläufe in der Ökologie neue Wege zeigt und unerwartete Ausblicke eröffnet, so wird in den kommenden Jahren, vor allem wenn es um die Ökologie der höheren Wirbeltiere geht, die moderne *tierpsychologische* Forschung mit ihren scharfen Begriffsbestimmungen und der phylogenetischen Ausrichtung, die wir von LORENZ her kennen, dazu berufen sein, zu neuen Zielen vorstoßen zu helfen. Welche Vertiefung könnten dadurch auch praktisch so wichtige Untersuchungen wie die von PRELL (1932) „zur Epidemiologie von Mäuseplagen“ finden, wenn dabei nicht allein — dem Stand der Wissenschaft vor 10 Jahren entsprechend — dem Kampf zwischen dem artspezifischen Vermehrungspotential und den größtenteils klimatisch bedingten Widerständen der Umgebung, sondern auch der Tatsache Rechnung getragen würde, daß die Auseinandersetzung eines hochstehenden Tieres mit seiner Umwelt immer auch ein psychologisches Problem ist.

Literatur.

L. v. BERTALANFFY, Die organismische Auffassung. Biologie 10 (1941). — H. BLUNCK, Der Massenwechsel der Insekten und seine Ursachen. 4. Wanderversammlung Dtsch. Entomologen in Kiel. Berlin-Dahlem 1930. — F. BROCK, Die Grundlagen der Umweltforschung Jakob v. Uexkülls und seiner Schule. Verh. dtsch. zool. Ges. 1939 — Typenlehre und Umweltforschung. Grundlegung einer idealistischen Biologie. Bios 9.

(Leipzig 1939). — B. DÜRKEN, Entwicklungsbiologie und Ganzheit. Leipzig u. Berlin 1936. — H. EIDMANN, Lehrbuch der Entomologie. Berlin 1941. — K. FRIEDRICH, Ökologie als Wissenschaft von der Natur oder biologische Raumpforschung. Bios 7 (Leipzig 1937). — K. GÖSSWALD, Über den Einfluß von verschiedener Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Lebensäußerungen der Ameisen. II. Über den Feuchtigkeitsinn ökologisch verschiedener Ameisenarten und seine Beziehungen zu Biotop, Wohn- und Lebensweise. Z. wiss. Zool. (A) 154 (1941). — A. HUNDELMARK (mit einem Vorwort von E. MARTINI), Über das Helligkeitsunterscheidungsvermögen von *Anopheles maculipennis*. Anz. f. Schädlingskde. 14 (1938). — E. MARTINI u. E. TEUBNER, Über das Verhalten von Stechmücken, besonders von *Anopheles maculipennis* bei verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten. Beih. z. Arch. Schiffs- u. Tropenhyg. 37 (1933). — H. PRELL, Zur Epidemiologie von Mäuseplagen. Tharandter Forstl. Jb. 39 (1932) Berlin. — W. SPEYER, Entomologie mit besonderer Berücksichtigung der Biologie, Ökologie und Gradationslehre der Insekten. Wissenschaftliche Forschungsberichte. Naturwiss. Reihe, 43. Dresden u. Leipzig 1937. — A. THIENEMANN, Die Bedeutung der Limnologie für die Kultur der Gegenwart. Stuttgart 1935 — Grundzüge einer allgemeinen Ökologie. Stuttgart 1939 — Leben und Umwelt. Bios 12 (Leipzig 1941) — Unser Bild der lebenden Natur. 90. u. 91. Jahresbericht der Naturhistorischen Ges. zu Hannover. Hannover 1940 — Vom Wesen der Ökologie. Biol. generalis (Wien) 15 (1941). — E. THOMSEN u. M. THOMSEN, Über das Thermopräferendum der Larven einiger Fliegenarten. Z. vergl. Physiol. 24 (1937). — M. THOMSEN, Stuefluen (*Musca domestica*) und Stikfluen (*Stomoxys calcitrans*). 176 de Beretning fra Forsogslaboriet. Kopenhagen 1938. — H. WEBER, Lebensweise und Umweltbeziehungen von *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera-Aleurodina). Z. Morph. u. Ökol. Tiere 23 (1931) — Lehrbuch der Entomologie. Jena 1933 — Grundriß der Insektenkunde. Jena 1938 — Der Umweltbegriff der Biologie und seine Anwendung. Biologie 8 (1939) — Zur Fassung und Gliederung eines allgemeinen biologischen Umweltbegriffes. Naturwiss. 27, H. 38 (1939). — W. ZWÖLFER, Zur Theorie der Insektenepidemien. Biol. Zbl. 50 (1930).

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Der Gehalt an Zink und Kohlensäureanhydratase in den Augen, in anderen Organen und im Blut von Wirbeltieren.

Bis 1939 war man geneigt anzunehmen, daß die Kohlensäureanhydratase eisenhaltig sei, denn mit zunehmendem Reinigungsgrad der Präparate beobachtete man mitunter einen etwas ansteigenden Eisengehalt, und die Wirksamkeit des Fermentes konnte durch CO und HCN gehemmt werden. Da entdeckten KEILIN und MANN¹⁾, daß mit steigendem Reinheitsgrad der Fermentpräparate auch deren Zinkgehalt stieg bis auf 0,34%. Damit war es sehr wahrscheinlich geworden, daß die Kohlensäureanhydratase zinkhaltig sei. (Zur selben Zeit wurde davon unabhängig gefunden, daß die Kohlensäureanhydratasepräparate von M. LEINER und G. LEINER²⁾ eisenfrei, aber stark zinkhaltig waren.)

Es wurden nun mit denselben Geweben, von denen früher³⁾ der Gehalt an Kohlensäureanhydratase festgestellt worden war, Zinkbestimmungen gemacht, um zu prüfen, ob sich eine Beziehung des Fermentgehaltes zum Zinkgehalt feststellen lasse. Wie damals wurden die Augen besonders eingehend untersucht, da bei ihnen die Kohlensäureanhydra-

tase anscheinend eine besondere Bedeutung hat. Allgemein gesprochen ergaben die Untersuchungen: 1. Der Gehalt an Zink geht dem Gehalt an Kohlensäureanhydratase nicht parallel. 2. Die Zinkmengen in der *Retina* und besonders in der Aderhaut sind auffallend groß. Die Ergebnisse im einzelnen sind aus Tabelle 1 zu ersehen.

1. Nimmt man an, daß die von KEILIN und MANN gefundene Prozentzahl von 0,34% Zinkgehalt sich auf fast reine Präparate bezieht, so beträgt der auf das Ferment fallende Zinkgehalt in 1 ccm Blut, in welchem nach LEINER⁴⁾ ungefähr 500 γ Kohlensäureanhydratase vorhanden sind, 1,5—2 γ . Ungefähr auf die gleiche Zahl kommt man, wenn man annimmt, daß das Molekulargewicht der Kohlensäureanhydratase 34000 beträgt und auf 1 Molekül Ferment 2 Atome Zink treffen. Aus der Tabelle ersieht man aber, daß der Zinkgehalt des Blutes in jedem Falle höher ist. Auch das Kohlensäureanhydratasefreie Serum enthält pro Gramm Frischgewicht noch 1—3 γ Zink. Alle untersuchten Gewebarten haben nach unseren 220 Zinkanalysen mehr Zink, als ihrem Gehalt an Kohlensäureanhydratase entspricht, auch wenn bei den in der Tabelle gemachten Angaben über den Fermentgehalt unberücksichtigt bleiben mußte, welchen

Einfluß die in den Geweben und dem Blut anwesenden Inhibitoren^{5, 6)} und Aktivatoren²⁾ bei der Reaktionsbeschleunigung ausüben.

Die fermentreichsten Gewebe der Knochenfische (Pseudobranchie, Chorioidealkörper, Netzhaut und Milz) sind nicht auch die zinkreichsten, wenn auch z. B. die Pseudobranchie wohl noch ungefähr 7—10mal so viel Zink enthält, als ihrem Kohlendioxidgehalt entspricht. Umgekehrt sind manche Organe verhältnismäßig zinkreich und haben doch wenig Ferment (z. B. Kaninchenmuskulatur). Hoch ist der Zinkgehalt der Milz⁷⁾, die auch sehr viel Kohlendioxidanhydratase hat. Die Leber hat bei geringem Fermentgehalt noch mehr Zink. Der Eierstock aller Knochenfische ist außerordentlich zinkreich, aber fermentarm. So zeigt sich hier besonders, daß in manchen Geweben der Wirbeltiere Zink stark gespeichert wird⁸⁾. Vielleicht soll im Ei den Jungfischen ein Zinkdepot mitgegeben werden. Das gespeicherte Zink dürfte zum größten Teil durch organische Zinkkomplexbildner festgehalten werden⁹⁾. Zink als Zinksalz hemmt eine Reihe von Aktivatoren der Kohlendioxidanhydratase²⁾. Die Ovarien des Huhnes und Kaninchens haben nur den durchschnittlich geringen Zinkgehalt der meisten Gewebearten. Bei den Säugetieren erfolgt die Einlagerung von Zink in den Embryo^{10, 11)}. Die Muskulatur von Ratten und Kaninchen enthält sehr viel mehr Zink als die der Knochenfische und Hühner, während alle gleichmäßig einen sehr geringen Fermentgehalt haben. Der Herzmuskel enthält mehr Zink als der Skelettmuskel, er ist auch fermentreicher.

Vor kurzem wurde mitgeteilt⁴⁾, daß das *Jensen-Sarkom* und das *Fleener-Joblingsche Carcinom* außerordentlich arm an Kohlendioxidanhydratase seien. Das gleiche gilt für das in der Tabelle angeführte *Walker-Carcinom*. Trotzdem hat der nichtnekrotische Teil dieses Tumors soviel Zink wie die Skelettmuskulatur und mehr als das Blut. Die Leber der Tumortiere hatte, obwohl sie sehr stark vergrößert war, pro Gramm Frischgewicht mehr Zink als die der gesunden Tiere.

2. Bei der Betrachtung der für die einzelnen Augenteile gefundenen Werte der Tabelle ergibt sich folgendes Bild: die Netzhaut enthält durchschnittlich verhältnismäßig viel Zink, aber ihr Zinkgehalt ist sehr wechselnd, wie die Einzelmessungen ergaben. Bei jungen Exemplaren der Makrele (*Scomber scomber L.*) und der Bastardmakrele (*Trachurus trachurus L.*) waren nur 10—20 γ Zink vorhanden, bei alten Thunfischen (*Thynnus thynnus L.* und *Thynnus alalunga L.*) dagegen, die mit den erstgenannten nahe verwandt sind, 240—250 γ pro Gramm Frischgewicht. Vergleicht man mit diesen Zahlen den Zinkgehalt der Aderhaut, so stellt man fest, daß zu einem verhältnismäßig sehr geringen Zinkgehalt der Netzhaut (10—20 γ) auch ein verhältnismäßig sehr geringer Zinkgehalt der Aderhaut gehört (90—100 γ). Immer aber hat die Aderhaut (ohne das darauf liegende dicke Wundernetz des Chorioidealkörpers) einen so hohen Zinkgehalt, wie sie fast alle anderen Gewebearten des Wirbeltierkörpers einschließlich des *Pankreas* niemals aufweisen, vielleicht ausgenommen der Eierstock der Knochenfische und der Hirnanhang der Säugetiere¹²⁾. Der Durchschnittswert

Tabelle 1. Der Zinkgehalt in γ pro 1 g Frischgewicht im Vergleich zu den relativen Mengen Kohlendioxidanhydratase in den gleichen Gewebearten.

Blut	Ganzes Gehirn	Kieme und Lunge	Pseudobranchie und Pektin	Chorioidealkörper	Chorioidea	Iris	Retina	Glaskörper	Linse	Skelettmuskel	Herzmuskel	Rattentumor		Milz	Leber	Niere	Eierstock	Hoden
												Nichtnekrotisches Gewebe	Nekrosen					

I. Knochenfische.

a) Zinkgehalt in Durchschnittszahlen.

7,9 | 10,2 | 23,7 | 31,8 | 55,6 | 537,6 | 260,6 | 71,2 | 0,9 | 11,6 | 8,4 | 20,2 | — | — | 30,1 | 40,4 | 28,7 | 155,7 | 19,3

b) Fermentgehalt in relativen Durchschnittszahlen¹⁾

131,0 | 29,6 | 57,0 | 355,0 | 107,0 | 70,2 | — | 102,0 | — | — | s. klein | 12,6 | — | — | 170,0 | 24,3 | — | — | — | —

II. Vögel.

a) Zinkgehalt (1 Bestimmung mit Gewebemengen von 16 Hühnern).

5,0 | 15,2 | — | 24,5 | — | 43,2 | — | 29,7 | 0,4 | 4,2 | 6,6 | — | — | — | 21,6 | 35,6 | 30,3 | 17,7 | —

b) Fermentgehalt in relativen Durchschnittszahlen von Huhn, Truthuhn und Taube¹⁾.

125,0 | 14,5 | 28,6 | 55,0 | — | 15,9 | — | 29,4 | — | — | — | — | — | — | 21,5 | — | — | — | —

III. Säugetiere.

A. Ratte.

a) Zinkgehalt in Durchschnittszahlen von 2 gesunden Ratten.

5,0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 19,8 | — | — | — | 24,1 | 26,0 | 22,1 | — | 35,8

a') Zinkgehalt in Durchschnittszahlen von 2 Ratten mit Impftumoren.

— | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 19,7 | — | 18,1 | 9,7 | 27,9 | 47,7 | 27,7 | — | —

b) Fermentgehalt in relativen Durchschnittszahlen (gesunde Ratten und Ratten mit Impftumoren¹⁾).

343,0 | 25,2 | 26,5 | — | — | — | — | — | — | — | ganzes Auge: 24,8 | 7,8 | — | 5,6 | — | 88,0 | 33,2 | 76,5 | — | 8,5

B. Kaninchen.

a) Zinkgehalt mit Gewebemengen von 3 Kaninchen).

7,2 | 15,6 | 21,4 | — | — | 212,0 | — | 36,3 | 0,6 | 18,9 | 19,6 | 21,1 | — | — | 22,9 | 48,7 | 25,5 | 21,4 | 16,9

b) Fermentgehalt (2 Bestimmungen¹⁾).

α) Normaltier.

221,0 | — | — | — | — | 18,8 | — | 34,0 | — | — | — | — | — | — | 91,3 | 27,4 | — | — | —

β) Albinotisches Tier.

221,0 | — | — | — | — | 76,0 | — | 121,0 | — | — | — | — | — | — | 91,3 | 18,0 | — | — | —

¹⁾ Reziproke Werte der Reaktionszeiten in Prozenten der Normalzeit. Die durchbluteten Organe waren nicht absolut blutfrei gemacht.

von 538 γ in der Tabelle ist aus 15 Einzelmessungen gewonnen. Einige Male wurde dabei der Chorioidealkörper von der *Chorioidea* nicht getrennt, wodurch die Werte um etwa 150 γ herabgedrückt wurden. Der Gehalt ist von Fischart zu Fischart verschieden, innerhalb einer Art vielleicht vom Alter abhängig. Bei anderen Organen scheint ein Lebensalterunterschied in bezug auf den Zinkgehalt nicht zu bestehen^{11, 12}). Während bei den jungen Bastardmakrelen, die uns zur Verfügung standen, nur 90—100 γ gemessen wurden, hatte die Aderhaut einer alten Zahnbrasse (*Dentex vulgaris*) aus dem Aquarium von Neapel 639 γ , die von 11 älteren Exemplaren des Ulkfisches (*Sebastes dactylopterus Delar.*) 1870 γ und die eines alten Meeraales (*Conger conger L.*) aus dem Aquarium sogar 2600 γ , das sind also 260 mg%. Auch die *Iris* hat sehr viel Zink, bei alten Thunfischen ebensoviel wie die Aderhaut. In der *Sklera* wird Zink wenig gespeichert (Durchschnitt etwa 20 γ). Auch beim Huhn und Kaninchen besitzt die Aderhaut den höchsten Zinkgehalt aller untersuchten Gewebearten, und für diese Tiere ist ebenfalls der relativ hohe Zinkgehalt der Netzhaut charakteristisch. Es liegt der Gedanke nahe, die auffallende Zinkanreicherung in den inneren Augenhäuten der Knochenfische, die sicherlich eine besondere physiologische Bedeutung hat, in Zusammenhang zu bringen mit einem starken Verbrauch von Kohlendensäureanhydratase in der Netzhaut. Man muß sich bei dieser Vermutung die Blutversorgung des Knochenfischauges und die Verteilung der Kohlendensäureanhydratase in ihm vergegenwärtigen³).

Das in den Kiemen arterialisierte Blut, welches den Gasstoffwechsel der Knochenfischnetzhaut zu vermitteln hat, kommt ausschließlich aus dem Kapillarnetz der inkretorischen Drüse Pseudobranchie und fließt durch die arteriell-venösen Wundernetze des Chorioidealkörpers und der Chorioidea. Die venösen Kapillaren des Chorioidealkörpers werden von der *Vena ophthalmica magna*, die das Blut abführt, gesammelt. Die *Retina* ist blutfrei. Sie ist reich an Kohlendensäureanhydratase, das sie wegen ihres hohen Gasstoffwechsels wohl sehr benötigt. Es scheint, als ob das in der Pseudobranchie gespeicherte Ferment der Netzhaut über das Blutplasma geliefert würde. Experimente machen es wahrscheinlich, daß korrelative Beziehungen zwischen dem Fermentgehalt der Pseudobranchie, der Aderhaut und der Netzhaut bestehen. Der Fermentgehalt der Pseudobranchie, verglichen mit dem anderer Organe, ist sehr viel höher, als ihrem eigenen Gasstoffwechsel entspricht. Dem Meeraal fehlt die Pseudobranchie. In seinen Kiemen sind die Drüsenzellen, aus denen die Pseudobranchie zum größten Teil besteht, besonders stark angehäuft.

Zinkbestimmungen an Haifischgeweben (*Hexanchus griseus*) zeigten, daß in den Haifischaugen Zink nicht stark gespeichert wird. Ihr Gehalt an Kohlendensäureanhydratase ist ebenfalls ziemlich gering³).

Die Durchschnittszahlen des Zinkgehaltes der Knochenfischgewebe stammen von folgenden Arten¹³): *Thynnus thynnus L.*, *Thynnus alagonga L.*, *Scomber scomber L.*, *Trachurus trachurus L.*, *Umbrina cirrhosa L.*, *Corvina nigra Cuv.*, *Urophycis blennioides Brunn.*, *Gadus spezz.*, *Pagellus centrodontus Delar.*, *Merluccius vulgaris Flem.*, *Sebastes dactylopterus Delar.*, *Dentex vulgaris L.*, *Conger con-*

ger L. Die Schwankungen des Zinkgehaltes innerhalb der meisten Gewebearten waren geringer als diejenigen, welche EISENBRAND und SIENZ¹¹) an Bauchspeicheldrüsen kranker Menschen festgestellt haben.

Die Zinkbestimmungen wurden mit der von FISCHER und LEOPOLDI¹⁴) angegebenen Dithizonmethode ausgeführt, im wesentlichen in der Ausführung, wie sie von SCHWAIBOLD und Mitarbeitern^{15, 16}), EISENBRAND und SIENZ¹¹) und HORVAI¹⁰) angegeben ist. Es wurde die feuchte Veraschung angewandt.

Neapel, Zoologische Station, den 24. Oktober 1941.

MICHAEL LEINER. GERTRUD LEINER.

¹⁴) H. FISCHER u. G. LEOPOLDI, Z. analyt. Chem. 107 (1936).

¹⁵) J. SCHWAIBOLD, B. BLEYER u. G. NAGEL, Biochem. Z. 297 (1938).

¹⁶) J. SCHWAIBOLD u. A. LESMÜLLER, Biochem. Z. 300 (1939).

Über die Phosphorylierung und die Aufnahme von Aneurin durch Hefe.

E. SPERBER und S. RENVALL haben die Aufnahme von Aneurin durch die Bäckerhefe der schwedischen Hefefabrik Rotebro studiert¹). Es zeigte sich, daß das Aneurin von dieser Bäckerhefe sogar gegen das Konzentrationsgefälle sehr schnell aufgenommen wird. Dabei wurde es größtenteils zu Cocarboxylase phosphoryliert. Es wurde angenom-

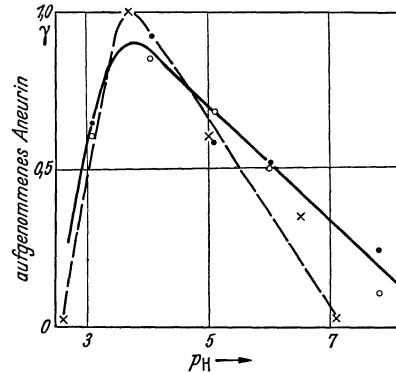


Fig. 1. Ausgezogene Kurve: Aneurinaufnahme durch 1 g Hefe in 1 Minute (2 Versuche • und o). Gestrichelte Kurve: Spaltung von Aneurinmonophosphat nach WESTENBRINK und Mitarbeiter (+).

men, daß diese Phosphorylierung derjenige Vorgang ist, welcher die Aufnahme zustande bringt.

Bei weiteren Versuchen wurde die Aufnahmegeschwindigkeit bei verschiedenem p_H studiert.

Die Versuchsansätze enthielten je: 10 g frische Bäckerhefe, 20 ccm 0,2-molare Pufferlösung, 0,5 mg Aneurinhydrochlorid und 65 ccm Wasser.

Die Ansätze wurden während des Versuches in Fernbach-Kolben bei 25° geschüttelt. Im Bereich p_H 3—6 diente dabei das System Bernsteinsäure-Succinat als Puffer, bei p_H 7,8 Phosphat. Es soll hervorgehoben werden, daß die Art des Puffers die Geschwindigkeit nicht wesentlich beeinflusst.

Fig. 1 zeigt die Aufnahme von Aneurin pro 1 g frische Hefe und 1 Minute als Funktion des p_H -Wertes. Die Punkte stammen von zwei Versuchen. Die Kurve hat bei $p_H \sim 3,7$ ein ausgeprägtes Maximum.

WESTENBRINK und Mitarbeiter haben die Phosphatasewirkungen einer mit alkalischem Puffer gewaschenen Hefe an Cocarboxylase und Aneurinmonophosphat studiert²). Sie erhielten p_H -Aktivitätskurven, die, wie aus Fig. 1 ersichtlich, der vorliegenden sehr ähnlich sind.

Nach WESTENBRINK wird die Phosphatasewirkung dieses Hefepreparates durch einige Pyrimidyl-derivate gehemmt, darunter 2-methyl-4-amino-pyrimidyl-5-methylaminodihydrochlorid („Pyrimidyl“). Diese Verbindung (HOFFMANN-LAROCHE) wurde in einem nach der oben angeführten Be-

¹) D. KEILIN u. T. MANN, Nature (Lond.) 114 (1939).

²) M. LEINER u. G. LEINER, Biol. Zbl. 60 (1940).

³) M. LEINER, Z. vergl. Physiol. 26 (1938).

⁴) M. LEINER, Naturwiss. 29, H. 31 (1941).

⁵) V. H. BOOTH, J. of Physiol. 91 (1938).

⁶) H. VAN GOOR, Acta brev. neerl. Physiol. etc. 11 (1941).

⁷) Siehe auch: K. R. DRINKER, Ph. K. THOMPSON u. M. MARSH, Amer. J. Physiol. 81 (1927).

⁸) Siehe auch: E. ROST, Ber. dtsh. pharmaz. Ges. 29 (1919).

⁹) J. EISENBRAND u. F. WEGEL, Hoppe-Seylers Z. 268 (1941).

¹⁰) L. HORVAI, Biochem. Z. 308 (1941).

¹¹) J. EISENBRAND u. M. SIENZ, Hoppe-Seylers Z. 268 (1941).

¹²) P. V. SIMAKOV, Bull. Biol. et Méd. expér. URSS.

4, (1937); s. Ber. Physiol. 108, 256 (1938).

¹³) A. GRIFFINI, Ittiologia Italiana. Milano 1903.

schreibung bereitetes Ansatz bei p_H 5 geprüft. Fig. 2 zeigt das Resultat. Bei diesem Versuch wurden 10 mg „Pyrimidyl“ verwendet. Diese Menge gibt eine Hemmung der Aneurinaufnahme von wenigstens 95 %. Aus Aneurin durch Zersetzung mit Bisulfit und Ausschütteln mit Chloroform hergestelltes Thiazol hat hingegen in derselben Versuchsanordnung keine Wirkung.

Diese Tatsachen zeigen, daß die Phosphatase der mit sekundärem Natriumphosphat gewaschenen Hefe, welche

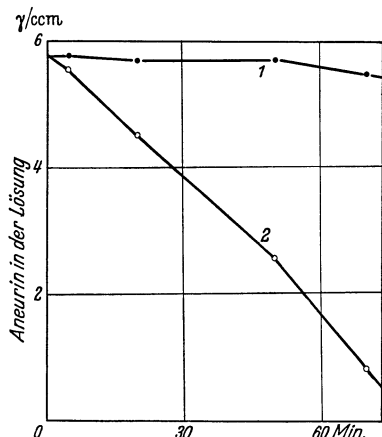


Fig. 2. Kurve 1: Aufnahme von Aneurin durch Hefe bei Zusatz von „Pyrimidyl“. Kurve 2: Dasselbe ohne „Pyrimidyl“.

die Cocarboxylase dephosphoryliert, mit dem Enzym identisch ist, welches die Phosphorylierung und die Aufnahme des Aneurins bei der intakten Hefe bewirkt.

Stockholm (Schweden), Wenner-Gren-Institut für experimentelle Biologie, den 28. Oktober 1941.

ERIK SPERBER.

- ¹) E. SPERBER u. S. RENVALL, Biochem. Z. (im Druck).
- ²) H. K. G. WESTENBRINK, D. A. VAN DORP, M. GRUBER and H. VELDMANN, Enzymologia 9, 73 (1940).

Zur Theorie des Farbensehens.

Nach GOETHE liegen unserem Farbenempfinden die drei Grundfarben Blau, Purpur und Gelb zugrunde, durch deren Mischung die drei Mischfarben Orange (worunter auch das spektrale Rot fällt), Grün und Violett entstehen. Nach dieser Darstellung, welche wohl unsere Farbempfindung richtig

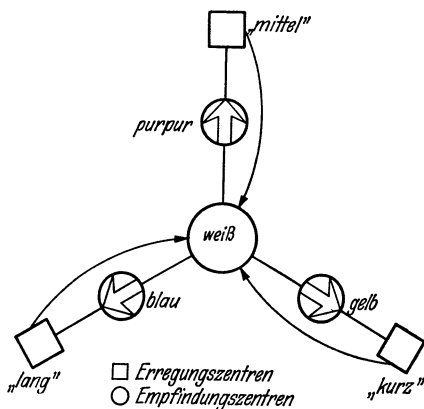


Fig. 1. Schaltschema der Farbzentren.

beschreibt, zerfällt das sichtbare Spektrum in drei Mischbereiche (Rot, Grün, Violett), zwischen welche zwei Bereiche reiner Farben (Gelb, Blau) eingeschlossen sind. Das komplementäre Spektrum (eine Strichblende vor weißem Hintergrund durchs Prisma betrachtet) dagegen besteht aus drei

Bereichen reiner Farben (Blau, Purpur, Gelb), zwischen welchen zwei Mischbereiche liegen. Grün fehlt im Komplementärspektrum ebenso wie Purpur im direkten Spektrum.

Diese Feststellungen legen eine Drei-Komponenten-Theorie des Farbensehens nahe in folgender Fassung:

Eine Grundfarbempfindung wird ausgelöst, wenn eine der drei Farbkomponenten geringer angeregt ist, als in weißem Licht gleicher Helligkeit.

Das bedeutet im einzelnen: Die Erregung der drei Substanzen (deren Hauptanregung im lang- bzw. mittel- bzw. kurzwelligen Teile des sichtbaren Spektrums liegt) summiert sich in einem Weißzentrum (von wo aus die Helligkeit als Weißindruck zum Bewußtsein gelangt). Dieses Weißzentrum setzt sich nun seinerseits in Beziehung zu jeder der drei Grunderregungen (s. Fig. 1); sobald etwa die „Lang“-Erregung geringer ist, als der Anteil, welcher im Sonnenlicht auf dieselbe Weißerregung entfällt, spricht das Zentrum der Grunderregung „Blau“ an. Das Blauzentrum hat man sich also zwischen das „Lang“- und das Weißzentrum geschaltet zu denken; es wird angeregt durch die Differenz der Erregungen „Lang“ und „Weiß“ (wobei die Weißerregung nur in einem solchen Bruchteil wirksam wird, daß bei Sonnenlicht die Erregungsdifferenz gerade Null wird). Einseitige Nervenleitung bewirkt, daß das Blauzentrum nur bei „Lang“-Mangel, nicht aber bei Überschuß angeregt wird. Analog entstehen die Grunderregungen Purpur und Gelb bei Mangel an „Mittel“- bzw. „Kurz“-Erregung.

Die Folgen dieses Grundgedankens überblickt man am besten an Hand des HELMHOLTZschen Farbdreiecks (Fig. 2),

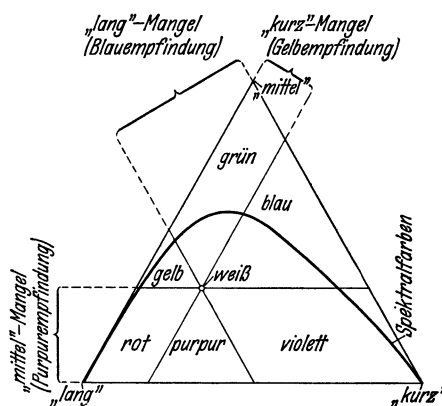


Fig. 2. HELMHOLTZ'sches Farbdreieck (qualitativ).

in welchem jeder Farbeindruck durch das Erregungsverhältnis der drei Komponenten graphisch dargestellt wird: die Ecken stellen die alleinige Anregung der langen bzw. mittleren bzw. kurzen Komponente dar, allgemein sind die Erregungsverhältnisse proportional zu den Abständen von den drei Seiten des Dreiecks; speziell sind für den Punkt „Weiß“ die Abstände proportional zu der Anregung der drei Komponenten bei Sonnenlicht. Die Seitenparallelen durch den Weißpunkt trennen die Gebiete des Mangels der drei Komponenten von den Gebieten des Überschusses, wodurch das gesamte Farbgebiet in sechs verschiedene Bereiche zerfällt, nämlich genau in die drei GOETHESchen reinen (Mangel nur an einer Komponente) und die drei GOETHESchen Mischfarben (Mangel an zwei Komponenten). Innerhalb eines Bereiches reiner Farbe ändert sich nur der Weißgehalt, nicht die Farbqualität, während innerhalb der Mischbereiche von Punkt zu Punkt das Verhältnis der beiden beteiligten Grundfarben und damit die Farbqualität geändert wird. Die Stärke der Farbigkeit ist für jede Grundfarbe durch den Abstand von der zugehörigen Seitenparallelen gegeben (bezogen auf Helligkeit = 1, d. h. Weißerregung = Höhe des Farbdreiecks = 1). Die geringe Erregbarkeit der „kurzwelligen“ Sehsubstanz erklärt die Schmalheit des gelben Spektralbereichs ebenso wie die starke Weißlichkeit auch des farbkräftigsten Gelb, während umgekehrt die große Breite des blauen Spektralbereichs wie der geringe

Weißgehalt eines kräftigen Blau durch die große Empfindlichkeit der „langwelligen“ Substanz erklärt wird.

Es scheint nun, daß die angegebene (im wesentlichen aus der Goetheschen Farbenlehre zu folgender) Vorstellung gerade diejenige Wechselwirkung zwischen den Zentren der Farberregung wiedergibt, welche zur Darstellung der Physiologie des Farbsehens benötigt wird. Sie leistet ausnahmslos alles, was G. v. STUĐNITZ¹⁾ von dieser Interaktion verlangt und beseitigt darüber hinaus einiges, was an der v. STUĐNITZschen Darstellung unbefriedigend erscheint.

1. Es besteht keine Veranlassung mehr, die Enden des Spektrums zu reinen Farben zu erklären, und damit entfällt die Notwendigkeit, zur Erklärung der violetten Farbe das JOH. v. MÜLLERSche Gesetz von den spezifischen Sinnesenergien außer Kraft zu setzen²⁾, wenn man nur annimmt, daß die „Mittel“-Erregung beim Menschen noch bis ins Violette in solcher Stärke vorhanden ist, daß sie zu der (sehr schwachen) „Kurz“-Erregung sich ins Verhältnis setzen kann.

2. Ebenso verschwindet der Widerspruch, daß nach v. STUĐNITZ nur die „Mittel“-Erregung einen (gelbgrünen) Mischeindruck hervorruft³⁾, während die alleinige Anregung der langen und kurzen Komponente „einfache“ Farben erzeugt⁴⁾.

3. Der Zusammenhang zwischen Urfarben und Grundempfindungen⁵⁾ tritt jetzt klar zutage: Die Grundempfindungen entsprechen denjenigen Bereichen des HELMHOLTZschen Dreiecks, innerhalb deren eine Änderung des Erregungsverhältnisses nur die Weißbeimengung, nicht aber die Farbqualität beeinflusst (Purpur, Blau, Gelb). Als Urfarben erscheinen außer diesen dreien noch diejenigen Stellen des Spektrums, an welchen durch eine Intensitätsänderung das Erregungsverhältnis nicht beeinflusst wird, nämlich das äußerste rote Ende des Spektrums (welches völlig in den Eckpunkt des Farbdreiecks fällt) und das Urgrün. Die Grundfarben sind vor den übrigen Urfarben dadurch ausgezeichnet, daß sie gegen eine geringe Farbigkeit der Beleuchtung unempfindlich sind.

Im Felde, den 14. August 1941.

WALTER FRANZ (Univ. Münster).

¹⁾ Naturwiss. 29, 377ff. (1941), insbesondere S. 380 und S. 386.

²⁾ a. a. O., S. 384.

³⁾ a. a. O., S. 379.

⁴⁾ a. a. O., S. 382.

⁵⁾ a. a. O., S. 381.

Bemerkungen zu der vorstehenden Mitteilung von W. Franz.

Das Bemerkenswerte der vorstehenden Theorie des Farbsehens sehe ich darin, daß sie trotz eines grundsätzlich anderen Ausgangspunktes und Weges dennoch zu den gleichen Schlußfolgerungen gelangt, wie ich sie in der von FRANZ herangezogenen „Physiologie des Farbsehens“ (vgl. auch v. STUĐNITZ¹⁾) entwickeln konnte. Die Differenzen zwischen den beiden Auffassungen sind jedoch nicht so nebensächlicher Natur, um sie gänzlich unerörtert lassen zu können.

Sie beziehen sich zunächst auf den peripheren Rezeptionsapparat, indem FRANZ die Absorption der mittleren Farbsubstanz sehr viel weiter in das Kurzwellige hineinreichen und hier gleichzeitig auch die Empfindungen (mit) bestimmen läßt, als das in meinen Kurven der Fall ist. Dadurch würden bei ihm auch noch das Indigo und Blau durch eine gleichzeitige Zersetzung von Gelb- und Blausubstanz zustande kommen und lediglich die Violetttempfindung dem alleinigen Zerfall der Blausubstanz entsprechen (Punkt 1 seiner „Widersprüche“).

Hierzu ist zu unterstreichen, daß ich meine Physiologie des Farbsehens ganz streng auf der Grundlage der Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen entwickelte; darin sehe ich ihren Hauptvorteil gegenüber allen übrigen Ableitungen dieser Art und auch den Grund für die überraschende Zwanglosigkeit, mit der sich die wesentlichsten der aus der Psychophysik des Farbsehens bekannten Daten auf allgemeine physiologische Grundlagen zurückführen ließen.

Unbestrittenermaßen (vgl. v. STUĐNITZ^{2 3)}) hat nun die Gestalt der meiner neuen Fassung der Dreikomponentenlehre zugrunde gelegten Absorptionskurven zwangsläufig

noch einer gewissen Willkür unterliegen müssen, und erst in Vorbereitung befindliche Untersuchungen lassen die endgültige Aufklärung ihrer Gestalt auch im einzelnen erhoffen. Durch neueste, unabhängig von den meiningen angestellte Untersuchungen ganz anderer Art ist es jedoch recht unwahrscheinlich geworden, daß das in meinen Arbeiten aufgestellte Bild von der retinalen Grundlage der farbigen Empfindungen noch sehr wesentliche Verschiebungen erfahren wird:

1. TONNER hat die Sehschärfe für die verschiedenen Farben vergleichend untersucht. Er hoffte, aus etwaigen Unterschieden der Sehschärfe erschließen zu können, ob jeder Zapfen alle Farben perzipiert, oder ob es für die Empfindung jeder Grundfarbe eine besondere Zapfensorte gibt. Obwohl der Autor die Analyse seiner Ergebnisse noch nicht abgeschlossen hat, hat er mich ermächtigt, folgenden Parallelismus zwischen Sehschärfe und Komponentenmischung der Farbe mitzuteilen: Für die Empfindung, die durch Zersetzung aller 3 Farbsubstanzen entsteht, für Weiß, ist die Sehschärfe mit 58—71" am besten. Für Empfindungen, die durch Zersetzung nur zweier Substanzen entstehen, für Gelb und Grün, ist sie mit 77—93" deutlich schlechter, und für die Empfindungen, die durch Zersetzung nur je einer Sub-

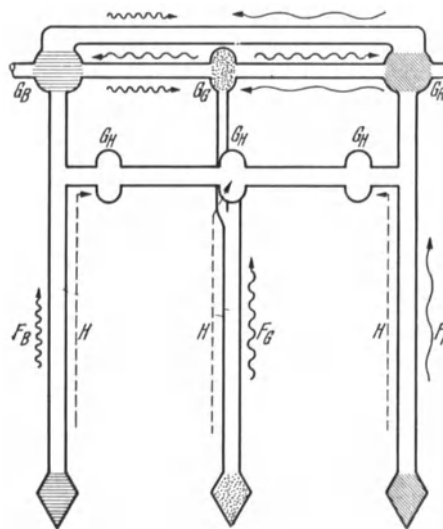


Fig. 1. Schema des die farbigen Empfindungen des Menschen vermittelnden peripheren und zentralen Apparates. G Ganglienzellen. G_B die „F-Ganglienzellen“ der die Blausubstanz enthaltenden Zapfen, F_B die von diesen ausgehende „F-Erregung“, H die von ihnen ausgesandte „H-Erregung“. Entsprechendes gilt für die die Gelb- (Mitte) und Rotsubstanz (rechts) enthaltenden Zapfen. G_H die die Helligkeits- (Weiß-) Empfindung vermittelnden „H-Ganglienzellen“.

stanz entstehen, für Rot, Gelbgrün (vgl. den Bereich zwischen 555 und 535 $m\mu$!) und Blau (!), ist sie mit 105—113" am schlechtesten.

2. PINEGIN⁴⁾ beschreibt neuerdings die Farben der von uns noch gesehenen ultravioletten Bereiche. Sie müßten, selbst unbeschadet einer etwaigen abermaligen Erhebung der Absorptionskurve der Blausubstanz im UV, stets „violett“ aussehen, wenn FRANZ' Auffassung von der Entstehung dieser Farbe durch eine — gleich, wie starke — alleinige Zersetzung der Blausubstanz, der des Blau dagegen durch eine zusätzliche der Gelbsubstanz zutreffend wäre. Tatsächlich sollen λ 390 $m\mu$ zwar noch als „violett“, λ 365, 334, 313 und 302 $m\mu$ jedoch schon wieder als „blau“ empfunden werden! — Die Erklärung dieser Befunde ist nur in einem abermaligen Anstieg der Absorptionskurve der Blausubstanz jenseits 400 $m\mu$ zu sehen; dadurch gleichen λ 365 und 334 $m\mu$ der durch λ 435, λ 313 $m\mu$ dagegen der durch λ 491 $m\mu$ bewirkten Farbe (PINEGIN). FRANZ' Deutung des Blau ließe sich nur durch die zusätzliche Annahme eines entsprechenden Anstiegs auch der Gelbsubstanzabsorption im zwischen 400 und 300 $m\mu$ gelegenen UV-Bereich aufrechterhalten.

Nun halte auch ich eine Absorption auch der Gelbsubstanz im kurzwelligsten „Sichtbaren“ (also zwischen 490 und 400 m μ) und langwelligen „Unsichtbaren“ (zwischen 400 und 300 m μ) keineswegs für unwahrscheinlich. Ich glaube jedoch, daß diese nur mit anderen als den bisher von mir angewandten Methoden wird erfaßt werden können und dann allerdings der chemischen Charakterisierung unseres Sehstoffes sehr wertvolle Dienste leisten wird, jedoch für die Entstehung der durch diese kurzwelligen Bereiche erzeugten farbigen Empfindungen eben ihres geringen Betrages im Sichtbaren wegen ohne Bedeutung bleiben wird. Neben dem streng in diesem Sinne sprechenden Befunden TONNERS scheint mir hierauf ein erst vor wenigen Wochen von TRENDLEBURG veröffentlichter einzigartiger Fall von Farbenblindheit hinzudeuten, dessen theoretische Möglichkeit ich übrigens in meiner „Pathologie des Farbennsinns“⁽¹⁾ eben auf Grund meiner Ableitungen über die Grundlagen des Farbsehens und der Farbenblindheiten bereits andeutete, die so auch durch ihn wieder bestätigt werden:

3. TRENDLEBURG⁵⁾ und MEITNER⁶⁾ beschreiben einen Patienten, dem, bei unverkürztem Spektrum, Wellenlängen < 497–492 m μ farblos grau erscheinen. Sollte es ein Zufall sein, daß diese Grenze zwischen „bunt“ und „unbunt“ gesehenen Spektralbereichen an der Stelle gelegen ist, an der in unseren Kurven der Wirkungsbereich der Gelbsubstanz endet, und kann man diesem Befund eine andere Erklärung geben als die, daß die F-Ganglienzellen der Blausubstanz ausgefallen sind und die Wahrnehmung der allein von diesem Stoff absorbierten Bereiche lediglich durch seine H-Ganglienzellen geschieht?! Diese Deutung wird dadurch gefestigt, daß Mischfarben, die Blau enthalten, nur in der Farbe der anderen Komponente gesehen werden — Violett-purpur, Rotpurpur und Rotbläulich als Rötlich bzw. Rot, Blaugrün als Grün!

Wenn ich also weiterhin — und zwar gar nicht einmal so sehr unter Betonung des Vorläufigen — verschiedene Empfindungen (wie z. B. Blau, Indigo und Violett) durch die — verschieden starke — Zersetzung einer einzigen Farbsubstanz bedingt sein lasse, so bleibt damit auch der Eingriff in die „starrste“ Form des Gesetzes von den spezifischen Sinnesenergien bestehen. Daß dieses hierdurch jedoch nicht — wie FRANZ meint — gänzlich „außer Kraft“ gesetzt wird, dürfte ohne weiteres einleuchten, insbesondere, wenn man sich die sehr viel erheblichere Labilität vergegenwärtigt, die diesem Gesetz nicht ohne Grund speziell von geisteswissenschaftlicher Seite zugesprochen wird (vgl. zusammenfassend darüber z. B. THYSSEN⁷⁾).

Unsere bislang noch so mangelhaften Kenntnisse über derartige zentrale Vorgänge verbieten es meines Erachtens auch, die Auslösung einer Misch- bzw. Doppelpfindung durch die Ganglienzellen der einen Farb(Gelb)Substanz, die von einfachen Farben durch die der anderen beiden Zapfen-substanzen bereits heute als einen „Widerspruch“ (Nr. 2 bei FRANZ) hinzustellen. Und die gleichen Gründe der Vorsicht bei der Beurteilung dieser Dinge haben mich bisher auch davon absehen lassen, die bezüglich der zentralen Vorgänge aus den Absorptionskurven der 3 Farbsubstanzen notwendigerweise gezogenen Schlußfolgerungen bildlich veranschaulicht zu veröffentlichen. Wenn dies nun an dieser Stelle dennoch geschieht (s. Fig. 1), so nicht nur, um meine Auffassung, sondern auch den einstweilen noch zu der von FRANZ bestehenden Gegensatz klarer hervorzuheben; ich erblicke ihn vorzugsweise in dem sehr viel engeren Spielraum, der dem — mir in all seinen Auswirkungen übrigens keineswegs verständlichen — Begriff der Empfindungserzeugung durch einen Erregungsmangel im Rahmen meiner Ableitungen gegenüber der von FRANZ entwickelten Theorie belassen wird.

Halle a. d. S., Zoologisches Institut der Universität, den 12. November 1941. G. VON STUDNITZ.

1) v. STUDNITZ, Naturwiss. 29, 614 (1941).

2) v. STUDNITZ, Z. vergl. Physiol. 28, 153 (1940).

3) v. STUDNITZ, Naturwiss. 29, 67 (1941).

4) PINEGIN, C. r. Acad. Sci. USSR, N. s. 30, 206 (1941).

5) TRENDLEBURG, Abh. preuß. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. 1941, Nr. 6.

6) MEITNER, Klin. Mbl. Augenheilk. 107, 293 (1941).

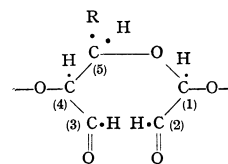
7) THYSSEN, Bl. dtsh. Philosophie 14, H. 4 (1941).

Über den oxydativen Abbau von Polysacchariden.

Bei der Oxydation von Cellulose und Stärke mit Perjodsäure tritt nach JACKSON und HUDSON^{1, 2)} eine Glykospaltung zwischen den Kohlenstoffatomen C₂ und C₃ ein, wobei an denselben Stellen je eine Aldehydgruppe entsteht. Der polymere Aldehyd wird bei der Hydrolyse in Glyoxal und d-Erythrose gespalten. Letztere wird nach der Oxydation zu Erythronsäure als Brucin-d-Erythronat nachgewiesen. Daneben entsteht Oxalsäure. Die von JACKSON und HUDSON erhaltenen Ausbeuten bleiben jedoch in bescheidenen Grenzen. So wurden z. B. auf diese Weise aus Stärke erhalten: Glyoxal gefällt als Glyoxalphenylsazon in einer Ausbeute von 25 % des Osazons, auf die Stärke ger. (17 % der Th.), aus Cellulose nur 18 % des Osazons auf Cellulose ger. (12,2 % der Th.), außerdem aus Stärke 22 % Brucin-d-Erythronat (6,7 % der Th.) und aus Cellulose 15 % desselben Salzes (4,6 % der Th.).

Wir haben nun festgestellt, daß sich diese Ausbeuten sehr wesentlich steigern lassen, wenn man nicht wie JACKSON und HUDSON eine etwa 10proz. Perjodsäure (p_H etwa 1), sondern eine gepufferte Perjodsäurelösung derselben Konzentration (p_H 3,5 bis 4) anwendet. Dabei entsteht aus Cellulose bei kürzerer Oxydationsdauer der polymere Aldehyd in einer Ausbeute von 97,5 bis 99,0 % auf Cell. ger.; er bleibt im Oxydationsmittel unlöslich, geht jedoch in siedendem Wasser zu 95 % auf Cell. ger. in Lösung, während das aus Cellulose mit ungepufferter Perjodsäure sich in einer Ausbeute von 86 bis 89,5 % bildende Oxydationsprodukt in siedendem Wasser nur zu 71 % auf Cell. ger. in Lösung geht. Nach der Hydrolyse des mit gepufferter Perjodsäure erhaltenen polymeren Aldehyds mit ¹⁰/₁₀ Schwefelsäure ließ sich im Hydrolysat das Glyoxal als Phenylsazon in der mehr als doppelt so hohen Ausbeute von 39,3 %, auf Ausgangsmaterial gerechnet, gewinnen.

Weiterhin konnten wir beweisen, daß auch Xylan bei der Oxydation mit gepufferter Perjodsäure unter Spaltung zwischen dem C₂- und C₃-Atom und Auflösung in den entsprechenden polymeren Aldehyd übergeht. Hexosane und Pentosane verhalten sich also gleich:



R = CH₂OH für Stärke und Cellulose.
R = H für Xylan.

Durch Hydrolyse wurde daraus Glyoxal (aus C₁ und C₂) als Phenylsazon in einer Ausbeute von 62,4 % der Th. erhalten. Der im polymeren Aldehyd gebundene Glycerinaldehyd (C₃, C₄, C₅) ließ sich durch unmittelbare Destillation mit 20proz. Schwefelsäure in Methylglyoxal überführen, das, als Osazon gefällt, in einer Ausbeute von 44,9 % der Th. gewonnen wurde.

Zur Gewinnung weiterer wertvoller Produkte in guter Ausbeute aus dem aus Xylan entstandenen polymeren Aldehyd erwies sich der Weg am erfolgreichsten, diesen vor der Hydrolyse weiter zu oxydieren oder zu reduzieren und erst dann hydrolytisch zu spalten. Die bei der Weiteroxydation des polymeren Aldehyds entstandene polymere Säure lieferte bei der Hydrolyse d-Glycerinsäure als Brucin-salz in einer Ausbeute von 65,2 % der Th. Der durch Reduktion des polymeren Aldehyds mit Raney-Nickel und Wasserstoff erhaltene polymere Alkohol ergab bei der Hydrolyse Glycerin und Glykoldehyd. Wurde die Hydrolyse des polymeren Alkohols stufenweise vorgenommen und durch weitere Hydrierungen unterbrochen, so entstanden, auf das Xylan gerechnet, 51,6 % eines Gemisches von Glycerin und Glykol, das 76,5 % Glycerin enthielt.

Das Verfahren läßt sich auch unmittelbar auf Pflanzensubstanz anwenden. Bei der Oxydation von Strohpulver mit gepufferter Perjodsäurelösung gingen etwa 20 % der Strohsubstanz in Lösung. Der unlösliche Rückstand lieferte nach der Weiteroxydation mit Brom und Hydrolyse ein Gemisch organischer Säuren, in dem sich d-Erythronsäure und d-Glycerinsäure befinden müssen. Der nach der Hydrolyse

verbleibende, aus dem Ligninanteil des Stroh stammende Rückstand war zum größten Teil in heißem verdünnten Alkali löslich.

Es bietet sich also die Möglichkeit, aus billigen und leicht zugänglichen Pflanzenstoffen, wie Holz, Stroh, Haferschalen u. dgl. durch oxydativen Abbau, gegebenenfalls gefolgt von geeigneter Abwandlung der Oxydationsprodukte, und Hydrolyse, zu einer Reihe wertvoller organischer Substanzen in beträchtlicher Ausbeute zu gelangen, wie z. B. Glyoxal, Oxalsäure, Glycerinsäure, Methylglyoxal, Erythronsäure, Glycerin, Glykol, Erythrit u. a.

Darmstadt, Institut für Cellulosechemie an der Technischen Hochschule, den 18. November 1941.

GEORG JAYME. MARTIN SÄTRE. SPYROS MARIS.

¹⁾ E. L. JACKSON u. C. S. HUDSON, J. amer. chem. Soc. 59, 2049 (1937).

²⁾ E. L. JACKSON u. C. S. HUDSON, J. amer. chem. Soc. 60, 989 (1938).

Zur Bindung des Wassers in Zeolithen.

Mit einer kürzlich entwickelten Apparatur zur Bestimmung des beweglichen Wassers in festen Stoffen¹⁾ wurden verschiedene Zeolithe, Natrolith, Heulandit und Chabasit gemessen. Bei einem roten Heulandit aus dem Fassatal und einem weißen Heulandit aus Island konnten etwa 2 Mole Wasser, bei einem Chabasit aus Rübendörfel etwa 1 Mol als beweglich festgestellt werden. Der Rest ist ortsfest²⁾ gebunden. Ein Natrolith aus Salesl und einer aus Marienberg bei Aussig verhielten sich merkwürdig; die Prüfung auf bewegliches Wasser verlief ergebnislos; das gesamte Wasser ist also in ortsfester Bindung vorhanden.

Es besteht vielerorts die Ansicht, daß das Wasser in Zeolithen frei beweglich sei^{2, 3)}. Mit dem Begriff des „zeolithisch gebundenen“ Wassers verbindet man die freie Beweglichkeit.

Der Verlauf der isothermen Entwässerung ist nach Dampfdruck und Wasserabgabe bei vielen Zeolithen kontinuierlich und ähnelt den Entwässerungskurven vieler Oxydhydrate, bei denen HÜTTIG⁴⁾ die Gültigkeit der osmotischen Gleichung und die entsprechende Beziehung zwischen den spezifischen Wärmen und dem Wassergehalt nachwies, so daß man eine osmotische Bindung bzw. freie Beweglichkeit des Wassers in solchen Oxydhydraten annehmen mußte. Dieses bewegliche Wasser konnte auch tatsächlich mit der dielektrischen Methode^{1, 5)} bestimmt werden. In neuerer Zeit angestellte Versuche ließen bei Zeolithen ein unterschiedliches Verhalten des Wassers erkennen. So erhielt z. B. GRÜNER⁶⁾ mit der Ammoniak-Extraktionsmethode von BILTZ bei allen untersuchten Zeolithen nur einen teilweisen Austausch des Wassers, und J. WYART⁷⁾ fand, daß das Gitter des Heulandit beim Erhitzen auf 220° zusammenbricht; ein Restbetrag von 2,5 Molen Wasser pro Mol Heulandit verbleibt im Rückstand. Bis jetzt bekanntgewordene Strukturbestimmungen haben ergeben, daß die Hypothese von der Schwammstruktur der Zeolithe nicht zu Unrecht bestand, indem für diese ein sperriger Aufbau gefunden wurde. Das Gitter des Natrolith z. B. ist von kanalartigen Hohlräumen durchzogen⁸⁾. In diesen Hohlräumen befinden sich die Alkaliionen und die Wassermoleküle. Beiden ist ein bestimmter Platz zugeordnet. Die Zeolithe weisen also bereits in ihrer Primärstruktur gesetzmäßig angeordnete Hohlräume (sozusagen Gitterporen nach SMEKAL) auf, die die Diffusion des Wassers begünstigen⁹⁾.

Die gleichmäßige Wasserabgabe läßt sich durch den Aufbau erklären. Man kann sich vorstellen, daß in solchen Raumgittern ein Teil des Wassers infolge geringeren Einflusses der Nebenvalenzkräfte beweglich ist. Eine freie Beweglichkeit sämtlicher Wassermoleküle ist dagegen kaum möglich, denn die beschriebenen Experimente und die jetzt vorliegenden dielektrischen Versuche widerlegen diese Ansicht. Im besonderen Falle, wie beim Natrolith, sind die Wassermoleküle überhaupt nicht beweglich, sie müssen fester sitzen. Dieses festere Haften konnte auch E. GRÜNER⁶⁾ beim Extrahieren mit Ammoniak beobachten. Gegenüber anderen Zeolithen war das Wasser kaum durch Ammoniak auszutauschen.

Da bei manchen Zeolithen nur ein kleinerer Teil des Wassers Beweglichkeit besitzt, andere Zeolithe nur ortsfest gebundenes Wasser haben, kann man das „zeolithisch ge-

bundene“ Wasser nicht allgemein als freibeweglich bezeichnen. Die Beweglichkeit ist dem „zeolithisch gebundenen“ Wasser nicht eigentümlich.

Es werden weitere Zeolithe untersucht. Die ausführliche Veröffentlichung erfolgt in einer Fachzeitschrift.

Aachen, Institut für anorganische Chemie und Elektrochemie der Technischen Hochschule, den 24. November 1941.

O. GLEMSER.

¹⁾ O. GLEMSER, Z. Elektrochem. 44, 341 (1938).

²⁾ R. BÜLL, Angew. Chem. 49, 145 (1936).

³⁾ W. EITEL, Physikalische Chemie der Silikate. 2. Aufl., S. 520, 527. Leipzig: J. A. Barth 1941.

⁴⁾ Zusammenfassende Literatur in FRICKE-HÜTTIG, Hydroxyde und Oxyhydrate. Leipzig: Akadem. Verl.-Ges. 1937.

⁵⁾ O. GLEMSER, Z. Elektrochem. 45, 820 (1939).

⁶⁾ E. GRÜNER, Z. anorg. u. allg. Chem. 211, 385 (1933).

⁷⁾ J. WYART, C. r. Acad. Sci. Paris 191, 1343 (1930).

⁸⁾ W. H. TAYLOR, C. A. MEEK u. W. W. JACKSON, Z. Kristallogr. 84, 373 (1933).

⁹⁾ A. TISELIUS, Z. physik. Chem. A 169, 425 (1934).

Anwendung der Phasenkontrast-Mikroskopie auf Modellversuche zum Poliervorgang an Gläsern.

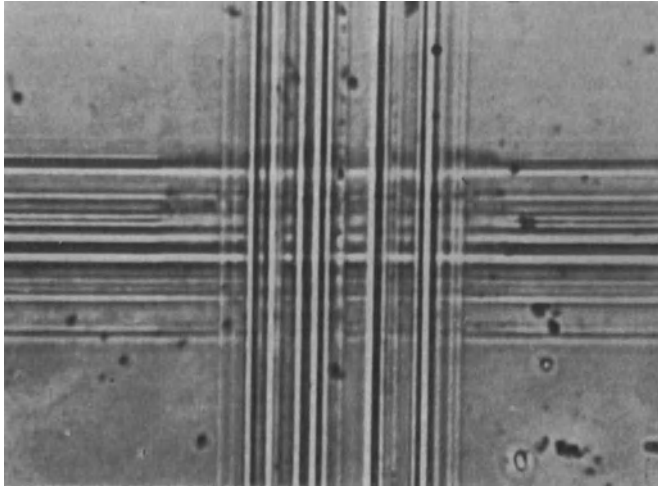
In einer vorangegangenen Mitteilung haben W. KLEMM und A. SMEKAL die für den Poliervorgang bei spröden Stoffen grundlegenden bruchlosen Stoffverschiebungen durch einfache Modellversuche mikroskopisch sichtbar gemacht¹⁾. Die Rauigkeiten genügend schwach belasteter Ritzwerkzeuge bringen auf Glas- und Kristalloberflächen bruch- und splitterfreie Auskehlungen hervor; kreuzt man derartige Spuren, so wird die zuerst vorhandene Spur an und neben der Kreuzungsstelle durch den zweiten Vorgang „zugewischt“. Die entstehende Einebnung ist bei Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung deutlich erkennbar und wurde mikrotinterferometrisch sichergestellt¹⁾. Die mikrotinterferometrische Ausmessung der stärksten, auf polierten Oberflächen des optischen Glases SF 2 erzielbaren Auskehlungen ergab Breiten und Tiefen bis zu 0,5 bzw. 0,3 μ , so daß je Mikron Spurlänge größenordnungsmäßig eine Stoffmenge bis zu 0,1 μ^3 oder $1 \cdot 10^{-13}$ ccm in der Ritzrichtung und seitlich dazu verschoben wird.

Solche schwachen Auskehlungen und ihre teilweisen Einebnungen sind bei Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung sehr gut einstellbar, in Auflicht-Hellfeld-Beleuchtung dagegen recht kontrastarm. Die Scharfeinstellung der in der früheren Mitteilung wiedergegebenen Auflicht-Hellfeld-Aufnahme einer Ritzerkreuzung ist daher durch Übernahme der Einstellung im Durchlicht-Dunkelfeld erfolgt, was bei Universalmikroskopen, besonders bei solchen mit getrennten Lichtquellen für Auflicht und Durchlicht (Busch-Metaphot), einwandfrei ausführbar ist. Für die Einstellung von Durchlicht-Hellfeld-Aufnahmen bestünde grundsätzlich eine ähnliche Möglichkeit, doch traten bei der Auflicht-Dunkelfeld-Einstellung bereits Schwierigkeiten auf.

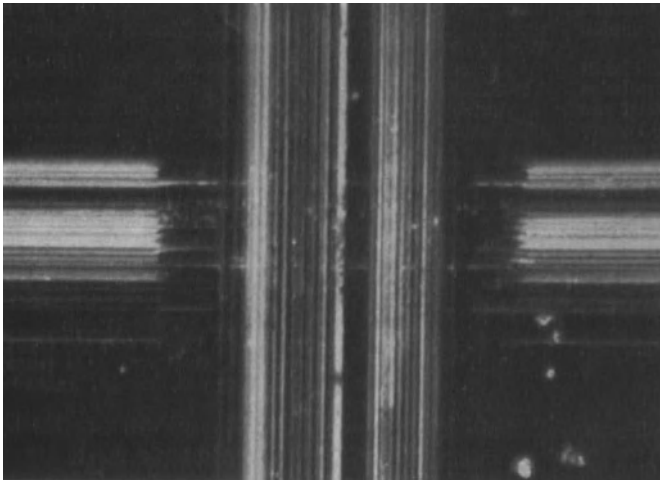
Bei dieser Sachlage erschien es wünschenswert, die in dieser Zeitschrift von A. KÖHLER und W. LOOS²⁾ beschriebene Ausführungsform des ZERNIKESCHEN Phasenkontrast-Verfahrens³⁾ anzuwenden. Wir danken auch hier den Optischen Werken Carl Zeiss, insbesondere Herrn Professor Dr. A. KÖHLER, ferner dem Reichsamt für Wirtschaftsausbau dafür, unsere Zusammenarbeit im Mikro-Laboratorium des Zeisswerkes ermöglicht zu haben.

Als Beispiel einer Versuchsreihe sei die Überschneidung von zwei auf einer polierten Oberfläche des optischen Glases SF 2 mit 400 g Belastung gezogenen Grammophon-nadelkratzern vorgeführt; der Abbildungsmaßstab beträgt 1200:1. Fig. 1 zeigt die Kreuzungsstelle in Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung; in Fig. 2 ist die gleiche Kreuzung im positiven Phasenkontrast wiedergegeben. Die in den Abbildungen waagrecht verlaufende Vielfachspur wird in der Richtung von unten nach oben von dem senkrechten Spurenbündel überquert.

In der Phasenkontrast-Aufnahme gibt die gleichmäßige mittelgraue Tönung der durch das Ritzerkreuz gebildeten Quadranten das gleichmäßige Niveau der unverletzten Glasoberfläche an; im Kratzer selbst sind die hellen Streifen jene Stellen, die unterhalb, die dunklen Streifen jene, die oberhalb der unverletzten Glasoberfläche liegen. In Übereinstimmung



Durchlicht-Dunkelfeld-Beleuchtung.



Positiver Phasenkontrast.

Fig. 1 und 2: Kreuzung zweier Grammophonadelkratzer auf einer polierten Oberfläche des optischen Glases SF 2. Belastung der Nadel 400 g. Abbildungsmaßstab 1200:1.

mit den früher aus Interferenzaufnahmen erhaltenen Ergebnissen handelt es sich also bei den Einzelspuren tatsächlich um „Auskehlungen“ (helle Streifen) der Glasoberfläche, die seitlich von wallartigen Aufwerfungen (dunkle Streifen) begleitet sind. Die wallartigen Erhöhungen sind besonders deutlich zwischen nahe aneinanderliegenden Auskehlungen ausgebildet.

An der Kreuzungsstelle erkennt man, daß die waagerechten Spuren durch den senkrechten Vorgang „zugewischt“ wurden, wobei die wallartigen Aufwerfungen in die Auskehlungen hineingeschoben sind. Den Richtungssinn dieser Verschiebungen erkennt man an der Einseitigkeit der Wallveränderungen im Bereiche der Kreuzungsstelle. Flache schmale Auskehlungen werden hierbei vollkommen zugewischt, wenn sie einer starken wallartigen Erhebung benachbart sind (oberer Teil des waagerechten Kratzers). Die tiefsten breiten Auskehlungen werden dagegen nur zum Teil wieder aufgefüllt (mittlerer Teil des waagerechten Kratzers).

Die Untersuchung der Kreuzung von Modellkratzern im Phasenkontrast bestätigt somit die früher gezogenen Folge-

rungen¹⁾ und liefert überdies bemerkenswerte Einzelheiten über den der Polierwirkung entsprechenden Einebnungsvorgang.

Da der Polierschicht von Gläsern ein der Glasmasse gegenüber etwas verändertes Lichtbrechungsvermögen zukommt⁴⁾, ist hervorzuheben, daß im Phasenkontrast Bildelemente, die heller als das allgemeine Glasniveau sind, auch niedriger brechende, dunklere Bildelemente hingegen auch höher brechende Gebiete des Objekts darstellen können. Am Zustandekommen von Phasenkontrastbildern der beschriebenen Einebnungsvorgänge könnten demnach überdies geringe Unterschiede im Lichtbrechungsvermögen beteiligt sein. Ein abschließendes Urteil darüber erfordert vergleichende Untersuchungen des gleichen Objekts im Phasenkontrast und im Mikroskopinterferometer.

Durch die vorstehende Anwendung ist gezeigt, daß das Phasenkontrastverfahren ein wertvolles Hilfsmittel zur objektähnlichen Abbildung kontrastarmer Oberflächenverletzungen an Gläsern darstellt; daher ist zu erwarten, daß dieses Verfahren auch bei anderen Untersuchungen an Glasoberflächen Fortschritte ermöglichen wird, wie etwa über den Erstarrungsvorgang von Glasoberflächen oder über den Angriff von Ätzmitteln. Bei geringer Tiefenausdehnung sind Veränderungen an Glasoberflächen geradezu ideale Objekte für das Phasenkontrastverfahren; eine Beteiligung veränderter Lichtbrechungsvermögen kann an derartigen Objekten grundsätzlich stets durch Hinzunahme mikrointerferometrischer Ausmessungen aufgefunden werden.

Hamburg, Institut für Schiffs- und Tropenkrankheiten; Rathenow, Physikalisches Laboratorium der Emil Busch A.G.; Halle, Institut für theoretische Physik der Universität, im November 1941.

W. LOOS. W. KLEMM. A. SMEKAL.

¹⁾ W. KLEMM u. A. SMEKAL, Naturwiss. 29, 688 (1941).

²⁾ A. KÖHLER u. W. LOOS, Naturwiss. 29, 49 (1941).

³⁾ F. ZERNIKE, Z. techn. Physik 16, 454 (1935).

⁴⁾ LORD RAYLEIGH, Proc. roy. Soc. A 160, 507 (1937).

Über die Bedeutung der Kohlensäure und der photoperiodischen Belichtung für die Blütenbildung bei *Kalanchoe Blofeldiana*.

In früheren Arbeiten¹⁾ haben wir zeigen können, daß bei *Kalanchoe Blofeldiana* durch Kurztagsbehandlung (täglich 9 Stunden Licht, 15 Stunden Dunkelheit) nicht nur die Blütenbildung ausgelöst wird, sondern auch eine starke Veränderung im Habitus der Pflanzen zustande kommt. Daraus haben wir geschlossen, daß durch die Kurztagsbedingungen außer „Blühormon“ noch ein anderer Wirkstoff, „Metaplasin“, entsteht, dem formbeeinflussende Eigenschaften zukommen. Bei der Fortsetzung der Versuche mit dem Ziel, das Blühen und die Gestaltsveränderungen möglichst getrennt voneinander in Erscheinung treten zu lassen und den Einfluß der Photosynthese auf die Prozesse zu ermitteln, haben wir Untersuchungen bei variiertem Kohlensäuregehalt durchgeführt. Einzelne Blätter bzw. einzelne Zweige erhielten Kurztag (es ist nicht nötig, die ganze Pflanze in den Kurztag zu bringen, sondern bereits die Behandlung einzelner Teile bzw. eines einzigen Blattes genügt) und wurden außerdem mit Kämmerchen aus farblosem Celluloid umgeben, durch die ein kohlenstoffhaltiger bzw. -freier Luftstrom geleitet wurde. Die Versuche sind zwar noch nicht völlig abgeschlossen, auf einer Auslandsreise fiel uns aber ein nicht zu uns gelangtes und auch in den deutschen Referierorganen (Berichte über

die wissenschaftliche Biologie, Bot. Zbl.) bisher nicht erwähntes Heft (Dezember 1940) einer amerikanischen Zeitschrift in die Hand, in der PARKER und BORTHWICK²⁾ Mitteilungen über ähnliche Versuche wie unsere eigenen machen, so daß wir hier kurz über unsere Untersuchungen berichten möchten. In der Arbeit von PARKER und BORTHWICK wird nur das Blühen behandelt, die Metaplasinfrage können wir deshalb hier weglassen.

Die Kurztagsbehandlung unserer Versuchspflanzen begann am 28. V. 1941; bis dahin hatten sie im Langtage gestanden. 10 Pflanzen (Kontrollen) erhielten normale Luft, bei 12, den eigentlichen Versuchspflanzen, wurde ein kohlenstoffreicher Luftstrom durch die Celluloidkammern geführt. Am 28. VI. begannen an 4 der Kontrollpflanzen Blütenstandsanlagen mit bloßem Auge erkennbar zu werden, und am 2. VII. waren sie an allen Kontrollpflanzen sichtbar; an den Pflanzen mit kohlenstoffreicher gehaltenem Versuchsblatt erschienen dagegen bis zum 29. VIII. (Versuchsende) keine Blütenstandsanlagen. Dieses Ausbleiben des Blühens kann natürlich nicht auf Mangel an Baustoffen am Vegetationspunkt beruhen, denn es wurde ja immer nur ein Teil der Pflanze, bei der Mehrzahl der Versuchsobjekte sogar nur ein einziges Blatt, kohlenstoffreich gehalten; die sämtlichen anderen Blätter konnten normal assimilieren, und der Vegetationspunkt erhielt daher ganz zweifellos ausreichende Mengen von Baustoffen. Dieses Resultat steht im Einklang mit den Ergebnissen, die PARKER und BORTHWICK auf ähnlichem Wege erhalten haben; es zeigt, daß für das Zustandekommen des Blühens nicht die Darbietung der richtigen photoperiodischen Verhältnisse allein genügt, sondern daß gleichzeitig auch Photosynthese in dem den Impuls aufnehmenden Blatt stattfinden muß. Auch die Zufuhr von Assimilaten von den Nachbarblättern zu dem im Kurztag befindlichen Blatt genügt offenbar nicht, um in diesem die zum Blühen führenden Prozesse zu bewirken.

Aus gewissen Versuchen mit der Langtagspflanze *Hyoscyamus niger* hat LANG³⁾ gefolgert, daß sich in der Pflanze primäre Prozesse vollziehen, die von den photoperiodischen Verhältnissen unabhängig sind, die aber bei nicht zuzugender Tageslänge von sekundären Prozessen, die in den Blättern stattfinden, in ihrem Ablauf gehemmt werden können. Diese Hemmungsprozesse sollen lichtempfindlich sein und bei genügend langer täglicher Beleuchtung nicht zur Wirkung kommen. Das Entscheidende für das Zustandekommen der photoperiodischen Reaktion einer Langtagspflanze, wie *Hyoscyamus*, ist daher die Dunkelheit; die Rolle des Lichtes liegt im wesentlichen nur in der Beseitigung der Hemmungsprozesse. Es liegt nahe, diese von

LANG für Langtagspflanzen entwickelte Vorstellung mit umgekehrtem Vorzeichen auf Kurztagspflanzen zu übertragen. Dann müßte bei diesen die Blütenbildung durch Prozesse gehemmt werden, die an das Licht geknüpft sind und bei richtiger photoperiodischer Behandlung, also hinreichend langer täglicher Verdunkelung, unterdrückt würden. So einfach können die Verhältnisse aber bei unserem Objekt nicht liegen. Würden nämlich bei *Kalanchoe* im Licht nur sekundäre Hemmungsprozesse vor sich gehen, dann wäre zu erwarten, daß bei Fehlen von Kohlensäure die Blütenbildung ungehindert stattfände. Das Unterbleiben des Blühens bei CO₂-Mangel zeigt vielmehr, daß — abgesehen von gewissen Vorgängen während der Dunkelheit — auch im Licht sich Prozesse vollziehen müssen, die zum Zustandekommen des Blühens *notwendig* sind und die in irgendeiner Weise an die Photosynthese — kaum nur an deren zuleitbare Produkte — gebunden sind.

Göttingen, Botanische Anstalten der Universität, den 30. November 1941. R. HARDER. H. VON WITSCH.

¹⁾ R. HARDER u. H. VON WITSCH, Gartenbauwiss. 15, 226 (1940) — Jb. Bot. 89, 354 (1940) — Planta (Berl.) 31, 523 (1940).

²⁾ M. W. PARKER u. H. A. BORTHWICK, Bot. Gaz. 102, 256 (1940).

³⁾ A. LANG u. G. MELCHERS, Naturwiss. 29, 82 (1941). — A. LANG, Biol. Zbl. 46, 427 (1941).

Schmelzpunkt von NdF₃ und PrF₃.

Bei Gelegenheit der Herstellung kleiner durchsichtiger Splitter von NdF₃ und PrF₃ für spektroskopische Zwecke wurden die Schmelzpunkte durch Eingabelung mit einem am Cu-Schmp. frisch geeichten Thermolement bestimmt. Die verwandten Oxyde zeigten im Absorptionsspektrum im festen Sulfat nur spurenweise Verunreinigung des einen mit dem anderen. Sie wurden im Pt-Schiffchen im Pt-Rohr in einem Strome reinen Fluorwasserstoffs erhitzt, wobei sie sich vollständig in die Fluoride verwandeln, und schmolzen zwischen 1394 und 1420° bzw. 1362 und 1378°. Mit den Zahlen von JANTSCH, GRUBITSCH, HOFFMANN, ALBER [Z. anorg. u. allg. Chem. 185, 49 (1929)] erhält man also folgende merkwürdige Reihenfolge:

	Nd	Pr
F ₃	1410	1370
Cl ₃	760	782
J ₃	775	733

Göttingen, den 1. Dezember 1941.

H. VON WARTENBERG.

Besprechungen.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken. **Werkstoff-Sonderheft**. Herausgegeben von der Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Forschungsarbeiten der Siemens-Werke. Berlin: Springer 1940. VIII, 388 S. u. 372 Abbild. 19 cm × 27 cm. Preis brosch. RM 28.—.

Das vorliegende Sonderheft der Wissenschaftlichen Veröffentlichungen aus den Siemens-Werken bringt nicht weniger als 26 zum Teil sehr ausführliche Arbeiten aus dem Gebiete der Werkstoffe und der Werkstoffprüfverfahren. Der Inhalt ist in drei Hauptteile: Metalle, Nichtmetalle und Übermikroskopie als Werkstoffprüfverfahren, gegliedert. Im ersten Abschnitt werden ferromagnetische, nicht-ferromagnetische Metalle und allgemeine elektrochemische Arbeiten an Metallen unterschieden.

H. G. MÜLLER berichtet über „Anomale Rekristallisation bei flächenzentrierten Eisen-Nickel-Kupfer-Legierungen“. Bei diesen Untersuchungen wurde eine neuartige Rekristallisationserscheinung gefunden, die bei gewissen Legierungen auftritt und sowohl deren Gefügebild als auch die magnetischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften verändert. H. NEUMANN und W. ZUMBUSCH beschreiben „Ein neues Verfahren

zur Bestimmung der wahren Remanenz von Dauermagneten“, das unter Benützung eines vollkommen geschlossenen Magnetkreises es gestattet, in einem einzigen Meßvorgang Dauermagnete schnell und bequem zu messen. In einer Arbeit von G. RITZAU über „Sintermagnete aus Eisen-Nickel-Aluminium“ werden die Vorteile der Herstellung von Eisen-Nickel-Aluminium-Magneten durch Sintern diskutiert und die Wege zur Überwindung der dabei auftretenden Schwierigkeiten gezeigt. In einer weiteren Arbeit berichtet der gleiche Verfasser über „Die Darstellung quaternärer Systeme durch Temperatur-Konzentrations-Schnitt-Diagramme“. Diese Arbeit wird ergänzt durch eine experimentelle Untersuchung von G. W. KASTEN über „Das Vierstoffsystem Aluminium-Wismut-Blei-Antimon“. Derartige Verbindungen eignen sich bekanntlich wegen ihrer günstigen Spannbildung besonders gut als Automatenlegierungen. Die für die Frage der Einsparung wertvoller Metalle wichtige „Frage der Herabsetzung des Nickel- und Kupfergehalts in den Aluminiumlegierungen der Gattung Al-Cu-Ni“ untersucht auf Grund gefügetheoretischer Überlegungen L. KOCH mit dem Ergebnis, daß der Nickelgehalt in gewissen Grenzen durch Eisenzusatz herabgesetzt werden kann, ohne daß die

Festigkeit der Legierung abnimmt. „Zur Frage bleihaltiger Leichtmetall-Lager“ nimmt eine Abhandlung von G. RITZAU Stellung. Versuche zeigten den günstigen Einfluß von Blei- bzw. Blei-Silicium-Zusätzen zu Aluminium hinsichtlich seiner Verwendung als Lagermetall. „Über Entgasung von Leichtmetall-Legierungen durch Schallschwingungen“ berichten W. ESMARCH, TH. RUMMEL und K. BEUTHER; es gelingt den Verfassern, die Schwierigkeit der Schallübertragung in die Schmelze dadurch zu umgehen, daß sie dem Hochfrequenzfeld des elektrischen Ofens ein statisches Magnetfeld überlagern, so daß in der Schmelze elektrodynamische Kräfte auftreten, die ohne Erhöhung der Rührbewegung zu sehr intensiven Schwingungen führen und eine vollständige Entgasung liefern. Das zur Zeit sehr wichtige Problem „Drähte für elektrische Leitungen und Kabel auf Zinkbasis“ wird zusammenfassend von W. DEISINGER und R. REINBACH unter Berücksichtigung der Erfahrungen aus dem Weltkrieg und des heutigen Standes der Technik behandelt, mit dem Ergebnis, daß sich für den genannten Zweck zur Zeit die Feinzinklegierung ZnAl₁₁ am besten eignet. „Beiträge zur Lehre der Stoffwanderung in Abhebekontakten“ bringen R. HOLM, H. P. FINK und F. GÜLDENFENNIG in einer weiteren vorwiegend experimentellen Arbeit, die wertvolles Zahlenmaterial für die zum Bau von Schalterkontakten geeigneten Werkstoffe liefert. In dem Abschnitt über elektrochemische Arbeiten behandelt eine Arbeit von M. PASSER und G. HÄNSEL: „Die Darstellung von Zinkpulver durch Elektrolyse von Zinkatlösungen.“ Es wird gezeigt, daß sich mit diesem Verfahren die chemischen und physikalischen Eigenschaften des als Reduktionsmittel viel benutzten Zinkpulvers weitgehend verändern lassen. Es folgt eine sehr ausführliche experimentelle Arbeit von J. FISCHER über „Beiträge zur Kenntnis der Wirkung von Flußsäure und Kieselflußsäure auf die elektrolitische Abscheidung von Chrom aus Chromsäurelösungen im Vergleich zu Schwefelsäure“, die an Hand zahlreicher Diagramme wertvolle Ergebnisse bringt, die besonders für die Herstellung dicker Schichten für die sog. Hartverchromung von grundsätzlicher Bedeutung sind. „Die Zusammenhänge zwischen anodischem Verhalten und Gefügestand ausscheidungsfähiger Aluminiumlegierungen“ ist der Inhalt einer größeren Arbeit von H. FISCHER, N. BUDILOFF und L. KOCH, in der zahlreiche Fragen, die sich bei der Oberflächenveredelung von Aluminiumlegierungen durch anodische Oxydation ergeben, durch systematische Untersuchungen geklärt werden. Eine Arbeit von W. HERRMANN „Zum Mechanismus der Oxydschichtbildung auf Aluminiumanoden von Elektrolytkondensatoren“ versucht die bei der Bildung von Oxydschichten auf Aluminium auftretenden Vorgänge zu klären. Eine kurze Mitteilung von TH. RUMMEL über „Die induktive Stromzuführung zur elektrolytischen Behandlung von elektrischen Leitern“ beschließt den ersten Abschnitt des Bandes.

Der zweite Abschnitt über „Nichtmetalle“ beginnt mit einer Arbeit von H. FISCHER: „Studien über den Reaktionsbereich organischer Reagenzien in der Metallanalyse“, die viele für den Chemiker sehr interessante Ergebnisse bringt. Zwei weitere experimentelle Arbeiten von P. O. SCHUPP über „Kennzeichnung von Isolierstoffgemischen durch Verlustwinkelmessung“ und über den „Alterungszustand und dielektrische Eigenschaften von Mineralölen“ zeigen, daß gerade die Verlustwinkelmessung wichtige Aufschlüsse über das dielektrische Verhalten ergeben kann, wenn man die Messungen in einem genügend weiten Frequenz- und Temperaturbereich durchführt. „Untersuchungen über

den Einfluß von Halogenen in Elektrolyten auf die elektrolitische Ventilwirkung von Aluminium“ von W. HERRMANN und W. PRANG liefern einen Beitrag zur Klärung der anodischen Vorgänge an Ventilmaterialien. Eine Arbeit von W. NAGEL und R. v. HAVE: „Die Charakterisierung einiger Öle der Elektrotechnik auf Grund der Einwirkung von Ozon“ hat zum Ziel, eine Anzahl aus dem Arbeitsbereich der Elektrotechnik entnommener Öle durch die bei der Zersetzung der Ozoneinwirkungsprodukte stattfindende Kohlensäureabspaltung zu kennzeichnen. TH. RUMMEL berichtet in einer sehr ausführlichen Arbeit „Über Veränderungen dielektrischer Flüssigkeiten durch elektrische Gasentladungen“. Die Arbeit bringt eine Fülle von interessanten Beobachtungen und Ergebnissen auf diesem sowohl für die Grundlagenforschung als auch für die technologische Entwicklung wichtigen Gebiet. Schließlich gibt H. VEITH „Zur Wasseraufnahme von technischem Gummi“ auf Grund thermodynamischer Überlegungen eine die experimentell bekannten Erscheinungen befriedigende Theorie.

Der letzte Abschnitt befaßt sich mit Arbeiten, in denen Werkstoffe mit dem neuen Übermikroskop untersucht werden. In der Abhandlung von V. MIDDEL, R. REICHMANN und G. A. KAUSCHE: „Übermikroskopische Untersuchung der Struktur von Bentoniten“ werden die zur Herstellung von dünnen Isolierfilmen benutzten kolloidalen Bentonite verschiedenen Herkommens auf ihre Struktureigenschaften näher studiert. Eine Arbeit von B. v. BORRIES und W. RUTTMANN: „Metallographische Untersuchungen mit dem Übermikroskop an Stahl, Gußeisen und Messing“ bringt zum erstenmal sehr interessante Abbildungen von Oberflächen fester Metallkörper mittels rückgestreuter Elektronen, die infolge ihrer großen Auflösung neue Wege für die Metallographie eröffnen. Die folgende Arbeit von L. KOCH und A. LEHMANN: „Übermikroskopische Untersuchung von geglätteten Aluminiumoberflächen“ benutzt das gleiche Verfahren zur Untersuchung verschiedenartig polierter Aluminiumoberflächen. Der letzte Aufsatz von E. RUSKA: „Aufnahme von Elektronenbeugungsdiagrammen im Übermikroskop“ zeigt, daß es ohne besondere Schwierigkeiten möglich ist, im Übermikroskop auch das Elektronenbeugungsdiagramm der betreffenden Probe zu erhalten, was zur Untersuchung des Feinbaues häufig erwünscht ist.

Der vorstehende Überblick zeigt den reichen Inhalt des Werkstoff-Sonderheftes, das für den Physiker, Chemiker und Techniker viele und wertvolle wissenschaftliche Ergebnisse bringt, wie sie gerade in der heutigen Zeit mehr denn je gebraucht werden. Das Heft beweist aber auch, in welchem starkem Maße die Großindustrie an der Forschung beteiligt ist, und legt zugleich Zeugnis davon ab, daß die deutsche Wissenschaft auch in den Zeiten des Krieges produktiv tätig ist. Die Ausstattung des Heftes und die Wiedergabe der Diagramme und Bilder sind vorzüglich. L. BERGMANN, Breslau.

POHL, R. W., **Einführung in die Elektrizitätslehre.** 5. verbesserte und ergänzte Auflage. Berlin: Springer 1940. VIII, 272 S. u. 497 Abbild. 17 cm × 25 cm. Preis geb. RM 13,80.

Bei der Besprechung der Neuauflage eines Bandes der Pohl'schen „Einführung in die Physik“ ist es nicht mehr nötig, auf die Anlage dieses Werkes und auf seine Besonderheiten gegenüber der übrigen Lehrbuchliteratur hinzuweisen. Der „Pohl“ hat längst seinen festen Platz in jeder physikalischen Bibliothek gefunden und die Art der Darstellung wie auch der

Versuche und Figuren hat anregend auf Lernende und Lehrende gewirkt.

Gegenüber der vollständig neu bearbeiteten 4. Auflage hat sich bei der 5. Auflage nur die Verbesserung von verschiedenen Einzelheiten und die Einführung einiger ergänzenden Paragraphen als notwendig erwiesen.

Die Gliederung des Buches ist in allen wesentlichen Punkten gleich geblieben und entspricht ungefähr der historischen Entwicklung. Nach einer Vorbemerkung über die verschiedenen Meß- oder Nachweisinstrumente für Strom und Spannung, die an nahe liegende Erfahrungen des täglichen Lebens anknüpft, werden aus den Grundversuchen der Elektrostatik die Eigenschaften und Anwendungen elektrischer Felder entwickelt und die Einwirkung elektrischer Felder auf die Materie, die elektrische Polarisierbarkeit, erläutert.

Das magnetische Feld wird zunächst aus der Wirkung des elektrischen Stromes eingeführt, die Verknüpfung elektrischer und magnetischer Felder leitet zu den MAXWELLSCHEN Gleichungen über. Den Kapiteln über Induktion und die magnetischen Kräfte folgt ein Abschnitt über den Einfluß der Materie im Magnetfeld, der nach Angabe des Verf. über den Rahmen einer Einführung hinausgeht. Hoffentlich verleitet die Mitteilung, daß „der Inhalt dieses Kapitels für das Verständnis der übrigen nicht erforderlich ist“, niemand, sich diese auch für die Anwendungen so wichtigen Grunderscheinungen der Magnetisierung, Permeabilität usw. weniger gründlich anzueignen.

Die Besprechung der Selbstinduktion gibt die Grundlage für die elektrischen Schwingungen und die besonderen Eigenschaften der Hochfrequenzströme.

Nun erst folgt die Darstellung der Leitungsvorgänge in Gasen, Flüssigkeiten, Metallen und schließlich in Salzkristallen, auf die der Verf. in Anbetracht seiner eigenen ausgedehnten Arbeiten auf diesem Gebiet durch Einfügung einiger Paragraphen in dieser Auflage näher eingeht. Die in Grenzschichten auftretenden elektrischen Felder und der Elektronenaustritt aus metallischen Oberflächen als Grundlage für so viele physikalische Erscheinungen sind im folgenden Abschnitt besprochen.

Zur Vertiefung der atomistischen Vorstellungen in den elektrischen Erscheinungen folgt nun ein Kapitel über die Radioaktivität, an das sich eine eingehende und übersichtliche Darstellung der elektrischen Wellen anschließt. Einige Bemerkungen über „das Relativitätsprinzip als Erfahrungstatsache“ mit einem Hinweis auf den Zusammenhang mit dem Erfahrungsinhalt der MAXWELLSCHEN Gleichungen beschließen die inhaltsreiche und doch straff zusammengefaßte Darstellung des Werkes.
H. AUER.

WALDEN, PAUL, *Geschichte der organischen Chemie seit 1880*. II. Band zu C. GRAEBE, *Geschichte der organischen Chemie*. Berlin: Springer 1941. XIV, 946 S. RM 63.—, in Halbleder geb. RM 69.60.

Als C. GRAEBE 1920 seine „Geschichte der organischen Chemie“ herausgab, in der die Entwicklung bis zum Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts geschildert wurde, war die Wissenschaft in kraftvoller Entwicklung schon 40 Jahre weiter gewachsen. Mochten auch viele Errungenschaften dieser 4 Jahrzehnte den Blick auf die weiter zurück liegende Vergangenheit beeinflußt haben, so richtete sich doch der erste Band im wesentlichen nur an historisch interessierte Leser.

Der zweite Band, den uns jetzt PAUL WALDEN besichert, schildert demgegenüber das Werden der

organischen Chemie bis einschließlich 1940 und führt den Leser so mitten in die interessantesten Fragen unserer Tage. Und dies ist der große Gewinn: daß wir hier wirklich aus der Vergangenheit die Gegenwart begreifen lernen und von Ahnungen für die Zukunft erfüllt werden. Was vor uns liegt, ist eigentlich ein modernes Lehrbuch der organischen Chemie für Fortgeschrittene, dessen besonderer Reiz darin liegt, daß nicht die Systematik der Kohlenstoffverbindungen, sondern die geistigen und seelischen Kräfte, die zum Ausbau dieses Zweiges der Naturwissenschaften geführt haben, wegleitend sind. Diese Triebkräfte, die sich in den Überschriften der einzelnen Abschnitte widerspiegeln, sind: Der Wunsch, durch Zusammenfassung aller physikalischen und chemischen Hilfsmittel die Eigenschaften der nahezu 500 000 bekannten Kohlenstoffverbindungen zu erklären (II. Abschnitt: Physikalische Chemie und organische Chemie); das Bedürfnis nach immer neuen Methoden zur Darstellung weiterer Verbindungen (III. Abschnitt: Hilfsstoffe der organischen Synthese); die Notwendigkeit zur systematischen Ordnung des ungeheuren Materials (IV. Abschnitt: Zur chemischen Typologie der organischen Verbindungen); das Ringen um die genaue Kenntnis der am Lebensvorgang der Pflanzen und Tiere beteiligten Stoffe (V. Abschnitt: Chemische Erforschung organischer Naturstoffe); der Wunsch, die von der Natur hervorgebrachten Produkte, wie Farbstoffe, Arzneimittel, Kautschuk, Erdöl, Fasern u. a. künstlich noch zu übertreffen (VI. Abschnitt: Künstliche Farbstoffe, Naturstoffe und Chemotherapeutika) und schließlich die Naturstoffe nicht nur mit gewaltsamen Mitteln sondern unter den in lebenden Zellen herrschenden gelinden Bedingungen zu gewinnen (VII. Abschnitt: Synthesen unter physiologischen Bedingungen).

Wie leuchtende Sternchen hat P. WALDEN über fast jedes Kapitel, als Motto, Worte eines großen Dichters, Denkers oder Naturforschers gesetzt. Der Schwung der Darstellung geht nirgends auf Kosten der durch unzählige Literaturzitate gestützten Genauigkeit, und so ist es leicht, selbst kleine und kleinste Schritte, da und dort auch Irr- und Umwege der Forschung, zu studieren, um aus ihnen zu lernen. Der Meister der physikalischen Chemie, der Entdecker der WALDENschen Umkehrung, kommt bemerkenswerterweise zu dem Schluß: „Der Geschichtsschreiber der organischen Chemie kann seinerseits als objektives Ergebnis immer wieder feststellen, daß alle während des verflorenen Halbjahrhunderts geleisteten chemisch-schöpferischen Arbeiten auf dem Gebiete der Konstitutionsaufklärung und der wissenschaftlichen sowie technischen Großsynthesen von organischen Naturstoffen bzw. Kunststoffen ausschließlich durch die Vertreter der klassisch-präparativen Chemie vollbracht worden sind.“ Mehr experimentieren als rechnen! „Wenn diese Kunst (d. h. die Chemie) soll erlernt werden, muß man deren Gründe oder Fundamenta scientifica wohl ins Gedächtnis, Ohren und Gemüthe fassen; die operationes aber, Handarbeiten und Handgriffe muß man mit Augen sehen und mit Händen selbst tractieren“ (G. E. STAHL, *Chymia rationalis et experimentalis* 1729, 2).

RICHARD KUHN.

STACH, E., *Großdeutschlands Steinkohlenlager*. (Deutscher Boden. Bd. X.) Berlin: Gebr. Borntraeger 1940. VIII, 150 S. u. 36 Abbild. 23 cm × 15 cm. Preis geb. RM 4.80.

Die reichen Kohlenschätze des deutschen Bodens sind eine der allerersten materiellen Voraussetzungen

unseres Wiederaufstiegs, unseres Sieges, unserer Zukunft. Braunkohle und Steinkohle wetteifern in ihren Förderziffern miteinander — hinsichtlich des stofflichen und energetischen Gehalts der Förderung und auch in der zeitlichen Reichweite der Vorräte wird freilich der Vorrang immer der Steinkohle gehören. Mit der Kohle, jenem Erbteil der geologischen Vergangenheit, hat unser Volk eine einzigartige geistige Leistung verknüpft. Jeder denkt hier zunächst an die in ihren Eigenschaften so tausendfältig verschiedenen, in Stofflichkeit oder Energieformen umgewandelten Kohlenprodukte, die unsere Chemie hervorbringt und die wir in immer zunehmendem Maße für die unserem Lebensraum fehlenden Güter einsetzen. Aber vorher ging die Erforschung und Beurteilung der oft kompliziert gebauten Lagerstätten, die danach erfolgende Ausrichtung und Gestaltung der tief im Erdinnern tätigen Gewinnungseinrichtungen — und nicht zuletzt eine gründliche innere, gewissermaßen anatomische Erforschung der Kohle als Gestein, deren sehr wandelbare Beschaffenheit eine der Voraussetzungen für die Vielartigkeit ihrer Nutzung ist.

Das vorliegende Buch wurde von einem führenden Forscher gerade dieser letztgenannten Dinge geschrieben; trotzdem begnügt sich der Verf. hier mit bescheidenem Raum, um eine umfassende *Gesamtschau* der Zusammenhänge um die Steinkohle zu ermöglichen. Er entwirft zunächst ein Lebensbild des karbonen Steinkohlenwaldes und schildert, wie es in ihm zur Torfbildung kam, wie dieser Torf sich zu Kohlen verschiedenen Reifungsgrades umbildete und welche Spuren des pflanzlichen Ausgangsmaterials uns heute noch im mikroskopischen Bild der Steinkohlen dicht gedrängt entgegentreten. Nach einem Blick über die großen räumlichen und zeitlichen Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Steinkohlenlager in Europa angeordnet sind, auf ihr Verhältnis zu Gebirgen und Meeren der Vorzeit und den Einfluß geologischer Großkräfte auf ihre Lagerung und Beschaffenheit wird Bau und Bedeutung der einzelnen (auch der kleineren) Vorkommen in recht klarer, einprägsamer Art geschildert. Auch die neuen Reichsgebiete erfahren dabei ausreichende Berücksichtigung.

Besonderem Interesse werden die weiteren Abschnitte begegnen, die sich zunächst mit der für einen erfolgreichen Bergbau so wichtigen Kennzeichnung der einzelnen Schichten bzw. Flöze jedes Gebietes und mit den dazu verhelfenden Methoden beschäftigen. Als besonders originell hervorgehoben sei die für ein gemeinverständliches Buch wohl erstmalige Darstellung der Arbeit des Markscheiders, der den durch gebirgsbildende Vorgänge verfalteten und zerstückelten Bau der flözführenden Schichtsysteme im Dienste eines geordneten Abbaues zu entwirren hat.

Am Ende wird nach einigen historischen Ausführungen die Rolle der Steinkohle als Rohstoff der umschaffenden Chemie in den einzelnen Stoffgruppen gewidmeten Kurzschnitten gewürdigt. Das schon damit umrissene Bild von der Bedeutung der Steinkohle für unsere Nationalwirtschaft wird durch Förder- und Vorratszahlen und durch abschließende Betrachtungen über das machtpolitische Gewicht unserer Kohlenlager abgerundet.

Das ausgezeichnet geschriebene und auch hinsichtlich der Bilder trefflich ausgestattete Buch wird auch dem auf benachbarten Gebieten tätigen Wissenschaftler willkommen sein, vor allem aber in weiteren Kreisen viele Freunde finden.

Andersartig in Aufbau und Inhalt ergänzt es sich sehr glücklich mit dem kürzlich erschienenen Bändchen des Ref. „Kohle“ in der Sammlung „Verständliche Wissenschaft“. JURASKY, Freiberg (Sachs.).

SCHARFETTER, RUDOLF, **Das Pflanzenleben der Ostalpen.** Wien: Franz Deuticke 1938. XV, 419 S., 73 Abbild. u. eine Vegetationskarte. 17 cm × 25 cm. Preis brosch. RM 32.—, geb. RM. 34.40.

Gegenüber den vielfältigen Darstellungen des Pflanzenlebens, die wir für die Westalpen, vor allem die Schweiz, besitzen, fehlte uns eine solche für die Ostalpen bisher ganz. Und gerade die Ostalpen sind in ihrer Mannigfaltigkeit des Untergrundes, des Klimas und der Florengebiete, die sich hier scheiden, wirklich interessant genug. Es ist merkwürdig, daß, obwohl so zahlreiche Botaniker der Wiener, Münchener und Grazer Schule sich eifrig mit der Vegetation der Ostalpen beschäftigt haben, bisher keine zusammenfassende Übersicht erschien. Das Buch von SCHARFETTER ist mit der ganzen Liebe des Verf. zu seiner Heimat und zur Botanik geschrieben. Ein sehr großes Material ist gesichtet und verarbeitet, man freut sich über den Reichtum des Gebietes und die Reichhaltigkeit des bisher hier Bearbeiteten. Aber riesengroß erscheinen auch noch die Probleme, die vor uns stehen, bis wir das ganze Werden und Vergehen der Alpenflora verstehen werden, bis wir das Zusammenspiel der Kräfte ganz erfassen, die geologisch, klimatisch, historisch, ökologisch und soziologisch das bunte Mosaik der Verteilung dieser schönen Pflanzenwelt bedingen. Verf. ist sich bewußt, eine Vorarbeit geleistet zu haben. Wir danken ihm dafür, denn sie ist dringend notwendig, damit wir weiter bauen können. Das Buch beschränkt sich auf die Ostalpen, die in sich geschlossen vieles Eigenartige gegenüber den Westalpen besitzen. Trotzdem bleibt es ein dringender Wunsch, einmal eine Gesamtflora der Alpen zu besitzen. Auch wenn es nur zunächst eine systematische Flora wäre als Vorarbeit für ein Pflanzenleben der Alpen, wäre viel geholfen. Möge dieser Wunsch einmal in Erfüllung gehen.

FRITZ VON WETTSTEIN, Berlin-Dahlem.

NAUCK, ERNST TH., **Das Problem der Menschwerdung.** Teil I: Die Stammesentwicklung im Lichte der Einzelentwicklung. Freiburg i. Br.: H. F. Schulz 1940. 74 S. und 9 Abbild. 15,5 cm × 23 cm. Preis kart. RM 2.40.

Diese Schrift kann nicht befriedigen, denn ihr Ziel, die Frage nach der Entstehung des Menschen „nach seinem heutigen Stande zu umreißen“, ist nicht erreicht worden. Es erscheint z. B. unverständlich, wenn der Verf. die Feststellung der Anthropogenetiker, daß der Mensch von ausgestorbenen Primaten sich ableitet, als ein „noch vor wenigen Jahren ziemlich anerkanntes Dogma“ (!) bezeichnet, das heute nur „den Wert einer Deutungsmöglichkeit“ habe, und dann gleich darauf feststellt, daß die Verwandtschaft zwischen Affe und Mensch „als erwiesen anzusehen sei“, dabei aber die Möglichkeit eines umgekehrten Zusammenhanges (Mensch → Affe) zuläßt, trotz der nachgewiesenen chemischen Epigenese der Bluteiweiße (MOLLISON), auf die er selbst hinweist. — Besprochen werden, neben historischen Dingen, die Fetalsationstheorie BOLKS, die Proterogenese SCHINDEWOLFS und die unhaltbaren Hypothesen WESTENHÖFERS, zuletzt finden eigene Befunde über „umwegige Entwicklung“ eine kurze Darstellung. Bei „umwegiger Entwicklung“ wird ein Merkmal aus einem erwachsen-ähnlichen mit fortschreitender Entwicklung in einen erwachsen-unähnlichen Zustand überführt, um anschließend doch erwachsen-

gleich zu werden“. Ob allerdings mit der umwegigen Entwicklung wirklich eine „Wiederverjünglichung“ vorliegt, wie der Verf. annimmt, erscheint recht fraglich. Es wird sich vielmehr um einen *neuen* Zustand handeln, der dem Jugendzustand äußerlich ähnelt. Die ganze umfangreiche Diskussion über die „Organprimitivismen“ des Menschen zeigt die Vieldeutigkeit nur vergleichend-morphologisch arbeitender Forschung. Zuletzt stellt der Verf. fest, die Fossilfunde könnten „kein einwandfreies Bild vom Werdegang des Menschen liefern, weil es sich um Reste von erwachsenen Vertretern“ handle, an denen der verändernde Einfluß der

Umwelt zum Ausdruck komme. Der Ref. versteht NAUCK doch wohl recht, wenn er hier mit „Werdegang“ die ontogenetische „Formwerdung“ meint. Damit wäre dann aber nichts ausgesagt gegen einen möglichen realhistorischen Zusammenhang der erwachsenen Fossilformen, auch wenn es sich um Anthropomorphe handelt, denn man beachte: Die Säuger pflanzen sich bekanntlich nur im erwachsenen Zustande fort! Es ist deshalb der Versuch, ausgestorbene Menschenaffen, etwa die Dryopitheciden, als historische Ahnen des Menschen aufzufassen, keineswegs „zum Scheitern verurteilt“, wie NAUCK meint. G. HEBERER, Jena.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 4. Mai 1940 schilderte Herr H. BOBEK, Berlin, **Das heutige Iran und seine Probleme.** Wenn irgendwo, so ist für Iran der Satz gültig, daß Lage und Raum eines Staates sein Schicksal bestimmen. Während die Türkei vor dem Weltkrieg Interessenobjekt mehrerer Mächte war, traten in Iran nur zwei Gegenspieler auf: das zaristische Rußland und das Britische Reich. Das russische Ziel war die Annexion, Englands Ziel dagegen die Schaffung eines Pufferstaates zum Schutze Indiens. Im Kampf gegen diese zweiseitige Umarmung entstand das moderne Iran; der Zusammenbruch des zaristischen Rußlands war die Chance.

Das iranische Hochland mit seiner Gebirgsumrahmung erscheint wie geschaffen zur Staatsbildung. Aber die natürlichen Möglichkeiten sind gering und beschränken sich auf die Gebirge; im Innern herrschen völlig sterile Wüsten. Die Niederschläge nehmen nach Südosten und im Innern stark ab. Entsprechend verteilt sich die Vegetation: Die Außenfronten der Gebirge sind mit Wald bedeckt; zum Innern folgt Steppe, dann die Wüste. Waldinseln im Innern legen die Vermutung nahe, daß früher der Wald mehr verbreitet war, daß also eine Entwaldung — und zwar durch den Menschen — vorzuliegen scheint. Die Besiedlungsform zeigt eine Zweiteilung: die Oasen und das Nomadentum der Steppe; dazwischen liegen Grenzzonen, wo ein Regenfeldbau gerade noch möglich ist. Die Bedeutung der beiden Formen hat im Laufe der Geschichte gewechselt, staatliche Auflösung ließ das Nomadentum stärker werden, Sicherheit und Stärke dagegen das Bauerntum.

Der iranische Großraum gliedert sich in Landschaften. Unter diesen hat keine einen naturgegebenen Vorrang, sondern die größten lösen einander als die Träger der alten Geschichte ab. In Zeiten der Auflösung bilden die Landschaften politische Einheiten für sich. Die Grenzen der iranischen Staaten sind vielfach als Schutzwall über die Grenzgebirge hinaus vorgeschoben worden, zum Teil so weit, daß sich der Schwerpunkt in die randlichen Reiche verlagerte (z. B. Mesopotamien). Es war das Verdienst der Sassaniden-Dynastie, daß sie nach tausendjähriger Fremdherrschaft wieder die Einheit erstrebte. Aber erst allmählich erstarkte die iranische Volksgrundlage, und die Völkerkarte blieb bis in die Gegenwart bunt genug (Türken, Kurden, Bachtieren, Luren u. a. m.).

Nach dieser Einführung schilderte der Vortr. das neue Iran von heute. Der Umbau ist in erster Linie von harten politischen Notwendigkeiten diktiert worden. Die erste Aufgabe war die Durchdringung des iranischen Raumes durch die Staatsgewalt. Dazu war die verkehrsmäßige Erschließung nötig, die zugleich eine wirtschaftliche Aufgabe ist. Es sind gewaltige

leere Räume zu überbrücken, denn Volksdichte und Produktion zeigen eine Begünstigung weit auseinanderliegender Teile, die zusammengefaßt werden müssen, um eine Volkswirtschaft zu bilden. Die Aufgabe ist durch den Kraftwagen bewältigt worden, der gerade in Trockengebieten ohne kostspieligen Straßenbau eingesetzt werden kann; nur in den Randgebieten sind Kunstbauten erforderlich, die energisch in Angriff genommen worden sind. Der Kraftwagen hat dem seßhaften Bevölkerungselement endgültig das Übergewicht gegeben und arbeitet auch den separatistischen Tendenzen entgegen. Die Grenze des Kraftwagens liegt in seiner mangelnden Eignung für die Beförderung von Massengütern der Schwerindustrie, weshalb man auch die Eisenbahn auszubauen beginnt. Selbstverständlich wurde für besondere Aufgaben auch das Flugzeug eingesetzt.

Iran ist ein ausgesprochener Agrarstaat; 76% der Erwerbstätigen sind in der Landwirtschaft beschäftigt. Daneben gab es früher ein hochentwickeltes Gewerbe (Metallarbeiten, Fayence, Weberei u. a.). Das moderne Iran braucht aber Industrialisierung europäischen Stils. Da Vorkommen von Kohle, Eisen, auch Kupfer, Nickel, Kobalt, Antimon usw. vorhanden sind, waren die Grundlagen dafür gegeben, doch ist es infolge der Schwierigkeiten des Transports und der Wasserbeschaffung noch nicht zu dem geplanten Aufbau einer Schwerindustrie gekommen; nur in der Nähe von Teheran wird gegenwärtig eine Hochofenanlage errichtet. Immerhin sind bereits zahlreiche industrielle Betriebe begründet worden, so z. B. Baumwoll- und Wollspinnereien und -webereien, Zuckerrfabriken, Brauereien, Seifenfabriken, Zigarettenfabriken, auch eine kleine Rüstungsindustrie. Es sind zum größten Teil Privatunternehmungen, die trotz hoher Anlagekosten eine beträchtliche Rentabilität durch den Marktschutz und die billigen Arbeitskräfte aufweisen. Große Anlagen der Standard Oil Company im Süden des Landes sind für die Devisenbeschaffung und die Schulung von Angestellten und Arbeitern wichtig. Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Möglichkeiten für eine mäßige Industrialisierung zweifellos vorhanden sind, daß es aber fraglich ist, ob die Abhängigkeit vom Ausland dadurch aufgehoben werden kann.

Die tragende Säule jedenfalls wird noch lange die Landwirtschaft bleiben, deren Überschüsse die erforderlichen großen Einfuhren ermöglichen. Die Staatsführung hat die Leitung der Produktion in die Hand genommen und betreibt die Intensivierung von der betrieblichen Seite her. Besonders werden die Bewässerungsverhältnisse durch den Einsatz technischer Mittel zu steigern sein, wodurch auch eine Ausweitung des Kulturlandes erreicht werden dürfte. Ein anderes

Problem ist die Selbsthaftmachung der Nomaden, die in weitem Umfange zunächst freiwillig, in den letzten Jahren zwangsweise mit großer Schärfe durchgeführt worden ist. Hier liegt aber auch eine Gefahr. Die Nomaden sind die wichtigsten Viehzüchter, sie sind die Sammler der Drogen und sind gewerblich tätig (z. B. in der Teppichherstellung). Sie liefern dadurch wertvolle Ausfuhrprodukte, die 34 % der Gesamtausfuhr bilden.

Eine dritte Problemseite der Landwirtschaft ist die soziale. Die Besitzverhältnisse sind nicht klar bekannt. 62 % der Betriebe sollen Kleinbauern gehören; flächenmäßig würde das Bild wohl ungünstiger sein. Der Großgrundbesitz verpachtet seine Ländereien, wobei der Pächter an die Grenze des Existenzminimums gedrückt wird. Bisher sind erst schüchterne Ansätze zu einer Agrarreform zu beobachten, doch ist diese Frage grundlegend für die innere Marktausweitung und muß rechtzeitig gelöst werden.

Endlich erörterte der Votr. die kulturelle Arbeit am Volke, bei der man bewußt auf altiranisches Kulturgut zurückgreift. Iran ist im Begriff, zur Nation zusammenzuwachsen, und das zu neuer Kraft erwachte Iraniertum wird sicher die fremden Volkssplitter einmelzen.

Die weltpolitische Lage hat Iran eine 20jährige Atempause gewährt, die es weise genutzt hat. Es hat sich auch wirtschaftlich der Vorkriegsfesseln zu entledigen gewußt und neue Beziehungen aufgenommen. Deutschland ist in immer regeren Austausch mit Iran gekommen — als die Großmacht, die keine direkten Interessen an dem Lande hat. Der Lage nach ist die Ausfuhr nur nach Norden über Rußland möglich; die Außenhandelsgüter Irans sind wie in einem Sack gefangen, dessen Öffnung im Belieben Rußlands steht. Man versteht daraus den Bau der transiranischen Bahn, deren Ausgang freilich in ein Gebiet britischer Kontrolle führt, und so hat man neuerdings den Ausbau einer Handelsstraße nach Erzerum in Angriff genommen, um auf diese Weise einen neutralen Ausgang zum Meer zu gewinnen.

Zum Schluß wies der Votr. auf die schweren Sorgen hin, die Iran aus der Reaktivierung des britisch-russischen Gegensatzes erwachsen.

Neue Forschungen über das Kartenbild Deutschlands von NICOLAUS CUSANUS bis GERHARD MERCATOR besprach Herr A. HERRMANN, Berlin, am 20. Mai 1940. Er knüpfte an das Erscheinen eines von ihm bearbeiteten Facsimile-Atlas an, für den schon A. WOLKENHAUER umfangreiche und anregende Vorarbeiten geleistet hatte, und gab anschließend einen Überblick über die weiteren Arbeiten, besonders von DURAND in Amerika, die ein ganz neues Licht auf die Anfänge der deutschen Kartographie geworfen haben. Der Atlas bringt in erster Linie Karten, die in Reproduktion noch nicht vorliegen, und zwar meist solche, die nur einmalig erhalten sind.

Die Frage ist: Seit wann gibt es Karten von Deutschland? Das Mittelalter kannte solche nicht. Im Dienst der Kirche entstanden nur Weltbilder aus antiken und biblischen Vorstellungen; diese auf den Orient ausgerichteten Weltbilder sind noch Ende des 15. Jahrhunderts zu finden. Um dieselbe Zeit machten sich Triebkräfte geltend, die von der im Humanismus wiedererwachten griechisch-römischen Antike angeregt

waren und das ptolemäische Bild in den Vordergrund rückten. Nun zeigt aber die neueste Forschung, daß man schon ein Jahrhundert vorher in deutschen Klöstern kartographisch zu arbeiten begann. Lagebestimmungen wurden vorgenommen und sogar die Mißweisung der Magnetnadel entdeckt. Die aus diesen Arbeiten entstandenen, also wenigstens zum Teil auf Beobachtung beruhenden Karten sind nicht gedruckt worden und größtenteils verloren. Erhalten aber sind handschriftliche Ortslisten, die diesen Karten entnommen sind und außer den Namen auch geographische Längen und Breiten enthalten.

Im Druck zuvorgekommen sind ihnen leider die Veröffentlichungen der PTOLEMÄUS-Karten — 1486 erschien die erste deutsche „Ulmer“ Ausgabe —, die aber keinen Fortschritt bedeuteten. Man hielt eben, sehr zum Schaden der deutschen Kartographie, PTOLEMÄUS für den größten Geographen und begnügte sich damit, seine Karten mit kleinen Veränderungen neu herauszugeben. Der Votr. unterschied zwei Typen solcher Karten und kennzeichnete als besonders charakteristische Beispiele die Deutschland-Karten des HENRICUS MARTELLUS und des NICOLAUS CUSANUS; letztere erschien 1457/58. Einen ganz anderen Typ stellen die Karten von ERHARD ETZLAUB aus Nürnberg dar, unter denen die Karte des Rom-Weges durch Deutschland und eine Landstraßenkarte (1501) besondere Bedeutung haben. Die Grundzüge dieser Karten sind viel besser als bei CUSANUS, wenn auch PTOLEMÄUS noch bemerkbar ist. Die Entfernungen zwischen den einzelnen Stationen sind recht gut abgeschätzt.

Die ETZLAUB-Karten haben Schule gemacht und dienten auch dem durch seine Kosmographie bekannt gewordenen SEBASTIAN MÜNSTER als Vorbild (Mitte des 16. Jahrhunderts). Sie wurden erst überholt, als man mit der Aufnahme einzelner Territorien begann. Es entstanden Länderkarten der Schweiz, von Österreich und Tirol, von Flandern u. a. m., deren Fixpunkte zum Teil schon auf ersten Triangulationen (z. B. durch GEMMA FRISIUS) beruhen.

Hatte es sich bisher immer um Einzelkarten gehandelt, so begannen nun mit ORTELIUS die großen Serien (1570). Inhaltlich Neues aber brachte erst GERHARD MERCATOR (1512—1594), der auch den Begriff „Atlas“ einführte. Er war ein Schüler des GEMMA FRISIUS, von dem er das Triangulieren lernte. Seine Deutschland-Karte entbehrte der bisher üblichen malerischen Beigaben; Gradnetz und Breitenangaben sind bestimmend. Sein Atlas, der erst nach dem Tode MERCATORS herauskam, genoß ein Jahrhundert lang Weltruf.

Mit MERCATOR schließt die älteste Periode der deutschen Kartographie ab. Ihre Ergebnisse haben neben der kartographischen auch große Bedeutung als Quellen zur historischen Geographie. Besonders wichtig sind in dieser Hinsicht die ETZLAUBSchen Wegekarten. Der Votr. hat nach der alten Reisekarte selbst eine Karte entworfen, die interessante Verkehrsmittelpunkte der damaligen Zeit erkennen läßt. Zugleich aber sind die Karten dieser ältesten Periode in ihrem Bemühen, das Gesamtgebiet deutscher Sprache und deutschen Volkstums darzustellen, wertvolle Dokumente des erwachenden deutschen Nationalbewußtseins.

KURT KAEHNE.

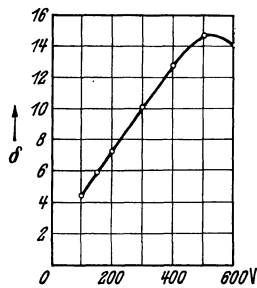
Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Sekundäremissionsausbeute von Silber-Magnesiumlegierungen.

Vorläufiger Bericht.

Ausgehend von den Mitteilungen, die in dem italienischen Patent Nr. 372631 über die Sekundäremissionsausbeute an Silber-Magnesiumlegierungsschichten gemacht werden, wurden Silber-Magnesiumlegierungen mit verschiedenem Mischungsverhältnis und verschiedener Vorbehandlung untersucht. Die Legierungen wurden entweder unter Schutzgas (Argon) oder im Schmelzofen unter Kaliumchlorid = Natriumchlorid erschmolzen. Es zeigte sich, daß bei einer Legierung mit einem Anteil



Energie der Primärelektronen.

Fig. 1. Ausbeutekurve einer 3proz. Silber-Magnesium-Legierung.

dauer stieg die Ausbeute von $\delta =$ etwa 2 bis auf $\delta_{\max} = 14-16$ bei einer Primärelektronen-Voltgeschwindigkeit von 500 Volt. Die Meßwerte bleiben im allgemeinen während einer 3stündigen Belastung konstant. Fig. 1 zeigt das Beispiel einer so erhaltenen Ausbeutekurve, die an einem Versuchsrohr gemessen wurde, bei dem besondere Vorsichtsmaßnahmen getroffen wurden, um einen Einfluß der Glühkathode auf die Prallektrode zu verhindern. Eine Trägheit, die auf einen Maltreffekt schließen lassen könnte, wurde bisher nicht festgestellt.

Berlin-Tempelhof, Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost, den 24. Juli 1941.

J. FRIEDHEIM. J. G. WEISS.

Studien über hormonale Resistenzsteigerung und ihren Mechanismus¹⁾.

Durch bereits veröffentlichte Untersuchungen^{2, 3)} ist festgestellt, daß Gravidität die Zellvitalität im Mutterorganismus steigern und dort sogar ein nicht unbedeutendes Organwachstum hervorrufen kann. Es hat sich auch herausgestellt, daß die Gravidität die Widerstandskraft gegen schädigende Faktoren erhöht (^{1a} 1932 und 1941; ^{4e} 1938). Eine gleichartige Resistenzsteigerung bewirken normale Sexualfunktionen. In früheren Veröffentlichungen⁴⁾ ist gezeigt worden, wie normale Sexualfunktionen bei beiden Geschlechtern die Widerstandskraft gegen eine ganze Reihe toxischer Agenzien steigern, wie z. B. große, wiederholte Dosen aktiviertes Ergosterin, verschiedene Metallsalze, Alkohole, Narkotika, Paratyphuskulturen und Diphtherietoxin. Der schädigende Faktor, welcher am häufigsten bei meinen Versuchen zur Anwendung kam, war Arseniktrioxyd. Die meist benutzten Versuchstiere waren weiße Mäuse, aber außerdem wurden auch weiße Ratten und Kaninchen bei einem Teil der Versuche verwendet. Alle Tiere bekamen vollständige Grundkost. Bei den meisten Versuchen wurde das toxische Agens in Proportion zum

Körpergewicht und in täglich steigenden Dosen bis zum Tode der Tiere zugeführt.

Die bereits in meiner ersten diesbezüglichen Veröffentlichung (1931) ausgesprochene Ansicht, daß die Resultate hormonal bedingt seien, konnte durch zahlreiche Versuche [1935 und später⁵⁾] bestätigt werden. Oestron (Ovex, Leo) und Testosteron (Testosteronpropionat, Perandren), welche kastrierten Tieren gegeben wurden, und Antex, Leo (gonadotropes Hypophysenvorderlappenhormon, hergestellt aus Serum trächtiger Stuten), welches Tieren ohne normale Sexualfunktionen (U.S.-Tiere = „Cölibattiere“) verabreicht wurde, haben die fragliche Resistenz bedeutend erhöht — bei einigen Versuchen sogar mehr, als normale Sexualfunktionen (= M.S.) es vermochten. U. a. in den Follikelzellen und den interstitiellen Drüsenzellen der Geschlechtsdrüsen von kolchizinbehandelten M.S.-Tieren war die Mitosenfrequenz bedeutend größer als bei entsprechenden U.S.-Tieren. Diese Tatsachen deuten auf eine größere Produktion von Geschlechtshormonen in M.S.-Tieren⁶⁾.

Die Resistenzsteigerungen der M.S.-Tiere waren in der Regel bei den Weibchen größer als bei den Männchen. Dies scheint mir darauf zu beruhen, daß bei den Männchen bloß das sexuelle Zusammenleben resistenzfördernd wirkt, während die Weibchen in der Gravidität noch einen weiteren resistenzfördernden Faktor besitzen.

Umfassende Untersuchungen haben gezeigt, daß die Widerstandskraft, die durch die Gravidität herbeigeführt wird, wenigstens in gewissem Grade der Anzahl durchgemachter Graviditäten proportional ist. Als Beispiel sei angeführt, daß bei einem Versuch, welcher 33 M.S.-Weibchen umfaßte, 16 Weibchen > die Hälfte der theoretischen maximalen Anzahl Graviditäten durchgemacht hatten, 17 dagegen = die Hälfte dieser maximalen Anzahl. Alle Tiere wurden durch As₂O₃-Lösung mit 0,05% As getötet. Die Lösung wurde mit 0,1 ccm je 20 g Körpergewicht und einer täglichen Erhöhung der Dosis um 0,02 ccm je 20 g Körpergewicht gegeben.

Das Resultat war:

$$D = \frac{M^?)}{16} - \frac{M}{17} = 0,0328 - 0,00775 \text{ mg As je g Körpergew.}$$

Wir haben hier also eine statistisch sichergestellte größere Resistenzsteigerung, hervorgerufen durch eine größere Anzahl Graviditäten bei im übrigen gleichwertigen und vergleichbaren Tieren derselben Versuchsreihe⁸⁾.

Quantitative mikromorphologische Analysen zeigten auch eine sehr erhebliche Vermehrung der eosinophilen Drüsenzellen im Vorderlappen der Hypophyse bei M.S.-Weibchen, die mehrmals gravid gewesen waren³⁾. Diese Zellen produzieren bekanntlich ein Wachstumshormon, das die Zellvitalität erhöht.

Durch statistische Untersuchungen weiß man, daß verheiratete Menschen eine größere Lebenslänge haben als unverheiratete und daß diese Lebensverlängerung beim weiblichen Geschlecht ausgesprochener ist als beim männlichen. Unter anderem sind Brustdrüsenkrebs und Herzkrankheiten bei unverheirateten Frauen häufiger als bei verheirateten. Meiner Ansicht nach unterliegt es keinem Zweifel, daß auch beim Menschen endokrine Faktoren die wirklichen Ursachen dieser größeren Resistenz der verheirateten Individuen sind, in prinzipieller Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuche an weißen Mäusen.

Ein Zusammenbringen von Weibchen (weißen Mäusen im Alter von 30 Tagen) mit dem anderen Geschlecht vor der Pubertät beschleunigt deren Eintritt, was auch in einer früher als sonst beginnenden Rückbildung des Thymus zum Ausdruck kommt. Im Vergleich mit Weibchen, deren sexuelles Zusammenleben erst im Alter von etwa 175 Tagen begann, zeigen die erstgenannten Tiere eine größere Resistenzsteigerung, was wahrscheinlich in erster Linie darauf beruht,

daß sie eine nicht nur absolut, sondern im Verhältnis zur Länge der Fertilitätsperiode auch prozentual größere Anzahl Graviditäten durchmachen. Gerade umgekehrt verhalten sich die Männchen hinsichtlich des graduellen Auftretens der Resistenzsteigerung bei frühem bzw. spätem Beginn des sexuellen Zusammenlebens.

Der Mechanismus bei Entstehung der gesteigerten Widerstandskraft gegen As_2O_3 wurde studiert. Dabei ergab sich, daß zwei Systeme von Faktoren bei Entstehung der Resistenz eine Rolle spielen. Das eine System wird durch die Sexualfunktionen in Gang gesetzt, das andere durch die Graviditäten. Diese beiden Systeme wirken in gewissem Grade antagonistisch hinsichtlich der As-Aufspeicherung. Die erhöhte Produktion von Sexualhormonen durch die Sexualfunktionen und auch eine Anzahl geprüfter Sexualhormone, bewirken eine vermehrte Aufspeicherung von As in an Grundsubstanzgeweben reichen Organen, besonders in der Haut. Die durch die Graviditäten herbeigeführte Resistenzsteigerung wiederum lief mit einer Verminderung der As-Aufspeicherung in verschiedenen Organen parallel. Weibchen mit je Zeiteinheit prozentual größerer Anzahl Graviditäten zeigten eine geringere As-Aufspeicherung, während gleichzeitig die letalen Mengen As, gerechnet in mg je Gramm Körpergewicht, bedeutend größer waren⁸⁾. Dieser Effekt wird erreicht durch erhöhte Funktion der eosinophilen Drüsenzellen des Hypophysenvorderlappens, welche eine erhöhte Zellvitalität verursacht und damit auch eine vermehrte Ausscheidung von Arsenik.

Es scheint also, daß die erhöhte Resistenz, welche normale Sexualfunktionen herbeiführen, in erster Linie darauf beruht, daß die vermehrte Aufspeicherung in den Grundsubstanzgeweben die empfindlicheren und wichtigen Parenchymzellen einigermaßen vor toxischen Einwirkungen schützt. Andererseits bewirken die Graviditäten eine erhöhte Zellvitalität und infolgedessen eine vermehrte Ausscheidung der toxischen Substanzen aus dem Organismus. Dies seinerseits erklärt die geringere Aufspeicherung bei größerer Anzahl Graviditäten.

Da die Aufspeicherung von As besonders in der Haut stattfand, wurde letztere näher studiert. Dabei stellte sich heraus, daß Sexualfunktionen und Sexualhormone die sonst vorhandenen Verbreitungsmöglichkeiten in der Haut deutlich herabsetzen und eine Verdickung des Coriums bzw. eine deutliche Vermehrung nicht ätherlöslicher Trocken-substanzen je Einheit Hautfläche herbeiführen. Alle diese Resultate erscheinen also geeignet, die Vermehrung der As-Aufspeicherung in der Haut zu erklären, die sowohl bei den M.S.-Tieren als bei den U.S.-Tieren, welche Antex, Leo erhielten, oder bei Kastraten, denen Ovex, Leo bzw. Testosteron gegeben wurde, konstatiert werden konnte.

Upsala (Schweden), Histologisches Institut der Universität, den 17. November 1941. ERIK AGDUHR.

¹⁾ Aus dem Histologischen Institut der Universität Upsala. — Die hier erörterten Arbeiten wurden durch Unterstützung der Rockefeller Foundation, der Stiftelsen Thérèse und Johan Anderssons Minne und des Regnells fond ermöglicht.

²⁾ ERIK AGDUHR, Verh. dtsch. anat. Ges., Erg. z. Anat. Anz. 72, 63 (1931).

³⁾ ERIK AGDUHR, Upsala Läk.för. Förh., N. F. 38, 4 (1932).

⁴⁾ ERIK AGDUHR, a) Upsala Läk.för. Förh., N. F. 38, IV (1932); 39, 307 (1934); 40, 183 (1935); 42, 463 (1937); 43, 1 (1937); 47, 1 (1941). — b) Verh. dtsch. anat. Ges., Erg. z. Anat. Anz. 72, 63 (1931). — c) Z. mikrosk.-anat. Forsch. 36, 576 (1934); 45, 467 (1939); 49, 589 (1941). — d) Z. Vitaminforsch. 4, 66 (1935); 5, 27 (1936). — e) Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 1937, 2, 5 th Northern Congress of Physiology. Upsala 1937. Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 77, 4 (1937); 77, 5 (1937); 78, 6 (1938). — f) Hygiea (Stockh.) 100, 2 (1938). — g) Meddelande fr. Sällskap. f. veterinärmedicinsk forskning 1940, 24 — Skand. vet.tidskr. 1941. — h) Arch. internat. Pharmacodynamie 59, 269 (1938). — i) Acta med. scand. (Stockh.) 99, 387 (1939). — j) D. H. BARRON, Arch. internat. Pharmacodynamie 58, 351 (1938).

⁵⁾ Siehe die vorstehenden Literaturangaben.

⁶⁾ E. AGDUHR, Z. mikrosk.-anat. Forsch. 49, 603 (1941).

⁷⁾ $M/16$ = Mittelwert für 16 Tiere.

⁸⁾ E. AGDUHR, Upsala Läk.för. Förh., N. F. 47, 1 (1941).

Das Blitzspektrum.

Die Zusammensetzung des Blitzspektrums ist, wie ein Blick auf die vorhandene Literatur zeigt, bisher nur sehr mangelhaft, die Anregungshöhe im Blitz so gut wie gar nicht bekannt¹⁾. Nach A. KUNDT²⁾ nimmt man bis heute im allgemeinen an, daß die Funkenblitze ein Linienspektrum zeigen, während die Flächenblitze ein Bandenspektrum emittieren sollen — eine Annahme, die mit unseren bisherigen Befunden im Widerspruch steht. Es liegen zwar gelegentliche Bemerkungen von einigen Autoren über „Banden“ im Funkenblitzspektrum vor, doch bleibt es infolge unzulänglicher Identifizierung unklar, ob es sich dabei um wirkliche Banden (Molekülemissionen) oder nur um verbreiterte Atomlinien bzw. Atomliniengruppen handelt. Eine Zuordnung der vorliegenden Emissionen zu bestimmten Ionisierungsstufen und Quantenübergängen fehlt bis heute vollständig. Aus diesen Gründen erschien es uns nützlich, an Hand von neueren Aufnahmen eine spektroskopische Analyse des Blitzleuchtens durchzuführen, über deren erste Resultate im folgenden kurz berichtet werden soll.

Die Aufnahmen wurden gewonnen mittels einer eigens konstruierten Kamera (Objektiv: Zeiss-Tessar von 18 cm Brennweite und 1:4,5 Öffnung) mit zwei 60°-Flintglasprismen vor dem Objektiv. Nach Art der in der Astrophysik gebräuchlichen Objektivprismenanordnungen ist auf Spalt und Kollimator verzichtet, so daß die Blitzbahn selbst als Spalt aufzufassen ist. Auf diese Weise gelingt es, durch die stigmatische Abbildung der ganzen Blitzbahn das Spektrum längs des ganzen Blitzes aufzunehmen. Die Negative sind natürlich nur im Mittelgebiet der Platten vollkommen scharf, besitzen aber auf dem ganzen ausnutzbaren Plattenbereich (etwa 8 × 8 cm) eine zur Ausmessung mittels Kompensators ausreichende Schärfe. Die Dispersion beträgt in der Mitte der Platten am violetten Ende des Spektrums ($\lambda = 3600 \text{ \AA}$) 80 $\text{\AA}/\text{mm}$, am roten Ende ($\lambda = 6600 \text{ \AA}$) rund 400 $\text{\AA}/\text{mm}$. Das maximal erreichte Trennungsvermögen ergab sich zu 2 \AA bei $\lambda = 3600 \text{ \AA}$. Als Aufnahmematerial dienten panchromatische Platten von 20/10 DIN („Agfa-Isopan ISS“) bzw. 19/10 DIN („Perutz-Peromniä“).

Die Hauptschwierigkeit bei der Analyse bereitete die Festlegung von Standardlinien in den Aufnahmen, da die aufgenommenen Blitzspektren nicht mit den Spektren von Laboratoriumsfunken identisch waren. Die beste Annäherung an das Blitzspektrum ergaben Stoßfunkenaufnahmen³⁾, deren Analyse sehr erleichtert wurde durch das Auftreten der charakteristischen Pollinien des Elektrodenmaterials (Kupfer).

Das Spektrum der Linienblitze, die wir bisher aufnehmen konnten, besteht aus Atomlinien, Molekülbanden und einem kontinuierlichen Untergrund. In der besten der bisher gewonnenen Aufnahmen (Nr. 1: Erdblitz in etwa 2 km Entfernung an der Vorderfront eines von SW aufziehenden Gewitters, kurz vor Regeneinsatz; Zeit 21.15 MOZ.) konnten im Gebiet von $\lambda = 3600$ bis $\lambda = 6600 \text{ \AA}$ rund 60 Emissionen gemessen werden, von denen wir bisher die in der folgenden Tabelle 1 angegebenen zweifelsfrei identifizieren konnten. Sie umfassen die kräftigsten Emissionen. Nicht aufgeführt ist in der Tabelle eine kräftige Liniengruppe bei $\lambda = 4600$ bis 4660 \AA , die aus einer Überlagerung einer ganzen Anzahl von N_{II} - und O_{II} -Linien besteht; infolge nicht genügender Auflösung ließ sich hierbei nicht entscheiden, welcher Beitrag von dem einen bzw. anderen Partikel stammt.

Die erste Kolonne der Tabelle gibt das emittierende Partikel; die zweite und dritte enthalten die Wellenlängen und die (roh geschätzten) Intensitäten der gemessenen Emissionen; von einer zahlenmäßigen Intensitätsschätzung wurde abgesehen wegen des starken kontinuierlichen Untergrundes sowie eines unvermeidlichen Plattenschleiers infolge von Wolkenreflexlicht. Die folgenden Kolonnen geben die Identifizierung. Die Wellenlängen, die angegebenen Intensitäten sowie die Termbezeichnungen und Anregungspotentiale, sind dem Tabellenwerk von MISS MOORE⁴⁾ entnommen. Die Anregungspotentiale sind abzüglich der Ionisierungsenergien berechnet, die für N_I 14,5 Volt, für O_I 13,6 Volt und für N_2 14,5 Volt betragen.

Eine Eigentümlichkeit des Blitzspektrums, die sofort ins Auge fällt, besteht darin, daß man gleichzeitig ein starkes Linienspektrum in Verbindung mit einem starken Bandenspektrum beobachtet. Die im Blitzleuchten nach unseren

Tabelle 1. Bisher identifizierte Emissionen der Blitzspektralaufnahme Nr. 1. (Messungen im unteren Ende der Blitzbahn.)

Partikel	λ gem.	Intensität	Zuordnung	Int.	Term	Anregungspot. Volt
<i>Linienspektrum.</i>						
O _I	6455	mittelstark	6456,1	9	3 ⁵ P—5 ⁵ S ₀	12,6
			6454,6	7		
			6553,7	6		
	6157	sehr stark	6158,2	10	3 ⁵ P—4 ⁵ D ₀	12,7
			6156,8	8		
6156,0			7			
N _I	6008,5	mittelstark	6008,0	10	3p ² S—4d ² P	12,0
	4110,0	schwach	4111,1	5	3s ² P—3p ² D	12,0
	4099,5	schwach	4099,7	4		
O _{II}	4077	mittelstark	4076,0	10	e ⁴ D ⁰ —z ⁴ F	28,5
	4071	mittelstark	4072,0	8		
N _{II}	5941	schwach	5941,7	8	3s ³ P ⁰ —3p ³ D	20,6
	5679	mittelstark	5679,6	10	3p ³ P—3d ³ D ⁰	23,2
	5005	sehr stark	5005,1	10	3p ³ D—3d ³ F ⁰	23,0
	4040	mittelstark	4041,3	5	unbekannt	
	4035	mittelstark	4035,1	4		
	4025	schwach	4026,1	3		
	3995	mittelstark	3995,0	10	3s ¹ P ⁰ —3p ¹ P	21,5
3954	schwach	3955,8	6	3s ³ P ⁰ —3p ¹ P	21,5	
H	6560	sehr kräftig	6562,8	(H α)	2 ² P ⁰ —3 ² D	12,0
	4860	kräftig	4861,3	(H β)	2 ² P ⁰ —4 ² D	12,7
	4338	mittelstark	4340,5	(H γ)	2 ² P ⁰ —5 ² D	13,0
<i>Bandenspektrum.</i>						
N ₂ ⁺	4040	Kanten kräftig	4041,3	Kanten	2 Σ → 2 Σ	3,2
	3915		3914,4			
	3883		3884,4			
	3582		3582,1			

bisherigen Aufnahmen stets vorhandenen sog. „negativen“ Banden des Stickstoffs (N₂⁺) treten bekanntlich, wie auch die von uns aufgenommenen Funkenspektren wiederum beweisen, im Laboratoriumsluftfunken nicht auf. Man findet sie dagegen bei einer Glimmentladung durch reinen Stickstoff bei stark vermindertem Druck. — Wie die Tabelle zeigt, treten von N und O nur Linien der neutralen und ersten Ionisierungsstufe auf; allerdings können wir das Vorhandensein von Linien der zweiten Ionisierungsstufe nicht mit Sicherheit ausschließen, da die zu erwartenden Linien von N_{III} und O_{III} wegen mangelnder Auflösung von den oben aufgeführten Linien nicht getrennt werden können.

Weiter zeigt sich, daß die relativen Intensitäten der Linien nicht an allen Stellen der Blitzbahn die gleichen sind, sondern in dem Sinne variieren, daß die Übergänge der ionisierten Atome (N_{II}, O_{II}) nach dem Boden hin an Intensität gegenüber den Übergängen in den neutralen Atomen (O_I, N_I, H) gewinnen⁵⁾. Die negativen Banden des Stickstoffs (N₂⁺) verhalten sich in dieser Beziehung wie die Linien der neutralen Atome. Die Stärke der Anregung nimmt also von der Wolke zum Boden hin zu, und zwar geschieht diese Zunahme häufig sprunghaft an den bekanntesten Stellen verstärkten Leuchtens in der Blitzbahn⁶⁾.

Die obigen Ergebnisse folgen, wie schon gesagt, aus der bisher am besten gelungenen Aufnahme Nr. 1 vom 19. VII. 1941, 21.15 MOZ. Die übrigen, bisher vorliegenden 8 Aufnahmen sind technisch nicht ganz so gut und lassen infolgedessen nicht alle gleich viel Einzelheiten erkennen, wie die Nr. 1. Ein vorläufiger Vergleich der Aufnahmen untereinander zeigt aber bereits typische Unterschiede der relativen Intensitätsverteilungen von Fall zu Fall in der Weise, daß z. B. der oben behandelte Blitz seinem Spektrum nach als solcher besonders niedriger Anregung anzusprechen ist. Soweit aus dem bisherigen Material zu entnehmen ist, scheinen zwei in ihrer Anregung deutlich unterschiedene Blitztypen vorzukommen.

Zum Blitzspektrum Nr. 1 bleibt noch zu erwähnen, daß an der Einschlagstelle des Blitzes in den Boden „Pol-Linien“⁷⁾ des Calciums auftreten, die etwa 1,5—2 m hoch in die Blitzbahn hineinreichen.

Es bleiben nach diesen Ergebnissen eine Reihe von Fragen offen, die angesichts des bisherigen geringen Materials noch nicht angeschnitten werden sollen. Nur eine mag zum Schluß kurz gestreift werden: Nach den bekannten Blitzaufnahmen mit bewegter Kamera⁷⁾ besteht die Blitzentladung aus einer ganzen Reihe von Teilphasen (Vorentladungen, Hauptentladung, Nachleuchten der Bahn, Teilentladungen), die zum Teil (Nachleuchten der Bahn) im Laboratorium nicht nachgeahmt werden können. Läßt man als naheliegende Hypothese zu, daß die Lichterscheinungen in den Teilphasen verschiedene Spektren besitzen, so ergibt sich auf diese Weise vielleicht die Möglichkeit zur Deutung der überraschenden Spektralzusammensetzung des Blitzleuchtens. Versuche zur spektralen Trennung der Teilphasen sind geplant.

Potsdam, Meteorologisches Observatorium des Reichsamtes für Wetterdienst und Astrophysikalisches Observatorium, den 21. November 1941.

H. ISRAËL. K. WURM.

¹⁾ Literaturzusammenstellung s. bei H. KAYSER, Handbuch der Spektroskopie 5, 44, sowie im Lehrbuch der Meteorologie von HANN/SÜRING, 4. Aufl. 1926, 663.

²⁾ A. KUNDT, Über die Spektren der Blitze. Poggend. Ann. 135, 315—326 (1868).

³⁾ Die Spektralaufnahmen der Stoßfunken konnten durch das liebenswürdige Entgegenkommen von Herrn Prof. Dr. A. MATHIAS im Hochspannungslaboratorium der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg in Babelsberg-Ufastadt gewonnen werden; wir wollen auch an dieser Stelle unseren besten Dank dafür zum Ausdruck bringen.

⁴⁾ Miss CH. E. MOORE, A multiplet table of astrophysical interest. Princeton, N. I., 1933.

⁵⁾ P. FOX⁸⁾ erwähnt bei seinen Blitzaufnahmen eine ähnliche Erscheinung, für die aber mangels zuverlässiger Identifizierung keine Deutung gegeben werden kann.

⁶⁾ Unter „Stellen verstärkten Leuchtens“ sind die Stellen der Blitzbahn verstanden, die bei Aufnahmen mit bewegter Kamera die bekannte Querbänderung des Bildes zeigen; sie sind bei den Spektralaufnahmen in der gleichen Weise vorhanden.

⁷⁾ B. WALTER, Jb. Hamburger wiss. Anst. 20 (1903). — B. F. J. SCHONLAND, D. J. MALAN und H. COLLENS, Proc. Roy. Soc. 152, 595—625 (1935) u. a. a. O.

⁸⁾ P. FOX, The spectrum of lightning. Astrophys. J. 18, 294—296 (1903).

Zur Erklärung der Dielektrizitätskonstantenerhöhung durch Belichtung bei Kristallphosphoren.

Die 1920 durch GUDDEN und POHL¹⁾ festgestellte Tatsache, daß die Dielektrizitätskonstante (D.-K.) eines ZnS·Cu-Phosphors durch Belichtung mit phosphoreszenz-erregendem Licht um mehr als 100% erhöht werden kann, bereitete einer plausiblen Deutung lange Zeit hindurch große Schwierigkeiten, besonders deshalb, weil sich der Effekt außer am ZnS·Cu an keinem anderen Kristallphosphor nachweisen ließ. Zwar vermuteten schon GUDDEN und POHL²⁾, daß das nur eine Frage der Meßgenauigkeit sei; sie nahmen deshalb an, daß nur die „Verschieblichkeit“ der Elektronen in den Cu-„Zentren“ um eine Ordnung größer sei als in anderen „Zentren“ und setzten dies zu der bei ZnS·Cu ebenfalls besonders ausgeprägten langwelligen Tilgung in Beziehung. Aber trotz der ständigen Verbesserung der Meßmethoden wurde über einen Nachweis der D.-K.-Änderung an anderen als Cu-Phosphoren nie berichtet. Erst die kürzlich erschienene Arbeit von WESCH³⁾ brachte das überraschende Ergebnis, daß der Effekt durch teilweisen Ersatz des Zn durch Cd nicht nur im System (Zn,Cd)S·Cu ganz erheblich vergrößert wird, sondern dann auch bei Ag-aktivierten Phosphoren [(Zn,Cd)S·Ag] erhebliche Werte annimmt und sich außerdem auch an Lenard-Phosphoren (CaS·Mn,·Bi,·Cu) und an manganaktivierten Silikaten einwandfrei nachweisen läßt.

Der Wegfall der Beschränkung des Effektes auf Cu-Phosphore und insbesondere der Nachweis einer starken Zunahme der Wirkung bei Vergrößerung des Cd-Gehaltes bzw. der Gitterkonstante, legen nun, im Zusammenhang mit den inzwischen von RIEHL⁴⁾ u. a. entwickelten Vorstellungen über den Aufbau der „Zentren“, eine zunächst

überraschende Deutung nahe. Das Gitter der (Zn,Cd)S-Phosphore (Blende- bzw. Wurtzit-Typ) ist ja einfach aus Tetraedergerüsten der einzelnen Komponenten (Zn- bzw. Cd- und S-Ionen) aufgebaut zu denken; diese Tetraeder durchdringen sich gegenseitig, derart daß immer ein Zn- bzw. Cd-Ion den Mittelpunkt eines S-Tetraeders bildet und umgekehrt; allerdings ist immer nur jedes zweite Tetraeder „besetzt“, die anderen sind leer. Wie TIEDE und WEISS⁵⁾ und RIEHL und ORTMANN⁶⁾ durch eingehende Diffusionsversuche wahrscheinlich gemacht haben, werden die Aktivatoratome [Cu bzw. Ag⁷⁾] in diese leeren Tetraeder eingelagert⁸⁾ („Einlagerungs-Mischkristalle“); sie können daher schon bei Temperaturen (330 bzw. 400°), die noch keinerlei Platzwechsel zwischen den Gitterbausteinen erlauben, in das völlig intakte Gitter hineindiffundieren, sich gegenseitig verdrängen u. ä. Je nach der Größe der eingelagerten Atome führt das natürlich zu mehr oder weniger starken Verzerrungen des Gitters; daher lassen sich z. B. die wesentlich größeren Ag-Atome nur in viel kleinerer Menge einbauen als die des Cu⁶⁾, und es ist nur zu verständlich, daß den letzteren auch innerhalb der „Zwischengitter“-Hohlräume eine erheblich größere Beweglichkeit zukommt. Bei der Anregung (Absorption) werden nun die Aktivatoratome ionisiert und können daher, da sie nicht durch Bindungskräfte in eine bestimmte Ruhelage gezwungen werden (sie sind ja sozusagen überzählig), den Kräften eines äußeren Feldes um so leichter folgen, je weniger sie die tetraedrischen Gitterhohlräume ausfüllen; die ionisierten Cu-Atome also sicherlich um Größenordnungen besser als die großen Ag-Rümpfe und beide in dem weitmaschigen CdS-Gitter wesentlich leichter als in dem engeren des ZnS. Wenn die Verschiebungswege groß sind, wird die dadurch hervorgerufene Zusatzpolarisation die Polarisierbarkeit der Gitterbausteine (Zn-, Cd-, S-Ionen) selber, die ja nur auf kleinen Gleichgewichtsverschiebungen der Elektronenhüllen beruht, durchaus überwiegen können.

Die zusätzliche Polarisierbarkeit ist der Gesamtzahl der angeregten, d. h. ionisierten Aktivatoratome proportional, mithin also bei reinem Spontanleuchten (ohne Phosphoreszenz) der Anregungsintensität, bei reiner Phosphoreszenz (ohne Spontanleuchten) dagegen der jeweils aufgespeicherten Lichtsumme, und während der Anregung gewöhnlich der Summe von beiden. Das erklärt zwanglos die normalerweise beobachtete große Trägheit des Effektes und ebenso deren Verschwinden mit Erhöhung des Cd-Gehaltes, wobei ja gleichzeitig auch die Phosphoreszenzfähigkeit abnimmt. Die bei der Anregung von den Aktivatoratomen abgespaltenen Elektronen scheinen an dieser Polarisierbarkeitserhöhung nicht oder nur geringfügig beteiligt zu sein; die letztere läßt sich daher geradezu als Indikator für den Zustand der Aktivatoratome selber — unabhängig vom Schicksal ihrer Elektronen — betrachten, und insofern stellt sie eine der Grundeigenschaften der Phosphore mit atomar eingebautem Aktivator dar; sie ist aber übrigens auch an isomorph eingelagerten Aktivatoren (Mn) festgestellt worden⁹⁾.

Die von WESCH³⁾ eingehend untersuchte Dispersion des Effektes läßt vermutlich noch weitere Schlüsse auf den Zustand der ionisierten Aktivatoratome des erregten Phosphors zu. Sie bildet höchstwahrscheinlich auch die Ursache der von GISOLF⁹⁾ untersuchten komplizierten Frequenzabhängigkeit des dielektrischen Verlustwinkels von Kristallphosphoren bei langwelliger Belichtung. Ob der von GUDDEN und POHL²⁾ vermutete Zusammenhang mit der langwelligen Tilgung besteht, ist jedoch noch ungewiß, da über die

1) GUDDEN u. POHL, Z. Physik 1, 365 (1920).

2) GUDDEN u. POHL, Ann. Physik 68, 154 (1922).

3) WESCH, Ann. Physik 40, 249 (1941).

4) RIEHL, Z. angew. Chem. 51, 300 (1938).

5) TIEDE u. WEISS, Ber. dtsch. chem. Ges. 65, 364 (1932).

6) RIEHL u. ORTMANN, Z. physik. Chem. (A) 188, 109 (1941).

7) Mn bildet einen Sonderfall; es wird nicht atomar im „Zwischengitterraum“ eingelagert, sondern als Ion eingebaut. Für Zn-Atome (Selbstaktivierung) fehlen Beobachtungen.

8) Es ist noch nicht sicher, ob die Aktivatoratome von S- oder von Zn- bzw. Cd-Ionen umgeben sind, jedoch ist das letztere wahrscheinlich, da die kleineren Metallionen natürlich größere Hohlräume umschließen.

9) GISOLF, Physica 6, 918 (1939).

deren Natur jeder Anhalt fehlt. Die von WILDE¹⁰⁾ festgestellte Abnahme des Effektes bei Temperaturerniedrigung erklärt sich natürlich zwanglos aus der Abnahme der Beweglichkeit des Cu-Ions in dem von S- oder Zn-Ionen gebildeten Tetraeder infolge des Einfrierens der Gitterschwingungen und der Verkleinerung der Gitterkonstante.

Berlin, den 26. November 1941.

K. BRUS.

10) WILDE, Z. Physik 15, 350 (1923).

Über Versuche zur Sichtbarmachung molekularer Rauigkeiten an gegen die Gitterebenen geneigt verlaufenden Kristallkanten im Universal-Elektronenmikroskop.

Mit Hilfe eines neuen magnetischen Objektivs¹⁾ für 0,9 mm Brennweite bei Spannungen bis zu 70 kV wurden im Elektronenmikroskop feinste Kristalle von Rauchen untersucht, in der Hoffnung, molekulare Rauigkeiten an geneigt zu den Gitterebenen abgeschnittenen Kristallkanten wahrnehmen zu können. Bekanntlich müssen bei so orien-

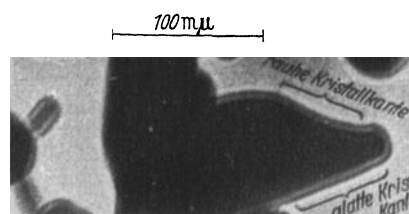


Fig. 1. Abbildung einer dünnen Kristalllamelle mit einer gegen das Gitter geneigt verlaufenden Kristallkante. Ein 4 μ dicker Mantel aus basischem Zinkkarbonat umgibt die noch unveränderten durch ihre höhere Dichte sich abheben den Zinkoxydkerne. Vergrößerung 200000fach, 60 kV, freitragend.

tierten Kanten, die stets an Kristallen mit gekrümmten Randpartien vorkommen, die Gitterebenen treppenartig abgesetzt sein. Der sehr geringe Öffnungsfehler des neuen äußerst rotationssymmetrisch gebauten Objektivs kürzester Brennweite ließ einen Versuch in dieser Richtung besonders aussichtsreich erscheinen.

Fig. 1 bringt die 200000fach vergrößerte Abbildung einer dünnen (weil noch etwas durchscheinenden) Zinkoxyd-

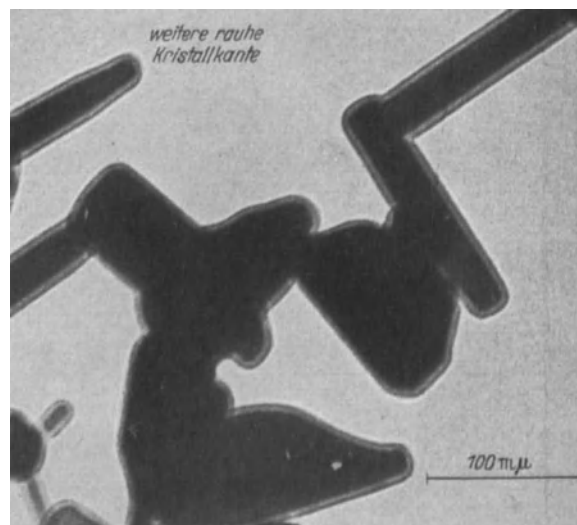


Fig. 2. Wenige Sekunden später nach Neueinstellung der Objektivschärfe und der Kondensorapertur aufgenommenes Kontrollbild mit der gleichen Kristalllamelle. Vergrößerung 200000fach, 60 kV, freitragend.

lamelle mit zum Teil gekrümmten Kanten. Ein etwa 4μ dicker Mantel aus basischem Zinkcarbonat umgibt den noch unveränderten, durch seine höhere Dichte sich abhebenden Kristallkern. Die Reaktionsschicht ist nach 5 Minuten langer Einwirkung einer Kohlensäureatmosphäre von etwa 5 mm Hg Druck bei Zimmertemperatur entstanden. Deutlich wird sichtbar, daß die geradlinig verlaufende Kristallkante scharf begrenzt ist, während die obere gekrümmte Kante und die abgerundete rechte Partie unscharfe Begrenzungen und sogar Rauigkeiten zeigt. Um nachzuweisen, daß dieser charakteristische Unterschied wirklich im Objekt liegt und nicht etwa durch Plattenkorn oder elektronenoptische Zufälligkeiten entstanden ist, bringt Fig. 2 eine weitere Aufnahme mit der gleichen Kristalllamelle. Dieses Elektronenbild wurde wenige Sekunden später *nach neuer Schärfeneinstellung des Objektivs*, mit etwas geänderter Kondensoreinstellung und derselben Vergrößerung aufgenommen. Wieder sind die gleichen Merkmale im Bereich der Randpartien dieser Kristalllamelle und auch an anderen stark gekrümmten Kristallkanten zu beobachten, so daß wir hier wohl von einem Sichtbarwerden molekularer Rauigkeiten an der Oberfläche niedermolekularer anorganischer Substanz sprechen können. Besonders schön ist in Fig. 2 die Abrundung aller scharfen Kristallkanten (Wirkung der Oberflächenspannung) zu sehen.

Für wirksame Unterstützung der vorausgegangenen Entwicklungsarbeiten am Universal-Elektronenmikroskop hat der Verfasser der *Deutschen Forschungsgesellschaft* zu danken. Berlin-Lichterfelde, im November 1941.

MANFRED VON ARDENNE.

¹⁾ M. VON ARDENNE, Weitere Entwicklungsarbeiten am Universal-Elektronenmikroskop. Phys. Z. 43, H. 1 (1942). Im Druck.

Sehpurpurlöslichkeit in Zephirol.

Das als Desinfektionsmittel bekannte (DOMAGK) Zephirol des Handels stellt ein Gemisch hochmolekularer quartärer Ammoniumsalze, sog. Invertseifen, in etwa 10proz. Lösung dar, und Untersuchungen von KUHN und BIELIG über die Einwirkung dieser Substanzen auf Eiweißstoffe ließen es uns möglich erscheinen, damit eine Herauslösung des Sehpurpurs aus den neurokeratinösen Außengliedern der Stäbchen zu erreichen. Die Vorteile des Zephirols sehen wir in seiner leichten Handhabung und Billigkeit gegenüber dem seit TANSLEY gebräuchlichen Digitonin, wobei die bakterientötenden Eigenschaften gleichzeitig eine erheblich größere Haltbarkeit der Lösungen verbürgen.

Da WALD (1934) wahrscheinlich machen konnte, daß die chromophore Gruppe des Sehpurpurs ein Carotinoid („Retinen“) ist, das sich aus Sehpurpurlösungen unter Denaturierung der Proteinkomponente mit Chloroform extrahieren läßt, stellt der Sehpurpur danach also ein Chromoprotein dar. Nach den Ergebnissen von KUHN und BIELIG, die Ovoverdin, den grünlichblauen Farbstoff des Hummerpanzers, als allerdings bisher einziges Chromoprotein, mittels Zephirol bei gleichzeitigem Farbumschlag nach Rot in Carotinoid (Astaxanthin) und Protein spalten konnten, war nach den vielseitigen Ähnlichkeiten, die zwischen Sehpurpur und Ovoverdin bestehen, aber möglicherweise auch zu erwarten, daß auch beim Sehpurpur ein ähnlicher Effekt eintreten könnte. Um eine nutzlose Verarbeitung größerer Sehpurpurmengen zu vermeiden, prüften wir vorerst an Ovalbuminlösungen die bei verschiedenen Mengenverhältnissen von Zephirol und Eiweiß auftretenden Erscheinungen, mit denen bei der Einwirkung des Zephirols auf die Proteinkomponente des Sehpurpurs zu rechnen war. Da der isoelektrische Punkt des Ovalbumins mit p_H 4,9 dem des Sehpurpurs (p_H 4,47) bzw. Sehgelbs (p_H 4,57) (BRODA und VICTOR) einigermaßen nahesteht und die Wirkung der Invertseifen auf einer Reaktion zwischen den negativ geladenen Proteinionen und den positiven Molekülen der Invertseifen beruht, waren gewisse Vergleichsmöglichkeiten gegeben. Wir konnten an Ovalbuminlösungen ebenfalls (KUHN und BIELIG) feststellen, daß die Hitzekoagulation durch Zephirol gehemmt wird, und zwar maximal, wenn Invertseife und Albumin, unabhängig von der Menge der Gesamtflüssigkeit, in gleichen Gewichtsmengen vorhanden sind. Im Hinblick auf den Sehpurpur erscheint uns ferner der Befund von Wichtigkeit, daß bei einem Verhältnis von Albumin/Zephirol 1:100 beim Erhitzen das gesamte Eiweiß in Flocken ausfällt, auch wenn

die Eiweißlösung so verdünnt ist, daß sie ohne Zephirolzusatz beim Kochen lediglich trübe wird.

Zur Gewinnung der Sehpurpurlösungen wurden jeweils 16 Netzhäute von d-adaptierten *Rana temporaria* in 1 ccm Zephirollösung unter öfterem Umschütteln 10 Minuten stehengelassen, bei 3500 Touren 15 Minuten abzentrifugiert und die Extinktion der Lösungen im Pulfrich-Photometer unter Vorschaltung von Mattscheiben in Mikroküvetten gemessen. Es zeigte sich, daß die Versuchsergebnisse trotz der geringen Konzentrationsschwankungen des Zephirols, die sich im Fabrikationsprozeß nicht vermeiden lassen, mit verschiedenen Mustern gut reproduzierbar sind.

Verwendet man Konzentrationen bis zu 0,2% Invertseifengehalt, so erhält man ausnahmslos Sehgelblösungen. Bei relativ hohen Konzentrationen (z. B. 5% Invertseife) wird auch das Sehgelb unbeständig und es läßt sich das „Retinen“ mit Petroläther extrahieren, ein Vorgang, der nur auf die Invertseife zurückzuführen ist, da auf anderem Wege gewonnene Sehgelblösungen keinen Farbstoff an Petroläther abgeben. Bei geringeren Invertseifenkonzentrationen (z. B. 0,2%) geben die Sehgelblösungen gleichfalls keinen Farbstoff mehr an Petroläther ab und werden außerdem *licht- und kochbeständig*, während Sehgelblösungen ohne Zephirolzusatz sowohl schließlich ausbleichen als auch beim Erhitzen sofort farblos und trübe werden, wie ja der Bleichungsprozeß des Sehgelbs überhaupt rein thermischer Natur sein soll (LYTHGOE).

Die geeignete Konzentration zur Extraktion von Sehpurpur lag unseren Erwartungen gemäß sehr niedrig, nämlich bei 0,02% Invertseifengehalt, d. h. man verdünnt einen Teil des käuflichen Zephirols mit 500 Teilen Wasser und verfährt wie oben angegeben. Die damit hergestellten Lösungen haben den Vorteil großer Klarheit und zeigen im Pulfrich-Photometer das auch sonst von Sehpurpurlösungen bekannte Bild des breiten Maximums zwischen 500 und 530 $m\mu$, dem ein Absinken der Kurve und erneuter Anstieg im Blau durch bei der Belichtung entstandenes Sehgelb folgt. Die Stärke der Extinktion einer Zephirolsehpurpurlösung aus den Netzhäuten der rechten Augen entspricht derjenigen einer Digitoninsehpurpurlösung aus den Netzhäuten der linken Augen gleicher Frösche. Von besonderer Wichtigkeit erscheint uns jedoch die Tatsache, daß *diese Lösungen niemals völlig bis zum Sehgelb ausbleichen, sondern selbst nach mehrstündiger, intensiver Belichtung ihre rosarote Färbung beibehalten*, die sie als Bleichungsmaximum bereits nach 2 Minuten erreicht haben. Im Dunkeln tritt innerhalb längstens 5 Stunden Regeneration bis zum ursprünglichen Wert ein, und beim Erhitzen bildet sich kein Sehgelb, sondern der *Sehpurpur wird in Substanz ausgeflockt*.

Betrachtet man insgesamt diese Wirkungen der Invertseife unter Berücksichtigung der am Ovoverdin und von uns am Ovalbumin gefundenen Verhältnisse, so liegt es nahe, darin eine Bestätigung der von MIRSKY gemachten Annahme zu sehen, daß der Bleichungsprozeß des Sehpurpurs ein fortschreitender Denaturierungsprozeß der Proteinkomponente ist. Durch bestimmte Invertseifenkonzentrationen wird diese Denaturierung, ähnlich wie die Hitzekoagulation des Ovalbumins, verhindert, wobei für den empfindlicheren Vorgang der Bildung von Sehgelb aus Sehpurpur, entsprechend den dabei sicher geringeren Veränderungen am Sehpurpurmolekül, bereits viel kleinere Mengen Zephirol genügen, als dies für die Verhinderung der Weiterveränderung des Sehgelbs der Fall ist. So läßt sich mit fortschreitender Zephirolmenge eine immer weitergehende Veränderung des ursprünglichen Chromoproteids feststellen, die dann schließlich bis zur völligen Lösung der Farbstoffkomponente führt.

Die sich daraus in chemischer und sinnesphysiologischer Beziehung ergebenden Gesichtspunkte erfordern weitere Bearbeitung.

Literatur: E. E. BRODA u. E. VICTOR, Biochemic. J. 34, 1501 (1940). — G. DOMAGK, Dtsch. med. Wschr. 1935 I, 829. — R. KUHN u. H. J. BIELIG, Ber. dtsh. chem. Ges. 73, 1080 (1940). — R. J. LYTHGOE, J. of Physiol. 89 (1937). — A. E. MIRSKY, Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A. 22, 147 (1936). — K. TANSLEY, J. of Physiol. 71 (1931). — G. WALD, Nature (Lond.) 134, 65 (1934); 139, 587 (1937).

Halle a. d. S., Zoologisches Institut der Universität, den 1. Dezember 1941.

L. BUSCH. H. J. NEUMANN. G. V. STUDNITZ.

Kryptoxanthin in der Hühner-Iris.

Die orange-gelbe Iris des Huhnes enthält nach BOND zahlreiche kleine gelbe Pigmentkörnchen in ihren Muskelfasern. HOLLANDER und OWEN beschreiben diesen Farbstoff und halten ihn auf Grund seiner Löslichkeitsverhältnisse für ein Gemisch von Carotin und Xanthophyll. Im Rahmen der von uns begonnenen Untersuchungen über die Natur der Carotinoide des Hühnerauges (vgl. v. STUDNITZ und BUSCH) erschien es daher von Wichtigkeit, eine nähere Charakterisierung auch des Irispigmentes zu versuchen.

Es standen uns zu diesem Zweck 40 Augen von ausgewachsenen weißen Leghornhähnen zur Verfügung, aus denen die Iris herauspräpariert und dann so gut wie möglich von anhaftendem Pigmentepithel befreit wurde, um evtl. in diesem vorhandene Farbstoffe weitgehend auszuschalten. Dann wurde mit Aceton bis zur Farblosigkeit extrahiert, die Carotinoide durch Verdünnen mit Wasser in Äther getrieben und nach dem Verdampfen im Vacuum in Petroläther aufgenommen. Wir erhielten je Auge 1 γ als Kryptoxanthin nach KUHN und GRUNDMANN bestimmten Gesamtfarbstoff. Dieser war, abgesehen von geringen Spuren, epiphasisch gegen 90proz. Methanol und wurde an Aluminiumoxyd (nach BROCKMANN) chromatographiert. Die erhaltenen Zonen wurden mit Methanol eluiert und 12 Stunden mit 5proz. äthanolischer Kalilauge bei 35° verseift, sodann erneut aus Petroläther chromatographiert.

Wir erhielten geringe Mengen eines gelben Farbstoffes, der nach dem Verseifen gegen 90proz. Methanol hypophasisch war, demnach als Ester vorgelegen hatte und vielleicht zum Teil aus nicht restlos entferntem Pigmentepithel stammendes Lutein darstellt. Die Hauptmenge des Irispigmentes jedoch, etwa 80%, stellt zu ungefähr in einem Drittel in veresterter Form vorliegendes Kryptoxanthin dar. Dieses, durch seine große Ähnlichkeit mit β -Carotin ausgezeichnet (vgl. KUHN und GRUNDMANN), konnte im Mischchromatogramm mit in Substanz zugesetztem β -Carotin einwandfrei von diesem unterschieden werden, da es oberhalb dieses (und unterhalb von Lutein) an Aluminiumoxyd adsorbiert wurde und außerdem nach dem Verseifen bei der Entmischung wohl zum größten Teil in 95proz., nicht aber in 90proz. Methanol ging.

Interessant ist in diesem Zusammenhange, daß es GILLAM und HEILBRONN gelang, auch im Eidotter Kryptoxanthin nachzuweisen.

Literatur: BOND, J. of Genetics 9 (1919). — W. F. HOLLANDER u. R. D. OWEN, Poultry Sci. 18, 385 (1939). — G. v. STUDNITZ und L. BUSCH, Z. vergl. Physiol. 28, 638 (1941). — R. KUHN u. CH. GRUNDMANN, Ber. dtsch. chem. Ges. 66, 1746 (1933). — A. E. GILLAM u. I. M. HEILBRONN, Biochemic. J. 29, 1064 (1935).

Halle a. d. S., Zoologisches Institut der Universität, den 1. Dezember 1941. L. BUSCH. H. J. NEUMANN.

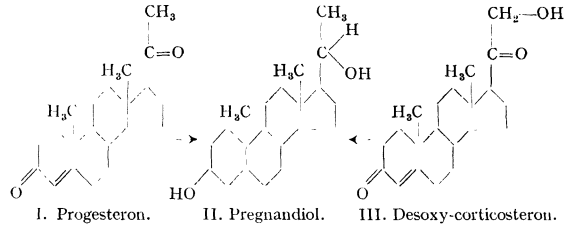
Umwandlung von Progesteron und Desoxy-corticosteron zu Pregnanliol im Organismus des Kaninchens.

J. S. L. BROWNE und Mitarbeiter haben gefunden, daß das Corpus luteum-Hormon Progesteron (I) im Organismus der Frau zu Pregnanliol (II) reduziert wird¹; in der Gelbkörperphase des normalen Cyclus, während der Schwangerschaft und auch nach Injektion von Progesteron tritt Pregnanliol-glucuronid im Harn auf. Bei Laboratoriumstieren (Kaninchen, Katzen, Affen) ist diese Verbindung bisher nicht festgestellt worden².

Es gelang nun, im Kaninchen ein Versuchstier zu finden, das die Bildung von Pregnanliol aus Steroiden zu verfolgen gestattet. Injiziert man normalen weiblichen Kaninchen größere Mengen (pro Dosis 100 mg) Progesteron, so wird Pregnanliol-glucuronid im Harn ausgeschieden³. Die Ausbeute betrug etwa 7—10%; sie liegt damit in der Größenordnung der auch beim Menschen beobachteten Werte.

Es war angenehm worden, daß der Uterus für diese Umwandlung notwendig sei¹. Diese Ansicht wurde zweifelhaft durch den Befund, daß auch Männer nach Injektion von Progesteron Pregnanliol-glucuronid ausscheiden⁴. Auch im Tierversuch ließ sich nun ein entsprechender Nachweis erbringen: männliche und hysterektomierte Kaninchen scheiden nach Injektion von Progesteron ebenfalls Pregnanliol-glucuronid aus; die Ausbeute ist ebenso groß wie bei normalen weiblichen Tieren. Wir schließen hieraus, daß der

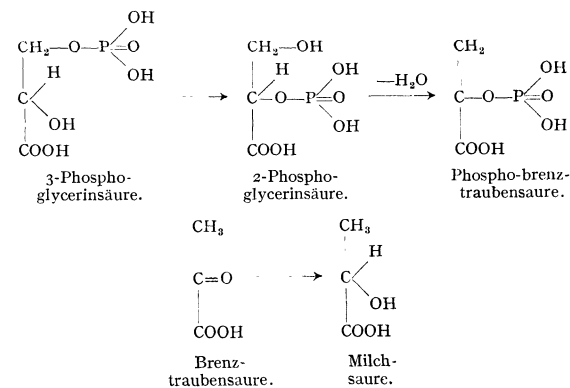
Uterus für die Umwandlung von Progesteron in Pregnanliol-glucuronid entbehrlich ist. — In einer Arbeit, die infolge des Krieges erst nach Abschluß dieser Untersuchungen zu unserer Kenntnis gelangte, teilen VENNING und BROWNE⁵) mit, daß sie nach Injektion von Progesteron bei hysterektomierten Frauen ebenfalls Pregnanliol-glucuronid im Harn aufgefunden haben⁶).



Eine dem Progesteron in chemischer Hinsicht sehr nahe-stehende Verbindung ist das Desoxy-corticosteron (III), ein Wirkstoff der Nebennierenrinde, der sich vom Progesteron (I) nur durch den Besitz einer Oxygruppe am C-Atom 21 unterscheidet. Wurde dies 21-Oxy-progesteron (mit freier oder acetylierter Hydroxylgruppe) weiblichen und männlichen Kaninchen injiziert, so ergab sich überraschenderweise, daß das Desoxy-corticosteron (III) in gleicher Weise in das Glucuronid des Pregnanliols (II) umgewandelt wird; die Ausbeute lag zwischen 7 und 20%, bezogen auf injiziertes Desoxy-corticosteron. — HAMBLÉN und Mitarbeiter⁷) fanden, wie wir auch erst nach Abschluß dieser Arbeit erfuhren, nach Verabreichung von Desoxycorticosteron-acetat an einen gesunden Mann ebenfalls Pregnanliol-glucuronid im Harn, ein Ergebnis, das mit dem unsrigen in bester Übereinstimmung steht.

Das isolierte Natrium-pregnanliolglucuronat erwies sich in allen Fällen als einheitliche Verbindung, die um 270 bis 272° unter Zersetzung schmilzt und eine optische Drehung $[\alpha]_D^{20} = -11^\circ$ bzw. -9° besitzt; sie wurde durch die Naphthoresorcinprobe, Analyse, Hydrolyse zu Pregnanliol und Mischschmelzpunktprobe mit Natrium-pregnanliolglucuronat aus Schwangerenharn identifiziert.

In der Steroidreihe ist die biologische Umwandlung einer $\text{C}-\text{OH}$ -Gruppe zu $\text{C}-\text{H}$ bisher nicht mit Sicherheit beobachtet worden. Man kennt im tierischen Organismus überhaupt nur einen Fall, der dem beschriebenen weitgehend analog ist: der bei der Glykolyse eintretende Übergang der Glycerinsäure in Brenztraubensäure, aus der dann Milchsäure entstehen kann. Diese Reaktion ist an die intermediäre Bildung von Phosphorsäureestern gebunden:



Wir sehen in der Ketolatenkette des Desoxycorticosterons (III) die analoge Gruppierung, die nach Veresterung mit Phosphorsäure zum Glykol reduziert werden und dann entsprechende Umwandlungen wie die Phosphorglycerinsäure erleiden könnte.

Für diese Vorstellung sprechen unseres Erachtens die von physiologischer Seite erhobenen Befunde, auf Grund derer dem Nebennierenrindenhormon die Funktion eines Katalysators für Phosphorylierungsvorgänge zugeschrieben

wird⁸⁾; die nach Ausfall der Nebenniere auftretenden Erscheinungen lassen sich unter dem einheitlichen Gesichtspunkt einer Störung der physiologischen Phosphorylierungsreaktionen deuten⁹⁾. Die Phosphatübertragung soll mit Hilfe der leicht verester- und verseifbaren Ketylgruppierung, die sich in allen stark wirksamen Nebennierenrindenhormonen findet, vor sich gehen.

Daß der Übergang der Oxymethylengruppe am C-Atom 21 zur CH₃-Gruppe im Organismus des Kaninchens sehr leicht eintritt, zeigt ein Vergleich der oben angegebenen Ausbeuten an Pregnandiol nach Zuführung von Progesteron und Desoxycorticosteron. Im Schrifttum finden sich zahlreiche Angaben über Progesteronwirkung des Desoxy-corticosterons und Cortinwirksamkeit des Corpus luteum-Hormons; diese Fälle erscheinen am einfachsten erklärbar durch einen solchen wechselseitigen Übergang —CH₂—OH \rightleftharpoons CH₃ im Organismus¹⁰⁾.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie, den 2. Dezember 1941. ULRICH WESTPHAL.

¹⁾ E. M. VENNING u. J. S. L. BROWNE, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 34, 792 (1936) — Amer. J. Physiol. 123, 209 (1938).

²⁾ ULRICH WESTPHAL u. C. L. BUXTON, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 42, 749 (1939).

³⁾ Dieser Befund steht im Gegensatz zu den negativen Ergebnissen von A. TH. KNOPPERS [Proc. Nederl. Acad. v. Wetensch. 43, 1127 (1940)].

⁴⁾ C. L. BUXTON u. ULRICH WESTPHAL, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. 41, 284 (1939).

⁵⁾ E. H. VENNING u. J. S. L. BROWNE, Endocrinology 27, 707 (1940).

⁶⁾ Zur Besprechung ihrer Schlußfolgerungen vgl. die demnächst in Hoppe-Seylers Z. erscheinende ausführliche Mitteilung.

⁷⁾ W. K. CUYLER, C. ASHLEY u. E. C. HAMBLEN, Endocrinology 27, 177 (1940).

⁸⁾ F. VERZÁR u. Mitarbeiter, Biochem. Z. 234, 186 (1931); 292, 182 (1937).

⁹⁾ T. REICHSTEIN, Erg. Vitamin- u. Hormonforsch. 1, 336 (1938).

¹⁰⁾ Vgl. die demnächst in Hoppe-Seylers Z. erscheinenden ausführlichen Mitteilungen.

Über Unterschiede im Verhalten „natürlicher“ (1-Amino-peptidasen gegen l- und d, l-Peptide¹⁾.

Zur Kennzeichnung der „natürlichen“ oder l-Peptidasen bedient man sich *racemischer* (d, l-) Peptide als Substrate. So liegt z. B. der Messung der „Dipeptidase“ die Hydrolyse von d, l-Leucyl-glycin (d, l-LG.), der Messung der „Aminopolypeptidase“ die Hydrolyse von d, l-Leucyl-glycyl-glycin (d, l-LGG.) zugrunde²⁾. Abgesehen davon, daß unter den bisher üblichen Bedingungen der Spaltung die Wirksamkeit peptidasenhaltiger Auszüge und Präparate gegenüber diesen Substraten in der Regel *nicht* maximal ist und infolgedessen die Träger des l-LG.- und l-LGG.-Spaltungsvermögens auch *nicht* quantitativ bestimmt werden können, sagt nach unserer Ansicht selbst die Bestimmung der Wirksamkeit gegenüber d, l-LG. und d, l-LGG. unter den verbesserten Bedingungen — d. h. in Anwesenheit bestimmter Zusatzstoffe — *nichts* über die Wirksamkeit der Präparate gegenüber anderen Di- und Polypeptiden und damit über den Gehalt der dafür verantwortlichen Träger aus: Denn das *Spaltungsverhältnis* LG. zu anderen Dipeptiden bzw. LGG. zu anderen Polypeptiden ist *kein konstantes*, sondern ein mit der *Herkunft* des Präparates und seiner *Darstellung sehr wechselndes*, und auch die Bedingungen, unter denen die verschiedenen Di- und Tripeptide maximal gespalten werden, sind in bezug auf den Zusatzstoff *vielfach andere*. Man kann deshalb durch die Messung der Hydrolyse von d, l-LG. und d, l-LGG. *nicht* die „Dipeptidase“ und „Aminopolypeptidase“ schlechthin, auch nicht die bestimmter Herkunft, sondern, wie wir annehmen, nur zwei Enzymindividuen — nämlich die Träger der l-LG.- und l-LGG.-Spaltung — des in seiner qualitativen und quantitativen Zusammensetzung schwankenden Amino-peptidasen-Systems kennzeichnen.

Wie nun vergleichende Messungen der Spaltung von optisch fast reinem l-LG. und von l-LG. im *racemischen* Peptid (d, l-LG.) zeigen und eines unserer Beispiele in

Tabelle 1 dies belegt, bestehen in der Spaltungsgeschwindigkeit und ihrer Beeinflussung durch bestimmte Zusatzstoffe aber *so große Unterschiede*, daß zur genauen Kennzeichnung der l-LG.-spaltenden Peptidase ihr Verhalten gegen d, l-LG. *nicht genügt*, sondern daß dazu das gegen die optisch reine Verbindung, d. h. gegen l-LG., *notwendig ist*.

Tabelle 1. Wirksamkeit reinerer Peptidasenpräparate gegenüber l-LG., d-LG. und d, l-LG. und der Einfluß von Zusatzstoffen auf die Spaltung.

Enzympräparate nach einer in der VIII. Mitt. dieser Reihe⁵⁾ gegebenen Vorschrift aus Meerschweinchenleber- und Kaninchennierenauszug durch Acetonfraktionierung dargestellt. Versuchsbedingungen: Vol. d. Ansätze 5 ccm; Versuchsdauer 1 Stunde; $p_H = 8$; $t = 40^\circ$. Titrationsprobe 2 ccm. 100proz. Aufspaltung entspricht 2,40 ccm n/20 KOH. Bei den d-LG.-Versuchen wurde *10mal* mehr Enzympräparat angewandt als bei den anderen Versuchen. $(\alpha)_{50}^{20}$ für l-LG. = +78,5°, für d-LG. = -81°.

Zusatz	m/Konz. im Ansatz	Spaltung (ccm n/20 KOH)					
		Leberpräparat			Nierenpräparat		
		l-LG.	d, l-LG.	d-LG.	l-LG.	d, l-LG.	
—	—	1,04	0,60	0,00	0,36	0,20	
Mg	100	1,44	0,88	0,02	1,15	0,80	
Mn	1000	1,18	1,00	0,24	1,02	1,16	
Co	1000	0,34	0,58	—	—	—	
Zn	10000	0,94	1,20	0,25	0,31	0,27	
Cystein	125	0,40	0,35	0,01	0,10	0,04	
HCN	100	0,26	0,12	—	—	—	
Pyrophosphat	100	0,03	0,03	—	0,04	0,02	
Mn+Cystein	1000+250	0,75	0,85	1,12	0,98	0,93	

Nach den Spaltungswerten in Tabelle 1 wird nicht nur das reine l-LG. *rascher gespalten* als das l-LG. im d, l-LG.³⁾, sondern die Spaltung des reinen l-LG. wird auch bemerkenswerterweise durch *Magnesium* weit besser als durch Mangan⁴⁾ und Zink⁵⁾ beschleunigt, die sich in der Regel bei der Spaltung von d, l-LG. am wirksamsten erweisen. Dagegen werden beide Spaltungen durch Blausäure, Cystein und Pyrophosphat ziemlich *gleichmäßig gehemmt*. Um auch die große Verschiedenheit der Bedingungen, unter denen die l- und d-LG.-spaltenden Peptidasen — des vorliegenden Reinheitsgrades — optimal wirksam sind, zu zeigen (wobei das p_H -Optimum noch nicht endgültig feststeht), fügen wir auch die Werte für die Wirksamkeit des einen Präparates gegenüber d-LG. hinzu⁶⁾.

Welch außerordentliche Unterschiede in der Wirksamkeit der Präparate gegenüber l-LG. und dem racemischen LG. auftreten *können*, zeigt das Beispiel in Tabelle 2.

Tabelle 2. Wirksamkeit eines Hühnerleberauszuges gegenüber l-LG. und d, l-LG. Versuchsbedingungen wie in Tabelle 1.

Zusatz	m/Konz. im Ansatz	Spaltung (ccm n/20 KOH)	
		l-LG.	d, l-LG.
—	—	1,08	0,30
Mg	100	1,72	0,80
Mn	1000	0,99	1,04
Zn	10000	1,41	1,33

¹⁾ XI. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidas n. X. Mitt. Biochem. Z. (im Druck).

²⁾ Z. B. K. MAYER in „Methoden der Fermentforschung“, S. 1991. Leipzig 1941.

³⁾ Vgl. dazu S. EDLBACHER u. H. BAUR, Hoppe-Seylers Z. 270, 176 (1941). — H. HERKEN, A. SCHMITZ u. R. MITTEN, Naturwiss. 29, 670 (1941).

⁴⁾ Z. B. E. MASCHMANN, Biochem. Z. 308, 359 (1941); 309, 179 (1941). — E. BAMANN u. O. SCHIMKE, Biochem. Z. 308, 130 (1941).

⁵⁾ E. MASCHMANN, V. u. VIII. Mitt. Zur Kenntnis tierischer Peptidasen. Biochem. Z. (im Druck).

⁶⁾ Vgl. auch X. Mitt. Über die d-Leucyl-glycin-spaltende Peptidase; Biochem. Z. (im Druck).

Daß Unterschiede in der Spaltungsgeschwindigkeit nicht allein zwischen l-L.G. und d, l-L.G. bestehen, geht aus den Angaben der Tabelle 3 hervor: Auch G-l-L. wird rascher gespalten als das G-l-L. im racemischen Peptid (G-d, l-L.).

Tabelle 3. Wirksamkeit eines Meerschweinchenleberauszuges und eines daraus gewonnenen reineren Präparates gegenüber G-l-L. und G-d, l-L. Enzympräparate: Glycerinauszug aus Meerschweinchenlebern und ein daraus durch Acetonfraktionierung gewonnenes Präparat (vgl. Tabelle 1). Versuchsbedingungen wie in Tabelle 1.

Zusatz	Spaltung (ccm n/20 KOH)			
	G-l-L.		G-d, l-L.	
	Auszug	Präparat	Auszug	Präparat
—	0,92	0,88	0,73	0,74
Mg . . .	0,93	0,83	0,69	0,67
Zn . . .	1,49	1,35	1,24	1,28

Es wird durch die vorliegenden Ergebnisse mindestens sehr wahrscheinlich gemacht, daß ganz allgemein d, l-Peptide bei der Untersuchung „natürlicher“, also l-Aminopeptidasen kein vollwertiger Ersatz für die optisch reinen l-Peptide sind und daß die genaue, endgültige Kennzeichnung der l-Peptidasen nur gegenüber l-Peptiden möglich ist.

Frankfurt a. M., Biochemische Abteilung des Forschungsinstitutes für Chemotherapie, den 3. Dezember 1941.

ERNST MASCHMANN.

Bemerkung zu einer Arbeit von A. Brager und H. Shdanov über die Natur der chemischen Bindung in Graphit und Bornitrid.

BRAGER und SHDANOV¹⁾ haben eine eindimensionale Fourier-Synthese von Graphit und Bornitrid publiziert und daraus Schlüsse über die Elektronenverteilung zwischen den Schichtebenen dieser Gitter gezogen. Sie beziehen sich dabei auf unsere Untersuchungen zur Bestimmung von Elektronendichten durch Fourier-Synthese. Das gibt uns Anlaß zu einigen kritischen Bemerkungen über ihre Methoden und Ergebnisse:

Die Rechnungen für Graphit beruhen nicht auf eigenen Messungen der Autoren, sondern auf Publikationen von HOFMANN und WILM²⁾ sowie von HANAWALT, RINN und FREVEL³⁾. Die Messungen an Bornitrid sind von einem der Autoren selbst ausgeführt worden. Die dazugehörige Originalarbeit war uns nicht zugänglich, doch geht aus der uns vorliegenden Arbeit hervor, daß es sich dabei bestenfalls wie bei HOFMANN und WILM um photometrierte Pulveraufnahmen handelt, d. h. um Anwendung einer bequemen, aber mit zahlreichen Fehlermöglichkeiten behafteten Methode zur Bestimmung von relativen Intensitäten. Die Intensitätsangaben von HANAWALT, RINN und FREVEL beanspruchen noch weniger Genauigkeit. Diese Autoren haben die Lagen und geschätzten Intensitäten der stärksten Linien von etwa 1000 verschiedenen Substanzen zusammengestellt, als Hilfe zu einer qualitativen Röntgenanalyse unbekannter Kristallpulver, und das von ihnen angegebene Intensitätsverhältnis der ersten vier Basisreflexe von Graphit, 100:10:1:0, macht nicht den Eindruck besonderer Genauigkeit. Trotzdem halten BRAGER und SHDANOV diese Daten, wegen der „schnelleren Konvergenz der Fourier-Reihe“, für zuverlässiger als die von HOFMANN und WILM! — In keinem Fall sind mehr als vier Interferenzen zur Rechnung herangezogen worden, von denen im übrigen eine, wie aus der Arbeit von HOFMANN und WILM hervorgeht, mit einer anderen ungleichwertigen praktisch zusammenfällt; hier schreiben die Autoren rein willkürlich die Hälfte der gemessenen Intensität dem gesuchten Basisreflex zu.

Angesehen von den Schwierigkeiten, durch Schätzen oder Photometrieren von photographischen Aufnahmen exakte relative Intensitäten zu erhalten, ist auch der Absolutanschluß der Intensitäten nicht überzeugend. Er wird dadurch bewerkstelligt, daß willkürlich die Intensität des stärksten Reflexes (0002) der theoretisch aus den HARTREEschen F-Kurven für C, B und N folgenden (offenbar ohne Temperaturkorrektion!) gleichgesetzt wird. Wenn auch bei

einem Reflex mit so kleinem Glanzwinkel der Temperatureffekt noch klein ist und der durch seine Vernachlässigung gemachte Fehler neben den sonstigen Ungenauigkeiten der Arbeit nicht sehr ins Gewicht fallen mag, so ist doch zu sagen, daß durch diese Art des Absolutanschlusses das Ergebnis der Untersuchung vorweggenommen wird: Bei den drei mitgeteilten Fourier-Reihen ist nämlich (0002) der entscheidende, formbestimmende Term, dem die kürzeren Fourierwellen nur noch eine Art „Abbrucheffekt“ überlagern. Die absolute Höhe dieses Terms bestimmt daher wesentlich die Höhe des Elektronenuntergrundes, und es ist völlig unmöglich, diese Höhe ohne absolute Messung des Reflexes (0002) zu bestimmen. Daher ist es unstatthaft, mittels eines solchen Verfahrens irgendwelche Schlüsse über die Elektronenverteilung zwischen den Schichtebenen in Graphit oder Bornitrid zu ziehen, geschweige denn quantitative Aussagen über die Zahl der Leitungselektronen zu machen.

Darmstadt, Eduard Zintl-Institut für Anorganische und Physikalische Chemie der Technischen Hochschule und Forschungslabor. Oppau der I.G.-Farbenindustrie A.G., den 4. Dezember 1941. R. BRILL. C. HERMANN. Cl. PETERS.

¹⁾ A. BRAGER u. H. SHDANOV, C. r. (Doklady) Ac. S. URSS. 28, 629 (1940).

²⁾ U. HOFMANN u. D. WILM, Z. Elektrochem. 42, 504 (1936).

³⁾ I. D. HANAWALT, H. W. RINN, L. K. FREVEL, Ind. Eng. Chem. Anal., Ed., 10, 457 (1938).

Berichtigungen.

In der Mitteilung von J. W. BREITENBACH „Zur Kenntnis des Mechanismus der Wärmepolymerisation des Styrols“ in Heft 47, Seite 708 ist versehentlich die Figur ohne die dazugehörige Unterschrift abgedruckt worden. Es folgt hier noch einmal die Figur mit der Unterschrift:

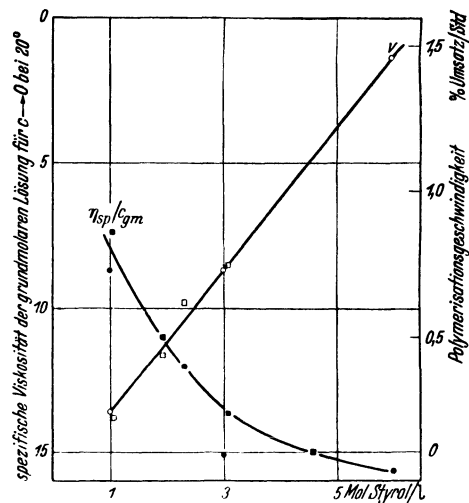


Fig. 1. Abhängigkeit der Polymerisationsgeschwindigkeit v und des η_{sp}/c_{gm} Wertes der Polymeren von der Styrolkonzentration bei Polymerisation in Toluol \square und Monochlorbenzol \circ bei 100°C.

In der Mitteilung von GÜNTHER BRIGLEB „Modellbetrachtungen zur HF—HF-Bindung“ in Heft 42/43 enthält Fig. 2 auf S. 645 verschiedene Fehler. Die Figur folgt hier in der berichtigten Form:

