



**25 JAHRE**  
**KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT**  
**ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN**

**ERSTER BAND: HANDBUCH**  
**ZWEITER BAND: DIE NATURWISSENSCHAFTEN**  
**DRITTER BAND: DIE GEISTESWISSENSCHAFTEN**

**HERAUSGEGEBEN VOM PRÄSIDENTEN**

**MAX PLANCK**



**BERLIN**  
**VERLAG VON JULIUS SPRINGER**  
1936

25 JAHRE  
KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

ZWEITER BAND  
DIE NATURWISSENSCHAFTEN

REDIGIERT VON  
MAX HARTMANN



BERLIN  
VERLAG VON JULIUS SPRINGER  
1936

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG  
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.  
COPYRIGHT 1936 BY JULIUS SPRINGER IN BERLIN.  
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1936  
ISBN-13: 978-3-642-47098-1 e-ISBN-13: 978-3-642-47338-8  
DOI: 1007/978-3-642-47338-8

## Vorwort.

Durch die Gründung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften vor 25 Jahren war der Gedanke WILHELM VON HUMBOLDT's Wirklichkeit geworden, neben den Akademien und Universitäten, den alten Pflegestätten der Wissenschaften, selbständige Forschungsinstitute, besonders naturwissenschaftlicher Art zu begründen. Das Bedürfnis nach derartigen Forschungsinstituten war damals dringend geworden, denn es bestand die ernste Gefahr, daß die Wissenschaft in ihrer möglichen Entwicklung dadurch gehemmt wurde, daß viele Forscher durch das Fehlen von Hilfsmitteln und Zeit an der vollständigen Ausnützung ihrer Forscherfähigkeiten gehindert wurden. Das trat besonders bei neuen Forschungsrichtungen hervor, die sich im Hochschulbetrieb noch nicht als eigene Disziplinen durchgesetzt hatten. Damit war natürlich zugleich die Gefahr verbunden, daß Deutschland auf dem Gebiete der Naturwissenschaft von anderen Nationen überflügelt wurde. Die Schaffung reiner Forschungsinstitute, in denen die dazu berufenen Gelehrten frei von der großen Belastung des Unterrichtes und nicht gehemmt durch Knappheit von Mitteln sich ganz der Forschung widmen können, war nicht nur eine Notwendigkeit geworden für Physik und Chemie, deren rasche Entwicklung in ihrer Auswirkung auf die das ganze moderne Leben beherrschende Technik allgemein sichtbar ist, sondern auch für die biologischen Wissenschaften, die um die Wende des Jahrhunderts eine weitgehende Verschiebung ihrer Problemstellungen und Methoden erfahren haben. Die Begründer der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft haben die Notwendigkeit dieser Aufgabe klar erkannt und den Weg zu ihrer Lösung durch die Gründung einer zwar mit dem Staat harmonisch zusammenarbeitenden, aber doch weitgehend unabhängigen und freien Organisation gefunden.

Der vorliegende naturwissenschaftliche Festband zum 25jährigen Jubiläum der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft soll nicht nur eine Festgabe sein, mit der die wissenschaftlichen Mitglieder und Mitarbeiter der Kaiser Wilhelm-Institute der Gesellschaft ihren Dank zum Ausdruck bringen für das, was die Gesellschaft für die Förderung der naturwissenschaftlichen Forschung in Deutschland geleistet hat, sondern soll zugleich Rechenschaft darüber geben, in welcher Weise die von der Gesellschaft begründeten Institute die oben gekennzeichnete Aufgabe erfüllt haben. Die Herausgabe einer wissenschaftlichen Festschrift im üblichen Sinne, bei der laufende, zufällig gerade zum Abschluß gekommene Arbeiten zur Veröffentlichung gelangen, schien dafür weniger geeignet, da solche von der Zufälligkeit des Zeitpunktes abhängende Arbeiten von verschiedenem wissenschaftlichen Wert sein können, und die Gefahr besteht, daß sie

kein richtiges Bild von den leitenden Arbeiten und den wissenschaftlichen Tendenzen der einzelnen Institute zu geben vermögen. Es werden daher zusammenfassende Berichte über die Arbeiten, die seit Gründung der Institute in den einzelnen Instituten und Abteilungen geleistet worden sind, gebracht, die zutreffender dartun können, in welcher Weise und in welchem Umfange die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft durch die Gründung ihrer naturwissenschaftlichen Institute für den Fortschritt und die Entwicklung der Naturwissenschaften in unserem Vaterlande beigetragen hat.

Um den allgemeinen großen Rahmen erkennen zu lassen, in dem die Arbeiten der heutigen Naturwissenschaften und demgemäß auch die Arbeiten der naturwissenschaftlichen Kaiser Wilhelm-Institute stehen, und um die leitenden Ideen und Fragestellungen, die die heutigen Naturwissenschaften beherrschen, und die vermutlich die Entwicklung derselben in der nächsten Zukunft lenken werden, sichtbar zu machen, sollten zugleich die Hauptergebnisse und -probleme der heutigen theoretischen Naturwissenschaften in einer Reihe von Einzelaufsätzen kurz geschildert werden. In dankenswerter Weise haben sich dabei auch Naturforscher beteiligt, die nicht dem engeren Kreis der Kaiser Wilhelm-Institute angehören. So ist dieser Band ein Zeichen der Dankbarkeit, den nicht nur die Naturforscher der Kaiser Wilhelm-Institute, sondern die ganze deutsche Naturwissenschaft der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft an diesem Festtage darbringt für das, was sie durch die Gründung ihrer Institute und der in ihnen herrschenden großzügigen und freien Organisation für die Förderung der Naturwissenschaften in unserem deutschen Vaterland und somit für das ganze deutsche Volk geleistet hat.

MAX HARTMANN.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften	
1. Philosophie der Naturwissenschaft. Von M. HARTMANN . . . . .	1
2. Astronomie. Von H. KIENLE . . . . .	36
3. Physik. Von P. DEBYÉ . . . . .	46
4. Atomchemie. Von O. HAHN . . . . .	57
5. Mineralogie. Von W. ETTTEL . . . . .	68
6. Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung. Von H. STILLE	77
7. Biochemie. Von R. KUHN . . . . .	98
8. Biologie. Von F. v. WETTSTEIN . . . . .	105
B. Berichte über die wissenschaftlichen Arbeiten der Kaiser Wilhelm-Institute . . .	127
I. Physikalisch-Chemisch-Technische Institute . . . . .	129
1. Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, verbunden mit der Aero- dynamischen Versuchsanstalt in Göttingen . . . . .	129
2. Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft der Kaiser Wilhelm- Gesellschaft in München . . . . .	139
3. Höhenobservatorien des Sonnblick-Vereins in Österreich . . . . .	148
4. Meteorologisches Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Danzig- Langfuhr . . . . .	158
5. Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin . . . . .	164
6. Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin . . . . .	175
7a. Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung in Berlin . . . . .	178
7b. Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung in Stuttgart . . . . .	182
8. Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf . . . . .	191
9. Kaiser Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie . . . . .	212
10. Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung in Berlin . . . . .	217
11. Kaiser Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mühlheim . . . . .	223
12. Schlesisches Kohlenforschungsinstitut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Breslau . . . . .	232
13. Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung in Dresden . . . . .	237
II. Biologisch-Medizinische Institute:	
14. Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem . . . . .	246
15. Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung in Müncheberg, Mark. .	275
16. Deutsches Entomologisches Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Berlin-Dahlem . . . . .	296
17. Hydrobiologische Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Plön, Holstein	306
18. Biologische Station Lunz am See (KUPELWIESERSche Stiftung) in Nieder- österreich . . . . .	313
19. Deutsch-Italienisches Institut für Meeresbiologie in Rovigno d'Istria . .	321
20. Vogelwarte Rossitten der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Rossitten, Kur. Nehrung. . . . .	325

	Seite
21. Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie (1919—30) und Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie (seit 1931) in Berlin-Dahlem . . . . .	332
22. Kaiser Wilhelm-Institut für experimentelle Therapie in Berlin . . . . .	335
23. Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie in Berlin-Dahlem . . . . .	336
24. Forschungsanstalt für Mikrobiologie der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in São Paulo, Brasilien . . . . .	342
25. Kaiser Wilhelm-Institut für Anthropologie, menschliche Erblehre und Eugenik in Berlin . . . . .	348
26. Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg . . . . .	356
27. Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund und Münster i. Westf. . . . .	379
28. Kaiser Wilhelm-Institut für Hirnforschung in Berlin-Buch . . . . .	387
29. Deutsche Forschungsanstalt für Psychiatrie (Kaiser Wilhelm-Institut) in München . . . . .	400
30. Forschungsstelle des Geheimrat Prof. Dr. ABDERHALDEN in Halle (Saale) . . . . .	431

## **A. Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften.**

# Philosophie der Naturwissenschaften.

Von

MAX HARTMANN, Berlin-Dahlem.

In Zeiten einer wissenschaftlichen Krise wird vielfach in Kreisen, die der Wissenschaft fernstehen, das bis dahin starke Vertrauen zu ihren Ergebnissen erschüttert, und man hört dann oft das Wort vom „Zusammenbruch der Wissenschaft“. In Wirklichkeit sind solche Krisenzeiten meist durch besondere wissenschaftliche Fruchtbarkeit ausgezeichnet, während die vorausgegangene Zeitepoche teilweise der Gefahr anheimfiel, in übermäßigem Vertrauen auf die erzielten Errungenschaften in dogmatischem Schlummer zu erstarren. So hielt man die Physik am Ende des vorigen Jahrhunderts für „eine nahezu voll ausgereifte Wissenschaft, die wohl bald ihre endgültige stabile Form angenommen haben würde“. „Wohl gäbe es vielleicht in einem oder dem anderen Winkel noch ein Stäubchen oder ein Bläschen zu prüfen und einzuordnen, aber das System als Ganzes stehe ziemlich gesichert da<sup>1</sup>.“ Auch in der Biologie herrschte am Ende des vorigen Jahrhunderts eine ähnliche Situation. Unter dem starken Eindruck des Entwicklungsgedankens, dem DARWINs Tat zum Durchbruch verholfen hatte, und der besagte, daß die Organismen sich von einfacheren zu komplizierteren entwickelt haben, hatte man geglaubt, auch die schwierigere Frage des *Wie* dieser Entwicklung im Prinzip gelöst zu haben mit den völlig unzureichenden Mitteln jener Zeit. Relativitätstheorie und Quantentheorie in der Physik sowie experimentelle Vererbungswissenschaft und Entwicklungsphysiologie in der Biologie haben in beiden Wissenschaften eine Aufrüttelung der Geister verursacht und eine Zeit fruchtbarer neuer Theorienbildung und neuer experimenteller Forschung hervorgebracht, in der beide Disziplinen noch mitten drin stehen. Dabei ist die Lage in beiden Wissenschaften äußerst verschieden. Die Physik, die auf eine dreihundertjährige Entwicklung von ungemeiner Folgerichtigkeit zurückblicken kann, deren Methode und Exaktheit bis zum äußersten ausgebildet ist, gerät gerade infolge dieser folgerichtigen Weiterentwicklung in eine Lage, die Zweifel an Grundprinzipien aufkommen ließ, die 3 Jahrhunderte hindurch als die gesicherten Grundlagen dieser Wissenschaft galten. Die Biologie dagegen, eine ganz junge Wissenschaft, deren Gegenstand von ungemein komplexer Natur ist, befindet sich erst im Zustand des Ringens um die richtige Methode und um saubere Begriffs- und Theorienbildung. Die Art der Theorienbildung ist hier zum großen Teil noch unreif und unexakt, und so konnte nach anfänglicher Befriedigung über den Erfolg eines neuen (aber theoretisch überspitzten) Erklärungsprinzips der Rückschlag nicht ausbleiben, besonders seit um

<sup>1</sup> So hat nach PLANCK sein Lehrer PH. VON JOLLY ihm bei Beginn seines Studiums den damaligen Stand der Physik geschildert (PLANCK 1933, S. 128).

die Wende des Jahrhunderts in engeren Forschungsgebieten eine an physikalischem Denken geschulte exakte Methode und Begriffsbildung entstand. Beide Naturwissenschaften — die als die beiden Gegenpole und die beiden Hauptrepräsentanten der Naturwissenschaften betrachtet werden können — befinden sich demnach, wenn auch aus ganz verschiedenen Gründen im Zustand einer Krise. Diese Krisenzustände machen eine philosophische Betrachtung der heutigen Naturwissenschaft besonders dringlich; sie ist heute von höchstem Interesse.

Naturphilosophie oder besser Philosophie der Naturwissenschaft in dem Sinne, wie sie hier verstanden wird, hat natürlich nicht das Recht, sich selbst in die Ergebnisse der Einzelwissenschaften einzumischen; auch kann es nicht ihre Aufgabe sein, wie das von manchen Seiten vertreten wird, den Ergebnissen der Einzelwissenschaft gewissermaßen einen zusammenfassenden Überbau inhaltlicher Natur hinzuzufügen. Letzteres wäre ein Übergriff der Philosophie den Naturwissenschaften gegenüber; wo uns heute in naturphilosophischen Schriften derartige Bestrebungen begegnen, tragen sie meist unzweideutig den Stempel schlechter dilettantischer naturwissenschaftlicher Theorienbildung. „Nirgends greift Naturphilosophie in die Naturwissenschaften direkt hemmend oder fördernd ein, aber überall ist sie mit ihren Gesichtspunkten gegenwärtig. Sie schafft nicht neue Ergebnisse der Naturwissenschaft; sie rückt nur die jeweils vorhandenen in eine neue wissenschaftliche Beleuchtung, indem sie sie grundsätzlich als Funktion der Bedingungen auffaßt, unter welchen die wissenschaftliche Forschungsarbeit selbst steht“ (HÖNIGSWALD 1913, S. 64).

Als Fachbiologe bin ich mir wohl bewußt, daß es mir an Sachkenntnis mangelt, um mir zu den schwierigen Fragen der heutigen theoretischen Physik maßgebliche Urteile erlauben zu können. Andererseits scheint es aber erwünscht und geboten, daß eine naturphilosophische Betrachtung von Physik und Biologie von einheitlichem Gesichtspunkt aus erfolgen soll. Sind doch die Voraussetzungen und Methoden der Forschung in den beiden Wissenschaften, die, wie schon erwähnt, als die zwei Pole der gesamten Naturwissenschaften betrachtet werden können, die gleichen, da es nur eine Art und Weise von Naturforschung gibt und geben kann. Dazu kommt, daß gerade die so ungemein verschiedene „Reife“ der beiden Wissenschaften, der Physik und der Biologie, ihre gleichmäßige philosophische Betrachtung so wünschenswert macht. Denn die Reife der einen, der Physik, ist so weit vorgeschritten, daß viele wissenschaftstheoretische Grundlagen und Methodenmomente (so z. B. die Bedeutung von Klassifikationsbegriffen und Kausalsätzen qualitativen Inhalts) hier nicht mehr gesehen werden, die aber doch, wenn auch oft versteckt, in Begriffen und Lehrsätzen auch heute noch enthalten sind, während sie in den Jugendzeiten dieser Wissenschaft ähnlich stark hervortraten wie heute in der Biologie. Und umgekehrt spielen infolge der Jugend der Biologie hier Methoden, Begriffs- und Theorienbildungen eine Rolle, die vielfach das Ziel exakter Naturforschung und den Weg zu diesem Ziel verschleiern, während dies Ziel und die Wege zu ihm die reifere Schwesterwissenschaft enthüllt.

## I. Voraussetzungen und Methoden.

„Die Empfindung stammelt, das Denken erst erschafft das Wort.“ COHEN: Logik der reinen Erkenntnis, S. 469.

Alle Naturwissenschaft gründet sich auf Erfahrung, alle Erfahrung aber geht aus von dem unserem Bewußtsein durch die Anschauung und Wahrnehmung unmittelbar Gegebenen. Mit dieser Behauptung hat der Positivismus unzweifelhaft recht. Aber von diesem Boden allein ließe sich nicht einmal genügend Erfahrung gewinnen, um uns in unserer Umwelt „menschlich“, d. h. selbst handelnd bewegen zu können, geschweige eine wissenschaftliche Erfahrung zu begründen<sup>1</sup>. Es bliebe ein zusammenhangloses Chaos, eine chaotische Mannigfaltigkeit von Bewußtseinsinhalten und Einzeltatsachen. Konsequenterweise zu Ende gedacht (wie das allein der griechische Philosoph PROTAGORAS getan hat) endet ein solcher positivistischer Standpunkt im Solipsismus und Skeptizismus, in der Leugnung jeglichen Wissens und jeglicher Erkenntnis. Logisch ist dieser Solipsismus und extreme Skeptizismus zwar nicht zu widerlegen, aber er widerlegt sich durch die Praxis des menschlichen Lebens selbst<sup>2</sup>.

Somit ist es verständlich, daß auch der philosophische Positivismus und Empirismus unserer Tage einen solchen Standpunkt nicht vertritt, da Wissenschaft auf dieser Grundlage unmöglich wäre. Damit ist aber der Positivismus und Empirismus gezwungen, außer den unmittelbaren Wahrnehmungsinhalten (und selbst diese enthalten schon apriorische Elemente) nicht nur die allgemein gültigen Prinzipien der Logik für die Erfahrung und Erkenntnis vorauszusetzen, sondern noch andere allgemeine *Erkenntnisprinzipien* anzunehmen, die rein logisch nicht weiter zu begründen sind. So nimmt z. B. REICHENBACH die Voraussetzung eines Ordnungsprinzips der Natur an, das er aber nun wieder aposteriorisch als eine statistische Wahrscheinlichkeitsordnung auffaßt. Damit wird aber auch vom Positivismus und Empirismus wider Willen ein apriorisches Erkenntnisprinzip im Sinne der Transzendentalphilosophie KANTS anerkannt. Solche kategorialen Prinzipien a priori sind eben unentbehrlich für alle Erfahrung und alle Erkenntnis, nicht nur für die wissenschaftliche Erfahrung. Sie sind die *unentbehrlichen Voraussetzungen*, die allen Erfahrungen und jeder Erkenntnis zugrunde liegen und sie erst ermöglichen. Nicht um die psychologische oder entwicklungsphysiologische Aufzeigung oder Ableitung dieser kategorialen Erkenntnisse handelt es sich, nur die *logische Geltung* der Kategorien steht hier in Frage. „Die Kategorien sind Gedanken, die gelten, ob sie gedacht werden oder nicht“ (B. BAUCH). Diese apriorischen Elemente lassen sich allerdings nicht unabhängig von aller Erfahrung erkennen und aufzeigen, sondern nur in der und durch die Erfahrung. „*Das Denken*

<sup>1</sup> „Ein Wesen, das solchen Vorwissens nicht mächtig und seines Zutreffens in gewissen Grenzen nicht doch sicher wäre, hätte keinen Spielraum eigenen Tuns in der Welt, es wäre zu Untätigkeit verurteilt. Ein rein aposteriorisches Erkennen wäre im Leben selbst praktisch wertlos“ (NIK. HARTMANN 1935, S. 24).

<sup>2</sup> So sagt PLANCK 1933, S. 99: „Die Welt kümmert sich nicht einen Pfifferling darum, ob der Solipsist wacht oder schläft und selbst, wenn er für immer die Augen schließt, würde sie kaum eine Notiz davon nehmen, sondern ihren gewöhnlichen Gang weitergehen.“

der Erkenntnis kann durchaus nur an dem Problem der wissenschaftlichen Erkenntnis beschrieben, bestimmt und ausgemeißelt werden," sagt COHEN (S. 57).

KANTS kopernikanische Wendung, daß „die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung überhaupt zugleich Bedingungen der Möglichkeit der Gegenstände der Erfahrung“ seien, besteht auch heute nach den umwälzenden Erkenntnissen der neuen Physik, der Relativitäts- und Quantentheorie zu Recht. Wenn gewisse Formulierungen KANTS mit Ergebnissen der Relativitätstheorie in Widerspruch stehen, so müssen erstere natürlich aufgegeben werden. Der Fehler liegt aber nicht in den *Prinzipien des kantischen Apriorismus*, sondern nur darin, „daß sie nicht streng genug angewandt wurden; daß man als a priori annahm, was diese prinzipielle Bedeutung für die Naturerkenntnis nicht besitzt“ (WINTERNITZ, S. 15). KANTS Werk enthält natürlicherweise neben den grundsätzlich wichtigen Erkenntnissen, die ihre zeitlose Geltung behalten, auch vielerlei Zeitgebundenes. KANT war durch die Wissenschaft seiner Zeit selbstverständlich stark beeinflußt; steht seine Auffassung der Natur und Naturerkenntnis doch ganz im Banne der NEWTONSchen Physik.

Wenn heute vielfach von seiten einseitig positivistisch und empiristisch eingestellter Philosophen und Physiker KANTS Apriorismus hingestellt wird, als stände er im Gegensatz zu den Ergebnissen der Relativitätstheorie und Quantenphysik, und wenn damit zugleich der „Schulphilosophie“ ein starrer Dogmatismus, ein Festhalten an überwundenen Denkgewohnheiten und eine Verständnislosigkeit der neuen Physik vorgeworfen wird, so sind diese Vorwürfe nicht zutreffend. Nicht nur KANT, auch die Neukantianer und andere am Apriorismus festhaltende Philosophen haben alle Fortschritte der Naturwissenschaften voll gewürdigt, wie aus den Werken von Philosophen wie AL. RIEHL, COHEN, CASSIRER, BR. BAUCH, NIK. HARTMANN u. a. unwiderleglich hervorgeht. So haben z. B. BR. BAUCH, COHEN und RIEHL schon längst vor der Relativitätstheorie ausgesprochen, daß die Aufstellung eines Systems der Kategorien kein für alle Zeit feststehendes Ergebnis, wie es in dem Schema von KANT hingestellt ist, sein kann, sondern daß es sich hier um eine wissenschaftliche Aufgabe handelt, die nur im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Wissenschaften vorwärts getrieben werden kann und wie jede wissenschaftliche Aufgabe eine *unendliche Aufgabe* ist. „Neue Probleme“, sagt COHEN, „werden neue Kategorien bringen, neue Voraussetzungen erforderlich machen. Der notwendige Gedanke vom Fortschritt der Wissenschaft hat zur notwendigen nicht etwa bloß Begleitung, sondern auch *Voraussetzung* den Gedanken vom *Fortschritt der reinen Erkenntnisse*“ (S. 396).

Die Analyse der Erkenntnis zeigt, daß alle Erkenntnis, alle Forschung stets ein *System* der Kategorien voraussetzt und sie im lebendigen Forschungsbetrieb benützt, wenn dies dem Forscher selbst auch nicht bewußt wird, und wenn selbst der darauf reflektierende Philosoph das Kategoriensystem nicht eindeutig herauszustellen in der Lage ist. So enthält die reife theoretische Physik der heutigen Zeit in ihren vielen Begriffen, Gesetzen und Axiomen eine Reihe apriorischer Elemente, die bei der rein mathematisch abstrakten Formulierung ihrer allgemeinen Theorien

leicht übersehen werden. In ihren abstraktesten Formulierungen, die letzten Endes nur bestimmte mathematische Konstanten in sich schließen, geht in den Inbegriff dieser Konstanten ein System apriorischer Prinzipien als Voraussetzungen ein, so mindestens der *Zahlbegriff*, der *Raumbegriff*, der *Zeitbegriff* und der *Funktions (-Kausal-) begriff*. „Sie sind in jeder Frage enthalten, die die Physik sich stellen kann“ (CASSIRER, S. 87).

Um auf Grund der sinnlichen Wahrnehmungen mit dem Werkzeug apriorischen Denkens zu wissenschaftlichen Erkenntnissen zu gelangen, bedient sich die Naturwissenschaft des *induktiven Verfahrens*. In diesem induktiven Verfahren der Naturwissenschaft sind jedoch, wie A. RIEHL, BR. BAUCH und andere Logiker ausgeführt haben, immer die beiden Arten von Urteilen, die Erkenntnis überhaupt vermitteln, zugleich wirksam: die *Induktion*, der logisch nicht ohne weiteres zu begründende Schluß vom Besonderen aufs Allgemeine, und die *Deduktion*, der umgekehrte Schluß vom Allgemeinen aufs Besondere, der mit dem allgemeinen logischen Schlußverfahren identisch ist. Induktion und Deduktion sind aber nur zwei *verschiedene Wegrichtungen*, zwei *Etappen eines einheitlichen Methodengefüges*, so daß es rein induktive Naturwissenschaften im strengen Sinne nicht gibt. Beide Methodenglieder greifen beständig ineinander und bilden *ein einheitliches logisches Ganzes*, von dem im tatsächlichen Erkennen bald mehr die eine, bald mehr die andere Seite zur Anwendung gelangt. Ja, man kann je nach dem Grade der festen Eingliederung des deduktiven Gliedes in das induktive Schlußverfahren mit BR. BAUCH zwei verschiedene Arten von Induktion unterscheiden, die *reine* (oder *generalisierende*) und die *exakte Induktion*, die eigentliche *kausalanalytische Methode* GALILEIS.

Die *reine* oder *generalisierende Induktion* ist zunächst nur ordnungschaffend und sagt noch nichts über die Gesetzmäßigkeit der von ihr aufgezeigten Ordnung aus. Sie sucht die Gleichheiten und Ungleichheiten an verschiedenen Gegenständen und Vorgängen herauszustellen und bringt so Gegenstände und Vorgänge in *ein System von allgemeinen Begriffen*, führt zu *Kennzeichnungen, Beschreibungen von Sachverhalten*. Das ist nicht nur in der Biologie so, sondern auch in den speziellen anorganischen Naturwissenschaften und in der Physik, wo es meist nur bei neuerschlossenen Gebieten stärker in Erscheinung tritt. Durch diese Herausstellung von Gleichheiten und Ungleichheiten führt die reine Induktion zu Allgemeinbegriffen, die Ausdruck von gewissen Gesetzmäßigkeiten sind. Mit dieser Subsumtion unter allgemeine Begriffe kommt schon in die reine Induktion ein *deduktives* Moment. Sie könnte gar nicht vom Besonderen zum Allgemeinen fortschreiten ohne die Voraussetzung einer allgemeinen inneren Gesetzmäßigkeit. In dieser logischen Voraussetzung des Allgemeinen liegt nach BR. BAUCH das deduktive Moment der generalisierenden Induktion. Die Ordnungsvoraussetzung, die Voraussetzung einer allgemeiner Gesetzmäßigkeit, ist eben eine der logischen Grundlagen jeglicher Naturerkenntnis, worauf wir noch zurückkommen.

Jedes induktive Verfahren ist nun stets mit einem einheitlich *analytisch-synthetischen Methodengefüge* gekoppelt. Bei der reinen Induktion müssen,

um von den besonderen Gegenständen der Erfahrung, die ja immer gesetzlich zusammengesetzte sind, also von besonderen Körpern zu allgemeinen Begriffen, von besonderen Vorgängen zu allgemeinen Gesetzen zu gelangen, die einzelnen Körper und Vorgänge zunächst in Glieder und einzelne Teile zerlegt werden, da nur nach vorausgegangener Analyse in der darauffolgenden Synthese der Begriff des Subsumtionsallgemeinen zu gewinnen ist. Zwar tritt bei beginnender Forschung die Analyse zunächst stark in den Vordergrund, da die Erkenntnis zunächst durch Analyse zur richtigen Beschreibung und Kennzeichnung der Sachverhalte, zur Herausstellung der Wesenszüge, zu den richtigen Problemstellungen gelangen muß. Am Anfang wissenschaftlicher Erkenntnis eines Gebietes stehen daher immer Ordnungs- und Klassifikationsbegriffe (UNGERER). Solche Klassifikationsbegriffe führen zunächst nur zur Aufstellung von mehr oder minder wahrscheinlichen Regeln, enden aber schließlich immer in kausalen Betrachtungen und kausalen Problemstellungen. Die so gewonnenen Begriffe, wozu z. B. alle Begriffe der Systematik und der vergleichenden Morphologie in der Biologie, aber auch die Systematik der Chemie (einschließlich der ursprünglichen Aufstellung des periodischen Systems der Elemente), die ursprünglich geometrische Systematik der Kristallographie und auch klassifikatorische Begriffe der Physik (wie die Balmer-Formeln der Spektroskopie) gehören, sind nicht nur bequeme Ordnungsmittel zur Registrierung der Mannigfaltigkeit, sondern in ihnen wird trotz ihres vielfach provisorischen Charakters ein hoher Gehalt innerer Gesetzmäßigkeiten objektiv erfaßt, wenn ihnen auch zunächst keine konstitutiv kausale, keine erklärende Funktion zukommt. Daß sichere Erkenntnisse auf diese Weise gewonnen werden, zeigt nicht nur in der Physik ihre spätere kausale Aufklärung, wie z. B. die des periodischen Systems der Elemente durch die neuere Atomphysik, darüber besteht auch unter den Vertretern der „unreifen“ Biologie volle Einigkeit. So ist z. B. jeder Zoologe fest überzeugt, daß die Walfische keine Fische, sondern Säugetiere sind, die Lingualtulen oder Zungenwürmer keine Würmer, sondern Spinnen usw., und daß gewisse Schädelknochen der höheren Wirbeltiergruppen den Kiemenbögen der Fische entsprechen, ihnen homolog sind.

Die Sicherung und Geltung dieser induktiv gewonnenen Begriffe und Sätze fließt aus den mit dem induktiven Verfahren verknüpften Analysen. Bei stärkerer und gleichmäßigerer Beteiligung analytischen und synthetischen Verfahrens können aber bereits durch die Anwendung der reinen, generalisierenden Induktion richtige Erklärungen erzielt werden, wenn auch zunächst nur von hypothetischem Charakter. Aber nur nach genügend weit getriebener Analyse läßt sich das gesetzmäßige Gefüge eines besonderen Ganzen erfassen. Und dadurch bildet das analytisch synthetische Verfahren die logische Grundlage, die das induktive Fortschreiten vom Besonderen zum Allgemeinen ermöglicht. Auf ihm beruht die erkenntnistiftende Funktion des induktiven Schlusses.

Durch die doppelte Koppelung des induktiv-deduktiven Methodengefüges mit dem analytisch-synthetischen Verfahren kann schon die reine, die generalisierende Induktion, wenn auch erst in einem fortgeschrittenen

Stadium der Analyse und mit nicht endgültig gesichertem Ergebnis, wirklich kausale Erklärungen der gesetzmäßigen Zusammenhänge von Naturerscheinungen vermitteln. In noch höherem Maße und dabei nun mit weit sicherem Ergebnis wird das bei der *exakten Induktion* sichtbar, weil hier die vier Einzelglieder des Methodenzusammenhanges noch fester und in strengerer Beziehung miteinander verbunden sind. Zunächst wird auch hier ein Besonderes-Ganzes, sei es ein statisches Gebilde oder ein dynamischer Vorgang, als ein Ganzes, ein System, dessen Begriff schon ein zusammengesetztes Synthetisches, ein Induktionsallgemeines voraussetzt, durch Analyse in Teile zerlegt, dann synthetisch zu gesetzmäßigem Ganzen konstruiert, zum Subsumtionsallgemeinen fortgeschritten, das Gesetz des Ganzheitsaufbaues des Systemgefüges hypothetisch formuliert, also genau wie auf der höchsten Stufe der generalisierenden Induktion. Aber nun kommt noch ein Neues hinzu; denn jetzt wird wiederum deduktiv und zugleich analytisch-synthetisch vom Allgemeinen, vom hypothetisch angenommenen, allgemeinen Gesetz ein neues Besonderes, ein neuer spezifischer Fall abgeleitet, und zwar unter eingeschränkten, vereinfachten Bedingungen. Dieser konstruierte Einzelfall, das neue Besondere-Ganze, wird durch das Experiment unter Beweis gestellt, worauf nun in rücklaufender Bewegung das zunächst hypothetisch angenommene Allgemeine als allgemeines Gesetz bewiesen und als die gesetzliche Konstitution aller besonderen Ganzheiten der gleichen Art dargetan wird.

Wohl kann je nach dem Stande der wissenschaftlichen Frage und der Einstellung eines Forschers bei dem wissenschaftlichen Verfahren bald die induktive, bald die deduktive Etappe im Vordergrund stehen oder bald mehr das analytische Verfahren, bald das synthetische vorherrschen, so daß in einem Falle der Eindruck rein analytischer Forschung, im anderen der synthetischer erweckt werden kann. Stärkste erkenntnisstiftende Funktion und damit höchste wissenschaftliche Leistung findet sich aber nur dort, wo dieses vierfache Methodengefüge in strenger Gebundenheit und zugleich voller gegenseitiger Ausgeglichenheit zur Wirksamkeit gelangt, wie es an dem klassischen Beispiel der Ermittlung des Fallgesetzes von GALILEI methodologisch so klar erkennbar ist.

Die exakte Induktion in der Physik trachtet nun seit GALILEI nicht nur danach, die einzelnen Vorgänge kausalgesetzlich zu erklären und in allgemeinen Gesetzen das Naturgeschehen zur Darstellung zu bringen, sondern sie will zugleich alle kausal-funktionalen Beziehungen quantitativ mathematisch erfassen, d. h. alle qualitativen Elemente der Darstellung und Beschreibung durch quantitative, auf Messung beruhende mathematische Angaben ersetzen. Dieser Gedanke, den GALILEI zugleich mit der Entdeckung der exakten Induktion in die Physik einführte, hat sich als ungemein fruchtbar erwiesen und seine Fruchtbarkeit in der dreihundertjährigen Geschichte der Physik in steigendem Maße bewährt. Die Voraussetzung von einer mathematischen Fassung der Kausalzusammenhänge sind *Messungen*, wodurch die qualitativen Erscheinungen quantitativ zahlenmäßig dargestellt werden. Die Messungen sind zugleich das Mittel,

durch das unseren Aussagen über die Natur gegenüber den stets Unzulänglichkeiten, ja Irrtümern ausgesetzten Wahrnehmungen „objektive“ Gültigkeit verliehen wird, indem der gleiche phänomenale Beziehungszusammenhang durch verschiedene Meßmethoden festgestellt, d. h. durch verschiedene Sinnesorgane kontrolliert werden kann und lediglich auf Raum-Zeit-Koinzidenzen zurückgeführt wird. In der heutigen Physik gelten daher nur Angaben, die durch Messung festgestellt und kontrolliert werden können.

Gewiß ist dieses Verfahren der Hauptgrund der großartigen, folgerichtigen Entwicklung der Physik; doch hat es andererseits zu einer Überspitzung des apriorischen Kausalgedankens geführt, indem die klassische Physik einen Kausalbegriff allgemein verwendete, der mehr als die apriorische Setzung enthält, nämlich zugleich inhaltlich objektive Momente. Das ist der Fall, wenn, wie das in der klassischen Physik allgemein geschehen ist, der Kausalsatz gleichgesetzt wird der *genauen Vorausberechenbarkeit* und *Voraussagbarkeit* der Vorgänge. Letztere ist jedoch wegen des allgemeinen Kausalzusammenhanges der Gesamtnatur, auf den wir noch zu sprechen kommen, unmöglich. Und so ist es nicht erstaunlich, daß es in der Quantenphysik zu einer Krisis der Kausalität gekommen ist, auf die im physikalischen Teil noch genauer eingegangen wird.

Unter dem Eindruck der großen Erfolge und der Exaktheit der messenden Methode und dem Einfluß dieses überspitzten Kausalbegriffes wurde in der Physik vielfach vergessen, daß auch zwischen nicht quantitativ meßbaren Erscheinungen kausal-funktionale Zusammenhänge durch die Forschung aufgedeckt, kausal-funktionale Erklärungen gegeben werden können. Und wenn solche rein qualitativ kausalen Experimente in der heutigen Physik auch nicht mehr die große Bedeutung haben wie in früheren Zeiten, so können sie doch auch heute noch nicht ganz entbehrt werden und spielen auch heute in der experimentell-physikalischen Forscherarbeit eine Rolle. In jungen, weniger „reifen“ Wissenschaften wie der Biologie hat aber die Kausalforschung und die durch sie ermittelten Gesetzmäßigkeiten zur Zeit fast ausschließlich<sup>1</sup> das Gepräge solcher rein qualitativen Kausalaussagen, und die dabei verwendeten Messungen, die auch auf diesem Gebiete nach Möglichkeit erstrebt werden, spielen für die Ermittlung der eigentlichen Gesetze eine geringe Rolle. So ist es in der Entwicklungsphysiologie, in der Sexualtheorie, aber auch in der experimentellen Vererbungslehre. Die MENDELSchen Gesetze sind zwar auf bestimmten Zählungen beruhende, statistische Wahrscheinlichkeitsgesetze, aber sie finden ihre strenge kausal-gesetzliche Erklärung durch den Nachweis, daß die zahlenmäßige Mendelspaltung und Umkombination durch das Verhalten der Chromosomen bei der Reduktionsteilung und Befruchtung zustande kommen. Das sind aber kausale Beziehungen, die nur qualitativ phänomenologisch dargestellt werden können.

Hier ist der Ort, kurz auf die viel erörterte Streitfrage einzugehen, ob es die Aufgabe der Physik sei, nur zu beschreiben oder auch zu erklären.

<sup>1</sup> Eine Ausnahme machen nur manche Gesetzmäßigkeiten der Physiologie des Stoffwechsels.

Positivistisch eingestellte Physiker lehnen bekanntlich eine *Erklärung* der physikalischen Vorgänge ab und nehmen im Anschluß an ein bekanntes Wort von KIRCHHOF an, die Aufgabe der Physik bestände nur darin, „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen zu beschreiben, und zwar vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben“. Beschreiben ist jedoch von KIRCHHOF nicht einmal in dem oben bezeichneten Sinne von Kennzeichnung des Wesentlichen gemeint, geschweige denn im Sinne einer einfachen Registrierung von Sachverhalten. Die wesentlichste Aufgabe der Physik besteht doch in dem Nachweis von gesetzlich funktionalen Zusammenhängen und der Zurückführung von Besonderem auf Allgemeines. Und das nennt man eben *Erklärung*. EINSTEINs Relativitätstheorie liefert keine einfachere Beschreibung als die NEWTONsche Mechanik, sondern eine allgemeinere, daher richtigere Erklärung und daß sie denk-ökonomischer im Sinne MACHs wäre, kann man wohl auch nicht behaupten. Stellt sie doch geradezu erhöhte Ansprüche an das menschliche Denkvermögen. Aber sie ist umfassender und allgemeiner und darum richtiger und besser als die früheren Theorien. Und so ist es bei allen Fortschritten der theoretischen Physik. Die Aufgabe der Physik ist es trotz allem, Erklärungen zu geben; denn Konstruktion von gesetzmäßigen Zusammenhängen heißt eben *erklären*. Beschreiben im eigentlichen Sinne hat auch KIRCHHOF, wie schon betont, nicht gemeint. Und wenn KIRCHHOF sagt, daß das Ziel einer vollständigen Beschreibung auf einfachste Weise das sei, „durch rein mathematische Betrachtungen zu den allgemeinen Gleichungen der Mechanik zu gelangen“, so gibt er mit diesem Satze selbst zu, daß er mit seinem einfachen Beschreiben in Wirklichkeit Erklären gemeint hat; denn die Aufstellung allgemeiner Gleichungen ist keine einfache Beschreibung von Wahrnehmungen. „Nicht die Ausschaltung des Strebens nach Erklärung, sondern die Forderung einer wissenschaftlichen Analyse und Rechtfertigung der Begriffe ist es, was die These von der Beschreibung in sich schließt“ (HÖNIGSWALD, S. 88).

Auf Grund der bisher erörterten apriorischen Grundlagen und Methoden stellt sich die Aufgabe der Naturwissenschaft als eine zweifache dar:

1. durch an der Wahrnehmung prüfbare Erfahrung die Erscheinungen und Vorgänge in den verschiedenen Gebieten der Natur zu *kennzeichnen*, zu *beschreiben* und die so gekennzeichneten Erscheinungen und Vorgänge in ein System von Begriffen zu bringen, die eine den Gegenständen immanente Ordnung und Gesetzmäßigkeit klassifikatorisch zum Ausdruck bringen;
2. weiterhin zur Aufstellung und Konstruktion von Naturgesetzen zu gelangen, durch die sich aus gegebenen Zuständen künftige vorausbestimmen lassen.

Beide Aufgaben sind nicht streng getrennt, sondern greifen stets ineinander über. Aber in den verschiedenen Wissenschaften und verschiedenen Wissenschaftszweigen kann die eine oder andere so stark vorherrschen, daß fast nur eine der beiden vorzuliegen scheint. So ist in der heutigen Physik meist nur noch von der zweiten Aufgabe die Rede, während in der Biologie es bis vor kurzem umgekehrt war, indem bis dahin fast

nur die klassifikatorische Begriffsbildung das Feld beherrscht hatte. Doch tritt auch in der Biologie das zweite Ziel in steigendem Maße in Erscheinung. Und wie in der Biologie so ist es in allen übrigen speziellen Naturwissenschaften, die bestimmte nichtlebende Naturkörper zum Gegenstand haben, und die man im Gegensatz zur Physik als der rein nomothetischen gesetzeswissenschaftlichen Grunddisziplin als die *idiographischen* oder *systematischen Naturwissenschaften* bezeichnen kann. Denn die Aufgabe dieser Wissenschaften ist es, einzelne, mehr oder minder begrenzte, ausgedehnte Geschehen von einmaliger, in der Zeit begrenzter Wirklichkeit zu voller und erschöpfender Darstellung zu bringen (DRIESCH) und zugleich diese individualisierten spezifischen Naturkörper und Vorgänge zu klassifizieren, in ein ordnungschaffendes System einzureihen. So ist es in der Astronomie und Geographie, in Chemie und Kristallographie und jeder speziellen anorganischen Naturwissenschaft. Da aber das Ziel aller Naturwissenschaften letzten Endes nicht nur eine Beschreibung und Ordnung, nicht eine Katalogisierung, sondern *eine Rationalisierung der Erscheinungswelt* ist, so müssen diese klassifikatorischen Systembegriffe letzten Endes natürlich ebenfalls rein rationalen Charakter besitzen. Das Erstaunliche ist, daß in diesen zunächst rein ordnungstiftenden klassifikatorischen Begriffen der Erscheinungswelt (wenn die Forschung dabei richtig vorgegangen war, d. h. die Wesenszüge bei der Kennzeichnung herausgestellt hatte) sich eine zugrunde liegende immanente Gesetzlichkeit wieder spiegelt, wie die nomothetisch, gesetzliche Aufklärung eines Teiles dieser Systeme, wie des periodischen Systems der Elemente, des geometrischen Systems der Kristalle, der BALMER-Serien usw. durch die neuere Entwicklung der Physik gezeigt hat.

Das letzte Ziel aller Naturwissenschaften wäre die totale Erkenntnis der gesamten funktional(kausal)-gesetzlichen Zusammenhänge der einzelnen Systeme, und da alle Systeme untereinander wieder gesetzlich-funktional zusammenhängend vorausgesetzt werden müssen, der Gesamtnatur. Dieses Ziel ist natürlich nicht nur für die Gesamtnatur, sondern auch für jedes einzelne System oder jeden engeren Systemzusammenhang nicht restlos möglich. Es ist die nie erreichbare, unendliche Aufgabe. Aber die Möglichkeit einer totalen Erkenntnis des rationalisierbaren Teiles der Welt, die Voraussetzung eines totalen, alles umfassenden Gesetzeszusammenhanges, die Voraussetzung „*der Begreiflichkeit der Natur*“ (HELMHOLTZ) ist eben die Voraussetzung der Naturforschung überhaupt, eine Voraussetzung, auf die schon bei der Besprechung der generalisierenden Induktion hingewiesen wurde. Diese Verallgemeinerung ist nicht erschlossen und unbeweisbar, und das führt uns noch auf eine letzte Frage.

Außer den apriorischen Voraussetzungen macht die Naturwissenschaft noch weitere, mit der Logik nicht beweisbare Annahmen, die im Gegensatz zu den apriorischen als *metaphysische Voraussetzungen* bezeichnet werden können. Die wesentlichste ist die *Annahme der Existenz einer realen Außenwelt*, von der wir allerdings nur durch die sinnliche Wahrnehmung Kenntnis erhalten können. Die in dieses Problem hineinspielende, rein

philosophische Frage des Verhältnisses von Subjekt und Objekt, von idealistischer und realistischer Auffassung, sowie die Frage der philosophischen Begründung der Annahme einer realen Außenwelt kann hier unerörtert bleiben<sup>1</sup>. Denn die naturwissenschaftliche Arbeit wird durch diese Frage nicht berührt, und die Einzelwissenschaften haben sich daher auch nie um die Begründung dieses Sprunges ins Metaphysische bekümmert, und „sie haben wohl daran getan, denn erstens wären sie sonst sicher nicht so schnell vorwärts gekommen, und zweitens, was grundsätzlich noch wichtiger ist, haben sie niemals eine Widerlegung zu befürchten, da ja diese Fragen durch Vernunftschlüsse gar nicht entschieden werden“ (PLANCK 1933, S. 107).

Eine weitere metaphysische Voraussetzung ist die obige Annahme, daß die reale Außenwelt durchgängig gesetzlich konstruiert ist, daß ein *allgemeiner kausalgesetzlicher Zusammenhang* in ihr besteht, *dem unsere Erkenntnismittel adäquat angepaßt sind*, und demzufolge es möglich ist, mit letzteren die Außenwelt kausal zu erfassen. Es ist die bereits oben genannte *unbeweisbare Voraussetzung der „Begreiflichkeit der Natur“* (HELMHOLTZ), „*der Ordnungsvoraussetzung der Naturwirklichkeit*“ (UNGERER), der „*Gleichförmigkeit der Natur*“ (J. ST. MILL), der *Planmäßigkeit* (V. UEXKÜLL), oder wie man es sonst nennen mag. Es handelt sich gewissermaßen hierbei um eine metaphysisch übersteigerte, nicht mehr rein formal apriorisch gemeinte, sondern mit objektivem Inhalt behaftete *Ausweitung des Kausalgedankens*. Die Kategorie der Kausalität oder Gesetzlichkeit an sich ist ja nur Denkmittel, Form für die Herstellung und Verknüpfung der funktional-kausalen Zusammenhänge bei der Forschung. Die totale Erkenntnis der gesamten kausalen Zusammenhänge eines Systems ist aber selbstverständlich für die Wissenschaft nicht möglich. Trotzdem nehmen wir einen objektiven durchgehenden KausalnexuS, der jedes Glied mit der gesamten Natur verbindet, an; denn die Möglichkeit einer Totalerkenntnis des rationalen Teils des Seins, die Voraussetzung eines totalen allesumfassenden Kausalzusammenhangs ist eben die Voraussetzung jeder Naturforschung überhaupt.

Dieser Gedanke, daß die Naturwirklichkeit, soweit sie erkennbar ist, einen kausalgesetzlichen Aufbau hat, ist im Grunde das gleiche wie das, was KANT als die allgemeine *formale Zweckmäßigkeit* der Natur in seiner Kritik der Urteilskraft bezeichnet hat. Nach KANT ist sie nicht wie die Kategorien ein *konstitutives Prinzip* der Naturerkenntnis, sondern ein *regulatives, heuristisches*, sagen wir ruhig, ein *metaphysisches*, ohne das die Naturforschung eben nicht auskommen kann. Aber die Naturwissenschaft selbst zeigt uns ja die erstaunliche Tatsache, daß die *Gegenstände* und *Vorgänge der realen objektiven Außenwelt* und die — auf der so unsicheren Basis unserer sinnlichen Wahrnehmungen durch unser kategoriales Denken aufgebaute — *Naturerkenntnis* zusammenstimmen, und wir erleben das

<sup>1</sup> Eingehend ist dieser Standpunkt in NIK. HARTMANN'S Metaphysik der Erkenntnis (2. Aufl. Berlin 1925) begründet. Siehe auch BAVINK: Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften (5. Aufl., Leipzig 1933).

Wunder, daß sowohl unsere im Anfangsstadium wissenschaftlicher Forschung durch generalisierende Induktion gebildeten Klassifikationsbegriffe wie die rein abstrakt mathematischen Gesetzesformeln der reifsten theoretischen Physik uns eine irgendwie „objektive“ Erkenntnis der Naturwirklichkeit übermitteln, *das Wunder der Harmonie zwischen der Welt und unserem Denken*, resp. das Zusammenstimmen der Außenwelt mit den durch unser Denken zustande gekommenen Begriffen, ja sogar mit der höchsten abstrakten Form unseres Denkens, der reinen Mathematik.

## II. Philosophie der Physik.

„In allem Wechsel der Anschauungen sind und bleiben die Theorien aprioristisch aufgebaut, auch da, wo sie bewußt von Erfahrungstatsachen ausgehen. Sie wissen nur meist nicht, wie sehr sie es sind. Das Apriorische ist eben ein Wesensbestandstück in aller und jeder Erkenntnis; es ist selten irgendwo ‚rein‘, besteht fast nirgends inhaltlich für sich, aber es fehlt auch nirgends ganz. Es ist den Sinnen gegenüber das höhere Element, das zwar keine Tatsachen gibt, dafür aber alles tiefere Eindringen, alles Verstehen und Begreifen allererst zuwege bringt.“ NIK. HARTMANN, *Das Problem des Apriorismus in der Platonischen Philosophie*, S. 224.

### a) Raum und Zeit (Relativitätstheorie).

Die Relativitätstheorie hat die Jahrhunderte lang als Grundlage der Mechanik, ja der gesamten Physik angenommene Lehre NEWTONS vom *absoluten Raum* und der *absoluten Zeit* sowie die euklidische, dreidimensionale Beschaffenheit des Raums und der Naturwirklichkeit als nicht zutreffend erwiesen. Prinzipien, die auch nach KANT als apriorische Erkenntnisprinzipien aller Naturerkenntnis und aller Erfahrung festzustehen schienen, hatten sich als Denkgewohnheiten ohne physikalischen Sinn entpuppt bzw. wie die euklidische dreidimensionale Beschaffenheit der Welt nur als für *beschränkte Grenzfälle* geltend und nicht *allgemein* für die *Weltwirklichkeit*. Es ist verständlich, daß diese neuen Theorien, die über Raum- und Zeitmessung, über Gravitation und Energie, über Trägheit und Masse so viel Aufklärung brachten, nicht nur für die Physik, sondern nicht minder für die Erkenntnistheorie von größter Bedeutung wurden.

Die klassische Physik hatte unbesehen die Lehre NEWTONS vom *absolut ruhenden Raum*, in dem alle Veränderungen und Vorgänge in der *absoluten Zeit* vor sich gehen, festgehalten. Zwar hatte noch LEIBNIZ starke Einwände gegen NEWTONS Lehre erhoben, und auch KANT hatte anfangs noch die erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten, die dieser Lehre entgegenstehen, gesehen. KANT war aber unter der Einwirkung der Autorität NEWTONS nicht zur vollen Klarheit gelangt, so daß in der transzendentalen Ästhetik seiner Kritik der reinen Vernunft seine eigenen apriorischen Gesichtspunkte hinsichtlich des Raumes und der Zeit nicht völlig klar erfaßt und herausgearbeitet sind.

Die optischen und elektromagnetischen Erscheinungen hatten zu der Annahme geführt, daß der absolute Raum vom ruhendem Lichtäther erfüllt sei. Alle übrigen Teile der Physik waren bis zum Beginn unseres Jahrhunderts teils von der Mechanik (Akustik, Thermodynamik), teils von der Elektrodynamik (Optik, Chemie) erfaßt worden. Alle Versuche, die beiden übrig gebliebenen, großen Gebiete zu vereinigen, schlugen fehl, und die Folgerungen, von dem einen Gebiet die Erscheinungen des anderen theoretisch zu erfassen, führten zu Widersprüchen. Wenn die Erde sich im ruhenden Äther bewegt, dann mußte die Messung eines Lichtstrahles, der in der Richtung der Erdbewegung sich bewegt, eine andere, geringere Geschwindigkeit ergeben als die eines Lichtstrahles in der entgegengesetzten Richtung. Genaue Versuche von MICHELSON, die diese Unterschiede der Lichtgeschwindigkeit hätten erfassen müssen, fielen aber negativ aus. Die Lichtgeschwindigkeit ist vielmehr nach beiden Richtungen dieselbe. Dieses Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit steht nun im Widerspruch zur Relativität der Bewegung und Geschwindigkeiten, die in ihrem Wert vom Bewegungszustand des Beobachters abhängen. LORENTZ hatte zwar das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, das aus der Erfahrung sich ergab, mit der, wie sich durch den MICHELSONschen Versuch herausgestellt hat, experimentell nicht prüfbareren Ätherhypothese formal in Einklang bringen können durch eine weitere, nicht prüfbare Hilfhypothese (die sog. LORENTZ-Kontraktion). Aber diese Annahme von LORENTZ bedeutete nur die Erklärung einer unbeweisbaren Hypothese (Ätherhypothese) durch eine andere nicht beweisbare Hypothese (LORENTZ-Kontraktion), eine physikalisch nicht sehr befriedigende Situation.

Um aus dieser mißlichen Lage herauszukommen, schlug EINSTEIN einen völlig neuen, radikalen Weg ein, indem er die jahrhundertlang feststehende Annahme des *absoluten* Raumes, der *absoluten* Zeit und der *absoluten* Bewegung<sup>1</sup> und dazu noch die *Ätherhypothese* preisgab, und umgekehrt die durch die Erfahrung gesicherten, der Messung zugänglichen Daten, die *Konstanz der Lichtgeschwindigkeit* und die *Relativität aller Bewegung* zum sicheren Ausgang der physikalischen Begriffe und Theorien machte.

Von diesen Grundlagen aus kam EINSTEIN zunächst zur speziellen, sodann zur allgemeinen Relativitätstheorie, die eine Reihe von physikalischen Begriffen in ganz neuem Lichte erscheinen lassen und zu Folgerungen führten, die von dem bisher Angenommenen so abwichen, daß die Theorie von vielen Physikern und Philosophen als höchst revolutionär und paradox angesehen und abgelehnt wurde. Es kann hier nicht eine Darstellung der neuen Lehren gegeben werden, sondern ich muß mich begnügen, einige der wesentlichen Ergebnisse hervorzuheben, so weit sie erkenntnistheoretisch von Bedeutung sind.

---

<sup>1</sup> MACH hatte bereits im 19. Jahrhundert die Lehren vom absoluten Raum, der absoluten Zeit und absoluten Bewegung einer eingehenden Kritik unterzogen und so EINSTEIN vorgearbeitet.

Einen absoluten Raum und eine absolute Zeit gibt es nach der neuen Lehre nicht in der Physik als Erfahrungswissenschaft. Da es kein absolutes Zeitmaß und kein absolutes Raummaß gibt, gibt es auch keine vom Bewegungszustand unabhängige Gleichzeitigkeit in verschiedenen Raumpunkten und keine absolute Bewegung, da beide nur unter der Voraussetzung eines Ruhesystems einen Sinn haben. Nach Gleichzeitigkeit an verschiedenen Orten zu fragen, ist sinnlos, da sie von der Relativität betroffen wird. Ein Ereignis kann nie durch Zeitangaben allein, sondern durch *Zeit- und Ortangaben*, im ganzen *durch vier unabhängige Bestimmungen* festgelegt werden. Es gibt eben nur eine *unlösliche Verbindung räumlicher und zeitlicher Bestimmungen*.

Durch eine neue Interpretation der Gleichheit von träger und schwerer Masse, die durch experimentelle Erfahrungen bereits festgestellt war, gelangte EINSTEIN auch zu einer Relativierung der Gravitation und zeigte ihre Abhängigkeit vom Bezugssystem. In der vierdimensionalen gekrümmten Welt wird die Gravitation selbst nur zum Ausdruck eines räumlich-zeitlichen Zusammenhanges der Dinge. Dadurch wird der Ausschluß der Fernwirkung der Gravitation aus der Mechanik möglich, die schon NEWTON selbst bei ihrer Aufstellung als einen störenden Fremdkörper im Begriffssystem der Physik empfunden hatte, ein Fremdkörper, der nur wegen seiner erfolgreichen Anwendbarkeit und bisherigen Unersetzbarkeit so anstandslos in der Physik bisher hingenommen bzw. geduldet worden war.

EINSTEIN fand in der RIEMANNschen vierdimensionalen Geometrie auch das mathematische Instrument, um die neue Theorie streng mathematisch fassen zu können. Die allgemeinen Gesetze, die für die physikalische Wirklichkeit, die physikalische *Raum-Zeit* gelten, können nur mit dieser vierdimensionalen Geometrie mathematisch formuliert werden, wobei unter den vier Koordinaten der „gekrümmten“ Welt die Zeitkoordinaten nicht gegenüber den drei Raumkoordinaten ausgezeichnet sind. Der dreidimensionale euklidische Raum, dessen Allgemeingültigkeit für die wirkliche Welt, den wirklichen Raum auch KANT für apriorisch gesichert hielt, entspricht nicht der wirklichen Welt. Die allgemeine Weltformel geht aus der RIEMANNschen vierdimensionalen Formel nur *im Grenzfall* in die euklidische Geometrie über.

Daß die Welt nicht dreidimensional aufgebaut ist, daß für sie die euklidische Geometrie nicht gilt, ist ein Ergebnis, das nicht nur dem naiven Menschenverstand zunächst höchst paradox und unmöglich erscheint. Allein dieses Ergebnis ist nur die folgerichtige Entwicklung der physikalischen Methode und Theorienbildung, deren Ziel es ist, den Anthropomorphismus des natürlichen sinnlichen Weltbildes zu überwinden. „Derartige Gedankengänge“, sagt PLANCK, „sind gewiß eine harte Zumutung für unser Vorstellungsvermögen, aber das geforderte Opfer an Anschaulichkeit erweist sich als verschwindend geringfügig gegen die unschätzbaren Vorteile einer großartigen Verallgemeinerung, einer Vereinfachung des physikalischen Weltbildes.“ Das Ergebnis der allgemeinen Relativitätstheorie ist eben dies, daß dadurch dem Raum der

letzte Rest „physikalischer Gegenständlichkeit“ genommen wird. Bei der unlösbaren Verknüpfung von Raum, Zeit und physisch-realem Gegenstand sind nur verschiedene Maßverhältnisse innerhalb der physischen Mannigfaltigkeit aufweisbar, die allein in der Symbolik der vierdimensionalen nichteuklidischen Geometrie ihren exakten mathematischen Ausdruck finden.

Wenn wir nun dazu übergehen, nach der philosophischen und erkenntnistheoretischen Bedeutung der Ergebnisse der Relativitätstheorie zu fragen, so ist zunächst der Versuch mancher Positivisten, die Relativitätstheorie gewissermaßen als Krönung und Frucht der positivistischen Philosophie hinzustellen (PETZOLD), ja geradezu den wissenschaftlichen Beweis für die Richtigkeit ihrer Philosophie darin zu erblicken, völlig abzuweisen. Die Ergebnisse der Relativitätstheorie können wie alle einzelwissenschaftlichen Ergebnisse, weder Beweise *für* noch *gegen* eine positivistische Philosophie erbringen (und das gilt auch für jede sonstige philosophische Lehre). Die Relativierung der Raum-Zeit-Messung bedeutet keine Relativierung der Erkenntnis. Ja die Relativitätstheorie hat trotz ihres Namens auch im Physikalischen, auf das sie sich ja allein bezieht, unsere Kenntnis nicht relativiert, das Absolute nicht aus der Welt geschafft, „sondern es ist nur weiter rückwärts verlegt worden, und zwar in die Metrik der vierdimensionalen Mannigfaltigkeit, welche daraus entsteht, daß Raum und Zeit mittels der Lichtgeschwindigkeit zu einem einheitlichen Kontinuum zusammengeschweißt werden. Diese Metrik stellt etwas von jeglicher Willkür abgelöstes Selbständiges und daher Absolutes dar“. (PLANCK 33, S. 145.) „Wahrhaft invariant sind niemals irgendwelche Dinge, sondern immer nur gewisse Grundbeziehungen und funktionale Abhängigkeiten, die wir in der symbolischen Sprache unserer Mathematik und Physik in bestimmten Gleichungen festhalten“ (CASSIRER S. 40).

Noch abwegiger ist es natürlich, wenn vom philosophischen Standpunkt aus Einwände gegen die Ergebnisse der Relativitätstheorie erhoben werden oder sie aus philosophischem Grunde sogar vollkommen verworfen wird. Das bedeutet einen Übergriff der Philosophie in Gebiete, in denen ihr kein Recht zusteht, und in denen nur die Einzelwissenschaften selbst die Entscheidung zu treffen haben. Es ist übrigens bezeichnend für derartige Übergriffe, daß sie von den verschiedensten philosophischen Schulen aus unternommen wurden, nicht nur von kantisch-orientierten, sondern auch von positivistisch und ontologisch eingestellten Philosophen.

Dagegen ist nicht zu leugnen, daß mit der Relativitätstheorie gewisse erkenntnistheoretische Schwierigkeiten aufgetaucht sind, die weniger für den Positivismus als für den kantischen Apriorismus gelten. Es ist der Widerspruch zu KANTS Lehre von der *reinen Anschauung*, nach der Raum und Zeit apriorische Formen des Anschauens sind. Dieser Widerspruch läßt sich jedoch nicht durch die einfache Alternative erledigen, wie sie REICHENBACH aufgestellt hat: „Entweder ist die KANTSche Philosophie oder die EINSTEINSche Theorie unrichtig“. Es kann sich vielmehr nur darum handeln, KANTS eigene zu enge, tatsächliche Auffassung des Apriorischen in seiner transzendentalen Ästhetik (die, wie schon früher

hervorgehoben, stark durch die NEWTONSche Physik beeinflusst war, so daß KANT selbst nicht zu voller Klarheit gekommen war) im Sinne seiner eigenen apriorischen Prinzipien zu modifizieren und zu reinigen. Führt man dies durch, dann ist KANTs Apriorismus von Raum und Zeit (als apriorische Prinzipien der Erkenntnis) mit der Relativitätstheorie nicht nur verträglich, sondern diese empfängt gerade hieraus ihre beste Rechtfertigung. Das haben von neukantianischer Seite CASSIRER und ELSBACH (weniger überzeugend SELLIEN), von einem mehr realistischen, aber am KANTSchen Apriorismus festhaltenden Standpunkt WINTERNITZ überzeugend dargetan. Mit WINTERNITZ kann man zwar nicht irgendwelche speziellen Gesetze der Zeit- oder Raumordnung, wohl aber den allgemeinsten *Grundsatz der Zeitlichkeit und Räumlichkeit alles Wirklichen* als apriorische Voraussetzung der Naturwissenschaft ansprechen. Raum und Zeit gehen nur als das *unanschauliche apriorische Ordnungsschema* in die Physik ein. Auch der Physiker v. LAUE vertritt diesen Standpunkt, wenn er sagt: „Darin liegt gerade die Kühnheit und die hohe philosophische Bedeutung des EINSTEINSchen Gedankens, daß er mit dem hergebrachten Vorurteil einer für alle Systeme gültigen Zeit aufräumt. So gewaltig die Umwälzung auch ist, zu welcher er unser ganzes Denken zwingt, so liegt doch nicht die mindeste erkenntnistheoretische Schwierigkeit in ihm. Denn die Zeit ist wie der Raum in KANTs Ausdrucksweise eine reine Form unserer Anschauung, ein Schema, in welches wir die Ereignisse einordnen müssen, damit sie im Gegensatz zu subjektiven, in hohem Maße zufälligen Wahrnehmungen, objektive Bedeutung gewinnen. Diese Einordnung kann nur auf Grund der empirischen Kenntnis der Naturgesetze vollzogen werden.“ Daß, um zur logischen Allgemeinheit dieser Idee vorzuschreiten, manche vertrauten Bilder der Vorstellung geopfert werden müssen, kann nicht befremden; — „aber die reine Anschauung KANTS kann man hierdurch nur betroffen glauben, wenn man sie selbst als bloßes Bild mißversteht, statt sie als konstruktive Methode zu begreifen und zu würdigen.“ (CASSIRER S. 84.) Und in diesem Sinne sind, wie ich glaube, die scheinbaren Widersprüche zwischen den Ergebnissen der Relativitätstheorie und dem richtig verstandenen Apriorismus beseitigt. Nicht KANTs aprioristische Auffassung von Raum und Zeit ist durch die Relativitätstheorie widerlegt, sondern NEWTONs Lehre vom absoluten physikalischen Raum und der absoluten physikalischen Zeit.

Dagegen nötigt die EINSTEINSche Theorie zur Aufgabe der KANTSchen Lehre von der Geometrie und ihrer Grundlage für die empirische Wirklichkeit, die er in der transzendentalen Ästhetik durch die Lehre des Raumes als reine Anschauung bewiesen oder erklärt zu haben glaubte. Für KANT war die Geometrie und die empirische Wirklichkeit euklidisch. Daß für die Wirklichkeit, für die Physik nur die euklidische dreidimensionale Geometrie gültig sein könne, das stand für ihn fest, wie dies auch noch heute jedem Menschen als evident erscheint. Diese Evidenz von der „reinen“ Anschauung aus zu beweisen oder wenigstens zu erklären, unternahm er in der transzendentalen Ästhetik. Die EINSTEINSche Theorie ergab aber, daß diese Annahme nicht richtig ist. „Die durch Messung zu ermittelnden

geometrischen Eigenschaften der Körper, die Gesetze des „metrischen“ Feldes, sind genau solche physikalische, empirisch zu bestimmende Tatsachen wie etwa die elektrischen Eigenschaften und die Gesetze des elektrischen Feldes“ (WINTERNITZ S. 201). Hier müssen tatsächlich die gewohnten Bilder geopfert und auch mit der KANTSchen Lehre gebrochen werden, aber das bedeutet nur einen Bruch mit einer Lehre, die mit dem *Prinzip des KANTSchen a priori* selbst in Widerspruch steht; und dieser Bruch ist ganz im Sinne der folgerichtigen Entwicklung nicht nur der physikalischen, sondern auch der philosophischen Entwicklung der neueren Zeit. Schon der Neukantianismus hatte Kritik an der KANTSchen Auffassung von Raum und Zeit als Kategorien der *reinen Anschauung* geübt und darauf hingewiesen, daß reine Anschauungen nicht vom *reinen Denken* unterschieden werden können. Und nun zeigte sich, daß der anschaulich vorgestellte Raum von den anderen empirisch sinnlichen Anschauungen nichts wesentlich Verschiedenes ist, sondern immer nur ein Abklatsch des Gesichts- oder Tastraumes oder einer Mischung von beiden. Wohl kommen wir rein anschaulich um die Evidenz der Dreidimensionalität, der euklidischen Beschaffenheit dieses unseres Gesichts- oder Tastraumes nicht herum, aber das ist eben keine Evidenz für unser Denken, sondern für die Anschauung, und sie verliert daher wie jedes sinnlich Anschauliche ihren apriorischen Charakter und ihre apriorische Bedeutung. Für unsere Erfahrung und Erkenntnis bleibt eben nur die Apriorität von Raum und Zeit in dem oben bereits genannten Sinne als *unanschauliches Ordnungsschema* erhalten.

### b) Kausalität (Quantenphysik).

Die Relativitätstheorie war infolge ihrer vielfachen Umformungen des Bedeutungsinhaltes eingewurzelter physikalischer Begriffe als revolutionär empfunden worden. In Wirklichkeit bedeutet sie aber nur eine Modifikation der alten klassischen Physik, ja in vieler Hinsicht geradezu ihre Vollendung und Krönung. Die Einführung der *Quantenhypothese* dagegen, die PLANCK mit der Aufstellung des elementaren Wirkungsquantums begründet hatte, führte geradezu zu einer Durchbrechung der klassischen Physik. Während in der ganzen bisherigen Physik das Kontinuitätsprinzip als die allgemeine Grundlage allen physikalischen Geschehens galt, trat mit der Aufstellung des PLANCKschen Wirkungsquantums zum erstenmal die Behauptung auf, daß das Geschehen der Welt *diskontinuierlich* sich abspielt. Sie besagt, daß bei der Emission und Absorption von Strahlen (optischen und elektromagnetischen Wellen) die Energie von der Materie nur in ganzen, ungeteilten *Quanten* abgegeben und aufgenommen wird, wobei die Größe der Energiequanten ( $E$ ) proportional der Frequenz der Strahlung ( $\nu$ ) ist ( $E = h \times \nu$ ). Der Proportionalitätsfaktor, das PLANCKsche Wirkungsquantum  $h$ , hat sich als eine universelle Konstante erwiesen, die weit über den Bereich hinaus gilt, in dem sie PLANCK zuerst entdeckt hat. Die Quantentheorie erwies sich als ungemein fruchtbar und zeigte sich im weiteren Verlauf der Forschung auf vielen Gebieten der Physik (besonders bei vielen optischen, elektrischen und vor allem chemischen Gesetzmäßigkeiten) der

klassischen Physik gegenüber weit überlegen. Das Auftreten diskontinuierlicher Wirkungen in der Natur in so weiter Verbreitung war an sich zwar ungewohnt, aber nicht widerspruchsvoll, doch ergab sich ein unüberwindlicher Bruch mit der klassischen Physik, und dieser Bruch und Widerspruch läßt sich nicht beseitigen. Denn während sich in der Optik gewisse Vorgänge nur im Sinne der Quantentheorie (z. B. Emission und Absorption der Strahlung nur im Sinne der alten, seit langer Zeit aufgegebenen NEWTONSchen Emanationstheorie) unter Verwendung des korpuskulären Bildes darstellen ließen, blieb auf anderen Gebieten (vor allem bei den Interferenzerscheinungen) die Darstellung mittels der Quantentheorie unmöglich, ja, die Anwendung der Quantenphysik führte hier direkt zu falschen, den Erfahrungen widersprechenden Ergebnissen. Diese Erscheinungen lassen sich nur im Sinne der klassischen Physik unter dem Bilde der Wellenoptik gesetzlich fassen. Dieser anschauliche Widerspruch zwischen korpuskulärer und Wellenvorstellung gilt für die Mechanik genau so wie für die Optik. Daraus ergibt sich die für die Quantenphysik charakteristische HEISENBERGSche Unsicherheitsrelation, nach der die Messung der Geschwindigkeit eines Elektrons um so ungenauer ausfällt, je genauer man die räumliche Lage desselben mißt und umgekehrt.

Zwar gibt es in allen Teilen der Physik keine absolute Genauigkeit der Messungen und demnach auch keine absolute Vorhersage; aber die Messungen ließen sich doch überall wenigstens prinzipiell verfeinern und die Genauigkeit erhöhen, so daß theoretisch angenommen werden konnte, daß sie im Prinzip beliebig der absoluten Genauigkeitsgrenze angeglichen werden können. HEISENBERG zeigte jedoch, daß in der Mikrophysik, im atomaren Geschehen, im Gegensatz zur Makrophysik die Messung der Genauigkeit nicht beliebig verfeinert werden kann, sondern daß ihr hier durch das elementare Wirkungsquantum eine absolute objektive Grenze gesetzt ist.

Die Quantenhypothese hat ihre größte Fruchtbarkeit gerade in der Mikrophysik, auf dem Gebiete des atomaren Geschehens, erwiesen, auf dem Gebiet, auf dem die klassische Physik das so ungemein reichlich vorliegende Material experimenteller Ergebnisse nicht zu erklären vermochte. Das zeigte sich schon an dem ersten großen Ansatz, den NIELS BOHR durch seine Atomtheorie unternommen hatte. Dieselbe hat allerdings trotz ihrer großen Erfolge nicht ganz zum Ziele geführt, weil in ihr neben den Begriffen der Quantenphysik solche der klassischen Physik Verwendung fanden. Die Lösung erfolgte später gleichzeitig (unabhängig voneinander) durch HEISENBERGS Quantenmechanik und die SCHRÖDINGERSche Wellenmechanik. Während erstere unter Verzicht auf jegliches anschauliche Moment die Erscheinung in der Mikrophysik widerspruchlos durch die sog. Matrizenmathematik gesetzlich darzustellen vermochte, geschah dies in der SCHRÖDINGERSchen Wellenmechanik durch Verwendung wellenphysikalischer Anschauungen. Doch zeigte sich, daß beide Formulierungen mathematisch prinzipiell identisch sind. Durch die Ersetzung der korpuskulären Vorstellung der Elektronen und Photonen durch

Wellenpakete, die aber auch nur eine Art „*Ladungswolke*“ darstellen, wird der anschauliche Gegensatz zwischen korpuskulärer und Wellenvorstellung teilweise überwunden. Die experimentell festgestellten Ergebnisse der Mikrophysik lassen sich in dieser Theorie als eine einheitliche mathematische Gesetzlichkeit darstellen. Diese Gesetzlichkeit gilt jedoch nicht für die Vorgänge an einzelnen Elektronen und Photonen, sondern gibt nur für eine größere Summe solcher Elementarbestandteile das durchschnittliche Verhalten an. Unter Verzicht auf den strengen Determinismus, auf die genaue Feststellbarkeit des Einzelgeschehens wird aber das durchschnittliche Verhalten mathematisch erfaßbar und vorausberechenbar. Aber in dieser Wellenmechanik hat das Wort *Welle* keinen anschaulich, sinnlich vorstellbaren Charakter mehr, sondern ist nur Symbol für eine mathematisch formulierte Konstruktion. „Der Name *Welle*, so anschaulich und passend er gewählt ist, darf uns nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Bedeutung dieses Wortes in der Quantenphysik eine ganz andere ist als früher in der klassischen Physik. Dort bezeichnet eine *Welle* einen bestimmten physikalischen Vorgang, eine sinnlich wahrnehmbare Bewegung oder ein der direkten Messung zugängliches Wechselfeld. Hier bezeichnet sie nur gewissermaßen die Wahrscheinlichkeit für das Bestehen eines gewissen Zustandes“ (PLANCK 1933, S. 248).

Auch durch diese neueste Entwicklung der Quantentheorie ist der oben genannte Widerspruch zwischen Quantenphysik und klassischer Physik, der in dem Gegensatz von Korpuskel und *Welle* anschaulich entgegentrat, nicht überwunden. Jedenfalls bestehen noch allerhand unbeantwortete Fragen und Widersprüche. Es wäre auch mit der Möglichkeit zu rechnen, daß unsere Erkenntnis hier tatsächlich an eine irrationale Grenze stößt, was sich aber dann nicht sicher wird entscheiden lassen<sup>1</sup>. Andererseits ist damit zu rechnen, daß die rein symbolisch mathematische Deutung der Wellenmechanik, in der dem Begriff „*Welle*“ jede sinnlich anschauliche Bedeutung fehlt, tatsächlich den Beginn der Lösung des Problems bedeutet. Auch diese Lösung wäre ganz im Sinne der gesamten Entwicklung der Physik, d. h. der Ausschaltung alles Sinnlichen durch das konstruktive Denken, das hier eventuell eine widerspruchslose Lösung in abstrakter, symbolisch-mathematischer Sprache geben kann,

<sup>1</sup> Diese irrationale Grenze kommt auch in der BOHRschen *Komplementaritätslehre* zum Ausdruck. Wenn, wie das im atomaren Geschehen der Fall ist, das Meßergebnis durch den Meßvorgang beeinflußt wird, so werden nach BOHR die raum-zeitliche und die kausale Betrachtung komplementär; d. h. da Raum- und Zeitmessung vom Messungsvorgang abhängig ist, so ist eine eindeutige Definition des Zustandes des Systems nicht mehr möglich, und es könne daher nicht mehr von Kausalität im gewöhnlichen Sinne die Rede sein. „Nach dem Wesen der Quantentheorie müssen wir uns also damit begnügen, die Raum-Zeit-Darstellung und die Forderung der Kausalität, deren Vereinigung für die klassischen Theorien kennzeichnend ist, als komplementäre, aber einander ausschließende Züge der Beschreibung des Inhalts der Erfahrung aufzufassen, die die Idealisierung der Beobachtungsbzw. Definitionsmöglichkeiten symbolisieren.“ (N. BOHR, 1928, S. 245.) Die Komplementarität findet ihren Ausdruck in den beiden sich widersprechenden Theorien der Optik, der Wellentheorie und Emissions(Lichtquanten)-Theorie. Beide Theorien haben recht, wobei jedoch die Wellentheorie dem Bedürfnis nach raumzeitlicher Erfassung, die Quantentheorie dem nach kausaler Erfassung entspricht.

während die mit anschaulichen Elementen behaftete Fassung der Gesetzmäßigkeiten der Mikrophysik zu Widersprüchen führt. Eine Entscheidung dieser Frage wird wohl nur die weitere Klärung des Substanzproblems bringen können.

Die Entwicklung der modernen Quantenphysik hat teilweise zu noch weiter reichenden erkenntnistheoretischen Folgerungen geführt als die Relativitätstheorie. Nicht nur positivistisch und empiristisch eingestellte Philosophen, sondern auch einige der führenden Physiker selbst ziehen aus der HEISENBERGSchen Unsicherheitsrelation und dem rein statistischen Charakter der Wellenmechanik die Folgerung, daß die Grundlage der gesamten bisherigen Physik, die *allgemeine Gültigkeit des Kausalgesetzes, fallen gelassen werden müsse* und durch eine mehr lockere Gesetzlichkeit, eine wahrscheinlichkeitstheoretische, zu ersetzen sei. Das Kausalgesetz sei leer (BORN), seine Ungültigkeit definitiv festgestellt (HEISENBERG<sup>1</sup>). Es erhebt sich die Frage, ob diese weittragende erkenntnistheoretische Schlußfolgerung berechtigt ist.

Was zunächst die HEISENBERGSche Unsicherheitsrelation anlangt, so findet sie dadurch ihre Erklärung, daß die in der Makrophysik zwar nicht streng gültige, aber hier *zulässige Annahme*, daß der Messungsvorgang die Messungsergebnisse nicht beeinflußt und keinen kausalen Eingriff in den zu messenden Vorgang bedeutet, im Gebiet der Mikrophysik nicht zutrifft. Die genaue Bestimmung der Lage eines Elektrons ist mit einem so starken Eingriff in seinen Bewegungszustand verbunden, und umgekehrt die genaue Messung der Bewegungsgröße (Impuls) erfordert eine so lange Zeit, daß im ersten Fall die Geschwindigkeit des Elektrons gestört, im zweiten seine Lage im Raum verwischt wird. Das gibt, wie PLANCK u. a. richtig hervorgehoben haben, eine *Kausalerklärung der Ungenauigkeitsrelation*. Ja, man kann die Sache geradezu umdrehen und sagen, daß die HEISENBERGSche Unsicherheitsrelation durch die strenge Anwendung der Kausalität als apriorische Voraussetzung jeglicher wissenschaftlichen Erfahrung im Sinne KANTS erarbeitet worden ist. Die Sachlage ist ungefähr die gleiche wie beim Raum- und Zeitproblem. Die Kausalität im richtig verstandenen apriorischen Sinn ist die Voraussetzung jeglicher Naturerkenntnis; sie stellt die grundlegende Kategorie allen Naturerkennens dar. Das besagt nicht, daß die mit Hilfe dieser Voraussetzung ermittelten physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die nur in der Erfahrung durch Messungen feststellbar sind, immer streng determinierten Charakter tragen müssen. Die Einbeziehung dieses streng determinierten Charakters der Einzelgesetzlichkeit in den Begriff und die Definition der Kausalität bedeutet ja, wie wir schon früher gesehen haben, eine Übersteigerung des Kausalitätsgedankens als Kategorie, eine Belastung ihres kategorialen Charakters mit inhaltlichen Momenten. Selbst wenn die Aussage der Indeterministen zuträfe, daß mit der Feststellung einer nur statistischen Gesetzmäßigkeit in der Mikrophysik (als der Physik des Elementaren) damit im Prinzip der reine

<sup>1</sup> Die neueren Formulierungen von HEISENBERG sind dagegen so vorsichtig gefaßt, daß sie mit der allgemeinen Geltung der Kausalität als Kategorie, wie sie hier vertreten wird, gut in Einklang zu bringen sind.

statistische Charakter aller physikalischen Gesetzmäßigkeiten erwiesen sei, so bedeutet das keinen Widerspruch zur allgemeinen Gültigkeit des Kausalgesetzes. Denn auch die statistische Gesetzmäßigkeit der Mikrophysik ist durch die strengste Anwendung des Kausalsatzes in experimenteller und theoretischer Forschung erarbeitet worden<sup>1</sup>. Der Fehler liegt hier in der Gleichsetzung von strenger Determinierbarkeit und strenger Voraussagbarkeit des Einzelgeschehens mit der apriorischen Gültigkeit des Kausalsatzes<sup>2</sup>. Auch die reine Statistik und Wahrscheinlichkeit setzt ihrerseits wieder eine strenge, ihr zugrunde liegende Kausalgesetzlichkeit voraus. Die Wahrscheinlichkeit, daß beim Würfeln, bei genügend großer Zahl der Würfe, die 6 mit der Wahrscheinlichkeit von einem Sechstel herauskommt, setzt doch den homogenen Bau des Würfels und die gleiche Art des Würfeln als die bedingende Gesetzlichkeit voraus; und so ist es bei jeder Wahrscheinlichkeit und Statistik. So findet auch das statistische Gesetz, daß bei einer genügend großen Zahl von Nachkommen bei der  $F_2$ -Generation eines monohybriden Bastards zwischen einem roten und einem weißen Löwenmäulchen drei rote auf eine weiße Pflanze auftreten, dadurch seine kausale Erklärung, daß die Verteilung der Erbfaktoren durch die Reduktionsteilung und Befruchtung kausalgesetzlich geregelt ist und die Vererbung nach dem gesetzlich festliegenden Dominantentypus vor sich geht.

Wenn die Positivisten und Empiristen die Frage nach den der Statistik zugrunde liegenden Gesetzlichkeiten für sinnlos halten, weil sie zur Zeit durch direkte Erfahrungen (Messungen) nicht feststellbar seien, so setzen sie dem menschlichen Erkenntnistrieb künstliche Schranken „dadurch, daß sie von vornherein auf die Aufstellung bestimmter, für Einzelfälle gültiger Gesetze verzichten — ein Grad der Resignation, der so erstaunlich ist, daß man sich fragt, woher es denn kommt, daß der Indeterminismus gegenwärtig so viele Anhänger in sein Lager gezogen hat“ (PLANCK S. 258). Die Gefahr, daß durch eine solche Resignation die weitere Forschung

<sup>1</sup> So sagt PLANCK: „In dem Weltbilde der Quantenphysik herrscht der Determinismus ebenso streng wie in dem der klassischen Physik, nur sind die benutzten Symbole andere, und es wird mit anderen Rechenvorschriften operiert. Dementsprechend wird in der Quantenphysik ebenso wie früher in der klassischen Physik die Unsicherheit in der Voraussage von Ereignissen der Sinnenwelt reduziert auf die Unsicherheit des Zusammenhanges zwischen Weltbild und Sinnenwelt, d. h. auf die Unsicherheit der Übertragung der Symbole des Weltbildes auf die Sinnenwelt und umgekehrt“ (PLANCK S. 247). Auch andere hervorragende Physiker, wie EINSTEIN, V. LAUE, H. WEYL halten an der strengen Geltung des Kausalsatzes fest.

<sup>2</sup> *Anm. bei der Korrektur:* In prinzipiell gleicher Weise hat in einem während der Drucklegung erschienenen Vortrag BR. BAUCH (Zum Problem der Kausalität. Blätter für deutsche Philosophie, 1935. S. 125) den Fehler, der zur Krisis der Fassung und Formulierung der Kausalität geführt hat, herausgestellt. Wie hier von einer *Übersteigerung* und *Überspitzung* des Kausalitätsgedankens in der klassischen Physik, so spricht BAUCH von einer *Überbestimmtheit* der klassischen Formulierung der Kausalität. Auch GRETE HERMANN hat in einem soeben erschienenen Aufsatz in den Naturwissenschaften (S. 718) in klarer Weise auf diese verschiedene Verwendung des Begriffes Kausalität hingewiesen und gezeigt, daß die Quantenmechanik keineswegs das Kausalgesetz widerlegt hat; „aber sie hat es geklärt und von anderen Prinzipien befreit, die nicht notwendig mit ihm verbunden sind“ (S. 721.)

in der Physik eine Hemmung erfahren könnte, braucht allerdings nicht zu hoch angeschlagen zu werden. Liegt doch die Zeit nicht weit zurück, da auch die Atomtheorie von hervorragenden Physikern und Philosophen eine ähnliche Beurteilung erfuhr und abgelehnt wurde aus denselben Gesichtspunkten heraus, aus denen heute die strenge kausale Gesetzlichkeit abgelehnt sowie „die Frage nach der Wahrscheinlichkeit als letzte höchste Aufgabe“ hingestellt und „damit der Wahrscheinlichkeitsbegriff zur endgültigen Grundlage der ganzen Physik gemacht wird“. Die Benützung des Kausalbegriffs als grundlegendes Erkenntnisprinzip ist durch die jahrhundertlang gepflegte, saubere Methode GALILEI'S so fest mit der physikalischen Forschungsarbeit verwurzelt, daß die Physiker, bewußt oder unbewußt, gar nicht anders können, als bei ihren experimentellen und theoretischen Versuchen dieses Erkenntnisprinzip des kausal-funktionalen Denkens zur Anwendung zu bringen. Ist das kausal-funktionale Denken doch die Grundlage des exakt induktiven Verfahrens, dessen sich jeder Physiker bedient, und das nicht umsonst auch als kausal-analytisches Verfahren bezeichnet wird. Und selbst wenn Physiker und empiristisch eingestellte Philosophen den Verzicht auf die strenge Determiniertheit des Geschehens in der Mikrophysik (wie seinerzeit MACH und OSTWALD in der Physik den Verzicht auf die Atomtheorie) predigen und die rein statistische Struktur der Ordnung der Welt verkünden, werden andere Physiker sich nicht davon abhalten lassen, ihre ganze Bemühung auf die Feststellung streng determinierter Gesetzlichkeit zu richten, bis vielleicht eines Tages durch ein neues geniales Gedankenexperiment, eine neue Gedankenkonstruktion sich eine solche strenge Gesetzlichkeit auch im atomaren Gebiet trotz der absoluten direkten Meßunmöglichkeit wird aufstellen lassen und die heute unmeßbaren Vorgänge indirekt irgendwie der Messung zugänglich gemacht werden.

### c) Materie (Substanz).

Die Kategorien Raum, Zeit und Kausalität mußten infolge der Ergebnisse der neuesten Physik eine andere Fassung erhalten, eine Modifikation und Reinigung ihres Bedeutungsinhaltes war notwendig geworden, die jedoch den tiefsten Intentionen des Apriorismus entsprechen. Dem gegenüber hat die Umwandlung des Bedeutungsinhaltes des *Substanzbegriffes* sich langsam im Laufe der Entwicklung der Physik seit NEWTON und LEIBNIZ vollzogen. Das 17. und 18. Jahrhundert hielt zwar an der substantiellen Auffassung der Materie fest. Der Raum war für die Physik jener Zeit mit gleichgroßen kugligen Atomen erfüllt, welche sich nach den Gesetzen der Mechanik bewegen. Aber schon seit NEWTON ist eine dynamische Umwandlung des Substanzbegriffes im Gange, die bereits in LEIBNIZ einen extremen Verfechter fand. Die Physik des 19. Jahrhunderts hat die alte Substanzvorstellung immer weiter aufgelöst und in der verschiedensten Weise umzuprägen versucht (Energetik, Wirbelatome usw.), wie hier nicht näher ausgeführt werden soll. Nach WEYL schien es sich vor etwa 10 Jahren nur noch darum zu handeln, ob die Substanz durch eine reine *Feldtheorie* oder durch eine *dynamische Agentheorie* zu ersetzen

ist, in der „das Feld, sich selbst überlassen, in einem homogenen Ruhezustand verharrt und nur durch ein anderes, die Materie, den „Geist der Unruhe“ erregt wird“. „Die Materie ist *das felderregende Agens*, das Feld ein extensives Medium, das vermöge seiner in den Feldgesetzen zum Ausdruck kommenden Struktur die Wirkungen von Körper zu Körper überträgt“ (WEYL 1927, S. 133). Nach der reinen Feldtheorie der Materie ist „ein Materieteilchen wie das Elektron lediglich ein kleines Gebiet des elektrischen Feldes, in welchem die Feldstärke enorm hohe Werte annimmt, und wo demnach auf kleinstem Raum eine verhältnismäßig gewaltige Feldenergie konzentriert ist. Ein solcher Energiemittelpunkt, der gegen das übrige Feld keineswegs scharf abgegrenzt ist, pflanzt sich durch den leeren Raum nicht anders fort wie eine Wasserwelle über die Seeoberfläche fort; es gibt da nicht ein und dieselbe Substanz, aus der das Elektron zu allen Zeiten besteht. Wie die Geschwindigkeit einer Wasserwelle nicht substantielle, sondern Phasengeschwindigkeit ist, so handelt es sich bei der Geschwindigkeit, mit der sich ein Elektron bewegt, auch nur um die Geschwindigkeit eines ideellen, aus dem Feldverlauf konstruierten „Energiemittelpunktes“. Nach dieser Auffassung existiert nur eine einzige Sorte von Naturgesetzen: Feldgesetze jener durchsichtigen Art, wie sie MAXWELL für das elektromagnetische Feld aufstellte“ (WEYL 1927, S. 130).

Eine endgültige Entscheidung der von WEYL aufgestellten Alternative hat aber auch die neueste Entwicklung der Quantentheorie, die SCHRÖDINGERSche Wellenmechanik, nicht erbracht, so stark die Quantenphysik für die 1. Alternative spricht. Nach der Quantenphysik sind die letzten physikalischen Elemente (das im Wechsel der Erscheinung „Beharrende“) die allgemeinen physikalischen Konstanten, wie das PLANCKSche Wirkungsquantum und die Ladungsgröße des Elektrons, sowie die Erhaltungssätze. Wir stoßen hier wieder, wie in der Quantenphysik überhaupt, auf den Widerspruch von *Korpuskel* und *Welle*. Elektronen und Photonen sind ja nicht widerspruchsfrei in einer Sprache darstellbar, sie haben korpuskulären und Wellencharakter zugleich. Wenn die SCHRÖDINGERSche Wellenmechanik die diskrete Struktur kontinuierlich zu erklären sucht, so dient das Bild der Welle ja nicht, wie wir schon sahen, zur physikalischen Erklärung, sondern es bildet nur den Ausgang zur mathematischen Formulierung, zum mathematischen Symbol, das allein die widerspruchsfreie Darstellung ermöglicht. „Die neuen Theorien“, sagt DIRAC, „gründen sich auf physikalische Begriffe, die, wenn man von dem mathematischen Apparat absieht, sich nicht in Ausdrücken beschreiben lassen, die dem Studenten schon von früher her bekannt sind; ja sie lassen sich überhaupt nicht mit Worten völlig adäquat erklären.“ Das *Etwas*, das hinter dieser mathematischen Lösung steht, was sie real möglich macht, bleibt allein noch von dem alten Substanzbegriff übrig.

Die Auffassungen der neuzeitlichen Physik über Substanz und Materie haben in erkenntnistheoretischer Hinsicht nicht so revolutionär gewirkt wie die Relativitätstheorie und Quantentheorie hinsichtlich der Kategorien Raum, Zeit und Kausalität. Das rührt daher, daß die Auflockerung und

Auflösung des alten Substanzbegriffes schon lange Zeit in der Physik im Gange war. Auch KANT hat die Kategorie der Substanz bereits dynamisch verstanden, und die weitere Auflösung in eine dynamische Agens- oder Feldtheorie geht durch das ganze vorige Jahrhundert bis in die neueste Zeit. Auch das völlige Zusammenwachsen mit dem Kausalbegriff zu einem untrennbaren Zusammenwirken<sup>1</sup> war ja geschichtlich lange vorbereitet. Immerhin sehen wir auch bei der Wandlung des Substanzbegriffes die gleiche folgerichtige Tendenz am Werke, wie wir sie bei Raum und Zeit und Kausalität kennengelernt haben. Die mit physikalischem Inhalt erfüllte Bestimmung der Substanz wird zu einem völlig unanschaulichen, nur mathematischfaßbaren „Etwas“, das dem ewig *Seienden* der *Eleaten* und dem ewig *Werdenden Heraklits* zugleich zugrunde liegt. Es ist die gleiche Tendenz der Entäußerung alles Anschaulichen, alles Anthropomorphen, wie überall in der Physik seit GALILEI. Die Substanz als Kategorie muß andererseits wie Raum, Zeit und Kausalität auch von allem objektiven Inhalt befreit und gesäubert, nur als die *reine* Denkform gefaßt werden, die unserem Verstand gestattet, als „Grundsatz der Beharrlichkeit“, jedoch in untrennbarem Wirkungszusammenhang mit anderen Kategorien, vor allem der Kausalität, das „Beharrliche“ und „Wandelbare“ der Naturwirklichkeit zugleich als unanschauliche vierdimensionale Raum-Zeit-Welt widerspruchsfrei zu erkennen.

Ich schließe dieses Kapitel mit den Schlußsätzen, mit denen WEYL vor mehr als 10 Jahren (1924) einen Aufsatz über Materie geschlossen hat, und die mir auch heute noch zu gelten scheinen: „Was ist Materie? — Nach der Vernichtung der Substanzvorstellung schwankt heute die Waage zwischen der dynamischen und der Feldtheorie der Materie. Eine Antwort in wenigen Worten läßt sich nicht geben und wird sich niemals geben lassen; das bedeutet aber kein ignorabimus. Wir werden um so besser wissen, was die Materie ist, je vollständiger wir die Gesetze des materiellen Geschehens erkannt haben werden, und auf etwas anderes kann diese Frage überhaupt nicht zielen. Alle Begriffe und Aussagen einer theoretischen Wissenschaft, wie es die Physik ist, stützen sich gegenseitig. Statt vor eine kurze endgültige Formel, die man schwarz auf weiß nach Hause tragen kann, stellt uns diese Frage wie alle Fragen grundsätzlicher Art vor eine unendliche Aufgabe“.

Überblickt man die Entwicklung der Physik in den letzten Jahrzehnten, so tritt deutlich hervor, daß wir mitten drin stehen in einer Periode ungemainer Fruchtbarkeit und eines geradezu überstürzenden Fortschrittes. Und diese fruchtbare Entwicklung verdanken wir nicht einem sorgfältigen, nur auf Beobachtbares beschränkten Registrieren und Beschreiben im Sinne des engen Empiriums, sondern kühnsten Konstruktionen des Denkens, verbunden mit der folgerichtigen Ausscheidung alles Anschaulich-Sinnlichen, alles Anthropomorphistischen aus den Formulierungen der physikalischen Gesetze und Theorien, mit anderen Worten der völligen Rationali-

<sup>1</sup> In dem Wort „*Wirkungsquantum*“ kommt dieses Zusammensein von Substanz und Kausalität gut zum Ausdruck.

sierung der Erscheinungswelt. *Triumph des Denkens über die Sinnlichkeit*: dieses Wort kennzeichnet vielleicht am treffendsten das Wesen der neuen Physik.

Wenn man das Zustandekommen und die Methode der gedanklichen Konstruktionen in der neuen Physik sich klar macht, dann gelangt man mit Erstaunen zur Einsicht, welche wunderbare prästabilisierte Harmonie zwischen den abstrakten Konstruktionen unseres Denkens einerseits und den sich unseren Sinnen anbietenden Erscheinungen andererseits besteht, eine Harmonie, die uns gestattet, die verwirrende Mannigfaltigkeit der letzten in einige allgemeine Sätze von abstrakter mathematischer Beschaffenheit einzufangen.

### III. Philosophie der Biologie.

„Die Macht der Naturwissenschaft liegt nicht zum wenigsten darin begründet, daß sie verzichtete, ein „System der Natur“ in einem Zuge zu entwerfen, sondern sich mit unendlicher Geduld zu den kleinen Einzelfragen herabließ, diese aber einer restlosen Analyse zuführte.“ H. WEYL: Philosophie der Naturwissenschaften, S. 107.

#### a) Kausalität und Teleologie (Ganzheit).

In der Biologie gelten die gleichen Forschungsmethoden wie in der Physik, also die generalisierende und exakte Induktion, die vergleichende und experimentelle Methode. Andere Methoden gibt es auch hier nicht. Während aber in der Physik die exakte Induktion das Feld ganz beherrscht und die vergleichende Methode so stark in den Hintergrund gedrängt erscheint, daß sie meist unbeachtet bleibt, ist es in der Biologie insofern umgekehrt, als bis vor wenigen Jahrzehnten hier die vergleichende Methode die allgemein herrschende war. Alle großen Fortschritte der neueren Biologie seit der Jahrhundertwende sind jedoch nur durch die gleichzeitige Anwendung beider Methoden erzielt worden und möglich gewesen.

Die vergleichende Methode führt in der Biologie zunächst nur zu richtigen Kennzeichnungen; aber die dadurch gewonnenen grundlegenden Klassifikationsbegriffe, wie sie die tierische und pflanzliche Systematik und vergleichende Morphologie liefern, sind nicht nur, wie wir schon sahen, bequeme Ordnungsmittel zur Registrierung der Mannigfaltigkeit, sondern in ihnen kommt zugleich trotz aller Mängel und Unzulänglichkeiten ein hoher Gehalt innerer Gesetzmäßigkeiten objektiv zum Ausdruck. Im weiteren Verlauf der Arbeit leitet aber die generalisierende Induktion immer zu kausalfunktionalen Problemstellungen über und kann sogar zu umfassenden, allgemeinen kausalfunktionalen Theorien führen wie die Zelltheorie und die Deszendenztheorie, die beiden großen biologischen Theorien des 19. Jahrhunderts, zeigen. Aber die generalisierende Induktion allein kann für die mit ihrer Hilfe aufgestellten synthetischen Theorien immer nur eine mehr oder minder große Wahrscheinlichkeit beibringen; sie vermag sie nie sicher zu beweisen, und gerade wegen dieses Mangels der genügenden Sicherstellung schießt sie sehr oft in der Theorienbildung

weit über das Ziel. Erst die Prüfung solcher Theorien durch Experimente mittels der kausalanalytischen Methode vermag größere Sicherheit in die Theorie zu bringen und ermöglicht schließlich ihre endgültige Begründung. So war z. B. die Chromosomentheorie der Vererbung bei Beginn des Jahrhunderts besonders durch die Arbeiten BOVERIS sehr wahrscheinlich geworden, doch wurde sie noch lange Zeit von anderen Forschern aufs heftigste bekämpft, was bei ihrer alleinigen Begründung durch generalisierende Induktion erklärlich und zum Teil berechtigt war. Heute ist diese Theorie durch die Verknüpfung mit der experimentellen Vererbungslehre nicht nur vollkommen sichergestellt (haploide Vererbung, Faktorenaustausch), sondern es sind darüber hinaus die intimsten Aufschlüsse über die Lage und lineare Anordnung der Erbfaktoren in den einzelnen Chromosomen nachgewiesen (MORGAN und Mitarbeiter, STERN, neuerdings PAINTER).

Ähnlich lagen die Verhältnisse bei den Theorien der Evolution. Die älteren Lösungsversuche, der darwinistische wie der lamareckistische, haben in der Literatur eine Unmasse von Diskussionen hervorgerufen, ohne daß eine wesentliche Klärung erzielt werden konnte, weil alle diese theoretischen Bemühungen nur mittels generalisierender Induktion versucht wurden bei zu geringer Analyse der Sachverhalte. Mit Aufkommen der experimentellen Vererbungslehre stand man zunächst all diesen Versuchen kritisch und resigniert gegenüber. Der lamareckistische kann ja auch wohl heute durch die tausendfachen Experimente der Vererbungswissenschaft als widerlegt gelten, während der darwinistische heute auch von seiten der Vererbungsforschung weitgehende Bestätigung gefunden hat. Aber die DARWINSche Selektionstheorie vom Überleben des Passendsten im Kampf ums Dasein erklärte ja nicht die Entstehung neuer Arten, sondern nur das Erhaltenbleiben besser angepaßter, bereits vorhandener, was auch das Experiment bestätigt. Das eigentliche Problem blieb aber auch hier ungelöst. Die Vererbungsforschung der letzten 15 Jahre hat aber auch hier durch das Studium und schließlich die experimentelle Erzeugung von Mutationen neue Wege erschlossen zur Lösung der alten Frage. Nachdem MULLER und GOLDSCHMIDT experimentell die Wege gezeigt haben, wie künstlich Mutationen hervorgerufen werden können, hat schließlich JOLLOS in mehreren aufeinanderfolgenden Generationen experimentell *gerichtete Mutationen* erzeugen können. Ob von hier aus die gerichteten, orthogenetischen Entwicklungsreihen im Tier- und Pflanzenreich allgemein ihre Erklärung finden können, wird erst die weitere Forschung erweisen können. Auf jeden Fall erscheint dieser neue Weg sehr verheißungsvoll, und es ist zum mindesten ein Weg gezeigt, wie dieses große Problem experimentell angepackt und seiner kausalen Erklärung entgegengeführt werden kann.

Wie an diesen beiden Beispielen ersichtlich, so hat sich in den letzten 30—40 Jahren auf fast allen wichtigen Gebieten der Biologie ein Umschwung vollzogen. Man hat Abstand genommen von den übersteigerten, allgemeinen Theorien mittels rein generalisierender Induktion und hat sich mit engeren Fragestellungen begnügt, diese in geduldiger, zäher experimenteller Arbeit kausalanalytisch zu klären versucht und so einmal

zunächst sichere Grundlagen für umfassendere Theorien erarbeitet. Daß aber gerade bei einer solchen methodologischen Haltung nicht nur eine Menge völlig unerwarteter und dabei gesicherter neuer Erkenntnisse gewonnen werden, sondern nach und nach auch große synthetische, auf sicherer Basis ruhende Theorien erarbeitet werden können, läßt die neue Chromosomentheorie der Vererbung erkennen.

Wenn somit die exakte Induktion, die experimentelle Methode sich auch in der Biologie als die tiefer schürfende und zugleich auch fruchtbarere und erfindungsreichere bewährt hat, so kann und darf das nicht zu einer Herabsetzung der vergleichenden Methode führen. Gerade in der Biologie würde eine solche Entwertung dieser Methode sich als besonders verhängnisvoll erweisen, weil dann die experimentelle Methode ziellos würde. Eine so komplexe Wissenschaft wie die Biologie bedarf in besonderem Maße zunächst bei jedem Fortschritt immer wieder der rein phänomenologischen Betrachtung der einzelnen Systeme, Strukturen, Vorgänge usw., um auf diesem Wege zunächst einmal die Wesenszüge derselben herauszustellen. Erst auf dieser Basis können die leitenden Hypothesen und richtigen Problemstellungen gewonnen werden und eine wirklich ersprießliche Anwendung der experimentellen Methode erfolgen. Die vergleichende und die experimentelle Methode, die generalisierende und die exakte Induktion sind für die biologische Forschung *gleich notwendig*, da nur *beide zusammen* den Fortschritt der Erkenntnis gewährleisten. Beide sind aber logisch gegründet auf die Kategorie der Kausalität oder Gesetzlichkeit als die Kategorie, die den funktionalen Zusammenhang der Erscheinung herstellt und bedingt.

In der neueren Literatur über theoretische Biologie finden sich nun hinsichtlich der *Kausalität* einige schwerwiegende Mißverständnisse, auf die hier kurz eingegangen sei. Manche vitalistisch oder organismisch eingestellte Theoretiker vertreten unter Berufung auf die moderne Atomphysik die Meinung, daß die Kausalforschung als entscheidendes oder gar alleiniges Forschungsprinzip in der Biologie um so weniger anzuerkennen sei, als ja die Physik selbst im Gebiet des Atomaren das Kausalitätsprinzip aufgegeben habe. Wir haben schon bei der Behandlung der Atomphysik gesehen, daß es sich hier um eine Verwechslung des Kausalprinzips als allgemein geltender Kategorie mit dem Nachweis eines streng determinierten Geschehens im Einzelfall und der strengen Vorausberechenbarkeit desselben handelt. Auch die statistische Gesetzlichkeit der Mikrophysik ist, wie oben ausgeführt wurde, nur durch die strenge Anwendung der Kausalitäts- oder Gesetzeskategorie in kausalanalytischer Arbeit (exakte Induktion) gewonnen worden, und die Geltung der Kausalität als der funktionalen Gesetzeskategorie bleibt ungemindert bestehen. Sie ist die Voraussetzung und Grundlage der beiden Methoden der Induktion, durch deren Anwendung allein die neuen physikalischen Anschauungen erarbeitet worden sind. Wie schon an früherer Stelle ausgeführt, haben aber gerade die Kausalgesetze in der Biologie überhaupt nicht den streng mathematischen Charakter wie die Gesetze der Physik, sondern sie sind meist nur von qualitativ kausaler Beschaffenheit, trotzdem sind sie vielfach streng

determiniert. Es sind in physikalischem Sinne makroskopische Gesetze. So sind z. B. die statistischen Vererbungsregeln durch ein streng determiniertes Verhalten der Chromosomen bei der Befruchtung und Reduktionsteilung bedingt.

Um eine Übertragung der „akausalen“ Physik auf die biologischen Probleme handelt es sich auch bei der von P. JORDAN als sog. Verstärkertheorie der Organismen näher ausgeführten Auffassung, daß den Lebensprozessen akausale, mikrophysikalische Vorgänge zugrunde liegen, die die makrophysikalischen Reaktionen im Organismus dirigieren, so daß auch diese im Gegensatz zu den Makroprozessen im Anorganischen akausal seien. Nach dieser Auffassung sollen „die Organismen mikrophysikalische und nicht makrophysikalische Systeme sein“. Diese Behauptung JORDANs, daß „für die Erforschung der zentralen Reaktionen des Organismus nur die Mikrophysik die physikalischen Unterlagen bieten könne“, ist nicht durch die geringste biologische experimentelle Tatsache bewiesen, und die Gründe, die JORDAN dafür im einzelnen anführt, sind alle nicht stichhaltig, wie BÜNNING überzeugend dargetan hat. Wohl können z. B. bei der Photosynthese nach den Untersuchungen von WARBURG (Photosynthese und Zellatmung sind bisher die am eingehendsten analysierten grundlegenden Stoffwechselfvorgänge) vier Quanten ein Molekül Kohlensäure reduzieren, also fraglos atomare Vorgänge im Biologischen eingreifen, aber die dadurch bewirkten molekularen Umsätze, die Reduktion der Kohlensäure und die Synthese von Zucker, sind streng determinierte kausale Molekularveränderungen, also Vorgänge makrophysikalischer Art. Über die physikalisch-chemischen Vorgänge bei Sinneswahrnehmungen und Reizleitungen wissen wir zur Zeit überhaupt nichts Näheres, und es ist müßig, darüber mikrophysikalische Erwägungen anzustellen. Bei der Reizleitung von Pflanzen, wo die Analyse erheblich weiter vorgedrungen ist, spielen sie sicher keine Rolle, worauf auch BÜNNING eingehend hingewiesen hat. Die Heranziehung der Vererbungserscheinungen von JORDAN für seine Theorie beruht auf einem Mißverstehen der statistischen Vererbungsgesetze. Bei der Vererbung vollzieht sich, wie schon oben ausgeführt wurde, das ganze Geschehen erst recht im Makrophysikalischen, und die Vererbungsvorgänge lassen sich streng kausal auf verhältnismäßig grob mechanische Vorgänge zurückführen, wie die neueste Entwicklung der Chromosomentheorie der Vererbung durch Analyse der Chromosomen der Speicheldrüsenkerne von *Drosophila* eindrucksvoll gezeigt hat. Die mikrophysikalische Verstärkertheorie der Organismen ist mithin unbegründet und in hohem Maße unwahrscheinlich.

Ein zweites Mißverständnis bezieht sich auf die bei Vitalisten wie Mechanisten weitverbreitete Gleichsetzung von kausalgesetzlichen (-mechanistischen) mit physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten in der Biologie. Die Biologie ist keine angewandte Physik und Chemie, sondern eine selbständige Wissenschaft, die nicht nur ihre eigenen Objekte, sondern auch ihre besonderen Gesetze aufweist. Dieser von v. UEXKÜLL, HALDANE und anderen vitalistisch oder organismisch eingestellten Autoren stark betonten Ansicht kann nur zugestimmt werden, sie wird auch von vielen mecha-

nistisch eingestellten Forschern seit langem vertreten. Die Biologie gehört zu den idiographisch-systematischen Naturwissenschaften, deren Aufgabe im Gegensatz zur Physik nicht in der Ermittlung der allgemeinen Grundgesetzmäßigkeiten, sondern der Ermittlung der spezifischen Gesetze der Komplizierung besteht, die das Wesen der besonderen, individualisierten Naturkörper bestimmen. Das gilt aber nicht nur für die Biologie, sondern auch für alle jene Naturwissenschaften, die sich mit den besonderen nichtlebenden Naturgebilden beschäftigen und gleichfalls als idiographische zu bezeichnen sind (Chemie, Kristallographie usw.). Wenn die physikalischen Gesetze natürlich unbedingt auch im Organischen ihre Geltung besitzen, so sind *die biologischen Kausalgesetzmäßigkeiten doch in erster Linie Gesetze der spezifischen Komplizierung*, sei es analysierter, physikalischer oder unanalysierter, in sich noch komplexer, aber einfacherer Systeme, und es ist für die Kausalforschung auf biologischem Gebiet nicht einmal von vornherein ausgemacht, ob die Auflösung dieser Innenglieder in physikalisch-chemisches Geschehen restlos möglich sein wird. So stellt die Chromosomentheorie der Vererbung, die in ihrem weiten heutigen Umfang synthetisch verschiedene biologische Gebiete zusammenschließt, eine umfassende kausale (mechanistische) Gesetzmäßigkeit dar, die in ihrer Sicherheit, ihrer Bedeutung und ihrem Umfang einem Teilgebiet der Physik ebenbürtig zur Seite gestellt werden kann. In diesem großen, ein ungeheueres Tatsachenmaterial erfassenden kausalen Theoriegebäude ist aber von irgendwelchen physikalischen oder chemischen Gesetzmäßigkeiten nicht die Rede. Auch in der Physiologie des Stoffwechsels interessiert den Physiologen und Biologen nicht die Feststellung der Geltung irgendeines physikalischen oder chemischen Gesetzes an sich; der Physiologe treibt nicht Physik und Chemie aufs Biologische angewandt. Was er erforschen will, ist die spezifische Art des Zusammenwirkens physikalischen und chemischen Geschehens, die für das Lebensgeschehen charakteristisch und wesentlich ist. In dieser Hinsicht kann den Auffassungen, wie sie v. UEXKÜLL, HALDANE u. a. immer wieder vertreten, nur zugestimmt werden. Die Ermittlung der spezifischen Gesetze der Komplizierung der biologischen Systeme ist die Aufgabe der Biologie. Diese Aufgabe kann aber nur erfüllt werden mittels generalisierender und exakter Induktion, also durch Kausalforschung. Kausalforschung und Kausalerklärung ist aber in der Biologie nicht gleich physikalisch-chemischer Forschung, wie v. UEXKÜLL, HALDANE und mit ihnen viele vitalistisch wie mechanistisch eingestellte Forscher irrtümlicherweise annehmen.

Gegenüber der hier vertretenen Ansicht, daß nur die beiden oben dargelegten Methoden der Induktion Naturerkenntnis ermöglichen, vertreten viele Biologen und Philosophen den Standpunkt, daß für die Erforschung und Erkenntnis der Organismen und des organischen Geschehens das Kausalprinzip und dementsprechend die beiden Methoden nicht ausreichen, daß hierfür noch eine dritte Methode, die im Gegensatz zur Kausalforschung stehe, angewendet werden könne und müsse, die *Zweck-* (besser *Ziel-*) oder *Ganzheitsbetrachtung*. Erst die Beurteilung der Organismen als zweckmäßige bzw. zielstrebige, harmonische Ganze führe zum richtigen

„Verständnis“ des Organischen. Die Zweckmäßigkeit der Organismen, ihrer Organe und Funktionen wird natürlich jeder Vorurteilslose ohne weiteres zugeben und somit auch anerkennen, daß diese Beurteilung des Zweckmäßigen (Planmäßigen), Zielstrebigem, Ganzheitsbezogenem für die Kennzeichnung biologischer Formen und Funktionen notwendig ist. Organismen sind komplexe Systeme, die gerade durch das spezifische harmonische Zusammenwirken der einzelnen Kausalreihen, durch die Wechselwirkungen aller Teile ihren Charakter erhalten. Das gilt aber für viele Naturobjekte der besonderen Naturwissenschaften, Atome, Kristalle, Mineralien, Planetensysteme u. a. in gleicher Weise. Planmäßigkeit und Ganzheit müssen wir daher nicht nur für die organischen, sondern auch für die leblosen Naturkörper in gleicher Weise annehmen, ja das gilt auch für die Gesamtnatur, soweit sie erkennbar ist, wie KANT in seiner Kritik der Urteilkraft an dem Prinzip der formalen Zweckmäßigkeit in überzeugender Weise ausgeführt hat. Ohne Voraussetzung eines Rational-Sinnvollen, eines Gesetzlich-Notwendigen wäre ja jede Naturforschung, wie früher schon ausgeführt, unmöglich; denn die Voraussetzung eines Logisch-Allgemeinen ist ja die Voraussetzung und Grundlage jedes induktiven wissenschaftlichen Verfahrens. *Naturwissenschaft ist Rationalisierung der Erscheinungswelt. Gäbe es in der Natur nichts Rationalisierbares, so wäre auch eine Wissenschaft von der Natur unmöglich.*

Man hat gegen die hier vertretene Auffassung eingewandt, daß die Einheit der leblosen Systeme die *Summe* ihrer Teile darstelle, während die Summe der Teile keinen Organismus, kein „*Ganzes*“ ergäbe. Doch gibt es auch im Anorganischen in weiter Verbreitung Gegenstände, Systeme, die nicht wie ein Haufen Steine einfach die Summe ihrer Teile darstellen, die Einheitscharakter tragen, die erst durch die spezifische Gesetzmäßigkeit des Zusammenwirkens der Teile ihren besonderen Systemcharakter erlangen. In einem solchen System stehen alle es bedingenden Teilsysteme miteinander in einem harmonischen Wirkungszusammenhang, bilden eine Einheit, und wie bei einem Organismus oder organischen System stellt sich bei Veränderungen eines Gliedes aus den inneren Systembedingungen heraus wieder ein dynamisches Gleichgewicht her und bleibt somit der spezifische (hier durchaus kausal bedingte) Systemzusammenhang, die Einheit oder Ganzheit, erhalten (Beispiele: Atome, Planetensysteme, Gleichgewicht in einer Lösung verschiedener Salze nach dem Massenwirkungsgesetz)<sup>1</sup>.

Wenn nun von den biologischen Ganzheitstheoretikern behauptet wird, daß mit dem Prinzip der *Ganzheit* eine neue, bisher vernachlässigte biologische Methode in die Biologie wieder eingeführt sei, die neben den auf die Kategorie der Kausalität gegründeten Methoden der generalisierenden und exakten Induktion eine weitere, Erkenntnis konstituierende Methode darstelle, ja eine Methode sei, die die Kausalanalyse an Erkenntnis-

<sup>1</sup> DRIESCH macht allerdings einen scharfen Unterschied zwischen solcher *Wirkungseinheit* (einfacher „Wohlgeordnetheit“) und *echter Ganzheit*. Dieser Unterschied ist aber nur dadurch möglich, daß die Eigengesetzlichkeit des Lebens, die besondere vitale Beschaffenheit des Organischen, von ihm mit zur Definition des Ganzheitlichen herangezogen, der Vitalismus demnach als bereits bewiesen vorausgesetzt wird.

funktion überträte, so ist diese Behauptung nicht zutreffend. Die analytisch-induktive Methode hat stets, wie wir früher sahen, sowohl Ganzheitsgebilde, Systeme als Ausgang, als auch zugleich als Ziel. Dieses Ziel, die Erkenntnis des konstitutiven Zusammenhanges der Ganzheiten und der ihnen zugrunde liegenden allgemeinen Gesetzmäßigkeiten, kann aber nur durch die vorausgegangene Zergliederung und die darauffolgenden synthetischen Glieder des induktiven Methodengefüges zugleich erreicht werden, am sichersten durch exakte Induktion. Die meisten modernen Ganzheitstheoretiker begnügen sich aber damit, einseitig auf den Ganzheitscharakter, die Zweckbezogenheit (Zielstrebigkeit) im Biologischen nachdrücklich hinzuweisen, oder versuchen, ohne tiefgründige Analyse synthetisch, und zwar vielfach mit teleologischen und Zweckbegriffen, ein „Verständnis“ oder eine „Erklärung“ biologischer Ganzheiten zu bieten. Das durch die Aufzeigung des Planmäßigen, des Ganzheitscharakters vermittelte „Verständnis“ ist aber *keine Problemlösung*, sondern *erst die Problemstellung*. Der Wert dieser Begriffe für die Naturforschung (nicht nur im Biologischen, sondern ebenso im Anorganischen) ist eben der, daß sie auf die noch ungelösten, vielfach zunächst nicht gesehenen Probleme hinweisen, zu den richtigen Problemstellungen führen. Gewiß können auch die so gewonnenen richtigen Kennzeichnungen und richtigen Problemstellungen bereits große wissenschaftliche Ergebnisse darstellen, und dadurch erweisen sich die Zweck- und Ganzheitsbegriffe als unentbehrliche Forschungsprinzipien; aber es sind Prinzipien *heuristischer, regulativer*, nicht solche *konstitutiver* Art, wie bereits KANT in seiner Kritik der Urteilskraft eindrucksvoll und überzeugend dargetan hat. KANT hat hier trotz des geringen biologischen Wissens seiner Zeit schärfer und richtiger gesehen und das Methodenproblem der Biologie klarer herausgearbeitet als die modernen Ganzheitstheoretiker und Teleologen, die an der Oberfläche des Problems hängen geblieben sind und nur einseitig ein Moment des komplexen vierfachen Methodengefüges der exakten Induktion sehen<sup>1</sup>.

Die Zweckbeurteilung, die Ganzheitsbetrachtung steht nicht im Gegensatz zur Kausalforschung, sie ist nicht eine andere weiterführende Methode, sondern sie ist Voraussetzung, erster Schritt des Aufbaues, sie ist Vorbereitung der Kausalforschung und ermöglicht ihr weiteres Fortschreiten.

<sup>1</sup> Die Begriffe *Zweckmäßigkeit*, *Zielstrebigkeit* und *Ganzheitsbezogenheit* sind hier, wie das vielfach geschieht, gleichbedeutend verwendet. Das ist an sich nicht richtig, da, wie DRIESCH, SAPPER u. a. näher ausgeführt haben, den einzelnen Begriffen ein verschiedener Bedeutungsgehalt zukommt. Der Begriff *Zweckmäßigkeit* würde am besten ganz vermieden und durch *Zielstrebigkeit* ersetzt. Die *Ganzheitsbezogenheit* ist der weitere Begriff (worin wir mit SAPPER übereinstimmen), die *Zielstrebigkeit* der engere, der nach SAPPER nur für Organismen zutrifft. DRIESCH jedoch verknüpft gerade *Ganzheitsbezogenheit* mit *Zielstrebigkeit* und bringt in seine Definition von *Ganzheit* die *Eigengesetzlichkeit* des Lebens mit hinein. Wenn man den Vitalismus als nicht bewiesen betrachtet, wie wir das mit SAPPER tun, dann fällt der Begriff *Ganzheit* mit *Wirkungseinheit* zusammen und trifft, wie oben ausgeführt, auch für leblose Naturkörper zu. *Zielstrebigkeit* ist demgegenüber weit charakteristischer für die Lebewesen (SAPPER). Aber *Zielstrebigkeit*, *Gerichtetheit* des Geschehens ist auch nicht etwas, das nur auf organisches Geschehen zutrifft, was aber hier nicht näher ausgeführt werden kann. Bei der hier gebotenen Kürze in der Behandlung des Problems kann die etwas ungenaue Gleichsetzung von *Zielstrebigkeit* und *Ganzheit*, ohne Mißverständnis herbeizuführen, Verwendung finden.

Beim weiteren Fortschreiten werden aber neue Analysen und Synthesen notwendig, und dabei stellt sich oft heraus, daß der erste synthetische Ansatz nicht eine richtige Erklärung des Geschehens zu bieten vermochte und durch andere hypothetische Ansätze synthetischer Natur ersetzt werden muß. Bei diesem Fortschreiten werden früher oder später durch die Kausalforschung selbst, durch die generalisierende, vor allem aber exakte Induktion, die heuristischen, für die Problemansätze zunächst notwendigen Ganzheitsbegriffe ausgeschieden und durch kausale, Ganzheit wirklich konstituierende Begriffe ersetzt.

### b) Vitalismus.

Nachdem in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die mechanistische Auffassung der Organismen, d. h. die Lehre, daß die organischen Körper und organischen Vorgänge sich im Prinzip kausal auf letzte materielle Elemente zurückführen, also letztlich physikalisch erklären lassen, nahezu allgemein die herrschende war, ist etwa seit der Jahrhundertwende ein allmählicher Umschwung eingetreten, und die heutige allgemeinbiologische Literatur ist zum größten Teil vitalistisch eingestellt. Unter sich sind diese vitalistischen Lehren zum Teil sehr verschiedenartig, und sie stimmen in der Regel nur darin überein, daß das Organische nicht mechanistisch erklärt werden könne. Den größten Einfluß auf diese Entwicklung haben die Schriften von HANS DRIESCH ausgeübt, der fraglos der bedeutendste Vertreter des Neovitalismus ist. Nur mit dessen Vitalismus soll hier eine Auseinandersetzung erfolgen. Diese Beschränkung ist um so mehr gerechtfertigt, als DRIESCH selbst die Unbegründetheit und Vagheit der anderen vitalistischen Lehren aufs schärfste dargetan hat. Zu den letzteren gehören auch die neueren, sog. organismischen Auffassungen, die von ihren Vertretern als jenseits der Alternative Vitalismus oder Mechanismus stehend ausgegeben werden, die aber in Wirklichkeit nur einen versteckten oder verwaschenen Vitalismus darstellen. Die Schlagworte Ganzheit und Synthese, auf die sich jene Autoren berufen, sind ganz und gar nicht ausreichend, eine autonome Eigengesetzlichkeit des Lebendigen zu begründen, wie auch DRIESCH, der Urheber des Ganzheitsbegriffes, neuerdings ausgeführt hat. Ganzheit ist ja etwas Zusammengesetztes, „Wohlgeordnetes“, was erst eine Erklärung erheischt. Sie schließt eine Problemstellung in sich, die eine Lösung verlangt, und sie kann daher nicht von sich aus das Problem des Lebens lösen. Nur wenn „wohlgeordnete“ organische Sachganze (wie DRIESCH das glaubt bewiesen zu haben) nicht mechanistisch, kausalgesetzlich erklärt werden können und somit eine Eigengesetzlichkeit des Lebens und besondere vitale Faktoren zu seiner Erklärung angenommen werden müssen, findet der Begriff Ganzheit nach DRIESCH seine Erfüllung und zugleich seine Berechtigung. Wirkliche wissenschaftliche Aussagen können auch nach DRIESCH nur durch gründliche Analysen gemacht werden, und das Reden von synthetischer Biologie und Ganzheit bleibt an der Oberfläche und entbehrt wissenschaftlicher Haltung.

Alle solche Fehler vermeidet der DRIESCHSche Vitalismus. Er schaltet logischerweise auch jedes Eingreifen irgendwie gearteter vitaler Faktoren

in den Mechanismus der Kausalität (wie es der Psychovitalismus tut) selbst aus und läßt der Kausalforschung die unbeschränkte Betätigung zukommen. Andererseits ist er aber der Überzeugung, daß die Ganzheitserscheinungen der Lebewesen, vor allen die, welche bei den Formbildungsprozessen und den tierischen Handlungen uns entgegentreten, rein mechanistisch-kausalgesetzlich nicht erklärt werden können, daß daher bei den Lebensvorgängen eine besondere Eigengesetzlichkeit bestehe und vitale Faktoren zur Geltung kämen. Die besondere Eigengesetzlichkeit gibt sich nach DRIESCH darin kund, daß nichträumliche „Werdebestimmer“, die er mit dem aristotelischen Ausdruck *Entelechie* bezeichnet, das materielle Geschehen der Lebensvorgänge so regeln, daß sie nicht beliebig, sondern planmäßig, ganzheitsherstellend verlaufen.

Die logische Rechtfertigung der Möglichkeit des Vitalismus in dieser Form ist ohne weiteres zuzugeben. Wenn man das fraglos im Biologischen bestehende unbekannte und vielleicht auch unerkennbare „X“ Entelechie nennt, die Entelechie also als einen Grenzbegriff gegen das unerforschte, evtl. unerforschbare Irrationale annimmt, wie das der DRIESCH-Anhänger UNGERER tut, so läßt sich dagegen nichts einwenden. Aber DRIESCH behauptet mehr. Er behauptet, daß solche besonderen vitalen Naturfaktoren vorausgesetzt werden *müssen*, und daß der Mechanismus für die Erklärung des Biologischen *grundsätzlich versagt*.

DRIESCH glaubt nun, durch Analyse morphogenetischer Vorgänge und des tierischen Handelns drei direkte Beweise für die Autonomie des Lebens erbracht zu haben. Die Analyse dieser Lebensprozesse ist aber nicht weit genug vorgeschritten, um daraufhin die kausalgesetzliche Unauflösbarkeit derselben behaupten zu können. Die ganze Kausalforschung auf diesen Gebieten steht ja in den allerersten Anfängen. Die kausalen Erklärungsmöglichkeiten, die DRIESCH selbst erörtert, sind doch von verhältnismäßig primitiver Art und erschöpfen sicher nicht alle kausalen Erklärungsmöglichkeiten der Jetztzeit und noch viel weniger die der Zukunft. So hat DRIESCH z. B. die Möglichkeiten, wie sie GOLDSCHMIDT's chemische Theorie des Vererbungs- und Formbildungsgeschehens bringt, überhaupt nicht erwogen. Eine eingehende Auseinandersetzung mit den sog. Beweisen von DRIESCH wäre bei dieser Sachlage nicht notwendig, um so mehr als auch UNGERER, wohl der bekannteste und bedeutendste DRIESCH-Schüler, endgültige Beweise durch die DRIESCH'schen Formulierungen nicht erbracht sieht. Im Hinblick auf die neueste Entwicklung der Chromosomentheorie der Vererbung sei aber doch darauf näher eingegangen, weil durch sie die von DRIESCH als „undenkbar“ erklärte mechanische Struktur aufgezeigt ist.

DRIESCH erörtert drei logische Möglichkeiten einer mechanistischen Formbildungstheorie, von denen wir die erste mit ihm ohne weiteres als unzutreffend ablehnen. Nach der zweiten wäre „ein Teil des Ausgangsbildes, des Eies, eine Maschine (wir würden sagen ein Mechanismus), die mit dem Rest jenes Gebildes und mit den Umweltfaktoren, die beide für sie „ergreifbar“ sind, als mit einem Material, den Ziegeln des Baumeisters entsprechend, arbeiten“. Gegen die Möglichkeit dieser Hypothese führt DRIESCH aus, daß die Eier ja in einer großen Zahl vom mütterlichen

Organismus gebildet werden, und daß diese *vielen* Eier durch Teilung *einer* Zelle, der *Ureizelle* entstanden sind. „Wie, so fragen wir, könnte eine sehr zusammengesetzte, auf die Mannigfaltigkeit des Erwachsenen eingestellte Struktur sich fortgesetzt teilen und *dabei immer ganz bleiben*? Solches ist undenkbar.“ „Damit ist auch die zweite, a priori möglich erscheinende Vermutung des mechanistischen Denkens mit Rücksicht auf die Grundlage des embryologischen Vorganges negativ erledigt.“ (DRIESCH 1935, S. 37.)

Die nach DRIESCH undenkbare Struktur, die fortgesetzt bei jeder Kern- und Zellteilung sich teilt, ist durch die neuen Erfolge der Chromosomentheorie der Vererbung an den Chromosomen der Speicheldrüsenkerne von *Drosophila* exakt aufgezeigt. Die von MORGAN und seinen Mitarbeitern erschlossene, schon von STERN u. a. direkt bewiesene lineare Anordnung der Erbfaktoren in den einzelnen Chromosomen ist hier an dem Feinbau der Chromosomen mikroskopisch sichtbar, der eine bestimmte Anzahl linear bestimmt angeordneter Chromomeren zeigt, die miteinander durch feine Längsfäden verbunden sind (BAUER). Eine Reihe von ganz bestimmten Erbfaktoren sind bereits mit bestimmten materiellen Teilen der Feinstruktur (Chromomeren) durch Kombination von Mutationsexperiment, Vererbungsversuch und zytologischer Untersuchung identifiziert (PAINTER, MULLER). Die Gesamtheit der Erbfaktoren, die die Vorgänge der Vererbung und den ganzen Entwicklungsablauf des Organismus bestimmen, sind also in einer Feinstruktur mikroskopisch sichtbar, und diese Feinstruktur, die den ganzen Potenzenschatz enthält, wird bei jeder Kern- und Zellteilung der Länge nach halbiert und auf die Tochterzellen verteilt. Die Struktur bleibt also immer *ganz*, gerade das, was nach DRIESCH undenkbar ist. Wie das Wachstum und die Teilung dieser Struktur sich vollzieht, das wissen wir allerdings nicht; das ist aber auch für die hier interessierende Frage von sekundärer Bedeutung. Wir wissen auch noch nicht viel über die Art und Weise, wie von dieser Struktur aus die Formbildungsvorgänge in dem sich entwickelnden Embryo in Gang gesetzt werden und ablaufen; aber es sind bereits erste Ansätze vorhanden, um auch diese Probleme einer kausalgesezlichen Erklärung zuzuführen. Das Wesentliche, die Struktur selbst und der Mechanismus ihrer Verteilung, ist nicht mehr wegzuleugnen und somit der von DRIESCH als undenkbar angenommene Mechanismus erwiesen. Von hier aus erledigen sich auch alle Einwände gegen den Mechanismus, die DRIESCH von der Theorie der *harmonisch äquipotentiellen Systeme* aus abgeleitet hat (dritter Beweis). Denn wenn bei harmonisch äquipotentiellen Zellgesamtheiten (abgefurchter Keim, junge Organanlagen, Fälle von Regeneration) nach Entfernung oder Verlagerung von Teilen (Zellgruppen) durch einen experimentellen Eingriff ohne Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit wieder ein Ganzes wird, so geht eben deshalb „die Maschine, das harmonische System nicht entzwei“, weil jede Zelle den gesamten Potenzenschatz in der Feinstruktur ihres Chromosomen enthält, wie wir eben gesehen haben<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Die Lösung des Regulationsproblems ist dadurch natürlich nicht erbracht. Aber die Möglichkeit einer Lösung auf einem Wege, der früher nicht gesehen wurde, ist wenigstens damit gezeigt.

Damit sind die vom Formbildungsgeschehen aus abgeleiteten Beweise für die Autonomie des Lebendigen DRIESCHs widerlegt, und sein Vitalismus und seine Entelechienlehre erweisen sich als unbegründet, als verfrühte Schlußfolgerungen. H. WEYL hat anlässlich der durch die neue Quantenphysik hervorgerufenen Erörterung des Kausalproblems einmal gesagt: „Die Philosophen sind ungeduldige Leute.“ Die Richtigkeit dieses Ausspruches erweist sich auch hier. Auf einem Gebiet, auf dem die analytische Erforschung erst am Anfang steht, kann man keine so weitgehenden Schlüsse ziehen, wie sie DRIESCH bei seinen Beweisen gezogen hat. Der Verzicht auf das Entwerfen „eines Systems der Natur (hier der belebten Natur) in einem Zuge“ und „die mit unendlicher Geduld durchgeführte restlose Analyse von kleinen Einzelfragen“ ist für den Fortschritt der Naturwissenschaft (auch der Biologie) fruchtbarer als die verfrühte Aufstellung einer allgemeinen Theorie des Lebens, wenn sie auch wie in dem Falle des Vitalismus von DRIESCH (und im Gegensatz zu anderen vitalistischen und organismischen Lehren) mit großem Aufwand von Scharfsinn und Logik entwickelt ist.

Nicht die logische Möglichkeit, daß es besondere vitale Eigengesetzlichkeit geben könne, bestreiten wir demnach. Aber ebenso wie man DRIESCH recht geben muß in seiner Ablehnung eines dogmatischen Mechanismus, der behauptet, alles organische Geschehen wäre restlos physikalisch-chemisch auflösbar, so muß auch im Gegensatz zu ihm seine eigene Behauptung abgelehnt werden, daß das Organische prinzipiell nicht mechanistisch, kausalgesetzlich erklärbar wäre. Als kritischer Forscher muß man sich in dieser Frage heute mit einem *Nichtwissen* bescheiden, was aber durchaus nicht ein *Niemalswissen* bedeutet. Aber *Eines* kann man auch heute bereits mit Sicherheit sagen: Selbst wenn solche von DRIESCH behauptete, planmäßig wirkende, nichträumliche Werbebestimmer in der organischen Natur tatsächlich wirksam wären, ist es mit den uns Menschen zur Verfügung stehenden Erkenntnismitteln nicht möglich, sie in der Natur nachzuweisen (weder jetzt noch in Zukunft). Naturerkenntnis kann eben nur mit der Kategorie der Kausalität errungen werden, und es gibt keine anderen Methoden, Naturwissenschaft zu treiben, als die Methoden der generalisierenden und exakten Induktion, durch deren Anwendung Einzelfälle unter allgemeine Gesetzmäßigkeit gebracht werden. Die Arbeit des Naturforschers mit diesen Methoden gilt dem *erkennbaren, rationalisierbaren Teil des Seins* und nur diesem. Das *Irrationale* in der Welt müssen wir in Bescheidenheit hinnehmen. Es ist der Domäne der Naturwissenschaft völlig entrückt, in ihm haben andere Kulturgebiete, Metaphysik und Religion, ihre Betätigung und ihren Grund. Vom Erkennbaren aber gilt das hoffnungsvolle Wort KANTS: „*Ins Innere der Natur dringt Beobachtung und Zergliederung der Erscheinungen, und man kann nicht wissen, wie weit diese mit der Zeit führen werden.*“

# Astronomie.

Von

H. KIENLE, Göttingen.

Die Astronomie hat etwa um die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine entscheidende Wendung genommen, deren Auswirkung wir selbst erst in vollem Maße erleben. Die Aufnahme planmäßiger Helligkeitsbestimmungen der Sterne, insbesondere die Verfolgung des Lichtwechsels der veränderlichen Sterne gemäß der Aufforderung ARGELANDERS, die Begründung der Spektralanalyse durch BUNSEN und KIRCHHOFF, die Deutung der Linienverschiebungen im Spektrum als Bewegung in der Gesichtslinie durch DOPPLER und schließlich der Ersatz des menschlichen Beobachterauges am Fernrohr durch die photographische Platte haben zu Aufgabenstellungen geführt und Lösungen ermöglicht, die den Rahmen der klassischen Astronomie sprengten. Für eine Weile gab es neben der Astronomie im alten Sinn als neuen Zweig eine Astrophysik; allmählich aber haben sich beide in ihren Methoden und Aufgaben so vielfach gegenseitig durchdrungen, daß die jahrzehntelang geübte Scheidung heute fast unmöglich erscheint. Wir verstehen wieder unter Astronomie im umfassenden Sinn die Gesamtheit der Forschungen, die sich auf die Vorgänge im Weltall beziehen, und machen uns dabei alles zunutze, was Mathematik, Physik, Chemie an gedanklichen und praktischen Hilfsmitteln zur Verfügung stellen.

Solange astronomische Meßkunst beschränkt war auf die Festlegung der Richtung, aus der das Licht zu uns kommt, d. h. auf die Bestimmung scheinbarer Örter und Ortsveränderungen an der Himmelskugel, fügten sich alle Aufgaben der Theorie — wenn wir absehen von der speziellen Theorie der Instrumente und der Beobachtungsmethoden — in den Rahmen der „Himmlichen Mechanik“, entsprechend dem Ideal der klassischen Physik, alle Naturvorgänge auf die Mechanik als letzte Grundlage zurückzuführen. Das von NEWTON aufgestellte Gesetz der allgemeinen Massenanziehung war das einzige und umfassende Grundgesetz allen Geschehens im Weltenraum; aus ihm galt es, die Fülle der beobachtbaren Erscheinungen abzuleiten. Die Entwicklung einer den besonderen Verhältnissen des Planetensystems angepaßten Störungstheorie lief parallel mit den Bemühungen der bedeutendsten Mathematiker um Lösungen des allgemeinen Dreikörperproblems und um die Beantwortung der Frage nach den Gleichgewichtsfiguren der Himmelskörper.

Die Planetentheorie der NEWTONSchen Mechanik erlebte einen ihrer schönsten Erfolge in der Auffindung des aus den Störungen des Uranus vorausberechneten Planeten Neptun und stellte die Bewegungen aller Planeten so vollkommen dar, daß die wenigen Widersprüche zwischen Theorie und Beobachtung, die gegen Ende des vorigen Jahrhunderts noch

vorhanden waren, von den meisten nur als unbedeutende Schönheitsfehler empfunden wurden, die durch geeignete Zusatzhypothesen beseitigt werden konnten. Für andere allerdings wurden gerade diese unerklärten Reste in den Bewegungen der Planeten und des Mondes zu Ansatzpunkten der Kritik an den Grundlagen der NEWTONSchen Mechanik selbst. Spekulationen über notwendige Abänderungen des NEWTONSchen Gravitationsgesetzes und über die Grenzen seiner allgemeinen Gültigkeit tauchten immer wieder auf, bis die allgemeine Relativitätstheorie den Weg zeigte, auf dem ein Teil der Schwierigkeiten gelöst werden konnte. Die Erklärung der überschüssigen Bewegung des Merkurperihels ist einer der wichtigsten Prüfsteine dieser Theorie geworden. Ein anderer Teil der „empirischen Glieder“, darunter das größte von der Theorie nicht erklärbares Glied der Mondbewegung, führte zu einer Revision der astronomischen Zeitmessung und zur Entdeckung der Ungleichförmigkeit der Rotation der Erde.

Im ganzen muß man heute feststellen, daß die mit der Bewegung der großen Planeten zusammenhängenden Probleme keine große Anziehungskraft mehr ausüben; obwohl es nicht an Stimmen fehlt, die einer Neugestaltung der — vom rein mathematischen Standpunkt aus nicht gerade „elegant“ zu nennenden — Theorie das Wort reden und eine Neubearbeitung des gesamten Beobachtungsmaterials, unter Hinzunahme des seit der letzten Bearbeitung hinzugekommenen, für dringend wünschenswert halten. Der praktische Erfolg der vorhandenen Theorien ist zu groß, und die von einer neuen Theorie zu erwartenden Verbesserungen erscheinen zu unbedeutend, um den für die Durchführung einer solchen Aufgabe notwendigen Einsatz großer Mittel zu rechtfertigen. So wird man sich wohl für die nächste Zeit noch darauf beschränken, die Theorie der Bewegung des Merkur zu überprüfen und mit der Beobachtung zu vergleichen, und wird die völlige Neugestaltung der Theorie des Planetensystems einer künftigen Generation überlassen.

Die Aufmerksamkeit der Theoretiker wird sich mehr den Aufgaben zuwenden, die durch die kleinen Planeten gestellt werden. Die durch Neuentdeckungen ständig wachsende Zahl dieser Himmelskörper läßt die Frage der rationellen Gestaltung und Bearbeitung der Beobachtungen immer dringender werden und macht das Gesamtsystem der kleinen Planeten schon teilweise reif für statistische Behandlungsweisen, die dann in der Grenze überleiten zur Dynamik kosmischer Staubmassen und damit unmittelbar zu den Aufgaben, die durch das Zodiakallicht und die meteorischen Massen im interplanetaren und im interstellaren Raum gestellt werden. Daneben beanspruchen einzelne Glieder des Planetoidenringes besondere Beachtung gerade als Individuen, sei es durch große Exzentrizitäten und Neigungen ihrer Bahnen oder durch ihre Beziehungen zu den großen Planeten, wie die nahe Verwirklichung stabiler Dreieckslösungen des Dreikörperproblems bei den „Trojanern“ (Planeten, die in der mittleren Entfernung des Jupiter umlaufen) oder die niedrigzahligen Kommensurabilitäten in den mittleren Bewegungen der Planeten, die in der Nähe der auffälligen Lücken im Planetoidenring stehen.

Das Schwergewicht der allgemeinen theoretischen Untersuchungen zur Himmelsmechanik hat sich, wesentlich unter dem Einfluß der Behandlung des als „problème restreint“ bezeichneten Sonderfalles des allgemeinen Dreikörperproblems, in einer Richtung verschoben, in der es dem Bereich der eigentlichen Astronomie weitgehend entrückt wird. Die Frage nach dem zeitlich-räumlichen Ablauf der Bewegung bei gegebenen Anfangsbedingungen — wie sie der Theorie von der Beobachtung gestellt wird — tritt zurück hinter der allgemeineren Frage nach der Mannigfaltigkeit der Bewegungstypen und ihrer Stabilität. Programmatisch in dieser Richtung weisen POINCARÉ'S „Méthodes nouvelles de la mécanique céleste“, in deren Einleitung das Programm der Himmelsmechanik ganz allgemein so formuliert wird: „Le véritable but de la mécanique céleste n'est pas de calculer les éphémérides, . . . mais de reconnaître si la loi de NEWTON est suffisant pour expliquer tous les phénomènes“. Mengentheorie und Topologie liefern heute das Rüstzeug zur Behandlung dieser Fragen; groß angelegte Durchforschung der Bahnformen im problème restreint mit Hilfe der numerischen Integration von Spezialfällen kann zum Teil wegweisend wirken bei der Klassifikation.

Die mit der „Figur und Rotation der Himmelskörper“ — so lautet die klassische Formulierung — zusammenhängenden Fragen sind stark in den Vordergrund gerückt, seit die Theorie des inneren Aufbaues der Sterne kosmogonischen Betrachtungen neuen Auftrieb und breitere Unterlage gegeben hat. Wie im Dreikörperproblem, so sind auch hier mathematischer Behandlung nur Spezialfälle zugänglich. Die beiden Idealmodelle von Sternen, mit denen sich die klassische Theorie befaßt, sind die homogene inkompressible Flüssigkeit und der Gasball mit punktförmiger Masse im Mittelpunkt (Modell von ROCHE). Beide Modelle führen zu grundsätzlich verschiedenen Gleichgewichtsfiguren unter der Wirkung von Rotations- und Gezeitenkräften und zu ebenso verschiedenen Formen des Instabilwerdens. Die theoretische Behandlung der wirklichen Himmelskörper, d. h. von Massen aus kompressibler Materie mit Dichtegradienten nach der Mitte zu, ist über halbempirische Versuche, das Verhalten von Zwischenmodellen aus dem der beiden Grenzfälle zusammensetzen, kaum hinausgekommen. Vor allem aber fehlt noch völlig der Übergang vom statischen Problem zum dynamischen an den entwicklungsgeschichtlich bedeutsamen Instabilitätsstellen: der Teilung der birnenförmigen Figur und des äquatoralen Ausströmens bei dem Modell von ROCHE. Die Frage nach der Entstehung und Entwicklung von Doppelsternsystemen ist vom Standpunkt einer exakten Himmelsmechanik noch ebenso unbefriedigend beantwortet wie die nach den Ursachen der Spiralstruktur, die so überaus zahlreich und in so mannigfacher Weise im Weltall verwirklicht ist.

Vielleicht ergibt sich ein Zugang, wenigstens zu dem Problem der Spiralnebel, noch von einer anderen Seite her, unter Aufgabe der so stark an speziellen hydrodynamischen Modellen orientierten Vorstellungen. Die Deutung der Bewegungen im Milchstraßensystem ist neuerdings im Gegensatz zu älteren Modellkonstruktionen auf allgemeinsten statistisch-mechanischer Grundlage versucht worden. Dabei zeigt sich, daß man

unter sehr viel allgemeineren Voraussetzungen, als sie bei den bisherigen Modellen gemacht wurden, auf die beobachteten Besonderheiten des Bewegungszustandes des Systems geführt wird.

Die Erfolge in der Erforschung der Fixsternwelt sind vor allem gekennzeichnet durch eine ungeheure Ausweitung des der Beobachtung zugänglichen Raumes. Dazu haben beigetragen auf der einen Seite die Vergrößerung und Leistungssteigerung der optischen Hilfsmittel, auf der anderen die eingangs schon hervorgehobene Verbreiterung der physikalischen Grundlagen, durch die es dem Astronomen ermöglicht wurde, neben der Richtung auch Quantität und Qualität der Sternstrahlung in den Bereich seiner Messungen einzubeziehen.

Das Ergebnis der zahlreichen Bemühungen um die Entfernungsbestimmung der Sterne auf rein geometrischer Unterlage — der „trigonometrischen Parallaxenbestimmung“ — war um die Jahrhundertwende, knapp 65 Jahre nach dem ersten Erfolg, eine Liste von noch nicht hundert Sternen, deren Abstände als einigermaßen gesichert gelten konnten. Die Anwendung der größten Hilfsmittel unserer Zeit unter Aufbietung aller Feinheiten astronomischer Meßkunst hat diese Zahl inzwischen etwa auf das Dreißigfache erhöht und wird sie vielleicht im Laufe der nächsten Jahre noch einmal verdoppeln, so daß wir um das Jahr 1940 über einen Katalog von 5 bis 6000 gut bestimmter trigonometrischer Parallaxen verfügen werden. Aber alle zur Zeit im Bereich der Möglichkeit liegende Steigerung der Beobachtungsgenauigkeit wird den Raum, der unmittelbarer Parallaxenbestimmung zugänglich ist, nicht über die Grenze von einigen hundert Lichtjahren hinaus ausdehnen können. Das ist recht wenig, gemessen an den Dimensionen des Milchstraßensystems, die sich, wie wir aus anderen Erfahrungen schließen dürfen, auf zehntausende von Lichtjahren belaufen.

Die große Bedeutung der aus trigonometrischen Parallaxen erschlossenen Entfernungen beruht darin, daß sie das tragende Fundament darstellen für alle anderen, indirekten Entfernungsbestimmungen und daß sie eine hypothesenfreie Berechnung absoluter Sterneigenschaften ermöglichen. Nur durch sie haben wir Kenntnis erlangt von der Existenz von Riesen- und Zwergsternen und in der Folge von den Zusammenhängen zwischen den absoluten Leuchtkräften der Sterne und den Eigentümlichkeiten im Spektrum, die zum Ausgangspunkt der photometrischen Entfernungsbestimmungen wurden. Sie allein haben die Berechnung der Massen von Doppelsternsystemen ermöglicht und die Berechnung der linearen Durchmesser der Sterne, ohne deren Kenntnis unseren Vorstellungen von der Natur der Sterne der sichere Boden fehlte.

Die Zeit der groß angelegten Parallaxenbeobachtungen scheint sich allerdings mit der Erfüllung der Aufgabe, die nächsten Stützpunkte aufgerichtet und die Voraussetzungen für die Anwendung weiter tragender Methoden geschaffen zu haben, ihrem Ende zu nähern. Dafür aber reift die Zeit heran, die uns die Früchte selbstloser Arbeit unserer Vorgänger in reichstem Maße ernten läßt durch Ableitung der Eigenbewegungen der Sterne aus dem Vergleich der heutigen Örter mit den Katalogen und

photographischen Aufnahmen früherer Epochen. Das Hauptgewicht liegt dabei auf der großen Masse der schwachen Sterne, die nur photographisch erfaßt werden können. In den Aufnahmen für die „Photographische Himmelskarte“ und den Plattenbeständen zahlreicher Sternwarten aus dem Ende des vorigen und dem Beginn unseres Jahrhunderts liegt ein Material vor, das mit jedem Jahr wertvoller wird; denn jedes Jahr vergrößert infolge der Bewegung der Sonne durch den Raum die Basis für geometrische Messungen um den doppelten Durchmesser der Erdbahn. An einer Reihe von Sternwarten sind Wiederholungsaufnahmen zur Ableitung der Eigenbewegungen bereits in Gang; die kommenden Jahre werden diese Arbeiten immer stärker in den Vordergrund rücken. Wenn erst gute Eigenbewegungen bis zu möglichst schwachen Sternen vorliegen, dann werden eine Reihe von Problemen ihre Lösung finden, um die wir uns heute noch mit recht wenig tauglichen Mitteln bemühen: Die Bewegung der Sonne und der Sterne in ihrer näheren Umgebung im Verhältnis zu den Bewegungen der übrigen Sterne des Systems, die mittleren Entfernungen. (Säkulärparallaxen) der Sterne verschiedener Helligkeiten und Spektraltypen, die Zugehörigkeit der Sterne zu einzelnen räumlich benachbarten Gruppen (Bewegungshaufen und offene Sternhaufen).

Im Zusammenhang mit dem Studium der Bewegungen der Sterne hat eine Aufgabe erneut an Bedeutung gewonnen, die so recht in das Gebiet der klassischen Astrometrie gehört, gedanklich und methodisch: die Orientierung des astronomischen Koordinatensystems. Bislang noch wird das empirische Koordinatensystem dargestellt durch die Gesamtheit der Fundamentalsterne, d. h. einer verhältnismäßig kleinen Gruppe heller und naher Sterne, deren Beziehung zum Milchstraßensystem eingeht in die Beziehung zwischen dem empirischen Koordinatensystem der Beobachtung und dem theoretischen der Himmelsmechanik. Der Gedanke, eine bessere Annäherung an ein „Inertialsystem“ zu bekommen durch Verankerung des empirischen Systems an Objekten jenseits der Grenzen der Milchstraße, hat in den letzten Jahren Gestalt angenommen durch Inangriffnahme von Beobachtungen, die den Anschluß der Fundamentalsterne an die entfernten außergalaktischen Nebel zum Ziel haben.

Zeigt sich hier der Zusammenhang mit einer der Grundfragen der Positionsastrometrie und der Himmelsmechanik, so bemerken wir zugleich die vorteilhafte Auswirkung astrophysikalischer Hilfsmittel. Erst die gemäß dem DOPPLERSchen Prinzip aus den Verschiebungen der Linien im Spektrum abgeleiteten Radialgeschwindigkeiten konnten die Eigenbewegungen an der Sphäre zu vollständigen Bewegungen im Raum nach Größe und Richtung ergänzen. Der Umstand, daß diese Methode unmittelbare lineare Geschwindigkeiten (in Kilometern pro Sekunde) liefert, macht sie so wertvoll für die Eichung aller geometrischen Messungen, die zunächst nur Winkel liefern und daher der Bestimmung eines Skalenfaktors bedürfen. Und daß die Grenze der Meßbarkeit der Radialgeschwindigkeiten nur durch die Helligkeit der Objekte und die Lichtstärke der Instrumente bestimmt wird, nicht aber durch die Entfernung der Objekte vom Beobachter, macht die Deutung der Zusammenhänge leichter und klarer. Dieser grund-

sätzlich unbegrenzten Reichweite der Methode verdanken wir einzig und allein die Kenntnis von den Bewegungen der Spiralnebel, die aus den Eigenbewegungen an der Sphäre auch in einer fernen Zukunft kaum hätte erschlossen werden können. Denn nur die Anwendung des DOPPLERschen Prinzips konnte die Tatsache enthüllen, daß alle Spiralnebel in radialer Richtung von uns wegstreben mit Geschwindigkeiten, die mit der Entfernung wachsen, von wenigen hundert Kilometern pro Sekunde bis zu der größten heute bekannten von einem Viertel der Lichtgeschwindigkeit.

Durch die Ausweitung und Sicherung unserer Vorstellungen von der Verteilung der Sterne und Sternsysteme im Raum hat ein Problem eine überraschende Wendung genommen, das einen wesentlichen Teil des Inhaltes der klassischen „Stellarastronomie“ ausmachte. Das „Milchstraßensystem“, dessen erstes, nur auf Sternzählungen gegründetes Bild HERSCHEL vor anderthalb Jahrhunderten entwarf, von dem KAPTEYN und SEELIGER, die Führer der hinter uns liegenden Epoche stellarastronomischer Forschung, eine wenigstens in ihren Grundzügen richtige Vorstellung erarbeitet zu haben glaubten, dieses flach linsenförmige mit Sternen in gesetzmäßiger Dichteverteilung erfüllte Gebilde mit Durchmessern von der Größenordnung 5000 und 25000 Lichtjahren, das in die Literatur eines Jahrhunderts als *das* Sternsystem eingegangen ist, hat sich als ein Phantom erwiesen, dessen wesentliche Züge mit denen des wirklichen Milchstraßensystems recht wenig Gemeinsames haben.

Durch Festlegung der Entfernungen der kugelförmigen Sternhaufen wurde SHAPLEY auf das „Größere Galaktische System“ geführt, dessen Mittelpunkt in einer Entfernung gesucht werden mußte, in der nach den bisherigen Vorstellungen die Grenzen des Milchstraßensystems lagen. Damit aber wurde die Einordnung des KAPTEYN-SEELIGERSchen Systems in das größere System zum Problem. Sollte es, mit vielleicht verkleinerten Dimensionen, als „lokales Sternsystem“ ein untergeordnetes Dasein führen oder konnte man es durch Einbeziehung auch der schwächsten Sterne nach den alten Methoden der Sternzählung ausweiten zum größeren System selbst? Die fortschreitende Erkenntnis der sehr ungleichmäßigen Struktur des Größeren Galaktischen Systems, das aus Sternwolken, Sternhaufen, Einzelsternen, leuchtenden und dunklen Nebelwolken sich zusammensetzt, hat gegen beide Möglichkeiten entschieden. Das „typische Sternsystem“ gehört der Vergangenheit an als ein mit unzureichenden Mitteln unternommener Versuch.

Nicht unähnlich liegen die Verhältnisse bei dem Parallelproblem, der Deutung der Bewegungen im Milchstraßensystem. Der „Apex“ der Sonnenbewegung, der „Vertex“ der Sternbewegung, das „Geschwindigkeitsellipsoid“ des Sternsystems sind Begriffe, die ganz an dem einfachen Modell des typischen Sternsystems sich herausgebildet hatten und mit diesem Modell selbst ihren eigentlichen Sinn verlieren mußten. Die Auflösung des großen Milchstraßensystems in räumlich mehr oder weniger zusammengehörige Gruppen, in denen wir vielleicht Spuren entwicklungsgeschichtlicher Zusammenhänge sehen dürfen, brachte zugleich eine Vielheit

der Apizes, Vertizes, Geschwindigkeitsellipsoide, um deren Einordnung in ein Gesamtbild des Bewegungszustandes es nun geht. Es bleibt abzuwarten, ob die Vorstellungen der einfachen „Rotationstheorie“, die zur Zeit im Vordergrund stehen, das Feld behaupten werden.

Wenn man fragt, in welcher Richtung die Forschung hier mit der größten Aussicht auf Erfolg vorwärts getrieben werden kann, dann bieten sich zwei Möglichkeiten dar. Man wird versuchen können, in mühevoller und aufopfernder Kleinarbeit, unter Aufbietung möglichst großer instrumenteller Hilfsmittel, die verschiedenen Arten von Kondensationen im Milchstraßensystem, vorab die großen Milchstraßenwolken und die offenen Sternhaufen, zu analysieren hinsichtlich der Verteilung ihrer Mitglieder nach Leuchtkräften, Spektraltypen und Bewegungen, um so langsam aus den Teilen das Ganze gewissermaßen von innen heraus aufzubauen. Umgekehrt wird man aber auch das Studium der Gebilde außerhalb des Milchstraßensystems, namentlich der großen Spiralnebel von der Art des Andromedanebels oder des Nebels im Triangulum, fruchtbar machen können für die Deutung des Systems, dessen Teil wir sind.

Die Anschauung, daß das Milchstraßensystem ein den Spiralnebeln gleichgeordnetes System sei, als Spekulation zurückreichend bis in die Zeit der Entdeckung der ersten Spiralnebel, wird immer mehr durch die Beobachtungen in den Bereich gesicherter Erkenntnis gerückt. Vor wenigen Jahren noch schien die recht verschiedene Größe des Milchstraßensystems und des Andromedanebels dieser Vorstellung erhebliche Schwierigkeiten zu bereiten, so daß vorübergehend der Vorschlag gemacht wurde, das „Größere Galaktische System“ in Parallele zu setzen nicht zu einem einzelnen, sondern zu einem kleinen Haufen außergalaktischer Systeme. Inzwischen sind durch die Berücksichtigung des Einflusses der Absorption des Lichtes durch die dunklen Massen innerhalb unseres Systems auf die Bestimmung der Entfernungen die Dimensionen des Milchstraßensystems merklich verkleinert worden, während umgekehrt die photoelektrische Abtastung der weiteren Umgebung des Andromedanebels zu der Entdeckung führte, daß die äußersten Ausläufer der Spiralarms sich noch bis in sehr viel weitere Entfernung vom Mittelpunkt verfolgen lassen, als nach den bisherigen photographischen Aufnahmen vermutet werden konnte. Und wie sich beide Systeme in ihren Größen vergleichbar zeigen, so auch in ihrer Zusammensetzung aus Sternen der verschiedensten Art, Sternhaufen, Sternwolken und Nebeln. Selbstverständlich haftet all solchen auf Analogien gegründeten Schlüssen stets etwas Hypothetisches an. Wir werden daher keineswegs der Einzelforschung im Innern des Milchstraßensystems selbst entraten können, wenn wir zu sicheren Vorstellungen kommen wollen über seine Einordnung in die Gesamtheit des Kosmos.

Neben diesen auf die Erforschung der Welt in ihrem großen Gesamtaufbau abzielenden Bemühungen kann man feststellen, wie ein immer größerer Kreis von Astronomen in den Bann der Aufgaben gerät, die durch die physikalische Natur der Sterne gestellt werden. Die Vervollkommnung der Hilfsmittel spektrographischer Analyse und die Bereitstellung von Deutungsmöglichkeiten durch experimentelle und theoretische

Atomphysik haben hier ein Gebiet erschlossen, auf dem fast unendlicher Raum für praktische wie theoretische Betätigung ist.

Der Übergang von einer nur qualitativ-chemischen Spektralanalyse, die von dem Vorhandensein gewisser Linien auf das Vorhandensein entsprechender Elemente schließt, zu einer quantitativ-physikalischen, die in Art und Stärke der Linien einen Ausdruck sieht für den physikalischen Zustand der Materie, kennzeichnet die Wandlung, die mit der Aufnahme der Atomtheorie in der Astrophysik Platz gegriffen hat. War die Entdeckung des auf der Erde noch unbekanntes Elementes Helium im Spektrum der Sonne eine der Glanzleistungen der chemischen Epoche, so leitet die Zuordnung der „Pickering-Serie“, die bis dahin als „zweite Nebenserie“ dem Wasserstoff zugeschrieben war, zum einfach ionisierten Helium die neue physikalische Epoche ein, während die Deutung der Linien des sagenhaften Elementes Nebulium als „verbotene“ Linien mehrfach ionisierten Stickstoffs und Sauerstoffs einen gewissen Höhepunkt der seitherigen Entwicklung darstellt. Für die Linien im Spektrum der Sonnenchromosphäre ist zwar bis heute eine endgültige Deutung noch nicht gefunden; aber wir dürfen hoffen, daß die fortschreitende Analyse der Termschemata der irdischen Elemente auch hier die Lösung bringen wird.

In dem Maße, in dem die aus den Spektren zu ziehenden Schlüsse sich vervielfältigen und zugleich verfeinern, wachsen die Anforderungen an die Beobachtungen. Quantitative spektralphotometrische Untersuchungen des kontinuierlichen Spektrums wie der Linien spielen hier eine ähnliche Rolle wie in der Positionsastronomie etwa die das Letzte herausholenden Präzisions-Mikrometer-Beobachtungen. Noch halten wir allerdings vielfach bei den ersten „Durchmusterungen“ und bei dem Herauslösen einzelner besonders lohnender oder leicht zu bewältigender Aufgaben, vergleichbar dem Herauspicken der Rosinen aus einem schönen großen Kuchen. Aber auch die entsagungsvollen Präzisionsmessungen sind an einzelnen Stellen schon in Angriff genommen und werden allmählich den Katalogen der Sternörter ebenbürtige Verzeichnisse der physikalischen Kennzeichen an die Seite stellen.

Die erste Begeisterung über die Theorie des inneren Aufbaues der Sterne hat einer etwas skeptischeren Haltung Platz gemacht. Seit wir einsehen mußten, daß das „Masse-Leuchtkraft-Gesetz“ unter sehr viel allgemeineren Voraussetzungen der Theorie erhalten wird, als sie dem Modell von EDDINGTON zugrunde liegen, seit genauere Analyse die Notwendigkeit dargetan hat, auf Strömungen und turbulente Vorgänge im Sterninnern Rücksicht zu nehmen, und seit die Entwicklung der Kernphysik die Mannigfaltigkeit der Wechselwirkungen der Elementarbestandteile der Materie vergrößert hat, erscheinen die Vereinfachungen der ersten Theorie zu weitgehend, als daß wir noch so zuversichtlich wie vielleicht vor 10 Jahren zu wissen glaubten, wie es im Innen der Sterne wirklich aussieht.

Es ist kein Zufall, daß ein ganz modernes Lehrbuch der Astronomie den inneren Aufbau der Sterne mit einigen wenigen Worten erledigt und mit um so größerer Ausführlichkeit bei den „Sternatmosphären“ verweilt.

Im Innern der Sterne ist in der Tat alles Hypothese, nichts unmittelbar an der Erfahrung prüfbar, während die Eigenschaften der äußeren Hülle in den mannigfachen Zeichen der Spektren sich zu erkennen geben und die Aussagen der Theorie sich umsetzen lassen in meßbare Größen. So haben denn hier unter den vereinten Bemühungen von astronomisch eingestellten Physikern und physikalisch geschulten Astronomen eine Reihe von Fragen ihre, wenn auch manchmal noch unvollkommene Beantwortung gefunden.

Der Aufbau einer normalen Sternatmosphäre im Gleichgewicht zwischen Gravitation und Strahlung ist in seinen Hauptzügen geklärt; in der Wirkung des selektiven Strahlungsdruckes wurde die Ursache erkannt für das „chromosphärische Gleichgewicht“, das durch eine bis dahin unverständliche, weil von dem DALTONSchen Gesetz abweichende, Höhenverteilung der Elemente gekennzeichnet ist; wir wissen weitgehend Bescheid über das Zustandekommen der Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Spektrum, über Intensität und Form der Absorptionslinien, über die Ursachen des Nebelleuchtens — um nur einige der wichtigsten Punkte herauszugreifen.

An anderen Stellen ist die Theorie über die ersten tastenden Versuche noch kaum hinausgekommen. So bei der Erklärung der hellen Linien in den Spektren der Sterne niedriger Temperatur; in der Deutung der Sonnenkorona und der magnetischen und elektrischen Felder auf der Sonne und den Sternen; in der Erforschung der Natur des interstellaren Mediums, das in den „ruhenden Kalziumlinien“ seine Existenz verrät; nicht zu vergessen die verwickelten Erscheinungen bei den neuen Sternen, die gerade bei den letzten und bestuntersuchten dieser Art besonders hervortraten.

Wir haben uns darauf beschränkt, in großen Zügen einige der Richtungen aufzuzeigen, in denen sich die Front astronomischer Forschertätigkeit gegenwärtig bewegt. Das Bild wird subjektiv sein in der Auswahl und in der Verteilung der Schwerpunkte; denn es ist das Bild, das ein Einzelner sich von seiner Wissenschaft macht. So möge es abgerundet werden durch die nicht minder persönlich bedingte Beantwortung einer Frage, die sich angesichts der äußeren Entwicklung der Astronomie aufdrängt. Wir lesen in Tageszeitungen und in illustrierten Zeitschriften von dem Bau immer größerer Instrumente und den damit erzielten Erfolgen. Wir vergleichen damit die oft mehr als bescheidene Ausrüstung bestehender Sternwarten und fragen: „Ist erfolgreiche Forschertätigkeit auf astronomischem Gebiet heute notwendig gebunden an den Besitz großer Instrumente?“

Wendet man die Frage so, daß man von den Problemen ausgeht, deren Lösung uns am meisten am Herzen liegt, dann wird man um den Schluß kaum herumkommen, daß dazu allerdings größte Hilfsmittel erforderlich sind; denn fast überall hängt der Erfolg davon ab, daß man zu beliebig schwachen Objekten vordringen kann. Fragt man dagegen umgekehrt, ob es für vorhandene kleine Instrumente nicht auch noch Aufgaben gibt, dann wird man keineswegs mit einem unbedingten „Nein“ antworten müssen. Aber man wird beim Aufzeigen dieser Aufgaben erkennen, daß sie

von einer Art sind, die selbstloses Aufgehen in einer größeren Gemeinschaftsarbeit verlangt, wie z. B. die planvolle Überwachung veränderlicher Sterne oder die systematische Beobachtung von Sternschnuppen und Meteoroiden.

Die letzten Bemerkungen leiten über zu einer ergänzenden Frage: „Wie weit kann den allgemeinen Bedürfnissen Genüge geleistet werden durch planvolle Organisation der vorhandenen Hilfsmittel?“ Bei dem Bau des neuen 200zölligen Spiegels wird als wesentlich geltend gemacht, daß es für die gesamte Astronomie wertvoller sei, diesen einen ganz großen Spiegel aufzustellen, als etwa statt seiner einige 100zöllige Spiegel zu bauen; da diesem einen Spiegel Aufgaben vorbehalten sind, die mit einem Hundertzöller nicht gelöst werden können. Dieses einzigartige Instrument soll dann aber auch, unter den besten äußeren Bedingungen aufgestellt, den Astronomen der ganzen Welt im Rahmen internationaler Zusammenarbeit zur Verfügung stehen.

In Südafrika sind in den letzten Jahren neben den Sternwarten der Engländer Filialen der Amerikaner und der Holländer entstanden, mit großen Instrumenten ausgestattet und einzig dem Zweck dienend, den Astronomen des Heimatlandes die Möglichkeit zu geben, unter den günstigsten Bedingungen Material für ihre Forschungen zu sammeln, das sie zu Hause verarbeiten. Einige Jahre lang ist eine deutsche astronomische Station in La Paz unterhalten worden als Ableger des Potsdamer Astrophysikalischen Observatoriums, und zur Zeit befindet sich eine kleine Station in der Nähe von Windhuk als Ansatzpunkt für die Verwirklichung von Plänen, der deutschen Astronomie eine große Sternwarte unter südlichem Himmel zur Verfügung zu stellen, an der alle teilhaben sollen, die an den großen Aufgaben der Astronomie mitzuarbeiten berufen sind.

Ohne Zweifel ist die Fragestellung des echten Forschers immer die, daß er von dem Problem her, zu dessen Lösung er sich gedrängt fühlt, nach den Hilfsmitteln verlangt, die ihm für die erfolgreiche Durchführung der Aufgabe am geeignetsten erscheinen. Zu zufällig gegebenen, aus der Vergangenheit überlieferten Instrumenten geeignete Aufgaben suchen, führt leicht zu einer Ansammlung von Beobachtungen um ihrer selbst willen; aus einer Einstellung heraus, die durch den manchmal zitierten Ausspruch eines extremen Vertreters dieser Richtung gekennzeichnet wird: „Wollen Sie die Instrumente kalt stehen lassen?“ Es wird Aufgabe planvoller Verwaltung des jeweils vorhandenen Bestandes an instrumentellen und geistigen Hilfsmitteln sein, zwischen dem Ideal der Forderung und der möglichen Verwirklichung zu vermitteln: dem, der zur Lösung großer Aufgaben berufen erscheint, die Hilfsmittel zugänglich zu machen, die er dafür für notwendig hält; und Vorhandenes nicht um seiner selbst willen zu erhalten, aber so weit es tauglich ist, immer wieder in den Dienst neuer Aufgaben zu stellen.

# Physik.

Von

P. DEBYE, Berlin.

Die Quantentheorie, die in ihrer jahrzehntelangen Entwicklung die Aufstellung einer großen Reihe von neuen, für die moderne Physik überhaupt charakteristischen Begriffsbildungen zutage gefördert hat, wurde vor 35 Jahren begründet, als PLANCK seine neue Strahlungsformel der Deutschen Physikalischen Gesellschaft vorlegte.

Schon war es 1884 BOLTZMANN, ausgehend von der Tatsache, daß die Strahlung einen nach MAXWELL aus den Gesetzen der Elektrodynamik folgenden Druck auf die Wand ihres Behälters ausübt, gelungen, das STEFANSche Gesetz theoretisch zu begründen, wonach die gesamte Strahlungsenergie der schwarzen Strahlung endlich und der vierten Potenz der absoluten Temperatur proportional sein muß. W. WIEN hatte 1893, indem er die bei der Kompression der Strahlung nach den Gesetzen der Optik auftretenden Wellenlängenänderungen genauer verfolgte, seinen Verschiebungssatz abgeleitet, der es gestattet, aus der bei einer Temperatur beobachteten Energieverteilung über die verschiedenen Wellenlängen des Spektrums auf die Verteilung bei allen anderen Temperaturen zu schließen. Das Grundgesetz, von dem hier auszugehen war, fehlte indessen. PLANCK war es, dem es gelang, dieses Gesetz zu finden, indem er in glücklichster Weise zwei Gesetzmäßigkeiten, beide nur bedingt gültig, die eine von RAYLEIGH und JEANS, die andere von W. WIEN stammend, miteinander verknüpfte. So war die allgemeine Strahlungsformel gefunden, die sich seither als grundlegend erwiesen hat. Doch nicht so sehr die Strahlungsformel selber als vielmehr die Grundannahme, welche PLANCK im Lichte der Statistik als zu ihrer Begründung unentbehrlich erkannte, war es, welche die Umgestaltung unseres physikalischen Denkens herbeiführte.

Die Energie, welche von einem Oszillator aufgenommen werden kann, sollte nach PLANCK nicht in beliebig kleinen, sondern nur in endlichen Energiequanten aufgenommen werden können, welche selbst wieder der Eigenschwingungszahl des Oszillators proportional zu setzen waren. Damit trat der Proportionalitätsfaktor, eine neue Naturkonstante von der Dimension einer Wirkung (Energie mal Zeit), das PLANCKsche Wirkungsquantum  $h$  zum erstenmal in Erscheinung. Die mächtige Wirkung, die von diesem Wirkungsquantum ausgegangen ist, hat der sonst eher sachlich nüchterne LORENTZ 1927 bei der erstmaligen Ausreichung der nach ihm benannten Medaille an PLANCK in seiner Ansprache durch folgende Worte gekennzeichnet: „Ihnen war es beschieden, es ist jetzt 26 Jahre her, einen Gedanken zu fassen, der wie kaum ein anderer anregend und befruchtend

gewirkt hat. Sie fanden einen köstlichen Edelstein, der, auf dunklem und geheimnisvollem Hintergrund strahlend, sein Licht nach allen Richtungen aussendet, vorher ungeahnte Zusammenhänge erkennen läßt und die entlegensten Gebiete beleuchtet.“

In der Tat hatte, um nur das Wichtigste zu nennen, die Übertragung der PLANCKSchen Formel auf den materiellen Oszillator durch EINSTEIN und danach auf die elastischen Eigenschwingungen des festen Körpers durch DEBYE verständlich gemacht, warum und wie die spezifische Wärme bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt immer weiter abnimmt. Der NERNSTSche Wärmesatz wurde als Quanteneffekt verständlich. EINSTEIN hatte die Gesetze des Photoeffektes als unmittelbare Anwendung der Idee des Energiequantums erkannt. BOHR hatte mit Hilfe des Wirkungsquantums das gegen die anerkannten Gesetze der klassischen Elektrodynamik verstoßende RUTHERFORDSche Atommodell lebensfähig gemacht und damit gleichzeitig das ganze große Gebiet der Spektralserien sowie das periodische System der chemischen Elemente dem Verständnis zugänglich gemacht.

Das alles war geschehen, ohne daß die eigentliche Bedeutung des PLANCKSchen Wirkungsquantums klar erkannt war. Welche großen Schwierigkeiten sich hier dem Fortschritt entgegenstimmten, ging ganz besonders eindringlich aus einigen Betrachtungen von EINSTEIN über die statistischen Schwankungen der Strahlung hervor. Ermöglicht wurden die Aussagen über diese Schwankungen auf Grund der BOLTZMANNschen Verknüpfung von Entropie und Wahrscheinlichkeit, so daß der PLANCKSche Ausdruck für die Energie und Entropie der Strahlung nunmehr als Ausgangspunkt für Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen dienen konnte. Es stellte sich nun heraus, daß die Schwankungen der Energie in einem Teil eines Strahlungsraumes genau so berechnet werden mußten wie die Schwankungen der Zahl der Moleküle in einem Teil eines gasgefüllten Raumes, vorausgesetzt daß man die Strahlung als aus unabhängigen Energiequanten  $h\nu$  bestehend ansah. Aber dieses Resultat war nicht allgemein gültig; es galt nur für den Grenzfall hoher Frequenzen, in dem das vollständige PLANCKSche Strahlungsgesetz durch die früher schon erwähnte WIENSche Näherung zu ersetzen war. Betrachtete man andererseits den Grenzfall langer Wellen, für welchen die PLANCKSche Formel in das RAYLEIGH-JEANSsche Gesetz übergeht, dann waren die Schwankungen genau so, wie sie durch Überlagerung und Interferenz von optischen Wellen hervorgerufen werden.

Wellen oder Lichtquanten, das war daher die schwierige Frage, die vor 10 Jahren die Physiker beunruhigte. Wundervoll konnten einerseits die vielen optischen Interferenzerscheinungen als Überlagerungen von elektromagnetischen Wellen verstanden werden, aber andererseits war es nicht weniger einfach und bestrickend, die Strahlung als einen Strom von Lichtquanten zu deuten, die, etwa im lichtelektrischen Effekt, einzeln und plötzlich ihre ganze Energie  $h\nu$  einem Elektron übertragen konnten.

Einen neuen Anstoß erhielten die Betrachtungen aber um diese Zeit, als der COMPTON-Effekt (die Vergrößerung der Wellenlänge bei der Streuung

von Röntgenstrahlen) entdeckt wurde. Die Lichtquanten wurden dadurch realer, denn nun war es nicht nur theoretisch, wie es EINSTEIN schon ausführte, sondern experimentell erwiesen, daß, wenn man schon mit Lichtquanten rechnet, man diesen nicht nur eine Energie  $h\nu$ , sondern gleichzeitig einen Impuls  $\frac{h\nu}{c}$  zuschreiben mußte, ähnlich wie das von einem durch eine für kurze Zeit geöffnete Klappe hindurchgegangenen und deshalb vorn und hinten abgeschnittenen Lichtbündel bekannt war. Wie schon aus der MAXWELLSchen Theorie hervorgeht, kann letzteres nämlich beim Vorgang der Absorption nicht nur seinen Energieinhalt  $E$  übertragen, sondern es erzeugt auch einen im Lichtdruck experimentell nachgewiesenen, mechanischen Stoß, der einem Impulsinhalt  $E/c$  entspricht. In der Tat kann man nun die im COMPTON-Effekt bei der Zerstreung von Röntgenstrahlen beobachtete Wellenlängenänderung nach Größe und Richtungsabhängigkeit erklären durch Anwendung von Energie- und Impulssatz auf den Zusammenstoß von Lichtquant und Elektron, wobei die Handhabung dieser Sätze ganz ähnlich ist, wie man in der klassischen Mechanik den vollkommen elastischen Stoß zweier Kugeln behandelt. Außerdem aber sollte nach diesen Überlegungen gleichzeitig mit der Ablenkung und Abänderung des Lichtquants das Elektron einen Rückstoß in bestimmter Richtung und von bestimmter Größe erfahren. Auch das entspricht der Wirklichkeit, und, was noch bedeutsamer ist, gestreutes Lichtquant und Rückstoßelektron treten in der Tat gleichzeitig auf, wie BOTHE und GEIGER experimentell zeigen konnten. Damit war ein Versuch von BOHR, KRAMERS und SLATER, die Wellen- mit der Korpuskeltheorie zu verschmelzen, mißglückt, denn sie hatten, um ihr Ziel zu erreichen, die Gültigkeit der Erhaltungssätze von Energie und Impuls, wenn auch nicht im Mittel über viele Prozesse, so doch für den Einzelprozeß opfern müssen. Die fundamentale Schwierigkeit, daß in der Natur Strahlung einmal wie Wellen, ein anderes Mal wie ein Strom von Teilchen wirken kann, blieb so nach wie vor unbereinigt.

Dieser Zwiespalt führte am Anfang des letzten Jahrhunderts EINSTEIN und später besonders DE BROGLIE dazu, sich mit der Frage zu beschäftigen, ob nicht in der Natur eine gewisse Reziprozität bestehe, so daß Teilchen nicht nur wie Massenpunkte der klassischen Mechanik behandelt werden müssen, sondern sich vielleicht auch wie Wellen verhalten können. Eine elektromagnetische Welle der Frequenz  $\nu$  und der Wellenlänge  $\lambda$  ist im Quanteneffekt zu ersetzen durch ein Lichtquant der Energie  $E = h\nu$  und des Impulses  $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{E}{c}$ . In Analogie hierzu müßte ein Strom von Massenteilchen, von denen jedes die Energie  $E$  und den Impuls  $p$  besitzt, zu ersetzen sein durch eine Materiewelle von der Schwingungszahl  $\nu = \frac{E}{h}$  und der reziproken Wellenlänge  $\frac{1}{\lambda} = \frac{p}{h}$ . Es war offenbar von höchster Wichtigkeit, diese hypothetische Wellennatur der Materie experimentell nachzuprüfen, d. h. zu versuchen, ob zusammentreffende Materiestrahlen Interferenzerscheinungen hervorrufen können. Daß dem in der Tat so

ist, wurde inzwischen durch zahlreiche Versuche bewiesen. Am leichtesten gelingt der Versuch bei Elektronen, bei denen wegen ihres im allgemeinen relativ geringen Impulses die korrespondierende Wellenlänge nicht gar zu klein ist. Ganz ähnliche Interferenzringe, wie sie bei der Durchstrahlung eines Goldblättchens mit einem monochromatischen Röntgenstrahlenbündel infolge der mikrokristallinen Struktur des Metalls auftreten, lassen sich mit einem Kathodenstrahlbündel erzeugen. Die Wellenlänge der Materiewellen entspricht genau dem Ansatz  $\frac{1}{\lambda} = \frac{p}{h}$ . Da die Interaktion zwischen Atomen und Elektronen ganz erheblich stärker ist als die zwischen Atomen und Röntgenstrahlen, sind die Interferenzen der Elektronenwellen sogar noch leichter zu erzeugen als die LAUESchen Röntgeninterferenzen. Infolgedessen sind die Kathodenstrahlen neben den Röntgenstrahlen praktisch wichtig geworden für Strukturuntersuchungen, besonders auf dem Gebiete der Strukturbestimmung einzelner freier Moleküle, was ebenfalls in den letzten Jahren durchgeführt werden konnte.

Indessen sind die Materiewellen durch Angabe ihrer Phase, d. h. ihrer Wellenlänge und Schwingungszahl im Spezialfalle für freie Teilchen noch lange nicht genau gekennzeichnet. Es fehlt nach diesen Ansätzen noch die allgemeine Methode von offenbar grundlegender Bedeutung, wonach man zu einem beliebigen mechanischen System das zugehörige Wellenbild bestimmen könnte. Hier setzte SCHRÖDINGER ein. Er erinnerte sich der klassischen Arbeiten HAMILTONS, nach denen jedes mechanische Problem auch wie ein Problem der Strahlenoptik formuliert werden kann. Darüber hinaus aber mußte er noch einen wesentlichen Schritt tun. Die HAMILTONSche Formulierung enthält nicht die Begriffe Frequenz und Wellenlänge; sie ist wie eine reine geometrische Optik, in der die Wellenlänge als unendlich klein betrachtet wird, und in welcher dementsprechend Interferenzerscheinungen noch keinen Platz gefunden haben. Unter Einführung einer zunächst etwas rätselhaften Funktion  $\psi$ , die das System in seinen physikalischen Eigenschaften charakterisieren soll, gelang es ihm, für diese Funktion eine Differentialgleichung aufzustellen, welche der optischen Wellengleichung analog ist. Sie wird aufgebaut auf dem Ausdruck der HAMILTONSchen Funktion, welche im Sinne der klassischen Mechanik zu dem System gehören würde; das Wirkungsquantum und damit die Frequenz zieht ein vermittels der allgemeinen PLANCKSchen Beziehung  $E = h\nu$ . Im Lichte dieser Differentialgleichung erweist sich das Atom als ein Gebilde, dessen Dimensionen von der Größenordnung der zum System gehörigen Wellenlängen sind. Es ist daher klar, daß zu seiner Beschreibung eine klassisch mechanische Behandlung, d. h. eine solche, bei der die Wellenlänge als vernachlässigbar klein angenommen wird, nicht mehr ausreichen kann. SCHRÖDINGER kann zeigen, daß z. B. für das Wasserstoffatom nur für eine Reihe diskreter Energiewerte  $E$  Wellenfunktionen  $\psi$  existieren, die im ganzen Raume endlich und eindeutig sind. Er führt daher die Endlichkeit und Eindeutigkeit von  $\psi$  als Bedingung für die stationären Zustände ein, wodurch die früheren, der klassischen Mechanik aufgepfropften, zusätzlichen Quantenbedingungen verschwinden.

Eine große Rolle für die Beurteilung der Intensität der Spektrallinien im allgemeinen und damit für die wichtigen Übergangswahrscheinlichkeiten der älteren Quantentheorie im besonderen spielen die Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den verschiedenen stationären Zuständen. Hier hatte BOHR sich behelfen müssen mit dem Korrespondenzprinzip, wonach in den Grenzfällen, in denen das Wirkungsquantum als praktisch verschwindend klein angesehen werden kann, die Resultate der Quantentheorie mit denen der klassischen Elektrodynamik übereinstimmen müssen. Zwar hatte das Korrespondenzprinzip sich vielfach als ein mächtiges Hilfsmittel gezeigt. So war es mit seiner Hilfe KRAMERS gelungen, eine richtige Dispersions-*theorie* zu entwickeln, und KRAMERS und HEISENBERG hatten diese noch vertiefen können, besonders mit Rücksicht auf die Möglichkeit einer inkohärenten, schon früher von SMEKAL vermuteten Strahlung, die dann schließlich 1928 von RAMAN entdeckt wurde. Die Untersuchung des Streulichtes auf seine Ramanlinien ist inzwischen ein wichtiges Hilfsmittel geworden bei der Bestimmung des Schwingungszustandes der Atome im Molekül. Aber das Prinzip erforderte stets seiner Natur nach eine nicht eindeutig festgelegte Extrapolation. Dementsprechend erhob sich jetzt die Frage, ob und wie die  $\psi$ -Funktionen der einzelnen stationären Zustände verwendet werden konnten, um die Übergangswahrscheinlichkeiten eindeutig festzulegen. SCHRÖDINGERS Überlegungen stammen aus dem Jahre 1926. Es war nun für den raschen Fortschritt und für die richtige Deutung der  $\psi$ -Funktion überhaupt von allergrößter Wichtigkeit, daß HEISENBERG schon ein Jahr früher eine Quantentheorie begründet hatte, welche die Bestimmung der Übergangswahrscheinlichkeiten eindeutig leistete und sich überhaupt in ihrer Weiterentwicklung durch BORN, JORDAN und DIRAC als in sich völlig geschlossen erwies. SCHRÖDINGER konnte nun zeigen, wie sich die  $\psi$ -Funktionen verwenden lassen, um die Übergangswahrscheinlichkeiten mittels einfacher Formeln zu berechnen und wie überhaupt der ganze Formalismus, der zur HEISENBERGSCHEN Theorie gehört, sich mit Hilfe der  $\psi$ -Funktionen in bequemer Weise darstellen läßt.

So war jetzt das Quantelungsproblem auf eine eindeutige und mathematisch geläufige Form gebracht; die Anwendungen des Verfahrens konnten nun an die Hand genommen werden. Viele ältere Probleme wurden neu formuliert, und manche der infolge der früheren unvollkommenen Methoden hereingebrachten Unklarheiten beseitigt. Besonders schön aber zeigte sich der Wellencharakter der Materie bei der 1928 von GAMOW, sowie von GURNEY und CONDON gefundenen Erklärung der GEIGER-NUTTALSCHEN Beziehung. Nach dieser Relation besteht ein Zusammenhang zwischen der Zerfallskonstante eines  $\alpha$ -Teilchen aussendenden radioaktiven Elementes und der Reichweite und damit der Energie jener Teilchen. Stellt man sich nun den Kern vor wie eine Potentialmulde, in deren Innern das Potential zunächst mit zunehmender Entfernung vom Mittelpunkte ansteigt, einen Höchstwert erreicht und schließlich bei weiterer Vergrößerung des Zentralabstandes wieder abnimmt (in größerer Entfernung nach dem COULOMBSCHEN Gesetz), dann würde ein  $\alpha$ -Teilchen,

dessen kinetische Energie kleiner ist als der Potentialhöchstwert nach der klassischen Mechanik, den Kern niemals verlassen können. Der Kern wäre stabil. In der Wellenmechanik dagegen tritt ein ähnlicher Effekt ein wie bei der Totalreflexion von Licht. Bekanntlich tritt nach der Wellentheorie des Lichtes auch in das totalreflektierende Medium etwas Energie ein, und ebenso hat die  $\psi$ -Funktion, welche zu dem  $\alpha$ -Teilchen in der Mulde gehört, auch noch außerhalb der Mulde endliche Werte, selbst dann, wenn der Potentialhöchstwert größer ist als die kinetische Energie der Teilchen. Es hat sich nun besonders bei der Gegenüberstellung der HEISENBERGSchen Quantentheorie mit der SCHRÖDINGERSchen Formulierung ergeben, daß die Amplitude der  $\psi$ -Funktion als Wahrscheinlichkeitsamplitude zu deuten ist. Danach ist das Quadrat des Absolutwertes der Wellenfunktion eines Teilchens ein Maß für die Wahrscheinlichkeit das Teilchen dort zu finden, wo das Quadrat gebildet ist. Man muß daher die Tatsache, daß unter den geschilderten Umständen die  $\psi$ -Funktion des  $\alpha$ -Teilchens auch außerhalb des Kernes noch endliche Werte hat, so deuten, daß  $\alpha$ -Teilchen mit einer im Sinne der klassischen Mechanik zum Austritt nicht genügenden kinetischen Energie dennoch den Kern mit einer gewissen angebbaren Wahrscheinlichkeit verlassen werden, das Atom also radioaktiv ist. So gelang es, die GEIGER-NUTTALSche Beziehung nicht nur qualitativ, sondern auch ihrer mathematischen Form nach, sozusagen als Demonstration der Wellennatur der Materie, zu deuten.

Die Quantentheorie in ihrer ursprünglichen Form hatte zunächst das Elektron nur als Elementarladung verwendet, aber schon bald hatte sich selbst in diesem Stadium der Entwicklung gezeigt, daß das Elektron doch ein komplizierteres Gebilde ist. Man brauchte nicht 3, sondern 4 Quantenzahlen, um die Spektrallinien in allen Einzelheiten darzustellen, und nach einigen unzulänglichen Versuchen mußte man sich entschließen, die Ursache der 4 Quantenzahlen im Elektron selbst zu suchen. Das geschah anschaulich durch UHLENBECK und GOUDSMIT, welche dem Elektron 1925 neben seiner Ladung noch einen Drall und ein dazugehöriges magnetisches Moment zusprachen. Dieser Zug der älteren Theorie zeigte sich nun auch für die Wellenmechanik als durchaus wesentlich. Das kam besonders klar zum Ausdruck, als HEISENBERG sowie DIRAC 1926 das Heliumproblem, d. h. das einfachste Mehrelektronenproblem, behandelten. Zunächst ist für dieses Problem der Begriff der sog. Austauschentartung von grundlegender Bedeutung. Sieht man in erster Näherung von der gegenseitigen Wirkung der beiden Elektronen ab, dann läßt sich aus einer Wellenfunktion, welche die Koordinaten der beiden Elektronen enthält, sofort eine gleichberechtigte andere Wellenfunktion konstruieren, einfach dadurch daß man die Koordinaten der beiden Elektronen vertauscht. Gleichzeitig gehören die beiden Funktionen zu ein und derselben Energie des Gebildes. Dieser Tatbestand soll durch die Bezeichnung „Austauschentartung“ ausgedrückt werden. Berücksichtigt man nun in folgender zweiter Näherung die gegenseitige Beeinflussung der beiden Elektronen, dann zeigt sich, daß die beiden Schwingungszustände bisher gleicher Energie aufgespalten werden in zwei neue, nunmehr mit

verschiedener Energie. Das ist etwas ganz Analoges zu dem, was man in der klassischen Mechanik bei dem Problem der gekoppelten, sog. sympathischen Pendel antrifft. Auch hier setzt sich die Bewegung zusammen aus zwei Schwingungen, deren verschiedene Schwingungszahlen durch Aufspaltung aus einer Frequenz hervorgegangen sind, und zwar infolge der Wirkung der Koppelung. Beim Heliumproblem gehört nun zu der einen Energie bzw. Schwingungszahl eine Eigenfunktion, die in den Koordinaten der Elektronen symmetrisch ist, d. h. sie ändert ihr Vorzeichen nicht, wenn man die Koordinaten der beiden Elektronen vertauscht. Zur anderen Energie dagegen gehört eine antisymmetrische Eigenfunktion, die bei Vertauschung der Koordinaten der Elektronen das Vorzeichen ändert. Auf den ersten Blick mag es so aussehen, als ob hiermit das Heliumproblem im wesentlichen als gelöst betrachtet werden könnte, denn man hat jetzt zwei Zustände des Heliumatoms dargestellt, die außerdem, wie sich zeigen läßt, nicht miteinander interkombinieren (Übergangswahrscheinlichkeit verschwindend). Das entspricht der von der Praxis der Linienspektren gestellten Forderung, wonach das Helium in zwei Zuständen, dem Para- und dem Orthozustand vorkommen muß.

Bei näherem Zusehen kommt man aber in Konflikt mit einem Prinzip, dem PAULI-Prinzip, welches Anfang 1925 aufgestellt wurde und sich als unentbehrlich erwiesen hatte, wollte man das periodische System der Elemente in seinem Aufbau verstehen. Ursprünglich formuliert in der Form: „ein Quantenzustand kann nur von *einem* Elektron besetzt werden“, lautet es in der Wellenmechanik: „für die Elektronen sind nur Zustände mit antisymmetrischer Eigenfunktion zulässig“. Hiernach würde also der eine, vorher errechnete Zustand mit symmetrischer Eigenfunktion auszuschließen haben. Es ist indessen sofort ersichtlich, wo die Lösung der Schwierigkeit zu suchen ist. Wenn im PAULI-Prinzip von einem Quantenzustande die Rede ist, so ist dabei dieser Zustand durch 4 Quantenzahlen definiert. Es durfte daher erwartet werden, daß die Schwierigkeiten im Heliumproblem verschwinden würden, sobald neben den Lagekoordinaten auch noch auf den Elektronenspin geachtet wurde. In der Tat läßt sich leicht zeigen, daß man unter Hinzufügung von „Spinfunktionen“ aus den zwei vorher erwähnten Eigenfunktionen jetzt zwei Gruppen von je 4 Eigenfunktionen konstruieren kann. Die erste Gruppe ist symmetrisch, die zweite antisymmetrisch bezüglich der Vertauschung der Elektronen unter Berücksichtigung aller Koordinaten. Nur die letztere kann nach dem PAULI-Prinzip in der Natur realisiert sein, aber jetzt, nach Einführung des Elektronenspins, genügt sie den praktischen Anforderungen. In ihr kommt nämlich *eine* Wellenfunktion vor, die bezüglich der Lagekoordinaten symmetrisch ist neben *drei* anderen Funktionen, die bezüglich dieser Koordinaten antisymmetrisch sind und sich nur in den übrigens symmetrischen Spinfunktionen unterscheiden. Man hat also schließlich für das Helium einen Parazustand dargestellt, dem ein Singulettssystem, und einen Orthozustand, dem ein Triplettssystem entspricht, wie es die Erfahrung fordert. Obwohl offenbar durch die Einführung des Elektronenspins das Heliumproblem als prinzipiell gelöst zu behandeln ist, konnte

man nicht umhin, die Behandlung dieses Dralles doch als sehr oberflächlich ansehen zu müssen. Es dauerte noch bis 1928, bevor es gelang, den Begriff des Elektronenspins organisch in die Theorie des Elektrons hineinzuarbeiten. Das erreichte DIRAC, indem er ein System von relativistisch-invarianten Gleichungen aufstellte, welches das Elektron beschreiben sollte, und von dem sich zeigte, daß es in der Tat die Spinwirkungen mit enthält. An diesem Punkte knüpfen diejenigen Experimente an, welche seitdem angestellt wurden, um das durch den Spin bedingte Analogon der Polarisation der Lichtwellen bei den Materiewellen nachzuweisen.

Die Behandlung des Heliumproblems und die Einführung des Begriffes vom Elektronenaustausch ist maßgebend gewesen für einen weiteren großen Fortschritt: die prinzipielle Erklärung der chemischen Bindung. Das einfachste hierher gehörige Problem, das als erstes dieser Gattung 1927 von HEITLER und LONDON behandelt wurde, ist das der Bindung zweier Wasserstoffatome zum molekularen Wasserstoff. Wenn man zunächst die beiden Wasserstoffatome in einer größeren Entfernung voneinander betrachtet, so gibt es mit Rücksicht auf die Möglichkeit des Elektronenaustausches wieder zwei Wellenfunktionen, welche der gleichen Energie entsprechen. Sie sind dadurch voneinander verschieden, daß bei der einen Elektron 1 mit Kern  $a$  und Elektron 2 mit Kern  $b$  wesentlich verknüpft ist, während bei der anderen Wellenfunktion Elektron 1 mit Kern  $b$  und Elektron 2 mit Kern  $a$  zusammenhängt. Nimmt man nun in zweiter Näherung Rücksicht auf die gegenseitigen Wirkungen, dann entstehen aus den alten zwei neue Wellenfunktionen mit verschiedener Energie, von denen wie beim Heliumproblem die eine symmetrisch und die andere antisymmetrisch in den Elektronenkoordinaten ist. Hätte man nicht auf den Elektronenspin zu achten, so müßte man die Möglichkeit der ersten auf Grund des PAULI-Prinzips ausschalten. Indem man indessen den beiden Elektronen entgegengesetzt gerichteten Spin zuschreibt, wird die erste Wellenfunktion zulässig. Das Wesentliche ist nun, daß die zu ihr gehörige Energie von der Energie der getrennten Wasserstoffatome um einen Betrag verschieden ist, der mit stetig abnehmendem Abstände der Kerne zuerst einen negativen Minimalwert erreicht und von da an bei weiterer Näherung wieder ansteigt. Es kann also bei der Annäherung der Wasserstoffatome Energie frei werden, bis sie einen durch das Minimum bestimmten Abstand erreicht haben. Der zusätzliche Energiebetrag, von dem hier die Rede ist, setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen, von denen der erste der COULOMBSchen Wechselwirkung der Atome entspricht, während der zweite, mit Vergrößerung des Kernabstandes exponentiell abnehmende, aber für kleine Abstände besonders wichtige Betrag für die wellenmechanische Austauschwirkung charakteristisch ist. So führt die Wellenmechanik in eigenartiger Weise zum Verständnis einer als chemisch zu bezeichnenden Bindungsenergie, an deren Zustandekommen zwei Elektronen gleichzeitig beteiligt sind, wie das schon von LEWIS und LANGMUIR vorgeahnt wurde.

Für die zweite oben erwähnte, antisymmetrische Wellenfunktion sind Energiewerte charakteristisch, welche nach ihrem Verlauf als Funktion

des Kernabstandes keiner Bindung der Atome entsprechen. Die zugehörige Wellenfunktion beschreibt daher die Elektronenverteilung bei einem nicht zur erfolgreichen Reaktion führenden Zusammenstoß.

Im weiteren Verlauf der Entwicklung hat man versucht, die Atome höherer Elektronenzahl zu behandeln, sowie insbesondere die z. B. in der organischen Chemie so wichtige räumliche Richtung der Valenzen verständlich zu machen. Auch das gelingt; nicht in dem Sinne, daß man nun in einfacher Weise die Möglichkeit chemischer Verbindungen vorausberechnen könnte, aber doch so, daß man in vielen Fällen die Existenz und die Energieverhältnisse existierender Moleküle qualitativ verstehen konnte.

Bei diesen Anwendungen stand immer die Frage nach dem symmetrischen oder antisymmetrischen Charakter der Wellenfunktionen zugleich mit wesentlicher Berücksichtigung des Elektronenspins im Vordergrund. Daß die gleiche Frage ebenfalls für die Rotation der Moleküle, hier aber mit Rücksicht auf den Spin der Kerne von Bedeutung ist, wird demonstrativ gezeigt durch den Intensitätswechsel der Bandenlinien sowie durch den Temperaturverlauf der Rotationswärme von  $H_2$ . Hier gelang es sogar im Anschluß an diese Betrachtungen BONHOEFFER und HARTECK sowie EUCKEN, den Parawasserstoff vom Orthowasserstoff experimentell zu trennen. Andererseits ist die quantitative Beobachtung des Intensitätswechsels in den Bandenlinien ein wichtiges Mittel geworden, um den Kernspin zu bestimmen.

Schließlich ist auch für die Statistik der Symmetriecharakter der dem System zugehörigen Wellenfunktionen von großer Bedeutung. Das schönste Beispiel dafür bildet die neuere Theorie der Metallelektronen nach SOMMERFELD. Nimmt man an, daß auch für die Elektronen im Metall das PAULI-Prinzip in ähnlicher Weise Gültigkeit hat, wie das für die Elektronen eines Atoms der Fall ist, betrachtet man also ein ganzes Metallstück wie *ein* System, dann muß die klassische BOLTZMANNsche Statistik, welche unterscheidbare Teilchen und beliebige Anhäufung in einer Zelle des Phasenraumes zuläßt, abgeändert werden. Im absoluten Nullpunkt dürfen dann die Elektronen nicht mehr in einer einzigen Zelle des Phasenraumes zusammengepackt werden. Im Gegenteil enthält jede Zelle der Größe  $h^3$  unter nachträglicher Berücksichtigung des Spins nunmehr zwei Elektronen. Die Folge ist die Existenz einer beträchtlichen Nullpunktenergie, welche übrigens durchaus der auch im absoluten Nullpunkt vorhandenen Elektronenenergie des Einzelatoms entspricht. Bei Erhöhung der Temperatur werden Elektronen in Zellen höherer Energie auswandern, aber dieser Vorgang beansprucht viel weniger Energiezufuhr als der entsprechende Energievorgang bei Teilchen, für welche die klassische BOLTZMANNsche Statistik Gültigkeit haben würde. Entwickelt wurde die hier in Frage kommende Statistik und die zugehörige Verteilungsfunktion 1926 von FERMI sowie von DIRAC. Sie bildet ein Gegenstück zur Verteilungsfunktion der BOSE-EINSTEINSchen Statistik, welche der alleinigen Bevorzugung der symmetrischen Wellenfunktion entspricht, und in welcher zwar auch die Unterscheidbarkeit der Partikeln

aufgehoben, aber nicht ihre Anhäufung in einer Zelle untersagt ist. Die Anwendung der FERMI-DIRACschen Statistik auf die Metallelektronen beseitigte die in der klassischen Theorie unüberwindliche Schwierigkeit, wonach den Elektronen theoretisch eine spezifische Wärme zukommen sollte halb so groß wie die der Atome, und für welche im Experiment kein Anhaltspunkt vorhanden war. Trotz der vielen Erfolge der neueren Theorie der Metallelektronen, die an der Richtigkeit der Grundlagen keinen Zweifel mehr zulassen, ist doch ein Problem, das der Supraleitung, bisher noch ungeklärt. Ihm gelten daher noch unausgesetzt vielseitige Bemühungen.

Durch die Verschmelzung der HEISENBERGschen Quantenmechanik mit der SCHRÖDINGERSchen Wellenformulierung ist ein System geschaffen, das uns in den Stand setzt, die Resultate der in der Natur ausführbaren Experimente der Beobachtung entsprechend zu beschreiben. Diese Beschreibung genügt indessen keineswegs den Bedingungen, welche man in der klassischen Physik glaubte einer voll befriedigenden Erklärung der Naturerscheinungen auferlegen zu müssen. Geht beispielsweise ein Atom von einem stationären Zustand in einen anderen über und sendet dabei eine Lichtwelle aus, so bleibt die Frage unbeantwortet, welche Bewegungen das Elektron während der Lichtaussendung wohl ausführen mag. Oder wenn beim lichtelektrischen Effekt das Elektron unter dem Einfluß der Lichtwelle plötzlich mit der Energie  $h\nu$  das betrachtete Metall verläßt, wird nicht verfolgt, wie das elektromagnetische Feld allmählich die Geschwindigkeit des Elektrons erzeugt haben mag. Den Bemühungen besonders von BOHR und HEISENBERG verdanken wir die Einsicht, daß eine solche raumzeitliche Beschreibung, welche für die Methoden der klassischen Physik charakteristisch war, der Wirklichkeit nicht angepaßt werden kann und auch nicht angepaßt zu werden braucht, um die Aufgabe der Physik zu erfüllen. Die Ursache für die Notwendigkeit dieser Neueinstellung liegt in der früher nicht genügend gewürdigten Tatsache, daß durch die Beobachtung selber ein nicht vernachlässigbarer Einfluß ausgeübt wird auf das, was geschieht. Durch die HEISENBERGsche Unbestimmtheitsrelation wird die fundamentale Bedeutung des PLANCKschen Wirkungsquantums für diesen Sachverhalt formuliert. Besteht die Quantenmechanik zu Recht, dann bedeutet das nach jener Relation, daß man beispielsweise den Ort eines Elektrons zwar beliebig genau bestimmen kann, daß aber eine gleichzeitige beliebig genaue Bestimmung seiner Geschwindigkeit in der Natur unmöglich ist. Entsprechendes gilt für den Ort, wenn man die Geschwindigkeit genau bestimmt. Quantitativ sind die Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Ortskoordinate bzw. des zugehörigen Impulses dadurch festgelegt, daß ihr Produkt stets mindestens den Wert  $\frac{h}{4\pi}$  hat. Dem Experimentator wird diese Tatsache näher gebracht durch einen Gedankenversuch mit dem sog.  $\gamma$ -Strahlenmikroskop, bei dem man durch Verwendung möglichst kurzwelliger  $\gamma$ -Strahlung zwar die Genauigkeit der Ortsbestimmung verbessern kann, aber dann in Kauf nehmen muß, daß mit Verkleinerung der Wellenlänge

gleichzeitig eine unvermeidbare Vergrößerung des übertragenen Impulses verknüpft ist. Die Unbestimmtheit bei der gleichzeitigen Bestimmung von Koordinate und Impuls ist nicht auf die gewöhnliche Raumkoordinate beschränkt, sondern gilt für Koordinaten und die zugehörigen Impulse im allgemeinsten Sinne und bekundet schon dadurch ihre fundamentale Bedeutung. Innerhalb des beschränkten, vorgeschriebenen Rahmens dieser Übersicht glaube ich die Sache am besten kennzeichnen zu können durch das folgende, dem Nobelvortrag HEISENBERG's entnommene Zitat: „Die klassische Physik stellt jenes Streben nach Naturerkenntnis dar, bei dem wir grundsätzlich von unseren Wahrnehmungen auf objektive Vorgänge zu schließen suchen und daher auf die Berücksichtigung der Einflüsse verzichten, die jede Beobachtung auf das zu beobachtende Geschehen ausübt; die klassische Physik hat daher ihre Grenze eben an der Stelle, wo vom Einfluß der Beobachtung auf das Geschehen nicht mehr abgesehen werden kann. Die Quantenmechanik umgekehrt erkaufte die Möglichkeit der Behandlung atomarer Vorgänge durch den teilweisen Verzicht auf ihre raumzeitliche Beschreibung und Objektivierung.“

Die Quantenmechanik mit allen ihren tiefgehenden Wirkungen und von ihren allerersten Anfängen an, als PLANCK das Wirkungsquantum einführte, ist uns aufgezwungen worden durch das Experiment, dessen Erklärung sich nicht im Rahmen des Althergebrachten einordnen ließ. Zur Zeit leben wir wieder in einer neuen Periode höchst aktiver experimenteller Tätigkeit. Ein neues, bisher unzugängliches Temperaturgebiet in unmittelbarer Nähe des absoluten Nullpunktes ist dem Versuche zugänglich geworden. In der Höhenstrahlung haben wir Lichtquanten extrem großer Energie angetroffen. Eine Reihe neuer Elementarteilchen wird entdeckt, Kernreaktionen wird ausgeführt und neue bisher unbekannte Elemente künstlich erzeugt. Die Materialisierung der Strahlung und die Zerstrahlung der Materie werden experimentell beobachtbar. An Aufgaben, gedanklichen wie experimentellen ist, wie aus dieser kurzen Aufstellung hervorgeht, Überfluß vorhanden. Der Physiker kann daran gehen mit der berechtigten Hoffnung, daß im nächsten Jahrzehnt Erkenntnis und Beherrschung der Natur in keinem geringeren Tempo fortschreiten werden, als das im vergangenen der Fall war.

# Atomchemie.

Von

OTTO HAHN, Berlin-Dahlem.

Zu den Großtaten chemischer Forschung des vorigen Jahrhunderts gehört die Aufstellung des Periodischen Systems der Elemente durch **LOTHAR MEYER** und **MENDELEJEFF**. Aus den periodisch wiederkehrenden Eigenschaften gewisser Elementengruppen bei einer Anordnung der Elemente nach steigenden Atomgewichten ergab sich eine Systematik, die offensichtliche Lücken im System erkennen und auf weitere Grundstoffe schließen ließ. Es ist bekannt, daß eine Reihe solcher neuen Elemente auf Grund der von **MENDELEJEFF** gemachten Voraussagen über deren Eigenschaften nicht lange danach aufgefunden wurde.

Über die genaue Zahl der möglichen Grundstoffe war etwas Sicheres aber nicht bekannt. Dies änderte sich mit den von **MOSELEY** 1913 aufgefundenen Gesetzmäßigkeiten in den Röntgenspektren der Elemente; durch diese Gesetzmäßigkeiten wurde der Beweis erbracht, daß die Zahl der möglichen chemischen Elemente vom Wasserstoff bis zum Uran nur 92 betragen kann. Jedes Element ist also durch eine Nummer charakterisiert, die seine Stellung im Periodischen System eindeutig festlegt, die Ordnungszahl. Mit der Aufstellung des **RUTHERFORD-BOHR**schen Atommodells (1911—13) erhielt man zugleich eine Erklärung über die Bedeutung dieser Ordnungszahl. Die Atome der chemischen Elemente bestehen danach aus dem positiv geladenen, nahezu die gesamte Masse des Atoms enthaltenden Kern und den um diesen Kern in schneller Bewegung befindlichen, die positive Kernladung neutralisierenden negativen Elektronen. Da diese Hüllenelektronen die chemischen Eigenschaften des Kerns festlegen, gibt ihre Anzahl und die damit numerisch gleiche positive Kernladung die Stellung des Elements im Periodischen System eindeutig wieder.

Der Radius des Atomkerns ist etwa 10000mal kleiner als der Radius des ganzen Atoms, sein Volumen also verschwindend klein gegenüber dem eigentlichen Atomvolumen.

Von den 92 möglichen Elementen fehlten zur Zeit der Aufstellung des **RUTHERFORD-BOHR**schen Atommodells noch sieben; nämlich die Elemente mit den Ordnungszahlen 43, 61, 72, 75, 85, 87 und 91. Von diesen sind in der Zwischenzeit vier aufgefunden, und zwar das Zirkonhomologe **Hafnium** (72) durch **COSTER** und **VON HEVESY**, die Manganhomologe **Masurium** (43) und **Rhenium** (75) durch das Ehepaar **I. und W. NODDACK**, das Protaktinium (91), die Muttersubstanz der radioaktiven Aktinierreihe durch **HAHN** und **MEITNER** und **SODDY** und **CRANSTON**. Ein sehr kurzlebige Isotop des Elements 91 war schon vorher

als „Brevium“ von FAJANS und GOERING nachgewiesen worden. Es fehlen zurzeit also noch das Element 61, eine „seltene Erde“ und die vermutlich radioaktiven Elemente 85 und 87, Ekajod und Ekacäsium.

In allerjüngster Zeit ist nun zu diesen Elementen noch ein weiteres hinzugekommen: das Neutron mit der Masse des Wasserstoffes, aber der Kernladung Null. Das Periodische System hat dadurch vermutlich nach unten seinen Abschluß gefunden. (Daß der Abschluß nach oben noch nicht endgültig ist, werden wir noch sehen). Das Neutron ist sozusagen ein nackter ungeladener Atomkern, und hierauf beruhen seine besonderen Eigenschaften, die es vor allen anderen Atomen auszeichnet. Im freien Zustand kommt es in der Natur anscheinend nicht vor; aber es ist ein Bestandteil der Kerne aller Atome mit Ausnahme des gewöhnlichen Wasserstoffes, dessen Atomkern, das sog. Proton, den zweiten elementaren Baustein aller Atomkerne darstellt.

Wir wissen nämlich heute, daß alle Atomkerne sich aus Protonen und Neutronen aufbauen. Die Zahl der Protonen — positiv *geladener* Wasserstoffkerne — bestimmt die Kernladung, die Summe der Protonen und Neutronen das Atomgewicht. Hierdurch kommt man sofort zu einem Verständnis für das Vorkommen sog. isotoper Atomarten, nämlich von Atomen chemischer Elemente, die bei gleicher Ordnungszahl (also gleicher Protonenzahl) und damit eindeutig festgelegten chemischen Eigenschaften verschiedene Atomgewichte, also verschiedene Neutronenzahlen haben. Für die meisten chemischen Elemente wurde festgestellt, daß sie aus einem Gemisch von mindestens zwei, oft aber einer ganzen Anzahl isotoper Atomarten bestehen, deren Atomgewichte sich sehr nahe um ganze Zahlen, bezogen auf Sauerstoff = 16 unterscheiden. So sind beim Zinn (Ordnungszahl 50) nicht weniger als 11 Atomarten nachgewiesen. Das Atomgewicht des leichtesten Zinnisotops ist 112, das des schwersten 124; also außerordentliche Massenunterschiede, d. h. wechselnde Anzahl von Neutronen bei gleicher Zahl der Protonen.

Auch z. B. die Elemente Kadmium (48), Tellur (52), Xenon (54), Quecksilber (80) sind sehr isotonenreich, während bei leichteren Elementen nicht mehr als drei bekannt sind.

Die Entstehung von Isotopen größerer Masse aus solchen kleinerer kann man sich also so vorstellen, daß der Atomkern ein oder mehrere Neutronen aufgenommen hat. Und da die zahlreichen Atomarten unserer chemischen Grundstoffe sicher schon vor der Erstarrung unserer einstmals — feurig — flüssigen Erde vorhanden waren, haben sich die Atomarten gleicher Elemente homogen miteinander vermischt, und die heute in der Natur vorkommenden Elemente sind die stets gleichbleibenden Mischungen ihrer isotonen Bestandteile.

Wenn nun zwar die durch die *Kernladung* bedingten Eigenschaften isotoper Atomarten gleich sind, so sind doch ihre von der *Kernmasse* abhängenden Eigenschaften verschieden. So hängt die elektrische und magnetische Ablenkung geladener Teilchen von der Größe ihrer Masse ab, und die Feststellung der isotonen Zusammensetzung der Elemente

nach den Methoden der „Massenspektroskopie“ macht Gebrauch von diesen Unterschieden.

Noch charakteristischer sind die Unterschiede zwischen isotopen Atomarten, wenn diese radioaktiv sind. Radium und Mesothorium sind isotope Atomarten; aber das Radium (Atomgewicht 226) emittiert  $\alpha$ -Strahlen und hat eine Halbwertszeit von 1500 Jahren, das Mesothor (Atomgewicht 228) emittiert  $\beta$ -Strahlen<sup>1</sup> und zerfällt mit 6,7 Jahren Halbwertszeit. Das Protaktinium (Atomgewicht 231) zerfällt unter  $\alpha$ -Strahlenabgabe zur Hälfte in 30000 Jahren, das ihm isotope Uran Z (Atomgewicht 234) in 6,7 Stunden und sendet  $\beta$ -Strahlen aus.

Es ist ja auch zu erwarten, daß der verschiedene Aufbau der Atomkerne sich in den Kernprozessen bemerkbar macht.

Ähnlich wie man aus den charakteristischen optischen- und Röntgenspektren auf den Aufbau der äußeren Elektronenhülle geschlossen hat, konnte man auch aus den Untersuchungen über die von den Atomkernen emittierten  $\gamma$ -Strahlen eine Aufklärung über den Aufbau der Atomkerne erhoffen. Tatsächlich konnte bewiesen werden, daß die Kerne charakteristische  $\gamma$ -Strahlspektren aussenden, aus denen man die möglichen Anregungszustände der betreffenden Kerne ableiten kann (MEITNER).

Von dem Gesetz, daß die in der Natur vorkommenden stabilen Elemente die stets gleichbleibenden Mischungen ihrer isotopen Bestandteile sind, müssen wir eine einzige Ausnahme erwähnen: die in Uran- und Thormineralien enthaltenen letzten Umwandlungsprodukte der radioaktiven Elemente Uran und Thorium, nämlich die isotopen Bleiarten mit den Atomgewichten 206 bzw. 208. Diese Bleiarten sind in den Mineralien erst nach deren Auskristallisation entstanden, konnten sich also mit unserem gewöhnlichen Blei nicht mehr vermischen und sind heute ein wichtiges Hilfsmittel zur Altersbestimmung radioaktiver Mineralien und damit der geologischen Schichten, in denen diese Mineralien gefunden werden. Die Geschwindigkeit der radioaktiven Bleibildung ist nämlich genau bekannt. Aus der analytisch feststellbaren Menge des Uranbleies oder Thorbleies in einem Mineral bekannten Uran- oder Thorgehaltes erhält man also unmittelbar die Dauer des Zerfallsprozesses, d. h. das Alter des Minerals und damit das Alter der geologischen Erdperiode, in der das Mineral abgeschieden wurde.

Die Anzahl der stabilen isotopen Atomarten ist naturgemäß wesentlich höher als die Anzahl der chemischen Elemente. Ungefähr 260 sind heute bekannt, und es werden wohl noch einige hinzukommen; sicher aber nicht mehr sehr viele. Gehen nämlich die Massenunterschiede innerhalb einer Isotopengruppe über ein gewisses Maß hinaus, dann sind die leichtesten oder schwersten unter diesen nicht dauernd existenzfähig, sondern gehen spontan durch Abgabe positiver oder negativer Strahlenteilchen in stabile Atome über. (Künstliche Radioaktivität, siehe weiter unten).

<sup>1</sup> Die von dem Mesothor und den anderen  $\beta$ -strahlenden Radioelementen ausgesandten  $\beta$ -Strahlen sind als eigentliche Kernbestandteile nicht anzusehen. Ihr Auftreten außerhalb des Atomkerns besagt, daß innerhalb des Kerns ein Neutron in ein Proton übergegangen ist.

Die Behauptung, daß die isotopen Atomarten ein und desselben Elementes genau gleiche chemische Eigenschaften haben, muß eine Einschränkung erfahren, wenn wir zu Elementen sehr kleiner Ordnungszahl übergehen, bei denen also ein oder zwei zusätzliche Neutronen einen großen Prozentsatz der Gesamtmasse ausmachen.

Am stärksten ausgesprochen sind diese Unterschiede bei dem Wasserstoff, in welchem im Jahre 1932 durch den amerikanischen Chemiker UREY in Gemeinschaft mit BRICKWEDDE und MURPHEY ein „schweres“ Isotop von der Masse 2 aufgefunden worden ist. Obgleich dieser „schwere Wasserstoff“ dem gewöhnlichen von der Masse 1 nur im Verhältnis 1:5000 beigemischt ist, gelang doch die Anreicherung des schweren Isotops in kurzer Zeit, und zwar auf elektrochemischem Wege. Heute kann man für den geringen Preis von wenigen Mark pro Gramm „schweres Wasser“ in fast 100 %iger Reinheit kaufen.

Bei den Wasserstoffisotopen sind nun die Unterschiede, besonders in ihren physikalischen und biologischen Eigenschaften derart groß, daß man hier fast von zwei verschiedenen Elementen sprechen könnte. Ihre Massen sind ja um 100 % voneinander unterschieden. Es liegt auf der Hand, daß in der ganzen naturwissenschaftlichen Welt ein eifriges Studium mit schwerem Wasser und anderen Wasserstoffverbindungen nach den verschiedensten Richtungen eingesetzt hat. Allein das Jahr 1934 verzeichnet mehr als 200 Arbeiten!

Die Dichte des gewöhnlichen Wassers ist bei 20° C 0,99998, die des schweren 1,107; gewöhnliches Wasser gefriert bei 0° und siedet bei 100°, schweres gefriert bei +3,82° C und siedet bei 101,4° C. Während unser gewöhnliches Wasser für alle Lebensprozesse der unentbehrliche Bestandteil ist, wirkt schweres Wasser hemmend auf dieselben; niederen Lebewesen gegenüber erweist es sich als Gift.

Zu diesem Wasserstoffisotop mit der Masse 2 — Deuterium genannt — kommt nun ein noch schwereres mit der Masse 3 hinzu; es wurde massenspektroskopisch in schwerem Wasser in einer Konzentration von etwa 1:200 000 nachgewiesen. Im gewöhnlichen Wasser ist es also im Verhältnis 1:10<sup>9</sup> enthalten!

Der Kern des Wasserstoffisotops mit der Masse 2 ist die einfachste Verbindung zwischen einem Proton und einem Neutron. Die Atomgewichte von Proton und Neutron sind gleich groß; verglichen mit Sauerstoff 16 = 16\* ist ihr Atomgewicht abgerundet 1,008. Das Atomgewicht des schweren Wasserstoffs  $\overset{2}{\text{H}}$  ist nun aber nicht genau die Summe der beiden, nämlich 2,016, sondern nur 2,0136, also etwas kleiner. Bei der Kernbindung der beiden Elementarbestandteile zu dem schweren Wasserstoff sind also 0,0024 Masseneinheiten verschwunden; sie wurden in einen dieser Masse äquivalenten Betrag von Strahlungsenergie verwandelt. Der mathematische Ausdruck für diese Äquivalenzbeziehung ist Energie =

\* Sauerstoff 16 oder  $\overset{16}{\text{O}}$  ist die reine Atomart von der Masse 16, im Unterschied zu  $\text{O} = 16$ , der Basis der chemischen Atomgewichte. Unter diesem verstehen wir die in der Natur vorkommende Isotopenmischung des Elements Sauerstoff. Sie besteht zu 99,8% aus  $\text{O} 16$ , 0,03% aus  $\text{O} 17$  und 0,17% aus  $\text{O} 18$ .

Masse  $\times$  Quadrat der Lichtgeschwindigkeit. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt  $3 \cdot 10^{10}$  cm/sek. Sehr große Energiebeträge entsprechen also nur sehr kleinen Masseunterschieden, und wir verstehen, daß wir solchen „Massendefekten“ bei unseren gewöhnlichen chemischen Reaktionen wegen ihrer Kleinheit nicht begegnen.

Anders liegt der Fall bei Reaktionen innerhalb der Atomkerne und den bei solchen Kernreaktionen frei werdenden Energien. So ist z. B. die Energie der kurzwelligen  $\gamma$ -Strahlen radioaktiver Elemente so groß, daß sie die Kernbindung Proton-Neutron im schweren Wasserstoff lösen und die beiden Elementarteilchen, das Neutron und Proton in Freiheit setzen kann. Die dazu nötigen zusätzlichen 0,0024 Masseneinheiten werden aus der Energie der  $\gamma$ -Strahlen geliefert. Dieser Vorgang wurde von CHADWICK und GOLDHABER in der Tat beobachtet und damit die Zusammensetzung des schweren Wasserstoffkernes aus einem Neutron und einem Proton experimentell bewiesen.

Was hier für den Wasserstoffkern  ${}^2_1\text{H}$  gezeigt worden ist, gilt entsprechend für alle Atomkerne. Immer ist ihr Atomgewicht kleiner als die Summe der sie aufbauenden Protonen und Neutronen. Dieser „Massendefekt“ stellt dann die Bindungsenergie des betreffenden Kernes bei seinem Aufbau aus Protonen und Neutronen dar. Während die freien Protonen und Neutronen ein Atomgewicht von etwa 1,008 haben, gehen sie in die Atome der schwereren Elemente nur mit einem Atomgewicht ein, das von 1,000 nicht sehr verschieden, also deutlich niedriger als 1,008 ist. Der Aufbau der höheren Atomkerne erfolgt also mit einem starken Massendefekt unter sehr großer Energieabgabe. Dies gibt uns die Erklärung dafür, daß wir mit den bisherigen Mitteln des Chemikers Kernumwandlungen nicht erzielen konnten.

Der Aufbau der Elemente aus Protonen und Neutronen kann heute als experimentell erwiesen gelten. Schon vor einer Reihe von Jahren gelang es RUTHERFORD, eine Anzahl leichterer Elemente wie Stickstoff, Aluminium, Phosphor durch Beschießen mit den sehr energiereichen  $\alpha$ -Strahlen radioaktiver Substanzen zu zertrümmern und Protonen, also Wasserstoffkerne, aus ihnen herauszuschlagen. Daß dies nicht auch für höhere Elemente möglich ist, hat seine Ursache in den mit der höheren positiven Kernladung steigenden Abstoßungskräften, die das ebenfalls positiv geladene  $\alpha$ -Teilchen verhindern, ganz in den Kern hineinzufliegen.

Was andererseits die Neutronen als die zweite Gruppe von elementaren Kernbestandteilen anbelangt, so wurden diese bisher überhaupt nur bei künstlichen Atomumwandlungen beobachtet. Ihre Existenz wurde 1931 zuerst von CHADWICK erkannt im Anschluß an Versuche von BOTHE und BECKER und von CURIE und JOLIOT über das Beschießen von Beryllium (Be 9) durch  $\alpha$ -Teilchen (He 4). Der Vorgang verläuft so, daß der Kern des Berylliums das  $\alpha$ -Teilchen aufnimmt. Es entsteht ein Atom des gewöhnlichen Kohlenstoffs (C 12), und ein Neutron wird frei.

Auch bei den Elementen, die beim Beschießen mit  $\alpha$ -Strahlen Protonen aussenden, also z. B. den oben genannten Elementen Stickstoff, Aluminium, Phosphor wurde neben der Protonenemission die Aussendung von

Neutronen beobachtet. Die  $\alpha$ -Strahlen lösen in den genannten Elementen also zweierlei Kernumwandlungen aus. Bei den Umwandlungen, die zur Abgabe von *Neutronen* führen, entstehen aber nicht sofort stabile Atome, sondern es entstehen instabile Atomarten, die sich ihrerseits erst in stabile Atomarten umwandeln. Die dabei ausgesandten Strahlen sind die 1933 zum ersten Male in der durchdringenden Höhenstrahlung aufgefundenen positiven Elektronen, die sog. Positronen.

Es ist das Verdienst des Ehepaares CURIE-JOLIOT, als erste diese künstlichen Radioelemente beobachtet und den Reaktionsverlauf aufgeklärt zu haben. Die Gewinnung solcher künstlichen Radioelemente durch Beschießen mit  $\alpha$ -Strahlen gelang mit Sicherheit nur bis zum Ca hinauf.

Daß heute aber auch von fast allen schwereren Elementen künstliche Radio-Isotope gewonnen werden können, verdanken wir dem Neutron.

Der Grund, warum man sich das Neutron, dieses neue Element, so lange seiner Auffindung entzog, liegt daran, daß es keine Kernladung besitzt und damit auch kein diese Ladung neutralisierendes Elektron in der Atomhülle. Als *nackter* Atomkern ist es normaler chemischer Reaktionen nicht fähig, denn diese spielen sich in der Elektronenhülle ab. Als *ungeladener* Kern hat es nicht die ionisierende Wirkung, durch die sich geladene Kerne wie  $\alpha$ -Strahlen oder Protonen zu erkennen geben. Der Nachweis der Neutronen gelingt nur indirekt dadurch, daß sie gegen andere Atomkerne stoßen, diesen ihre Bewegungsenergie übertragen, die dann ihrerseits als geladene Massenteilchen zu ionisieren vermögen.

Auf diesen, es von allen anderen Elementen unterscheidenden Eigenschaften beruht aber gerade die außerordentliche Bedeutung des Neutrons für die Chemie.

Was den positiv geladenen  $\alpha$ -Teilchen nicht gelingt, nämlich die abstoßenden Kernfelder der schwereren Elemente zu überwinden und in den Kern einzudringen, gelingt dem ungeladenen Neutron ohne Schwierigkeit. An sich sind alle sog. Kerntreffer bei der winzigen Kleinheit der Kerne, verglichen mit den Dimensionen der Atome, sehr seltene Vorgänge. Von Millionen Teilchen, die in den Bereich eines Atoms (Kern + Hülle) eindringen, besteht nur für einige wenige die Wahrscheinlichkeit, genau in die Richtung auf den Atomkern zuzulaufen. Aber diese wenigen Teilchen, wenn es Neutronen sind, treffen dann auch tatsächlich den Kern und können hier die verschiedensten Veränderungen hervorrufen.

Es war der außerordentlich fruchtbare Gedanke des italienischen Physikers FERMI, statt der von CURIE und JOLIOT für die Gewinnung ihrer künstlichen Radioelemente verwendeten  $\alpha$ -Strahlen die ungeladenen Neutronen für solche Kernreaktionen zu verwenden. Haben die Neutronen keine zu große Geschwindigkeit, dann werden sie vom Kern einfach eingefangen; das Ergebnis ist die Bildung eines Isotops der getroffenen Atomart mit einem um die Masse des Neutrons größeren Atomgewicht. Andererseits können schnelle Neutronen  $\alpha$ -Strahlen oder Protonen aus dem Kern herauswerfen und sich selbst an ihre Stelle setzen; dann entstehen neue Atome, deren Kernladung um zwei Einheiten oder eine niedriger ist, als sie das getroffene Atom hatte. Durch die Einwirkung von Neutronen auf

ein und dieselbe Atomart können also drei verschiedene Atomarten künstlich dargestellt werden, und je nach der Energie der verwendeten Neutronen kann der Umwandlungsprozeß innerhalb gewisser Grenzen in die Bahn gelenkt werden, die man haben will (MEITNER). Das höchst Wichtige ist dabei, daß alle die durch Neutronenbestrahlung herstellbaren neuen Atomarten instabil sind. Sie sind radioaktiv und wandeln sich unter Aussendung von  $\beta$ -Strahlen in bekannte, stabile Atomarten um.

Es gelang FERMI und seinen Mitarbeitern bei fast allen chemischen Elementen, hinauf bis zum Thorium und Uran, solche Kernreaktionen auszulösen und damit künstliche radioaktive Isotope fast aller chemischen Elemente zu gewinnen. Die für einen Teil der Reaktionen notwendige Herabsetzung der Geschwindigkeit der Neutronen erreicht man nach FERMI durch den einfachen Trick, daß man die aus dem Beryllium herausgeschlagenen Neutronen durch wasserstoffreiche Substanzen wie Wasser oder Paraffin hindurchgehen läßt. Die Neutronen stoßen dabei auf die gleich großen Wasserstoffkerne, geben diesen einen Teil ihrer Geschwindigkeit ab und werden dabei langsamer.

Die Umwandlungsgeschwindigkeiten der zahlreichen künstlichen radioaktiven Atomarten sind zwar im allgemeinen recht groß. Es sind aber auch schon eine ganze Anzahl gefunden worden, deren Halbwertszeit mehrere Tage oder Monate beträgt, und es liegt in der Natur der Untersuchungsmethoden, daß gerade solche stabilere Atome vermutlich noch in größerer Anzahl aufgefunden werden.

Nicht nur die theoretische Atomforschung wird von den zahlreichen künstlich herstellbaren Radioelementen Nutzen ziehen. Eine besondere Bedeutung werden diese Substanzen in Zukunft für die allgemeine Chemie bekommen. Bisher sind allerdings die Mengen, um die es sich bei diesen künstlichen Atomarten handelt, für den Begriffskreis des Chemikers fast unvorstellbar klein. Ihre Untersuchung geschieht mit komplizierten Meßanordnungen, die die einzelnen Atome nachzuweisen erlauben. Nur in vereinzelt Fällen ist es bisher gelungen, so große Intensitäten zu gewinnen, daß die Messung der Substanzen in Elektroskopen möglich war.

Sicher wird aber die Zeit kommen, wo man viele künstliche Radioelemente in Intensitäten gewinnen kann, die auch dem normalen Chemiker ein Arbeiten mit ihnen erlauben werden. Die am leichtesten zugängliche Neutronenquelle ist heute noch ein Gemisch eines stark  $\alpha$ -strahlenden natürlichen Radioelements (z. B. Emanation oder Radium) mit Berylliumpulver. Aber schon hat man Methoden gefunden, mittels schnell bewegter Protonen und schwerer Wasserstoffkerne (Deuteronen) künstliche Radioelemente in relativ hoher Intensität herzustellen. Die weitere Entwicklung wird vermutlich in dieser Richtung gehen.

Nun wird man fragen: Worin liegt denn die praktische Bedeutung dieser instabilen, radioaktiven Substanzen für die Chemie, welche Bereicherung rein chemischer Kenntnisse können wir von ihnen erwarten? Um dies klar zu machen, ist es zweckmäßig, etwas auf die Bedeutung und die Verwendung der *natürlichen* radioaktiven Atomarten einzugehen. Sie waren uns ja bisher allein zugänglich.

Diese aus Uran- und Thormineralien herstellbaren radioaktiven Substanzen haben sich auf vielen Gebieten der Chemie im weitesten Sinne des Wortes als Hilfsmittel der Forschung bewährt, und einiges soll darüber mitgeteilt werden. Aus den angeführten Beispielen, zu denen auch schon ein paar Anwendungen künstlicher Atomarten hinzukommen, wird man erkennen, welche Vorteile es in Zukunft haben wird, praktisch *alle* chemischen Elemente in Form instabiler, strahlender Atomarten zur Verfügung zu haben.

Die Besonderheit der radioaktiven Atomarten gegenüber den stabilen liegt darin, daß die von jenen ausgesendeten *Strahlen* zum Nachweis der Substanzen herangezogen werden, womit die Empfindlichkeit des Nachweises wesentlich erhöht wird. Aus der Art der Strahlung und ihrer Intensitätsänderung mit der Zeit kann man die Atomart, die die Strahlen aussendet, erkennen und quantitativ bestimmen. Bei den radioaktiven Nachweismethoden werden also nicht wie in der gewöhnlichen Chemie die stabilen Atome zur Untersuchung verwendet, sondern die während der Untersuchung unter Strahlenabgabe zerfallenden. Deshalb spielt die absolute Gewichtsmenge, in der das Radioelement vorliegt, keine direkte Rolle; es kommt nur darauf an, wieviel Atome während der Zeit der Messung zerfallen.

Bei vielen radioaktiven Atomarten ist der Anteil der in der Zeiteinheit zerfallenden Atome im Verhältnis zu der Gesamtzahl der vorhandenen sehr groß. Deshalb kann man verschwindend kleine Gewichtsmengen solcher Substanzen erkennen und damit die Empfindlichkeit chemischer Nachweismethoden um Größenordnungen, in manchen Fällen viele Größenordnungen, erhöhen.

An sich hat sich der Nachweis chemischer Elemente schon durch die ständige Verbesserung mikrochemischer Methoden derart entwickelt, daß eine Erkennungsgrenze von einem Zehntel oder gar einem Hundert Milliontel ( $10^{-8}$ ) Gramm nichts Seltenes mehr ist. Die spektroskopische Nachweisbarkeit vieler Elemente geht noch wesentlich weiter, und die dauernde Verbesserung der Methoden ist durchaus keine überflüssige Spielerei. Die Anwesenheit oder Abwesenheit kleinster Substanzmengen spielt in der Werkstoffkunde, in der forensischen Chemie, vor allem aber auch bei vielen Lebensvorgängen eine Rolle, deren Bedeutung immer mehr erkannt wird. Eine Gewichtsmenge von  $10^{-8}$  g bedeutet nun aber immer noch eine ungeheure Anzahl von Atomen; die nach mikrochemischen Methoden gerade noch nachweisbaren  $10^{-8}$  g Blei z. B. sind noch 30 Billionen Atome. Haben wir nun *radioaktive* Bleiatome zur Verfügung, so ist ein Zehntausendstel dieser Menge noch ein stark aktives Präparat, dessen elektroskopische Bestimmung keinerlei Schwierigkeit macht. Unsere Nachweismethoden sind also auf unsichtbare und praktisch gewichtslose Mengen ausgedehnt; und was hier für das Blei gesagt ist, galt bisher für alle bekannten Elemente zwischen Thallium (Ordnungszahl 81) und Protaktinium (Ordnungszahl 91).

Im Vergleich zu den auf einfache Weise nachweisbaren natürlichen radioaktiven Substanzen sind bisher die Mengen der künstlichen radio-

aktiven Atomarten so klein, daß man sich meist noch der komplizierteren „Zählmethoden“ für ihren Nachweis bedienen muß, Methoden, bei denen die einzelnen Strahlenteilchen in Zählrohren oder der WILSONSchen Nebelkammer registriert werden. Diese einer allgemeinen Anwendbarkeit entgegenstehenden Schwierigkeiten werden sicher behoben werden.

Das wichtigste Anwendungsgebiet radioaktiver Substanzen ist ihre Verwendung zum Nachweis und zum Studium solcher chemischen Elemente, von denen es isotope aktive Atomarten gibt. Das leicht nachweisbare aktive Atom dient als „Indikator“ für das schwerer nachweisbare Element. Eigenschaften und Verhalten chemischer Elemente lassen sich nach dieser von v. HEVESY und PANETH zuerst eingeführten Indikator-methode bis zu viel kleineren Konzentrationen herab untersuchen, als dies sonst möglich war.

Für geochemische Fragen ist es z. B. oft wichtig, den Gehalt chemischer Elemente in Gesteinen und Mineralien zu erfahren, wenn diese Elemente nur in sehr geringer Menge anwesend sind. Durch Zugabe der radioaktiven Indikatorsubstanz läßt sich dies einfacher und zugleich mit größerer Genauigkeit durchführen als nach den früheren Methoden. Scheiden wir bei einer Trennungsreaktion aus dem gelösten Mineral nach Zugabe des Indikators z. B. 80 % der Aktivität in einem Niederschlag ab, dann wissen wir, daß mit diesen 80 % Aktivität auch 80 % des fraglichen Elements mit abgeschieden wurden, ganz gleichgültig in welcher Gewichtsmenge das Element vorlag.

Für gewisse Gruppen chemisch ähnlicher Elemente, etwa die Edelmetalle, die seltenen Erden, sind die analytischen Trennungsmethoden schwierig und manchmal unsicher. Bei einem Gold-Platin-Iridiumgemisch konnte durch zugegebenes radioaktives Gold als Indikator für die Verteilung des Goldes in den einzelnen Niederschlägen festgestellt werden, daß die bisherigen Trennungsmethoden nicht genau sind (ERBACHER und PHILIPP).

Unter den seltenen Erden sind einige durch eine sehr starke Aktivierbarkeit mittels langsamer Neutronen ausgezeichnet. Die dabei entstehenden künstlichen Isotopen wie Radio-Dysprosium, Radio-Gadolinium, Radio-Holmium haben sehr verschiedene Halbwertszeiten (v. HEVESY, SUGDAN). Zweifellos können sie für die Erkennung dieser Elemente und die Wirksamkeit der analytischen Trennungsmethoden mit Vorteil herangezogen werden.

Von besonderem Interesse sind die atomchemischen Prozesse, die bei der Bestrahlung des Urans durch Neutronen ausgelöst werden. Wie FERMI und Mitarbeiter feststellen konnten, entstehen hierbei mehrere aktive Atomarten, die sich in ihren Halbwertszeiten leicht unterscheiden lassen. Vor allem eine mit der Halbwertszeit von 13 Min. zerfallende Substanz wurde von den italienischen Forschern auf Grund chemischer Versuche als Vertreter eines Elements mit höherer Ordnungszahl als Uran, vermutlich als ein Element 93 angesprochen. Von anderer Seite war die FERMIsche Annahme abgelehnt, und der 13 Min.-Körper als ein Isotop des Protaktiniums (Ordnungszahl 91) erklärt worden. Durch Indikatorversuche mit dem Protaktinium-Isotop Uran Z konnte dann aber einwandfrei

bewiesen werden, daß die FERMIsche Ansicht zu Recht besteht; sicher gibt es mindestens zwei, vielleicht drei künstliche aktive Atomarten, die zwei oder drei *verschiedenen* Elementen jenseits 92 angehören (HAHN und MEITNER). Das System unserer Elemente muß also nach oben um einige Plätze erweitert werden, wie es durch die Entdeckung des Neutrons nach unten um einen erweitert wurde.

Auch bei den künstlichen Umwandlungsprodukten des Thoriums hat sich die Indikatormethode bewährt und die Aufklärung der genetischen Zusammenhänge erleichtert. Hier wurde die Entstehung einer bisher nicht bekannten radioaktiven Reihe vom Atomgewichtsschema  $4n + 1$ , worin  $n$  eine ganze Zahl bedeutet, experimentell festgestellt (HAHN und MEITNER, I. CURIE und Mitarbeiter).

In der physikalischen Chemie hat man sich radioaktiver Indikatoren mit großem Erfolg bedient. Kinetische Austauschvorgänge dissoziierter oder nicht dissoziierter Metallverbindungen, Platzwechselreaktionen in festen und geschmolzenen Salzen, ja sogar die Selbstdiffusion der Atome ein und desselben Metalls ineinander, ließen sich messend verfolgen (v. HEVESY).

Im letzteren Falle bedeutet die Indikatorenmethode nicht nur eine Verfeinerung der Methodik, sondern sie ermöglicht das Studium von Vorgängen, die sich ohne die radioaktiven Indikatoren überhaupt niemals nachweisen lassen könnten.

Einen besonderen Nutzen wird auch die Biologie und die Heilkunde von den radioaktiven Indikatoren haben. Versuche über den Kreislauf von Blei, Wismut, Thorium durch ihre stark aktiven Isotopen in Pflanzen und im tierischen Organismus liegen bereits vor (z. B. v. HEVESY), desgleichen über die Verteilung dieser Elemente in gesundem und krankem Gewebe.

Die Ausdehnung solcher Untersuchungen auf das Verhalten lebenswichtiger Elemente im tierischen und auch menschlichen Stoffwechsel ist nur noch eine Frage der Zeit. Schon heute kennen wir z. B. Radio-Natrium, Radio-Phosphor, Radio-Chlor, Radio-Kalium, deren Halbwertszeiten ein Arbeiten mit ihnen in der angedeuteten Richtung möglich erscheinen läßt.

Über den Rahmen der eigentlichen Indikatormethode hinaus geht die Verwendung radioaktiver Atomarten in den Fällen, wo man aus ihrer Abscheidung und Verteilung in festen und flüssigen Trägern Aussagen über diese letzteren machen kann. Die Gesetze der normalen und anomalen Mischkristallbildung, Adsorptions- und Mitreißvorgänge bei Niederschlägen, selektive Adsorptionen im Innern von Kristallen, Sichtbarmachung von Korngrenzen in Metallen, absolute Oberflächenbestimmung von Metallen waren Probleme, die sich der Untersuchung mit natürlichen radioaktiven Atomarten darboten (Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie).

Zum Schluß sei noch kurz auf ein Arbeitsgebiet hingewiesen, bei dem zwar ebenfalls radioaktive Atomarten verwendet werden, das sich von der Indikatorenmethode aber prinzipiell unterscheidet, nämlich die sog. „Emaniermethode“ (HAHN). Bei der Indikatormethode dient das radioaktive Atom dazu, das zu ihm gehörige chemische Element gleicher Ord-

nungszahl zu erkennen und in seinem Verhalten zu untersuchen. Bei der Emaniermethode dienen die in praktisch unendlich geringer Gewichtsmenge leicht nachweisbaren radioaktiven Edelgase, die Emanationen, dazu, das Verhalten von beliebigen Substanzen zu untersuchen, in denen eine solche Emanation entsteht.

Strukturausbildung und strukturelle Änderungen, seien sie physikalischer oder chemischer Natur, lassen sich nach dieser Methode prüfen. Zur Untersuchung eignen sich alle Stoffe, bei denen es gelingt, ein eine Emanation lieferndes Radioelement einzuführen und gleichmäßig zu verteilen. Kristalle und Gläser, Metallhydroxyde und komplizierte organische Salze sind der Untersuchung zugänglich.

Gemessen wird das sog. Emaniervermögen. Unter diesem versteht man den Betrag der aus der Substanz entweichenden Emanation zu dem Gesamtbetrage der in der Substanz entwickelten Emanation. Aus einem gut kristallisierenden anorganischen Salz z. B. kommt unter normalen Bedingungen praktisch keine Emanation heraus, sein Emaniervermögen ist klein. Aus einem oberflächenreichen Metallhydroxyd mit seiner schwammigen Struktur entweicht viel, das Emaniervermögen ist groß. Ändert sich etwas an der Struktur der Substanz, treten Oberflächenänderungen auf, molekulare Umlagerungen oder chemische Reaktionen, so ändert sich während dieser Vorgänge die Emanationsabgabe, und diese ist während der Vorgänge und nachher auf einfache Weise zu ermitteln. Bei reversiblen Änderungen stellt sich das ursprüngliche Emaniervermögen wieder ein, bei irreversiblen nicht.

Wenn man bedenkt, wie viele für die Wirtschaft wichtige Stoffe in der chemischen Großtechnik heute vermittlems oberflächenwirksamer „Katalysatoren“ hergestellt werden, dann sieht man, daß neue Untersuchungsmethoden über das Verhalten solcher Katalysatoren auch neue Ergebnisse erwarten lassen.

In der jüngsten Zeit hat die Emaniermethode auch in der Metallkunde Anwendung gefunden. Gefügeänderungen, Rekristallisationserscheinungen, Umwandlungspunkte geben sich in dem Emaniervermögen der *radioaktiv indizierten* Metalle zu erkennen.

Mit der 25jährigen Entwicklung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft fällt zeitlich eine 25jährige Entwicklung der modernen Atomforschung zusammen. Über den Begriff und die Kenntnis der chemischen Elemente hinaus entwickelte sich der speziellere Begriff und die Kenntnis der chemischen Atomarten. Sind diese Isotopen Atomarten durch besondere Eigenschaften vor den Elemententypen ausgezeichnet, und lassen sie sich als Einzelatomarten herstellen, dann kommt ihnen für die chemische Forschung eine besondere Bedeutung zu. Wir sehen dies an dem neu entdeckten Wasserstoffisotop der Masse 2, und wir sehen es an den radioaktiven Atomarten als Isotopen gewöhnlicher chemischer Elemente. Sie haben uns neue Wege der Erkenntnis erschlossen. Mit der Gewinnung der künstlichen aktiven Atomarten fast aller gewöhnlichen chemischen Elemente wird eine neue Epoche angewandter Atomforschung für die verschiedensten Gebiete eingeleitet.

# Mineralogie.

Von

W. EITEL, Berlin-Dahlem.

## I.

Die wissenschaftliche Erkenntnis von der Zusammensetzung und dem Wesen der Erdkruste umfaßt im neuzeitlichen Sinne die Ergebnisse nur weniger Jahrhunderte; wenn wir von den Anschauungen der antiken Welt und der in den engen Grenzen der aristotelischen Weltanschauung befangenen naturwissenschaftlichen Erkenntnis des Mittelalters absehen, so ist eigentlich erst aus der Entwicklung der Chemie und damit in Verbindung der Mineralogie und Geologie das richtige Bild über die wahre Zusammensetzung der sichtbaren Erdoberfläche entstanden. Die Erkenntnis, daß die Sauerstoffverbindungen der Metalle den überwiegenden Bestandteil der Mineralien und Gesteine ausmachen, ist ja kaum mehr als anderthalb Jahrhunderte alt. Erst die grundlegenden analytischen Arbeiten von KLAPROTH, BERZELIUS und ihrer Schule habe diese Tatsachen klar ergeben können. Neben der analytisch-chemischen Erforschung der Erdrinde hat die geologisch-historische Deutung der Entstehung der Gesteine nach den heißen Kämpfen der Neptunisten und Plutonisten vor etwa einem Jahrhundert in den klassischen Arbeiten eines L. VON BUCH eine Klärung erfahren.

Als gemeinsames Ergebnis dieser umfassenden Vorarbeiten unserer heutigen exakten geochemischen Forschung tritt eindeutig in den Vordergrund, daß neben dem Sauerstoff das Silizium der Hauptbestandteil der anorganischen irdischen Welt ist. Alle anderen Elemente treten hinter diesem wichtigen Stoff zurück, weitaus die Mehrzahl der Leichtmetalle ist in der Natur in Verbindung mit Silizium und Sauerstoff vorhanden, gebunden zu den Kieselsäuresalzen, den Silikaten. Die Entwicklung der beschreibenden Mineralogie und Gesteinskunde ist daher zu einem wesentlichen Teil an die fortschreitende Erkenntnis der Silikate und ihrer Eigenschaften gebunden, wobei vor allem auch die kristallographische Beschreibung ihres Naturvorkommens beteiligt war.

Die ältere physiographische Beschreibung der Silikatmineralien machte aber im Laufe des 19. Jahrhunderts einer Entwicklung Platz, welche sich auf die chemischen und physikalischen Bedingungen der Entstehung dieser Kristallarten in zunehmendem Maße richtete. Man lernte bei dem raschen Fortschreiten der chemischen Laboratoriumsmethodik bald Verfahren kennen, um z. B. aus Schmelzflüssen kristallisierte Silikate zu gewinnen, die in ihren Eigenschaften mehr oder minder mit natürlichen Silikatmineralien übereinstimmten. Diese synthetische Methode der Silikatforschung leitete aber immer mehr dazu an, die natürliche Bildung der Silikatmineralien und -gesteine unter dem Gesichtspunkt solcher im

Laboratorium nachzunehmenden chemischen Reaktionen zu betrachten. Die Übertragung solcher synthetischer Erfahrung auf das große Geschehen bei den natürlichen Bildungsbedingungen, z. B. im Schoße der vulkanischen Magmenherde, war ein höchst wertvoller Fortschritt der gesamten Geochemie, weil die natürlichen Bildungsbedingungen nunmehr unter den Faktoren der meßbaren Temperaturgrößen und der Konzentrationsverhältnisse der an der Reaktion teilnehmenden Stoffe betrachtet werden konnten.

Wir verdanken der älteren synthetischen Schule der Silikatforschung noch eine weitere außerordentlich wichtige Bereicherung der Erkenntnis in der Tatsache, daß auch in zahlreichen Kunstprodukten der Technik und Industrie der Silikate, vor allem in den künstlichen Baustoffen, den keramischen Massen, den Schlacken und Gläsern usw. weitere silikatische Kristallarten als regelmäßige Bestandteile entdeckt wurden. Die sorgfältige mikroskopische Kontrolle synthetischer Produkte des Laboratoriums wie der Industrie schenkte der Silikatforschung infolgedessen einen ihrer wichtigsten Fortschritte. Die Erfahrungen der bei der Gesteinsuntersuchung bewährten Methode des Dünnschliffs ließen sich jetzt auch bei den verschiedensten synthetischen Produkten nutzbringend verwerten.

So hat in gleicher Weise die wissenschaftliche Mineralsynthese wie die technische Silikatforschung aus den einfachsten Erfahrungen der älteren Schule Grundlegendes gelernt. Als neues, befruchtendes Prinzip aber kam alsdann um die Jahrhundertwende eine Anwendung der physikalischen Chemie, besonders der Lehre von den heterogenen Gleichgewichten hinzu. Diese Lehre, welche aus der strengen klassischen Thermodynamik hervorgegangen ist, behandelte gerade diejenige Seite der synthetischen Grundfragen der Silikatforschung, welche vordem noch nicht im Prinzip gelöst werden konnten, nämlich nach den Einflüssen der physikalischen Zustandsbedingungen (Temperatur, Druck usw.) und der Konzentrationen der an der Reaktion beteiligten Stoffe auf die besondere Ausbildung bestimmter Kristallarten. Diese Grundprinzipien hatte W. GIBBS 1878 theoretisch entwickelt. Ihre ersten großen Erfolge erbrachten sie in der Anwendung auf die Bildung von Salzkristallarten aus gesättigten Lösungen nach den klassischen Arbeiten von J. H. VAN'T HOFF mit seinen Schülern über die Entstehung der ozeanischen Salzablagerungen. Diese überaus wichtigen und schönen Untersuchungen fanden alsdann ihre Parallele in den verdienstvollen Arbeiten von G. TAMMANN und seiner Schule, welche die Legierungen der Metalle in ihrem Gefüge als Kristallitenaggregate erwiesen, die nach den heterogenen Phasengleichgewichten sich regeln. TAMMANN hat auch zuerst die exakte Anwendung der Gleichgewichtsbetrachtungen auf die silikatischen Schmelzreaktionen gelehrt; ihm verdanken wir endlich die geniale Erkenntnis der glasartigen Silikate als unterkühlte Schmelzphasen, wie dies TAMMANN in seinem grundlegenden Buche „Krystallisieren und Schmelzen“ 1903 dargelegt hat.

Erst diese auf exaktesten Voraussetzungen begründete physikalisch-chemische Betrachtungsweise hat die moderne Entwicklung der Silikatforschung ermöglicht. In gleicher Weise, wie nun unter Führung von

G. TAMMANN und seiner Schule die systematische Erforschung der Konstitution der Metallegierungen einsetzte und im Lauf der letzten drei Jahrzehnte auch durchgeführt worden ist, ergab sich eine Erforschung der grundlegenden Gleichgewichte silikatischer Systeme, für welche die von TAMMANN gegebenen Richtlinien eingeschlagen und befolgt werden mußten. Als besonders wertvoll erwies sich dabei methodisch gerade die Lehre von den unterkühlten Schmelzen. In entsprechender Weise, wie bei den Legierungen, die nicht unterkühlbar sind, die dynamischen Verfahren der Abkühlungskurven zur Feststellung der Gleichgewichte dienen, hat die statische Abschreckungsmethode bei den Silikaten sich als die ergebnisreichste erwiesen.

Besonders das seit 1905 tätige Geophysikalische Laboratorium der Carnegie-Stiftung in Washington hat sich in Erkenntnis der TAMMANNschen Grundlagen um die systematische Ermittlung der Silikatsysteme verdient gemacht. Durch eine mehr als 20jährige gründliche Erfahrung auf diesem Gebiet sind die Ergebnisse jenes Institutes heute die Grundlage für die wichtigsten mineralogisch-petrologischen und technologischen Studien an den Silikaten geworden. Als besonders wichtige Beispiele für den Reichtum der Ergebnisse solcher Arbeitsweise ist z. B. das System Kalk-Tonerde-Kieselsäure herauszugreifen, welches bereits 1912 in wesentlichen Zügen geklärt war und in einem Zustandsdiagramm (nach RANKIN) fertig vorliegt, welches die Temperatur-Konzentrationsbeziehungen bei den Schmelzgleichgewichten wiedergibt. Aus einem solchen Schaubild erkennt man zunächst die mineralogisch und petrologisch bedeutsame Tatsache, daß der Kalkfeldspat (Anorthit) und der Gehlenit die einzigen ohne Zersetzung schmelzenden Kristallarten aus allen drei Bestandteilen des Systems sind, während offenbar der in der Natur vorkommende Kalktonerdegranat (Grossular) nicht ohne weiteres synthetisch aus seinen Bestandteilen dargestellt werden kann, weil er bei höheren Temperaturen in komplizierter Weise sich zersetzt. Die Natur arbeitet also in diesem Fall anders als der synthetisch tätige Forscher, und es bedarf offenbar der Mitwirkung anderer, vor allem flüchtiger Bestandteile, welche noch zugegeben werden müßten. Daß bei der Anwesenheit solcher flüchtiger Stoffe aber auch höhere Drucke entstehen, ist eine Tatsache, die offenbar bei der natürlichen Bildung von Granatmineralien bei der sog. Gesteinsmetamorphose berücksichtigt werden muß. In den Fällen aber, in welchen in der Natur bei Abwesenheit flüchtiger Stoffe und unter geringen Drucken z. B. Kalksteine mit sauren Silikatschmelzen, z. B. Graniten im „Kontakt“ zusammentreffen, bilden sich nach dem Zustandsdiagramm auch Anorthit und Gehlenit, wie sie typisch in großen Kontaktlagerstätten der Marmorserie und Kalk-Silikathornfelse beobachtet werden.

Das erwähnte Zustandsdiagramm ist zugleich ein vorzügliches Beispiel für die Anwendung der heterogenen Phasengleichgewichte in der Technik. Aus den Rohstoffen Kalk und Ton, d. h. wasserhaltigen Tonerdesilikaten, stellt man bekanntlich unser wichtigstes hydraulisches Bindemittel, den Portlandzement her. Die schwierige Frage, welches die mineralischen Bestandteile des gebrannten Portlandzementklinkers sind, beantwortet das Zustandsdiagramm eindeutig mit der Angabe, daß auf der basischen

Seite in der Nähe des Kalkpoles in der graphischen Darstellung das Trikalziumsilikat und das Trikalziumaluminat in den Endprodukten auftreten müssen, daneben aber auch in geringen Mengen Dikalziumsilikat und Pentakalzium-Trialuminat vorkommen können. Auf dieser grundlegenden Erkenntnis baut sich unsere gesamte neuere Betrachtungsweise der Zementforschung auf. Dabei ist besonders lehrreich, daß nicht nur für die Schmelzgleichgewichte im eigentlichen Sinne, sondern auch für die in der Technik häufig vorkommenden Sinterungsreaktionen und die Prozesse der Umsetzung im festen Zustand die Zustandsdiagramme die wichtigsten Richtlinien geben. Aus dieser Erfahrung hat nicht nur die Zementindustrie größten Nutzen gezogen, sondern auch die Industrie vieler anderer silikatischer Rohstoffe, vor allem in der Keramik und der Fabrikation feuerfester Steine. Nur mit Beherrschung aller Einzelheiten der Phasengleichgewichte lassen sich z. B. auch die schwierigen Fragen bei der Herstellung moderner Spezialmassen für die elektrische Hochfrequenztechnik, für Hochspannungsisolatoren usw. lösen.

In neuerer Zeit richtet sich das Interesse der Silikatforschung auf Grund der Schmelzgleichgewichte vor allem auf die wichtigen eisenhaltigen Systeme. In der Natur spielen ferrosilikathaltige Kristallarten eine außerordentlich wichtige Rolle; entsprechend kommen solche Stoffe auch in zahllosen Produkten des Hüttenwesens vor, so daß ihre genaue Kenntnis eine besonders reizvolle Anwendung der synthetischen Gleichgewichtsbestimmung geworden ist. Die experimentellen Schwierigkeiten solcher Untersuchungen sind freilich recht bedeutend, da eine Beteiligung der umgebenden Atmosphäre an den Schmelzreaktionen berücksichtigt werden muß und auch die Auswahl der Tiegelmateriale eine schwierige wird. Es zählt zu den schönsten Erfolgen neuerer Arbeiten, daß hier im Vakuum- oder Hochfrequenzofen oder unter noch anderen besonderen Maßnahmen dennoch genau die Gleichgewichte grundlegender Systeme ermittelt werden konnten. Die schwierigen Fragen der Bildung der Mineralien der Pyroxenreihe, insbesondere des Hedenbergits und der Kalk-Mangan-Metasilikate, liegen heute im Prinzip gelöst vor, was insbesondere für das neuzeitliche Eisen- und Metallhüttenwesen von größter Wichtigkeit ist. Selbst die sehr komplizierten Polymorphieverhältnisse der genannten Metasilikate in ihren Mischkristallreihen sind im einzelnen bereits festgelegt.

Noch harrt ein weites Gebiet der synthetischen Gleichgewichtsforschung der exakten Bearbeitung, nämlich das Studium der heterogenen Gleichgewichte von Silikaten mit flüchtigen Stoffen. Die methodischen Schwierigkeiten liegen hier vor allem auf dem Gebiet der Ausbildung zweckmäßiger Hochdruckapparaturen, welche für die chemischen Wirkungen z. B. des überkritischen Wasserdampfes noch nicht genügend widerstandsfähig entwickelt oder zu schwerfällig zu handhaben sind. Einen entscheidenden Fortschritt brachte zunächst nur die Untersuchung der Systeme mit überkritischem Kohlendioxyd als fluidem Lösungsmittel. Hier haben sich klare Gesichtspunkte insbesondere zur Beurteilung des natürlichen Vorkommens karbonatischer Magmenschmelzen im Gemisch mit Silikaten ergeben. Diese höchst interessanten Erscheinungen in der

Natur sind vor allem auch verknüpft mit einer weitgehenden Mischbarkeit der Schmelzen von Karbonaten und Silikaten (im Gegensatz zu den hüttenmännisch bedeutsamen, nur beschränkt mischbaren Systemen aus Sulfiden und Silikaten). Auch die Bildung von Doppelverbindungen von Karbonaten und Silikaten darf hier als besonders bemerkenswerte, synthetisch geklärte Erscheinung erwähnt werden.

Die Systeme mit Wasser im überkritischen Zustand als Reaktionspartner sind durch zahlreiche Einzelversuche in der sog. Hydrothermalbombe in Angriff genommen worden. Wir stehen noch am Anfang der Bearbeitung dieses wichtigen Gebietes, so daß heute eigentlich nur die Alkalisilikathydrate genau in ihren Zustandsbedingungen synthetisch festgelegt sind. Wohl aber haben zahlreiche ausgezeichnete Ergebnisse bereits die Bildung der Glimmer, des Kaolins und anderer wichtiger wasserhaltiger Silikate in großen Zügen geklärt, so daß man für die nahe Zukunft auch die exakte Beurteilung ihrer Existenzbedingungen erwarten darf.

Hand in Hand mit der sieghaften Entwicklung der Silikatforschung auf dem Gebiet der heterogenen Gleichgewichte ging in den letzten Jahrzehnten ein grundlegender Fortschritt auf dem Gebiet der physikalischen Erforschung silikatischer Kristallarten durch die Anwendung der von A. SHOENFLIES schon 1891 vollständig entwickelten kristallographischen Strukturlehre und der neueren Röntgeninterferenzmethode. Während die mikroskopisch-physiographische Untersuchung von Mineralien, Gesteinen und synthetischen Produkten vor allem die optischen Konstanten der Kristalle im Dünnschliff oder Pulverpräparat zur Identifizierung herangezogen hatte, erstand dem Silikatforscher in der durch die grundlegende Entdeckung von M. v. LAUE gegebenen Röntgenmethode ein neues, überaus vielseitiges und zuverlässiges Hilfsmittel in der Auswertung der Interferenzdiagramme der verschiedenen Kristallarten, hergestellt nach der Einkristall- oder der Pulvermethode. Die so schwierige Erkennung feinstkörniger Reaktionsprodukte wurde jetzt zu großer Sicherheit ausgebildet; es konnte sogar eine Methode der quantitativen Bestimmung der Kristallarten in einem Gemenge mit Aussicht auf praktischen Erfolg entwickelt werden, was bei der Kontrolle technischer Produkte von außerordentlicher Bedeutung ist. Die so schwierigen Untersuchungen z. B. an Zementklinkern wurden durch solche verfeinerten röntgenographischen Verfahren in allen praktisch bedeutsamen Fällen sichergestellt, besonders vor allem die so schwer sonst zu verfolgende Abspaltung freien Kalks beim Überbrennen des Klinkers. Diese quantitativen röntgenographischen Methoden haben vor allem wohl noch eine große Zukunft in der Keramik, obwohl hier durch das Auftreten feinstkörniger Zwischenphasen die Verhältnisse besonders leicht verschleiert werden.

Den schönsten Erfolg der neueren Silikatforschung aber bedeuten ohne Zweifel die Bestimmungen der Kristallstruktur der meisten natürlichen und synthetischen Silikate, welche die Schule von W. H. BRAGG in den letzten 15 Jahren durchgeführt hat. Für den anorganischen Chemiker bedeutet die heute vorliegende Übersicht über die wichtigsten Bauprinzipien der kristallisierten Silikate eine wundervolle Bereicherung

unserer zunächst in der organischen Chemie gewonnenen Einsichten des räumlichen Zusammenhangs der Atome und Moleküle. Vor allem zeigt sich in überwältigender Eindringlichkeit bei den Silikatstrukturen die einheitliche Gültigkeit einfachster Volumen- und Verknüpfungsprinzipien. Das kleine Siliziumion, welches räumlich von vier großen Sauerstoffionen umgeben ist, sowie der analoge tetraedrische Verband eines Aluminiumions mit vier Sauerstoffionen ist das Grundprinzip des Baues nicht allein der Quarzgruppe mit den verschiedenen Modifikationen der kristallisierten freien Kieselsäure, sondern auch der reichen Welt der sog. Alumosilikate, also besonders der wichtigen Feldspate und der Feldspatvertreter. Es bietet sich dem Auge des sinnenden Forschers eine Fülle der prächtigsten Strukturbilder im Gefüge der Elementarzellen in den Gittern der Silikate, wie dies so eindrucksvoll BRAGG in seiner klassischen Schrift „The Structure of Silicates“ geschildert hat.

Viele typische Eigenschaften der Silikate erklären sich alsdann als bedingt durch den Strukturbau, so z. B. die faserige Struktur der Hornblenden und Asbeste, die tafelige Struktur der Kaoline und Glimmer, endlich z. B. das schwammartige Gefüge der Zeolithe, welche Wasser je nach den Zustandsbedingungen aufzunehmen oder abzugeben vermögen, ohne daß das Grundgerüst verändert wird. Auch das Problem der Mischkristallbildung, die gerade in der Welt der Silikate so weitreichend und vielseitig wie kaum in einer anderen Stoffgruppe der anorganischen Chemie auftritt, erscheint vom Standpunkt der Strukturbetrachtung als eine Folge räumlich-zahlenmäßiger Gesetze. Wir stehen heute noch vielfach am Beginn dieser tieferen Einsichten in die Struktur der kristallisierten Materie. Z. B. bei so wichtigen Naturkörpern und synthetischen Produkten wie den wasserfreien Aluminiumsilikaten der Sillimanitgruppe scheinen noch Probleme vorzuliegen, für welche unsere bisherigen Betrachtungsweisen noch zu annähernd und ungenau sein dürften. Die Einlagerung von Tonerde in das Gerüst des Sillimanits, wie sie in dem Mullit, dem Ergebnis des Brennens keramischer Tone vorliegt, ist für unsere heutige Betrachtungsweise offenbar noch eine schwere Aufgabe, deren Lösung viel Aufwand an Scharfsinn und methodischer Genauigkeit erfordern dürfte.

So stehen wir heute mitten in der Aufwärtsentwicklung eines weiten Gebietes der anorganischen Forschung beim Studium der Silikate, von ebenso grundlegender Bedeutung für unsere Erkenntnis der Erdrinde wie für die wichtigsten Zweige der anorganischen Großindustrie. Ein neues Sondergebiet der Mineralogie, die technische Mineralogie der Silikate, entwickelt sich aus dieser engen Verflechtung.

## II.

Gegenüber der in den vorstehenden Ausführungen gegebenen Darstellung der Entwicklung der Mineralogie der Silikate spielt die entsprechende fortschreitende Entwicklung der Mineralogie der *Erze* und der übrigen in der Erdkruste vertretenen Mineralgruppen eine nicht minder bedeutende Rolle. Die außerordentliche Vielseitigkeit der Bildungs-

verhältnisse besonders der Erzlagerstätten hatte schon frühe zu einer chemischen Betrachtungsweise der sie bedingenden Reaktionen im Laboratorium der Natur geführt. Vor allem die Bildung der Sulfide und der typischen Gangminerale erfuhr schon zu derselben Zeit eine eingehende experimentelle Bearbeitung von seiten der synthetischen Chemie wie die Entstehung der wichtigsten gesteinsbildenden Silikate. Hier sind vor allem die glänzenden Erfolge der französischen synthetischen Schule in der Mitte des 19. Jahrhunderts zu nennen, welche systematisch die Darstellung wohlkristallisierter Sulfide, Oxyde, Karbonate, Sulfate usw., der wichtigsten Schwermetalle und der Erdalkalien durchgeführt hat. Gleichzeitig erwies sich die goniometrisch-kristallographische Untersuchung solcher Kunstprodukte als eine ausgezeichnete Kontrolle der Synthesen und lehrte die natürlichen Mineralien nunmehr gewissermaßen in ideal reiner Gestalt kennen. Noch heute ist das reichhaltige, besonders von P. GROTH in seiner grundlegenden „Chemischen Kristallographie“ gesammelte Material über solche Synthesen und Messungen der kristallographischen Konstanten jedem Mineralogen und Chemiker unentbehrlich.

Wie bei den Silikatmineralien setzte auch bei den übrigen Mineralarten alsdann eine Durchdringung des gesamten Wissensstoffes mit den Gesetzen der physikalischen Chemie, insbesondere der Phasenlehre und der Lehre der Lösungsgleichgewichte im Zusammenhang mit der Theorie der elektrolytischen Dissoziation ein. Man lernte in fortschreitendem Maße die Einflüsse der Zustandsbedingungen, der Konzentrationen und der Lösungsgenossen auch bei den Fällungsreaktionen aus den natürlichen hydrothermalen und den in geringer Erdtiefe zirkulierenden Wässern kennen. Den Höhepunkt solcher Betrachtungen bildeten die etwa 1910 abgeschlossenen großangelegten Untersuchungen von J. H. VAN'T HOFF und seinen Mitarbeitern über die ozeanischen Salzlagerstätten, in welchen die Bildungsbedingungen der zuerst in Mitteldeutschland erschlossenen großen Kalisalzlagerstätten systematisch durch synthetische Gleichgewichtsbestimmungen geklärt wurden. Vor allem wurden die grundlegenden Kristallisationsbedingungen des Steinsalzes mit den typischen Chlorid- und Sulfatdoppelsalzen des Magnesiums, Natriums und Kaliums in eindeutigen Zustandsdiagrammen als Funktion der Bildungstemperaturen niedergelegt, ferner die Entstehungsbedingungen der jene Salzlagerstätten begleitenden Borate und anderer Akzessorien. Diese glanzvollen Ergebnisse wurden noch ergänzt durch mannigfaltige Untersuchungen über die späteren, vor allen Dingen bei höheren Temperaturen in tieferen Erdschichten an solchen Salzlagerstätten stattfindenden Umbildungsvorgänge (Metamorphosen). Auf einem Teilgebiet konnte so experimentell ein Großproblem der gesamten Mineralogie und Petrographie gelöst werden, gewissermaßen als ein Vorbild für die entsprechenden komplizierteren Verhältnisse der Bildung und Metamorphose der Silikatgesteine.

Auf dem Gebiet der physikalisch-chemischen Erforschung der eigentlichen Erze liegen heute noch keine entsprechenden umfassenden und grundlegenden Ergebnisse vor. Ähnlich wie bei der hydrothermalen Mineralsynthese einzelner Silikate ist eine erfolgreiche Bearbeitung z. B.

der Bildungsbedingungen von Schwermetallsulfiden zu nennen, vor allem über die Sulfide des Eisens, des Zinks, des Kupfers, des Quecksilbers. Eine wichtige Ergänzung der Synthesen ist dabei auch die in Einzelfällen bereits festgelegte Kenntnis der Dampfdruckgleichgewichte, z. B. bei der thermischen Dissoziation des Eisendisulfids, des Kupfersulfids usw. Auch die besonderen Bedingungen der Bildung bestimmter instabiler sulfidischer Kristallarten bei verschiedenen Aziditätsgraden der Lösungen sind dabei von großer Wichtigkeit, die unter den natürlichen Existenzbedingungen solcher Erze Geltung haben dürften.

Ein überaus reichhaltiges Material ergab im Laufe der letzten Jahrzehnte bei den Erzlagerstätten noch besonders das Studium des Zusammenkommens (der Paragenese) der verschiedenen Mineralien in bestimmten örtlichen Vorkommen. Aus der großen Fülle systematisch gesammelter Einzelbeschreibungen der Lagerstätten und im Zusammenhang mit der Natur der umgebenden Mineralvorkommen und Gesteine lernte man zunächst deduktiv die großen Linien der Entstehungsgeschichte der einzelnen Vorkommen zu erkennen. Als Leitprinzip ergab sich vor allem der mehr oder weniger bedingte Zusammenhang der Lagerstätten mit magmatischen Herden, unter deren Einfluß sie sich je nach Entfernung von den magmatischen Zentren als Produkte einer Nah- oder Fernwirkung darstellten. Die umfassenden Begriffe der perimagmatischen und der apomagmatischen Lagerstättenbildung wurden ausgebaut zu einer regelrechten allgemeinen Systematik der Bildungsgeschichte der einzelnen Typen der Lagerstätten. Wir stehen heute noch mitten in der Entwicklung dieser Betrachtungsweise der Lagerstättenlehre, besonders zumal in neuester Zeit durch die verfeinerten Methoden der Erzmikroskopie die genetischen Beziehungen der Mineralien untereinander nicht nur im makroskopischen Bilde sich darbieten, sondern nunmehr auch im kleinsten Bildungsbereich untersucht werden können. Die mineralchemisch überaus wichtigen Vorgänge von Umsetzungen mehrerer Kristallarten untereinander, wobei neue Kristallarten entstehen müssen (Metasomatose, Verdrängungsreaktionen usw.), ferner die mannigfaltigen Entmischungserscheinungen und Umkristallisationen können nunmehr in allen Einzelheiten zur Bestimmung der genetischen Geschichte einer Lagerstätte herangezogen werden. Es ergaben sich dabei auch sehr wichtige Gesichtspunkte für das Zusammenvorkommen bestimmter Elemente in der gleichen genetischen Lagerstättengruppe, was wiederum in besonderer Weise von praktischer Bedeutung für die Verarbeitung der Erze in den metallurgischen Verfahren wurde, wie auch zur Ausbildung einer neuzeitlichen umfassenden *Geochemie* von entscheidendem Einfluß geworden ist.

Zunächst war die geochemische Erkenntnis von der Zusammengehörigkeit bestimmter Elemente, vor allem der Schwermetalle, in ihrem Vorkommen in den Erzen qualitativ bereits durch die analytischen und speziell die spektralanalytischen Ergebnisse der älteren mineralchemischen Literatur erschlossen worden. Die quantitative Ausarbeitung dieser äußerst wichtigen Beziehungen aber wurde erst in der neuesten Zeit möglich, da die spektralanalytische Methode erst bei Entwicklung der

heutigen Quarzspektrographen im ultravioletten Strahlungsgebiete genügend zuverlässige Zahlenwerte geben konnte. Heute ist die systematische Erforschung der Verbreitung einzelner Elemente in allen Mineralgruppen bereits zu großer Vollkommenheit gediehen, besonders durch die ausgezeichneten Arbeiten der Schule von V. M. GOLDSCHMIDT, der auch die wichtigen Gesetzmäßigkeiten der Tarnung weitverbreiteter, aber nur immer in geringen Mengen auftretender Elemente wie Gallium und Germanium in den gesteinsbildenden Mineralien erkannte.

Diese sehr interessanten Beziehungen sind andererseits ein Ergebnis auch einer wesentlich weiterentwickelten Kenntnis der Gesetze der *Isomorphie* und der *Mischkristallbildung*. Seitdem E. MITSCHERLICH 1819 in seiner klassischen Arbeit über die Analogie der Kristallform „chemisch analoger“ Salze den Grundbegriff der Isomorphie klar umrissen hatte, war eine außerordentliche Fülle von Einzel Tatsachen gesammelt worden, die z. B. von GROTH in dem bereits genannten umfangreichen Sammelwerk der „Chemischen Kristallographie“ zusammengestellt wurden. Die Auswertung dieses Materials auf Grund der heutigen Kristallstrukturforschung ergab den tieferen Sinn der Isomorphiebeziehungen in einer Austauschmöglichkeit analog gebauter Ionen, bei übereinstimmender Raumbeanspruchung im Gitter. Die Einlagerung von Fremdionen in solche Mischkristallgitter erklärt dann eindeutig die geochemische Verknüpfung analoger Elemente in den Naturvorkommen. So ergab sich also die naturnotwendige Verbindung der Grundgesetze der Kristallchemie mit denen der Geochemie, welche bei der Erforschung der verschiedenen Kristallarten, Mineralgruppen und Lagerstätten nun reiche Früchte getragen hat.

Wir stehen heute noch mitten in der Entwicklung dieser großzügigen Forschungsziele; in den Hauptlinien erkennen wir bereits die innigen Beziehungen, welche die Gesteinsvorkommen mit den Lagerstätten der Erze und der übrigen Mineralien verknüpfen, sowohl nach den physikalisch-chemischen Gesetzen der Bildungsbedingungen und der Kristallfolgen aus Schmelzflüssen oder Lösungen wie auch nach den engeren Gesetzen der Kristallchemie. Für die praktische Anwendung dieser Erkenntnisse bedeutet dies nicht weniger als für die reine theoretische Forschung; denn das Vorkommen auch seltenerer Elemente in bestimmten Lagerstätten kann nach solchen Betrachtungsweisen mit Sicherheit beurteilt werden. Dies bedeutet naturgemäß bei den wachsenden Schwierigkeiten der Beschaffung der Rohstoffe für zahlreiche Veredelungsprodukte der neuzeitlichen Metallgewinnung eine außerordentliche Förderung, die sich segensreich auf wichtige Industriezweige auswirken kann. Neben der heute weitentwickelten technischen Mineralogie der silikatischen Produkte sehen wir so eine neuzeitliche, geochemisch gerichtete Erforschung der nutzbaren Lagerstätten sich entfalten. Beide Gebiete liegen noch völlig auf dem Boden der älteren beschreibenden Mineral- und Gesteinskunde, aber durch die Methoden der physikalischen Chemie und der Kristallchemie werden sie auch im wahrsten Sinne zu selbständigen exakten naturwissenschaftlichen Disziplinen.

# Wege und Ergebnisse der geologisch-tektonischen Forschung.

Von

HANS STILLE, Berlin.

Nachstehend wird versucht, ein Bild zu geben von den Wegen und Möglichkeiten, die die „autonome“, d. h. mit ihren eigensten Methoden arbeitende geologisch-tektonische Forschung, getragen vor allen Dingen von lebendiger historischer Denkweise, umschließt. Hiervon wird nur in der Hinzunahme auch einiger geophysikalischer Vorstellungen und Methoden eine Ausnahme gemacht.

In dieser Vorbemerkung liegt schon der weitgehende Verzicht auf die Erörterung der sog. geotektonischen „Theorien“ ausgesprochen, die dazu überwiegend über das Stadium vager Hypothesen noch nicht hinausgekommen sind.

## 1.

Die tektonische Geologie behandelt den Bau der Erdkruste, an dessen Ausgestaltung Deformationsvorgänge der verschiedensten Art mitgewirkt haben. Sie geht aus von Einzelgebieten, diese hinsichtlich der Art und Lagerungsformen der Gesteine und Gesteinssysteme aufklärend. Die beste Grundlage hierzu geben geologische Kartenaufnahmen, und dementsprechend pflegt ein großer Teil der Tätigkeit des ein Spezialgebiet tektonisch untersuchenden Geologen die kartierende zu sein.

Die zur Klarlegung örtlicher tektonischer Verhältnisse zu leistende Arbeit ist im wesentlichen eine analytische; auch die Kartenaufnahme ist ja eine Analyse des Bodens in Richtung der zutage tretenden Gesteinsformationen und ihrer Lagerungsverhältnisse. Letztere geben neben mancherlei tiefer eingreifenden natürlichen und künstlichen Aufschlüssen die Unterlage zur Erweiterung des zweidimensionalen Oberflächenbildes zum dreidimensionalen Krustenbau.

Alles das ist noch „Geognosie“ im Sinne einer älteren Bezeichnung für das, was jetzt Geologie genannt wird. Die Geognosie untersucht und schildert die Phänomene der Erdkruste, wie sie uns entgegentreten. Aus der dreidimensionalen „geognostischen“ wird aber die vierdimensionale „geologische“ Anschauung unter Hinzunahme der Zeit. Dadurch charakterisiert sich die Geotektonik als eine Naturwissenschaft von besonderer Art. Sie hat ein Werden, einen in der Zeit verlaufenden einmaligen Prozeß festzustellen. Jedes Objekt ist für sie ein historisches Dokument, die Erdkruste ist ein ungeheures Archiv, enthaltend Lesbares und auch Geheimnisvolles. Namentlich die älteren Überlieferungen sind oft kaum

noch zu entziffern; denn oft ist palimpsestisch Neues über Altes geschrieben, und vielerlei Umprägungen sind eingetreten.

Die historische Anschauungsart, die Betrachtung der Gebilde unter dem Gesichtswinkel ihres Gewordenseins, verlangt Auflösung des gewordenen Bildes in seine Einzelphasen. So gesellt sich zur Bauanalyse die Zeitanalyse.

## 2.

Dauernde Bewegung herrscht in unserer Erdkruste. Das bezeugen uns schon die mächtigen Schichtserien der einzelnen Zeiten. Denn z. B. können Meeresablagerungen von sehr großer Mächtigkeit, die sich gar noch als durchweg flachmeerisch charakterisieren, nur auf sinkendem Boden entstanden sein, wobei die Sedimentation mit den Senkungsvorgängen etwa Schritt gehalten haben muß. Schon damit kommt man zu einer Grundvorstellung aller modernen tektonischen Betrachtung, nämlich zu den „Geosynklinalen“ als den mehr oder weniger kontinuierlich („säkulär“) sinkenden Räumen. Ihr Gegenstück sind die „Geantiklinalen“ als die säkular aufsteigenden Regionen.

Die Abgrenzung der Geosynklinalen und Geantiklinalen erfolgt nach stratigraphisch-paläogeographischen Arbeitsmethoden, und schon hierin erweist sich die Paläogeographie als eine bedeutsame Hilfswissenschaft der Tektonik. Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen legen den Gedanken nahe, daß die abwärtigen Bewegungen der Geosynklinalen, mögen sie im großen Bilde auch „säkulär“ erfolgen, sich in viele Einzelrucke, getrennt durch Ruhepausen, auflösen können; und das Gegenstück dazu scheint sich für das Aufsteigen der Geantiklinalen aus der vergleichenden Betrachtung von mancherlei Verhältnissen der heutigen Morphologie zu ergeben.

Überhaupt erfahren unsere Vorstellungen über die aufwärtigen säkulären Vorgänge wesentliche Förderung und Ergänzung durch *morphologische* Arbeitsmethoden, z. B. durch die Untersuchung älterer Verebnungsflächen hinsichtlich der Hebungen und Verbiegungen, die sie erfahren haben.

Das Aufsteigen und Einsinken größerer Einheiten unserer Erde, die „säkuläre“ Tektonik, ist zuerst von dem Amerikaner G. K. GILBERT als „Epirogenese“ bezeichnet worden. Und mag dieser Name zunächst nur auf die aufsteigenden Erdeinheiten hinweisen, so ist er schon von GILBERT auch für die sinkenden Beckenräume angewandt worden; ja sogar der GILBERTSche Urtypus eines epirogenen Gebildes, das Becken des diluvialen Bonneville-sees im Staate Utah, ist ein sinkendes Gebiet gewesen. Immerhin sind Sonderbezeichnungen für die abwärtige Epirogenese wie Thalattogenese (L. KOBER) bzw. Ozeanogenese (CH. SCHUCHERT) vorgeschlagen worden.

Die Sedimente der Geosynklinalen bilden sich im allgemeinen konkordant (parallelschichtig) zueinander. Der Gegensatz ist die Diskordanz, d. h. das winklige Abstoßen einer Schichtfolge an einer anderen. In ihr drücken sich strukturverändernde tektonische Ereignisse aus, die man im

Gegensatz zu den den Untergrundsbau intakt lassenden epirogenen Vorgänge als die „orogenen“ („gebirgsbildenden“) bezeichnet, und deren Hauptformen Faltung, Überschiebung, Deckenbildung und Verwerfung sind.

Leider ist die Bezeichnung „Orogenese“ wie auch das entsprechende deutsche Wort „Gebirgsbildung“ nicht sehr glücklich und leicht irreführend. Der Ausdruck „Gebirgsbildung“ ist gleich so vielen anderen geologischen Begriffen aus dem Wortschatze des Bergmannes übernommen, der, wenn er von „Gebirge“ spricht, nicht an morphologische Höhen denkt, sondern für den „Gebirge“ gleich Gestein und damit „Gebirgsbildung“ derjenige Vorgang ist, der dem Gestein seine Lagerungsformen gab. Mit dieser Definition als Strukturgebung („Struktogenese“) des Untergrundes ist der Begriff Gebirgsbildung in die Geologie eingegangen. Nun erzeugen die Gebirgsbildungen (im Sinn der Struktogenese) in sehr vielen Fällen gewiß auch aufragende Gebirge. Aber das, was uns jetzt im Bilde unserer Erde als Gebirge entgegentritt, geht im allgemeinen nicht mehr auf gebirgsbildende Vorgänge im tektonischen Sinne zurück, sondern ganz oder überwiegend auf das, was man in der tektonischen Terminologie in Gegensatz zur Gebirgsbildung (Orogenese) stellt, nämlich auf en bloc-Hebungen, die unter den Begriff der Epirogenese entfallen.

Aus den Altersverhältnissen der von den orogenen Ereignissen noch betroffenen Schichten und der diskordant zu diesen gelagerten Serien ermitteln wir zunächst im Einzelprofile die Zeitlichkeit des orogenen Ereignisses. Dabei wird oft genug schon im Einzelfalle klar, daß wir es hier mit einem relativ kurzfristigen Akt zu tun haben im Vergleich zu jenen langen Perioden, die in der Konkordanz der in ihnen entstandenen Schichtserien sich — dieses zunächst natürlich nur für den behandelten Raum — als „anorogen“ charakterisieren. So kommen wir schon im Einzelgebiete zu der Vorstellung von revolutionären Ereignissen, die die Perioden ruhigen Fortganges der tektonischen Geschichte unterbrechen.

Wir analysieren recht viele Einzelgebiete, dieses nunmehr nicht nur im Sinne der Chronologie der tektonischen Vorgänge, sondern um überhaupt zu Gattungsbegriffen in der Welt der tektonischen Erscheinungen und zu allgemeiner gültigen Regeln des tektonischen Geschehens auf Grundlage der induktiven Erforschung der Einzelgebiete zu kommen. Wir treiben also „vergleichende Tektonik“ und können mit um so größerer Sicherheit vorgehen, je zahlreicher und gesicherter die Ergebnisse sind, die die Einzelforschung zur Verfügung stellt. Also auch in diesem Sinne kann die ganz große Bedeutung der gewiß so mühsamen Einzelforschung („regionale Geologie“) nicht genug unterstrichen werden. An ihr arbeitet tagtäglich ein Heer von Geologen, und damit erweitern und verbessern sich die Grundlagen der vergleichenden Tektonik von Tag zu Tag. Wir gehen bei den vergleichenden Betrachtungen zum Teil von den fertigen tektonischen Gebilden, ihrem Bau, ihrer Lage zu andersartigen Erdzonen usw. aus, aber viel mehr noch von den einzelnen Entwicklungsstufen in der Geschichte der Gebilde.

Als eigentlicher Vater der modernen vergleichenden Tektonik wird mit Recht EDUARD SUESS bezeichnet, und das von ihm in dreißigjähriger

Arbeit geschaffene „Antlitz der Erde“ wird für alle Zeiten ein Fundamentalwerk der vergleichenden Erdforschung sein.

Ein Ergebnis des Vergleichens der Geschichte der Einzelgebiete ist das „orogene Zeitgesetz“. Es besagt, daß sich die orogenen Ereignisse unserer ganzen Erde in eine gewisse Zahl von Einzelperioden („orogene Phasen“) einordnen lassen, zwischen denen lange „anorogene“ Zeiten liegen, aus denen, wenigstens bisher, nirgends ein bemerkenswerter orogener Akt nachweisbar geworden ist, sondern in denen sich die tektonischen Vorgänge auf solche von epirogener Art beschränkt haben. Wir stehen also in diesem Sinne einer zwar andauernden, aber keineswegs gleichmäßigen Fortentwicklung des tektonischen Erdbildes gegenüber, nämlich kurzen Episoden mit mehr oder weniger verbreiteten erdrevolutionären Ereignissen zwischen langen Perioden relativ ruhigen Geschehens.

Die Diskontinuität der „Gebirgsbildung“ (Orogenese) bedeutet also keineswegs die Diskontinuität der „Tektonik“, die ja auch die Epirogenesen umfaßt. Aber es ist so oft der Fehler gemacht worden, daß man „Gebirgsbildung“ und „Tektonik“ einander gleichsetzt und auf Grund der Kontinuität der „Tektonik“ dann auch von der Kontinuität der „Gebirgsbildung“ spricht.

Es war und es ist zum Teil noch jetzt eine Aufgabe der vergleichenden tektonischen Forschung, die orogenen Phasen der ganzen Erde zeitlich festzulegen. Etwa 30 derselben ließen sich bei einem ersten umfassenderen Versuche ihrer Herausarbeitung aus der Fülle des gegebenen Beobachtungsmaterials im Jahre 1924 erkennen, und von ihnen charakterisierte sich nur etwa ein Dutzend nach Stärke und Verbreitung als Gebirgsbildungen erster Ordnung. Seitdem ist etwa ein Dutzend weiterer Phasen hinzugekommen, darunter aber kaum eine von wirklich erster Ordnung. Die jüngste Orogenese hat erst im Diluvium, und zwar etwa in der Mitte dieser Zeitperiode, d. h. vor vielleicht 250—300 Jahrtausenden, eingesetzt und sich besonders in zirkumpazifischen und südostasiatischen Gebieten ausgewirkt. Sie scheint auch heute noch nicht ganz abgeschlossen zu sein.

In der „Episodizität“ der orogenen Ereignisse ist aber keinerlei Periodizität in strengerem Sinne, d. h. keinerlei Rhythmus mit bestimmten Zeitintervallen zu erkennen, mag man die Schematisierung auch noch so weit treiben. Das muß mit L. RÜGER, S. VON BUBNOFF und FR. LOTZE gesagt sein gegenüber Darlegungen SONDERs, die dann von J. JOLY in geotektonische Hypothesen eingebaut worden sind, die eine gewisse Beachtung gefunden haben.

Die Erkenntnis, daß in Unterbrechung der — nach der Zeitdauer gemessen — „normalen“ Erdperioden anormale Zeiten von revolutionärem Charakter bestanden haben, bedeutet wenigstens in bezug auf die erdtektonischen Vorgänge eine Rückkehr zur Katastrophentheorie der älteren Kosmogonien und die Abkehr von den Ideen des Aktualismus, d. h. von der auf den Schotten JAMES HUTTON zurückgehenden und im Anfange des vorigen Jahrhunderts durch VON HOFF und CH. LYELL zu allgemeiner Anerkennung gebrachten Lehre von der allmählich erfolgenden Entwicklung der Erde und des Lebens unter Verhältnissen, wie sie im wesentlichen

auch heute noch („aktuell“) zu beobachten sind. Ferner scheint der Aktualismus auch in dem Sinne erschüttert zu sein, als das, was sich heute an Bewegungen und Deformationen in der Erdkruste ereignet, in aktualistischer Arbeitsmethode nicht ohne Einschränkung als Vorbild für das Verständnis der tektonischen Vorgänge der langen „normalen“ Perioden der geologischen Vorzeit zu benutzen ist. Denn es scheint nicht so, als ob nach den — geologisch gesprochen — ja erst wenig zurückliegenden diluvialen Faltungen die heutige Zeit tektonisch schon wieder völlig „normal“ geworden sei.

Nachdem man aus der Untersuchung der radioaktiven Minerale und ihrer Zerfallsprodukte zu einer gewissen Vorstellung über die absolute Dauer der geologischen Zeiten gekommen ist, erhebt sich auch das Problem der absoluten Zeitdauer der tektonisch „anormalen“ Erdperioden. In einem Einzelfalle, nämlich demjenigen der jüngsten Orogenese, ließe sich hierzu sagen, daß die Orogenese vor etwa 250—300 Jahrtausenden eingesetzt haben mag und heute noch nicht ganz zur Ruhe gekommen zu sein scheint. Immerhin entfällt von dieser Zeit nur ein recht kleiner Teil auf den schon zu Anfang eingetretenen eigentlichen *Hochakt* der Gesamtrogenese, während im Hauptteil der Zeit sich nur schwache Nachakte ereignet haben. Aber legen wir einmal das, was in diesem Sonderfalle sich für eine Erdkatastrophe von etwa mittlerer Intensität zu ergeben scheint, der Berechnung der Zeitsumme der gesamten orogenen Phasen zugrunde, so kämen wir für diese auf rund 15 Millionen Jahre —, wobei wir schon, der künftigen Forschung vorgreifend, die Zahl der Orogenesen mit 50 eingesetzt hätten. 15 Millionen Jahre wären aber, wenn wir auf Grundlage der Radioaktivitätsforschungen die Zeit seit Abschluß des Algonkiums mit gegen 600 Millionen Jahren annehmen, erst  $\frac{1}{40}$  der nachalgonkischen Zeit.

Es ist nicht zu verkennen, daß die großen Erdrevolutionen zum Teil mit geochronologischen Schnitten zusammenfallen, die zunächst auf paläontologischer Basis gelegt worden sind. Es erhebt sich also auch hier die Frage der biologischen Reaktionen auf erdgeschichtliche Prozesse.

Liegen in den Epirogenesen der anorogenen Perioden, verglichen mit den Orogenesen, nur verschwächte Äußerungen der geotektonischen Kräfte vor, so weisen doch auch sie noch beträchtliche Stärkeschwankungen auf, die nicht nur örtliche, sondern nach den Ergebnissen vergleichender Betrachtungen mindestens in vielen Fällen auch erdweite Bedeutung haben. Es hat nahe gelegen, zur Untersuchung solcher Verhältnisse von den Meeresveränderungen (Trans- und Regressionen) als den Folgeerscheinungen und somit den Indikatoren der Bewegungen des festen Erdgerüsts auszugehen, — wenn gewiß auch zuzugeben ist, daß neben letzteren auch andersartige Vorgänge den Meeresspiegel örtlich und vor allem allgemein („eustatische“ Meeresveränderungen im Sinne von E. SUSS) verändert und damit Trans- und Regressionen herbeigeführt haben können. Es sei nur verwiesen auf die Bindung größerer Wassermassen in Eisform in den Eiszeiten und Wiederhergabe derselben in nachfolgenden allgemeineren Abschmelzungsperioden.

Es erhebt sich weiter die Frage der Einordnung auch der magmatischen Vorgänge in das Zeitbild des tektonischen Geschehens.

Die vergleichende Erdforschung beantwortet sie dahin, daß der extrusive Vulkanismus sich zwar auch in den orogenen Perioden ereignet haben kann, in der Hauptsache aber in die anorogenen Zeiten entfällt. Demgegenüber ist der intrusive Plutonismus, der die Tiefengesteinsmassive („Plutone“) liefert, mindestens ganz überwiegend an die orogenen Perioden der Erdgeschichte geknüpft. Dabei ist zweierlei zu unterscheiden, nämlich ein Eindringen des Magmas in einen der Faltung noch unterliegenden, also bewegten, oder in einen bereits weitgehend erstarrten, also ruhenden Bau. Im ersteren Falle, im „hochorogenen“ Plutonismus, nehmen die Magmen neben und zwischen den nichtmagmatischen Massen an den Faltungsvorgängen teil, oft fast konkordante Einschaltungen bildend („konkordanter Plutonismus“). Gneisstruktur wird ihnen bei der Erstarrung aufgeprägt, und Mischgneise entstehen in der innigen Verbindung und Durchdringung von Magma und Sediment. Auch in große Deckenbewegungen können die Magmen einbezogen und mit den Decken, mit deren sedimentären Materialien sich in vielfältigster Weise vermischend, vorwärts bewegt werden.

Im zweiten Falle des „spätorogenen“ Plutonismus, nämlich bei den überwiegend „diskordanten“ magmatischen Intrusionen in Komplexe mit ganz oder weitgehend abgeschlossener Faltung, erhalten wir nicht mehr oder nur ausnahmsweise die in ihrer Parallelstruktur eine starke orogene Beeinflussung verratenden gneisartigen Gesteine, sondern mehr normale Tiefengesteine mit überwiegend richtungslos-körnigem Gefüge.

Die Vorstellung, daß gleichzeitig mit den Tiefenintrusionen allgemeiner auch Oberflächenergüsse erfolgt seien, erscheint an sich so naheliegend, daß wir uns nicht wundern, wenn oft genug in der Literatur gewisse Porphyre usw. als Zeitäquivalente der in der Tiefe erstarrten Granite usw. aufgefaßt werden. In Einzelfällen mag das richtig sein. Jedenfalls ist das Beobachtungsmaterial im Sinne der Gleichzeitigkeit von Tiefen- und Oberflächenvulkanismus zunächst noch weiter zu sammeln und zu vertiefen.

### 3.

Die Übersicht in der großen und mannigfaltigen Formenwelt der Orogenese erleichtert man sich durch Unterscheidung gewisser Hauptkategorien, die sich bei der vergleichenden Betrachtung recht vieler Fälle herauschälen. Als solche seien das Deckengebirge, das Faltengebirge i. e. S., das Bruchfaltengebirge und das Blockgebirge genannt.

Was den erstgenannten Typus anlangt, so hat in der Geschichte der geologischen Erforschung der Gebirge wohl kaum einmal eine tektonische Erkenntnis so revolutionierend gewirkt wie die Deckengebirgsvorstellung. Sie besagt ja, daß die Gebirge zusammengesetzt sind aus übereinandergeschobenen Gesteinssystemen, die entsprechend ihrer Herkunft aus verschiedenen Räumen oft erhebliche und charakteristische Verschiedenheiten in ihrem stratigraphischen Bestande und speziell in den faziellen Schichtverhältnissen aufweisen können.

Diese Deckenlehre ist etwa um die Jahrhundertwende von den Schweizer Alpen ausgegangen, hier speziell von den bis dahin so rätselhaften „Klippen“ des Vierwaldstättersee-Gebietes und deren tektonischer Fortsetzung in den exotischen Massen der Freiburger Alpen, wie auch von den großen Überschiebungen des Glarner Landes. Auch ursprüngliche Gegner mit sich reißend und zu ihren begeisterten Verkündern machend hat sie eine völlige Umwandlung der Auffassungen zunächst vom Bau der Schweizer Alpen gebracht, und von hier hat sie ihren Siegeszug auch in andere Gebirgswelten angetreten. Aber in vielen Einzelfällen hat sich die enthusiastisch verkündigte Vorstellung des Deckenbaues beim Fortgang der Untersuchung nicht halten können, und mancher angebliche Deckenbau hat sich schon in die viel bescheideneren Formen eines bodenständigen Schuppenbaues verwandelt. Daß es aber Deckenbau mit auch ganz großen Überschiebungsweiten gibt, und zwar als einen verbreiteten Bautypus, ist heute kein Problem mehr. Nur viele Einzelfälle sind noch unsicher und umstritten.

Die oben genannten Kategorien orogener Formen sind nicht immer scharf zu trennen und stehen keineswegs unvermittelt nebeneinander, sondern bedeuten nur gewisse Haupttypen in einer langen Reihe ineinander übergewandelter Baustile, wobei an dem einen Pol der Reihe das Deckengebirge als extremster Einengungstyp der Gesteinsmassen und am anderen Ende als Blockgebirge ein Blockwerk vertikal gegeneinander verschobener Schollen steht, das nicht oder kaum noch Einzwängungen in engerem Raum, ja im Gegenteil häufig genug ein seitliches Auseinanderweichen der Einzelblöcke erkennen läßt. Alle diese Formen können sich in den orogenen Phasen gleichzeitig, wenn im allgemeinen auch in verschiedenen Räumen der Erde, ausbilden, und es ergibt nun die vergleichende Betrachtung der bei Eintritt der Faltung je örtlich gegeben gewesenen Verhältnisse das Gebundensein bestimmter Baustile an ganz bestimmte Bodenkonstitutionen. So ist aus der Fülle der Einzelfälle der Satz abzuleiten, daß die spezielleren Formen der Gebirgsbildung in erster Linie durch die Art des betroffenen Untergrundes bestimmt werden. In diesem Sinne sind z. B. die „alpinotypen“ Deckengebirge und Faltengebirge, die einen sehr starken Zusammenschub der Gesteinsmassen ausdrücken, die Reaktionsform eines nachgiebigeren, dagegen die „germanotypen“ Bruchfaltungen und Zerblockungen diejenige eines resistenteren Bodens.

Der jeweilige Zustand des orogen betroffenen Bodens ist weitgehend durch die vorangegangenen Ereignisse gegeben und erklärbar, und in diesem Sinne ist auch die Art der orogenen Reaktionen in vielfacher Hinsicht durch die Vorgeschichte des betroffenen Erdstückes bestimmt. So kommt die historisch-tektonische Forschung nicht mehr hinaus auf eine Aneinanderreihung in sich beziehungsloser Zustände und Vorgänge, sondern jeder einzelne ist weitgehend bedingt durch das, was vorher war, und wird selbst wieder bedingend für die nachfolgende Geschichte. Der Geschichtsschreiber der großen Erdrevolutionen hat also seine Arbeit wahrlich nicht abgeschlossen, wenn er die durch diese Revolutionen entstandenen tektonischen Bauten in ihren Einzelheiten aufklärt und vielleicht sogar

zeitlich zu zergliedern vermag; sondern ein integrierender Teil seiner Arbeit hat der Klarlegung der Verhältnisse zu gelten, aus denen heraus sich das vorliegende Bild ergab, ja mit einer gewissen Notwendigkeit sich ergeben mußte. Hier leistet wieder die paläogeographische Forschung der Tektonik ihre großen Dienste.

Hinsichtlich der Vorbedingtheit der großen alpinotypen Faltungen und ihrer Lokalisierung sei verwiesen auf die schon auf JAMES HALL (1857) zurückgehende Erkenntnis des Zusammenfallens der Faltungszonen mit Zonen besonders großer Mächtigkeit der Sedimente, d. h. also mit den ehemaligen Geosynklinalen („HALLSches Gesetz“). In diesem Sinne spricht man schon längst von den „Muttergeosynklinalen“ der Gebirge, aus deren Schoße sie geboren wurden.

Die Geschichte eines Gebirges beginnt also mit einer langen und unbedingten notwendigen Vorbereitungszeit, der Geosynklinalphase, in der sich die Vorgänge der Senkung und der Sedimentation abspielen und dahin wirken oder mitwirken, daß die Geosynklinalregion die Mobilität, die Geeignetheit zur Faltung, erhält. Diese mag zum Teil schon begründet liegen in der Art der Gesteinsmaterialien, mehr aber noch in den unzähligen Schichtfugen des sedimentären Komplexes, die ihm eine weitgehende innere Verschiebbarkeit verleihen. Aber gewiß greifen auch andersartige, von der Qualität der obersten Erdkruste unabhängige und in den größeren Tiefen lokalisierte Verhältnisse in die Frage der Faltbarkeit der Geosynklinalen ein.

Wie die Geosynklinalregionen gefaltet und eingengt werden in Zusammenhang damit, daß sie faltbar und einengbar sind, so unterbleibt die Orogenese oder äußert sie sich nur noch schwach (germanotyp) in solchen Krustenteilen, aus deren Gesteinsart und Gesteinsgefüge ein gesteigerter Widerstand gegenüber den faltenden Kräften abzuleiten ist.

So führt die vergleichende Betrachtung der regionalen Verbreitung der Faltungen dazu, die zunächst nur für die orogenen Formen gegebene Einteilung in „alpinotyp“ (Deckengebirge, Faltengebirge i. e. S.) und „germanotyp“ (Bruchfaltengebirge, Blockgebirge) zu erweitern auf die Raumarten, an die die orogenen Formen gebunden sind. Die in diesem Sinne „germanotypen“ Räume sind in der geologischen Literatur sonst wohl als die großen „Schwellen“ oder „Schilde“ („Baltischer Schild“, „Kanadischer Schild“) oder als die „Konsolidationsgebiete“ oder als „Aires continentales“ (HAUG) bzw. „Aires stables“ (HAUG) oder mit einem weiterhin noch zu berührenden Ausdruck als die „Vorländer“ der großen Faltungszonen bezeichnet worden. L. KOBER hat für diese „starrten“ Gebiete der Erde die Bezeichnung „Kratogene“ vorgeschlagen; doch wird die Wortform „Kraton“ (Adjektiv „kratonisch“) dem Sinne der Sache vielleicht besser gerecht. Die „alpinotypen“ Räume werden in der Literatur vielfach auch als die „mobilen“ bezeichnet. Sie sind, kurz gesagt, die „akratonischen“ gegenüber den Kratonen. Sie decken sich im wesentlichen mit E. HAUGs „Aires géosynclinales“.

Mit der Gegenüberstellung alpinotyper und germanotyper Regionen wird auch eine speziellere Unterscheidung innerhalb des Gesamtkomplexes der Geosynklinalen als der säkular sinkenden Räume notwendig. Lassen

wir dabei die Weltozeane, die ja nach mancherlei Erscheinungen auch Geosynklinalen in der weiten Fassung des Begriffes sind, zunächst einmal aus dem Spiele, so bleibt dann erstens die alpinotype „Geosynklinale erster Ordnung“ („Orthogeosynklinale“) als die Muttergeosynklinale der großen alpidischen Systeme, für die zuerst auch der Begriff „Geosynklinale“ eingeführt worden ist, den manche Autoren für sie allein gelten lassen wollen. Ihnen stehen gegenüber als zweite große Gruppe die germanotypen „Parageosynklinalen“ der kratonischen Erdgebiete (etwa = „Idio-geosynklinalen“ in neuesten Darlegungen UMBROVEs). Die Orthogeosynklinalen sind mehr oder weniger erdumspannend, im allgemeinen auch schmal im Verhältnis zur Breite und weisen neben faziellen Verhältnissen als ein magmatisches Charakteristikum vielfach die „grünen Gesteine“ („Ophiolithe“, „Pietri verdi“) auf; die Parageosynklinalen sind aber mehr lokale Gebilde von oft rundlicher oder höchst unregelmäßiger Umrandung.

Bei den grünen Gesteinen handelt es sich um (submarine) Ergüsse oder auch Lagergänge hochbasischer Gesteine von diabasisch-gabbroider Zusammensetzung. Als besonders charakteristisch für das junge mediterrane Gebirgssystem hat sie uns schon E. SUSS im „Antlitz der Erde“ lebhaft geschildert; inmitten der devonisch-altkarbonischen Schichtserien der vorvariszischen Geosynklinale Mitteleuropas finden wir sie weithin in Form von Diabasen; das großartigste Beispiel ist aber wohl gegeben in den zu Tausenden von Metern anschwellenden vorwiegend basischen Eruptiven triadrisch-jurassischen Alters, entstanden von Alaska bis Kalifornien in dem am Ende der Jurazeit zur Faltung kommenden Trograume des westlichsten Nordamerikas.

Auch die Parageosynklinalen — als deren Typus die mesozoisch-känozoischen Becken des außeralpidischen Mitteleuropas gelten mögen in ihrer Gegensätzlichkeit zu der alpinen Orthogeosynklinale, aus der das mediterrane Gebirgssystem hervorgegangen ist — können örtlich recht tief einsinken und also sehr mächtige Schichtfolgen führen. Auch hier kann der Senkung und Sedimentation die Faltung folgen — aber sie ist nun nicht mehr alpinotyp, sondern nur germanotyp und im allgemeinen verknüpft mit starker Bruchbildung. Doch auch in den relativ kleinen Verhältnissen der germanotypen Tektonik scheint sich das Gesetz der Geosynklinalen noch zu bestätigen, indem Beziehungen zwischen der Intensität und auch der Art der Faltung und dem Ausmaß der vorangegangenen Senkungen und Sedimentationen unverkennbar sind. Solche Sachlagen sind außer in Deutschland neuerdings auch in Nordostspanien untersucht worden.

Die Einordnung der Formen und Regionen der Orogenese in die großen Kategorien „germanotyp“ und „alpinotyp“ ist in der Mehrzahl der Fälle unschwer durchzuführen. Sie kann noch unsicher sein in bezug auf Verhältnisse, die eine Mittelstellung einnehmen, und weitere Untersuchungen gerade solcher mittlerer Sachlagen müssen hier noch klärend wirken.

Im Sinne der grundsätzlichen Unterscheidung der germanotypen Formen und Regionen von den alpinotypen spricht aber nicht zum wenigsten, daß sie auch den ganz großen Verhältnissen des Erdbaues gerecht zu werden

scheint. Denn die konsolidierten Regionen in tektonischem Sinne scheinen nichts anderes zu sein als die hoch aufragenden sialischen Kontinentalblöcke im Sinne der auf geophysikalischen Grundlagen beruhenden Großgliederung unseres Erdbildes, wovon gleich noch die Rede sein wird. Und die Überführung aus dem alpinotypen in den germanotypen Zustand, der wohl bedeutsamste Schnitt in der geotektonischen Geschichte eines Erdstückes, bedeutete also nichts anderes als die Herbeiführung der endgültigen „Blockphase“.

Die „grünen Gesteine“ der Geosynklinalphase unserer Faltengebirge gaben uns schon ein Beispiel für Beziehungen zwischen magmatischem Chemismus und tektonischem Milieu. Ein anderes bildet das überwiegende Gebundensein der Kalkalkaligesteine ROSENBUSCHS (= pazifischer Vulkanismus BECKES) an die alpinotypen Regionen mit Übergreifen in die ersten Stadien des germanotypen Zustandes (vgl. Rotliegendevulkanismus Mitteleuropas), während die Alkaligesteine im Sinne ROSENBUSCHS (= atlantischer Vulkanismus bei BECKE) mehr die durch Bruchbildungen ausgezeichneten Gebiete mit sehr fortgeschrittener Konsolidation charakterisieren. Hinsichtlich solcher Ausdeutungen der chemisch-petrographischen Verhältnisse der Eruptiva nach der tektonischen Seite sei auf die speziellen Arbeiten von BECKE, GOLDSCHMIDT, NIGGLI, SCHEUMANN und anderen verwiesen.

Als eine extreme Art der orogenen Tektonik, nämlich als diejenige der höchstmobilen Erdstoffe, fügt sich auch der Plutonismus dem Gesamtbilde der orogenen Vorgänge einigermaßen harmonisch an. In diesem Sinne spricht nicht nur sein weitgehend erkennbares Gebundensein an die orogenen Phasen, von dem die Rede gewesen ist, sondern auch das Auftreten von mancherlei überraschenden Übereinstimmungen in den Bewegungsbildern des Magmas und der Normalgesteine, wie sie namentlich H. CLOOS aufgezeigt hat. Die hochgradige Dislokationsfähigkeit („Marschfähigkeit“) des Magmas scheint im spätorogenen Plutonismus den Vortrieb auch dann noch zuzulassen, wenn die Normalgesteine schon zur Ruhe gekommen sind. Es schlägt sich aber zwischen der „Normaltektonik“ und dem Plutonismus als der Tektonik der höchstmobilen Materialien eine Brücke durch die Tektonik der hinsichtlich ihrer Mobilität eine Mittelstellung zwischen Normalgesteinen und Magma einnehmenden Salzgesteine. Sie besteht nicht nur hinsichtlich der Phänomene, wie schon in den sehr charakteristischen Bezeichnungen „Salzinjektion“, „Salzgang“, „Salzstock“ usw. zum Ausdruck kommt, sondern auch hinsichtlich der Zeitverhältnisse. Denn wenn die Aufwärtsbewegungen des Salzes auch hauptsächlich an die orogenen Phasen der Erdgeschichte gebunden sind, so können sie doch auch außerhalb derselben fortgehen.

Haben wir gesehen, daß die einzelnen Erdregionen und Erdmassen auf die tektonischen Kräfte formal so verschieden reagieren, weil sie im Stofflichen so verschieden sind, so sehen wir nunmehr weiter, daß bei extremen Stoffformen, bei extremer Mobilität, auch zeitliche Abweichungen gegenüber der Normaltektonik bestehen, indem die Kräfte, die sich in den anorogenen Perioden im Normalgestein nur noch epirogen auswirken,

im hochmobilen Material auch noch zu „orogenen“ Formen führen können. Somit gilt das orogene Zeitgesetz streng genommen nur für die Normaltektonik und nur abgeschwächt für die Tektonik der hochmobilen Massen, d. h. des Magmas und auch des Salzes.

Bei den Plutonen und speziell bei den spätorogenen Intrusionen spielt die Frage der Raumbildung eine große Rolle, die in der letzten Zeit eine besondere Förderung durch H. Cloos und seine Mitarbeiter unter Aufklärung der Intrusionsvorgänge und ihrer Beziehungen zum Nebengestein und dessen Deformationen erfahren hat. Durch diese Arbeiten sind viele Plutonkörper, die man bis dahin als Batholithen, d. h. als fortsetzend bis in die ewige Teufe, aufgefaßt hatte, als weit flachere Körper von mehr lakkolithischer Art, oft gewissermaßen als Lagergänge von ganz großen Dimensionen erkannt worden, eingedrungen in prädestinierte und zugleich mit der Intrusion sich fortentwickelnde Abhebungsfugen. Demgegenüber treten die Vorstellungen der atektonischen Raumbildung und Raumerweiterung durch mechanische und chemische Aufnahme (Assimilation) der Neben- und besonders der Dachgesteine mehr zurück. Einzelfällen der Plutonförderung ohne Faltung stellen sich Fälle des Salzaufstieges als Einströmungen in Dehnungszonen der höheren Kruste an die Seite.

Von den qualitativen Verhältnissen des Untergrundes, kurz gesagt der Bodenkonstitution, als bedingend für die Art der Orogenesen ist die Rede gewesen. Die Bodenkonstitution wechselt aber im Laufe der Zeiten und im Ablauf der orogenen, epirogenen und magmatischen, ja auch der exogenen Ereignisse, und im Zusammenhang damit wechseln am gleichen Ort die orogenen Reaktionsformen. Das ergibt sich aus der vergleichenden Betrachtung des Nacheinanders der orogenen Formen in den einzelnen Erdgebieten unter Zugrundelegung des Wechsels der herrschend gewesenen Bedingungen.

Im großen und ganzen zeigt sich in der tektonischen Fortentwicklung des Untergrundes eine gewisse Zielstrebigkeit in Richtung zunehmender Stabilität, und dem entspricht eine gewisse Zielstrebigkeit der Orogenese in Richtung immer einfacherer Formen. Dem entspricht auch als Parallelerscheinung die von NIGGLI betonte Zunahme der Gebiete mit dem im allgemeinen an die Verhältnisse des starrereren Bodens geknüpften „atlantischen“ Vulkanismus.

Wir lesen immer wieder aus der im Boden festgelegten Überlieferung heraus, daß vororogen noch mobil gewesene Zonen sich nachorogen im kratonischen Zustande befinden. Die Konsolidierung muß also durch die Orogenese oder wenigstens im Zusammenhang mit ihr erzielt sein, und der Gedanke liegt gewiß nahe, daß der Faltungsvorgang selbst sich die Möglichkeit einer Wiederholung gewissermaßen unterbunden hat. Das mag schon etwas mit Materialveränderungen („Metamorphosen“), die ein festeres Gefüge geben, und ein wenig vielleicht auch damit zu deuten sein, daß bei wellenförmiger und namentlich kleinwelliger Lage der Schichtflächen die Verschiebbarkeit an ihnen, die bei flacher Lagerung noch gegeben gewesen war, aufhört. Weit mehr käme aber die Durchdringung der Faltungsregionen durch das Magma in Betracht. Denn so beweglich

das flüssige Magma, so starr ist der feste Granit, und mit der Erstarrung der Schmelze erstarrt auch der gesamte von ihr durchsetzte und durchtränkte Gesteinskomplex. In diesem Sinne ist auch im synorogenen Plutonismus der Umschlag von den „hochorogenen“ zu den „spätorogenen“ Formen erklärlich.

Doch alle diese Sachlagen können nur Teilerklärungen für den Eintritt der Konsolidierung bedeuten. Denn man darf nicht übersehen, daß Gebiete, die sich nach Gesteinsart und Bau von solchen nicht unterscheiden, die durch ihr Verhalten in den nachfolgenden orogenen Phasen als kratonisch charakterisiert sind — so der Untergrund der Alpen nach der variszischen Faltung —, im Fortgange der Ereignisse wieder faltbar sein können, im Falle der Alpen nach erneuter Einbeziehung in einen großen orthogeosynklinalen Senkungsprozeß. Die Problemstellung ist in unserem Beispielfalle also die, daß ein Nordraum (heutiges außeralpines Mitteleuropa) endgültig kratonisch wurde, dagegen ein in bezug auf die höhere Kruste offenbar nicht sehr abweichender Südraum (Alpen) die endgültige Kratonisierung noch nicht erhielt. Es müssen also Verhältnisse, wohl Tiefenverhältnisse, mitgespielt haben, die trotz des „starren“ Gefüges der oberen Krusten einen neuen geosynklinalen Zyklus der Senkung und nachfolgenden alpinotypen Faltung einleiteten.

#### 4.

Eine für die Erkenntnis geotektonischer Gesetzmäßigkeiten wichtige Aufgabe liegt in Richtung der speziellen Aufgliederung des Erdbildes in die *Auswirkungsregionen* der einzelnen orogenen Aeren oder gar Phasen, dieses wieder unter regionaler Unterscheidung der Auswirkungsarten. Sie kann erst teilweise in Angriff genommen werden, nämlich erst soweit die regionale geologische Forschung die nötigen Unterlagen schon zu geben vermag. Immerhin können wir uns in manchen Fällen auch heute schon ein einigermaßen gutes Bild davon machen, wie sich die Faltungen von Ära zu Ära, ja schon von Phase zu Phase verlegt haben im naturgemäßen Zusammenhang mit den von Ära zu Ära oder gar schon von Phase zu Phase eingetretenen und paläogeographisch im allgemeinen leicht zu belegenden Veränderungen in der Lage oder wenigstens in der Breite der Muttergeosynklinalen als der faltbaren Räume.

Zergliedern wir zunächst einmal den Raum der einzelnen Gebirgskörper nach dem Alter der Faltungen, so erkennen wir häufig das höhere Alter der inneren, das geringere der äußeren Zonen („Wandern der Faltung“, „Anbau“). Mehrfach läßt sich auch der „Fortbau“ der Faltung feststellen, d. h. eine Verlängerung im Streichen.

Es erheben sich die Fragen des Vorbereitetseins der Faltung für die zunächst ja ungefaltete gebliebenen Räume, und das Wandern der Faltung verknüpft sich dabei mit den vielfachen Problemen der „Vortiefen“, d. h. der Zonen besonders starken Sinkens am Außenrande der Faltengebirge. Die Vortiefenprobleme sind von geologischer und geophysikalischer Art. Ein besonders günstiges Feld zu ihrem Studium bieten die durch spätere

tektonische Vorgänge uns hinsichtlich der Einzelheiten ihrer Entstehungsverhältnisse und Entstehungsbedingungen zugänglich gewordenen und dazu noch durch den Kohlenbergbau so weitgehend erschlossenen „subvariszischen“ Vortiefen, die von England bis Westfalen reichen.

Über den Rahmen des Einzelgebirges hinaus greifen z. B. die Fragen nach den Beziehungen der Faltungen zu den Kratogenen. Diese sind vor der Faltung die Randgebiete („Rahmen“) der Muttergeosynklinalen der Gebirge; mit der Faltung gewinnen sie den Charakter der „Vorländer“ (Vorland = Land vor den Falten), indem die neben ihnen in den Geosynklinalen entstehenden Faltungen in der Richtung auf sie mehr oder weniger übergelegt sind und die Deckenbewegungen sich gegen sie richten („Vergenz“ gegen das Vorland). So haben die Alpen und Karpathen ihr Vorland im Norden, der Ural im Westen, der Himalaya wie überhaupt die jungen südasiatischen Hochgebirge im Süden. Der Begriff „Vorland“ ist von E. SUSS geprägt worden. „Vorland“, so sagte er, „ist das Gebiet, gegen das bei der Faltung eine allgemeine einseitige Bewegung stattfindet“, und als ein weiteres Charakteristikum des Vorlandes bezeichnete er den „Widerstand gegenüber den faltenden Vorgängen“. Das klassische Beispiel ist Mitteleuropa gegenüber den Alpen.

Aber die Vergenz gegen das Vorland, die „Einseitigkeit der Faltung“, kennt Ausnahmen (Begriff der „Rückfaltung“), und man sollte deshalb korrekter auch nur von der überwiegenden Vergenz („Generalvergenz“) gegen das Vorland sprechen. Immerhin ist manches, was man als „Rückfaltung“ bezeichnet oder bezeichnet hat, nicht eine solche, sondern ist Vergenz gegen ein anderes Vorland. Es scheint, daß in solchen Fragen die Vortiefen und das Wandern der Faltung ein Kriterium abgeben können als Erscheinungen, die sich in Richtung auf die Vorländer einstellen.

Ein Fundamentalstück des SUSSschen geologischen Lehrgebäudes ist die Einseitigkeit der Faltung unserer Gebirge gewesen, und SUSS ist so weit gegangen, die überwiegende Einseitigkeit der Faltung für ganz große Erdregionen anzunehmen, so eine allgemeine Nordfaltung Europas im Gegensatz zu einer allgemeinen Südfaltung in Asien. Doch diese weitgehenden Vorstellungen sind durch den Fortgang der Forschungen in Europa und Asien überholt. Ja schon in bezug auf die Alpen haben der Einseitigkeitsvorstellung Schwierigkeiten entgegengestanden, indem im Süden nicht wie im Hauptteil der Alpen Nord-Vergenz, sondern Süd-Vergenz herrscht, und allerlei Hilfsannahmen waren nötig, um diese Sachlage mit der Fundamentalvorstellung der Einseitigkeit der Faltungen in Einklang zu bringen. Der Auffassung von der Einseitigkeit der Faltengebirge steht der ganz besonders von L. KOBER vertretene Gedanke der Zweiseitigkeit der Faltungssysteme, der „zweiseitigen Orogene“, gegenüber. Er besagt, daß eine zwischen zwei Kratonen sich befindende Geosynklinalzone bei der Faltung sich aufteilt in zwei Stämme, deren einer dem einen, deren anderer dem anderen Kraton zugewandt ist, während in der Mitte ein „Zwischengebirge“ oder eine „Narbenzone“ bleiben. Diese KOBERSche „Orogen-Theorie“ bedeutet einen großen Fortschritt in der Erkenntnis der geologischen Zusammenhänge und bestätigt sich in sehr vielen Fällen; ja, der

zweiseitige Bau mag sogar der Regelfall sein. Aber in manchen Fällen fehlt einer einseitigen Faltungszone ihr Gegenstück, und man müßte auch hier wieder zu allerlei Hilfhypothesen greifen, wenn man die strenge Orogen-Vorstellung anwenden wollte. Also auch hier schießt die Verallgemeinerung wieder über das Ziel hinaus. Man bringt die widerstreitenden Auffassungen wohl am leichtesten auf den gemeinsamen Nenner, wenn man den einseitigen Faltenbau als Ausgangsfall nimmt; denn von ihm leitet sich der, wie wir schon sagten, Regelfall des zweiseitigen Baues dadurch ab, daß entsprechend der beiderseitigen Vorlandsumrahmung eben zwei je für sich einseitige Faltenstämme entstehen, die zum Bilde des zweiseitigen Orogens zusammentreten. So sind Karpathen und Dinariden, je für sich, einseitig. Aber das große Gesamtorogen, von dem sie nur Teile sind, und zu dem auch noch das pannonische „Zwischenland“ als ein Rückland in bezug auf jeden einzelnen Teil gehört, ist zweiseitig.

Die Zweiseitigkeit der Orogene entspricht also der zweiseitigen Umrahmung der großen Muttergeosynklinalen durch die Kratone, d. h. ihrer zwischenkontinentalen Lage, die HAUG als fundamental verknüpft mit dem Begriff der Geosynklinalen hingestellt hat. Er hat die Konsequenz dieser Anschauung ja soweit getrieben, daß er zur Aufrechterhaltung einer „interkontinentalen“ Lage der Muttergeosynklinalen der den Pazifik umsäumenden Faltungen einen später versunkenen, den Hauptteil des Pazifik einst einnehmenden Kontinent annahm.

Solche Vorstellungen sind schwer noch haltbar, vielmehr sind aus stratigraphischen und paläogeographischen Erwägungen heraus neben den zwischenkontinentalen Muttermeeren auch solche anzunehmen, die als Randzonen großer alter Ozeane nur eine einseitige Kontinentalumrandung besaßen. Die aus ihnen hervorgehenden Faltungen sind zum Teil auch dem Ozean zugewandt. Die Konsequenz wäre also, daß neben den aufragenden Vorländern von kontinentaler Art auch der Untergrund der großen ozeanischen Becken die Rolle eines Vorlandes gespielt haben kann. Auch für diesen Fall wäre die Definition für „Vorland“ als ein von der Faltung nicht betroffenes Erdstück, gegen das sich die Faltung richtet, durchaus aufrecht zu erhalten. Der Unterschied läge darin, daß es sich in dem einen Falle um große resistente Erdstücke handelt, die aus leichteren (sialischen) Gesteinen bestehen und in Zusammenhang damit aufragen, im anderen Falle um solche, die bei Zusammensetzung aus überwiegend schwereren („simischen“) Gesteinsmassen eine subozeanische Lage haben.

Die Analyse Europas nach den großen Faltungsären ist in ihren großen Zügen schon längst durch MARCEL BERTRAND und EDUARD SUESS durchgeführt worden. Eine solche räumliche Gliederung des Kontinentes erhält aber noch eine ganz besondere Bedeutung, wenn wir ihr weniger die kaledonischen, variszischen und alpidischen *Faltungen* an sich, als vielmehr die gleichzeitig mit den Faltungen erfolgten *Konsolidationen* zugrunde legen. Denn abgesehen davon, daß sich auf diese Weise schärfere Abgrenzungen ergeben, liefert die Gliederung in Konsolidationssphären zugleich die Synthese der Festlandsblöcke. Sie sind gewaltige Anhäufungen leichter (sialischer) Krustenmaterialien; die großen alpinotypen Faltungen

kommen aber auf Sialkonzentrationen hinaus, einerseits im Zusammenschub der im breiteren Raum entstandenen sialischen Sedimente auf engeren Raum unter entsprechender Erhöhung des Vertikalquerschnittes und andererseits durch Hinzuführung von neuem, aus der Tiefe kommendem Material von überwiegend granitisch-dioritischer, also gleichfalls sialischer Art.

Festlandssockel werden also geschaffen bzw. erweitert durch alpinotype orogene Vorgänge auf Kosten vorher alpinotyper Räume, die aber nunmehr ihre alpinotype Qualität mit der germanotypen vertauschen. Die Orogenesen erweisen sich in der Geschichte der Kontinentalsockel als die eigentlichen konstruktiven Vorgänge, und als konstruktiv in diesem Sinne könnte man auch schon die geosynklinalen Absenkungen bezeichnen, da sie ja die Faltungen vorbereiten. Sie stehen damit im Gegensatz zu den destruktiven Absenkungen, die beim Abbau der Kontinente mitwirken.

Das Beispiel eines durch Orogenesen im Laufe der Zeiten entstandenen Festlandssockels mag uns Europa geben.

„Ur-Europa“ sind diejenigen Stücke, die schon im Beginn der kambrischen Zeit konsolidiert gewesen sind, d. h. sich bereits damals in der „Blockphase“ befunden und die Rahmen der damals noch außerordentlich ausgedehnten geosynklinalen Regionen des heutigen Europas gebildet haben. In der altpaläozoischen kaledonischen Aera wurde „Palaeo-Europa“ gefaltet und konsolidiert und damit den Urstücken angegliedert, und entsprechend verkleinert wurde damit das Geosynklinalgebiet, der noch reaktionsfähig bleibende Raum. In der jungpaläozoischen variszischen Aera kamen die weiten Gebiete „Meso-Europas“ und in der nachfolgenden alpidischen endlich diejenigen „Neo-Europas“ zum Kontinentalsockel hinzu, und damit war dieser in seinen heutigen Umrandungen fertiggestellt.

Wir erkennen, daß in Europa, wie übrigens auch in Asien, die nachzeitlichen Angliederungen einen sehr großen Anteil am heutigen Kontinentalsockel haben, während sie in Afrika und beiden Americas nur relativ geringen Raum gegenüber den uralten Konsolidationsgebieten einnehmen. Aus letzteren Sonderverhältnissen ist es wohl zu verstehen, daß in Nordamerika der Gedanke der „Ewigkeit“ der Kontinentalblöcke — als Gegenstück zu einer angeblichen Ewigkeit der Weltozeane — bereitwillige Aufnahme gefunden hat. Aber die aus der Analyse des Bodens unzweideutig sich ergebenden Verhältnisse Europas und Asiens widersprechen solchen Auffassungen.

In diesem Zusammenhange mag gesagt sein, daß auch die Vorstellung der Ewigkeit der Weltmeere einzuschränken ist. Denn einerseits sprechen vielerlei tektonische und paläogeographische Befunde und Überlegungen in dem Sinne, daß z. B. Afrika nur noch ein Reststück einer einst ungleich größeren Kontinentalmasse ist, daß also destruktive Vorgänge neue Weltmeergebiete geschaffen haben. Und andererseits fehlt den von geophysikalischer Seite beigebrachten Argumenten gegen eine Verwandlung von Festlandsräumen in ozeanische die volle Stichhaltigkeit. Um einer Tiefsee Platz zu machen, müßte im Sinne unserer geophysikalischen Vorstellungen der Festlandssockel seinen sialischen Untergrund weitgehend einbüßen. Umwandlungen oder Austauschvorgänge in dieser Hinsicht liegen aber

gewiß nicht außerhalb der Möglichkeit. Damit wird es sehr fraglich, ob sich die geophysikalischen Ewigkeitsargumente noch behaupten können gegenüber der in anderem Sinne gehenden beredten Sprache geologischer Verhältnisse.

Hiermit soll aber nicht bestritten sein, daß manche unserer großen ozeanischen Gebiete schon durch die ganzen geologischen Zeiten als solche bestanden hätten. Z. B. haben der Pazifik in seinem Hauptteile und auch größere Gebiete des Atlantik wohl als „Urmeere“ zu gelten. Der Aufklärung in dieser Hinsicht haben stratigraphische, paläogeographische, tektonische und in ganz besonderem Maße paläontologische Forschungen (Faunen- und Florenzusammenhänge) zu dienen.

##### 5.

In der Tektonik haben wir es in der Hauptsache mit Deformationsvorgängen zu tun, die sich im großen und im kleinen ereignen. Es handelt sich also um Probleme der Mechanik, und immer mehr zeigt sich das Bestreben, die Ergebnisse der experimentellen Mechanik auf die Probleme der Tektonik anzuwenden und überhaupt die ganze Tektonik exakt-mechanisch zu unterbauen. Mit Recht wird die Forderung erhoben, daß man erstens die Kinematik, die Bewegungen und Deformationen an sich, und zweitens die Dynamik, den Kräfteplan, der der Kinematik zugrunde liegt, schärfer auseinanderhält, als vielfach noch geschieht. Man vermeidet damit die Gefahr einer übereilten und bei der weiteren Arbeit leicht irreführenden Festlegung auf bestimmte dynamische Vorstellungen.

Die Deformationen der „Normal“gesteine — d. h. das, was man vielfach allein als Tektonik bezeichnet — sind nur ein Teil, wenn auch der Hauptteil der Kinematik, mit der es die Geologie zu tun hat. Denn z. B. auch das Magma in den verschiedensten Stadien seiner Beweglichkeit und das Gletschereis sind geologische Körper, und was an ihnen an kinematischen Bildern auftritt, erinnert an mancherlei Deformationserscheinungen in der eigentlichen Tektonik und kann für ihre Deutung wertvoll sein. Es sei, um ein Beispiel zu geben, mit H. Cloos nur verwiesen auf die in enger Abhängigkeit von der Gesamtbewegung stehenden ganz ähnlichen tektonischen Umgestaltungen in den Randzonen größerer bewegter Massen, mag es sich bei diesen um große Schollen oder Plutone oder um Gletscher handeln. Somit kann man, wenigstens in der mechanischen Behandlung der Probleme, die „Tektonik“ nicht aus der Gesamtheit der Bewegungsvorgänge des Stofflichen unserer Erde herausreißen.

Aus den Deformationsbildern versuchen wir das Beanspruchungsbild abzuleiten, unter dem sie entstanden sind. Mit Druck-, Zug- und Scherbeanspruchungen (Schubbeanspruchungen) haben wir es im wesentlichen zu tun, in bezug auf erstere mit reinen Druckbeanspruchungen, dann aber unter Hinzutritt von Verbiegungsbeanspruchungen mit jener bei den Faltungsvorgängen wirksamen Kräftekombination, die man in der technischen Mechanik als Knickung bezeichnet.

Die Faltungen, die am Gesamtbilde der orogenen Tektonik den Hauptanteil haben, die Überschiebungen und der Deckenbau verraten uns *ein-*

*engende Kräfte.* Es herrscht der Kampf um den Raum; bei seinem Austrage gilt weitgehend das Prinzip der kleinsten Arbeit, indem die einengenden Kräfte besonders in solchen Zonen und Materialien wirksam werden, die der Einengung und Verformung den geringsten Widerstand entgegensetzen.

Die besonders in tonigen Gesteinen gut entwickelte Erscheinung der Schieferung, die verknüpft ist mit einer Parallelanordnung des Gesteinskornes im Kleingefüge, wird nunmehr wohl allgemein auf *Scherung* zurückgeführt, wobei allerdings die Einscharigkeit der Schieferungsflächen an Stelle der bei Scherfugen im allgemeinen zu erwartenden Zweischarigkeit noch verschiedenartig gedeutet wird.

*Zugkräfte* deuten sich in der spröderen Phase im Auseinanderweichen der Schollen, in der mobileren in mancherlei Streckungserscheinungen der Gesteine an. Die Trennungsbrüche, entlang denen der Materialzusammenhang überwunden wird infolge einfacher Zugwirkungen, mögen in Einzelfällen noch klaffen, sind aber zumeist durch Stoffzuführung von unten her (Eruptivgänge und Mineralgänge) oder durch tektonische Einsenkungen vom Hangenden her (Gräben), in Einzelfällen auch durch tektonische Aufpressungen von unten erfüllt.

Wie bei der Deformation eines Kugelelementes zum Ellipsoid Druckspannungen und Zugspannungen kombiniert sein können, sich auswirkend unter gegebenen Verhältnissen mehr oder weniger senkrecht zueinander, so werden uns auch in der Natur Faltungerscheinungen als Einengungsbilder und Ausweitungerscheinungen mehr oder weniger senkrecht dazu aus einem einheitlichen Kräfteplan deutbar, wobei natürlich gegenüber dem Idealbild weitgehende Modifikationen durch die außerordentlich großen Anisotropien des betroffenen Gesteinsverbandes herbeigeführt werden.

Die Art der Gebirgsbildung kann also auch Funktion der Richtung sein, und das scheint sogar für ganz große Züge im Bau unserer Erdkruste zuzutreffen.

Weitgehende Veränderungen im Kräfteplan sind im Fortgange eines orogenen Prozesses oder bei seiner Wiederholung möglich. Z. B. müssen die an Klüften auftretenden Ausweitungen (Zerrungen) nicht unbedingt unter dem gleichen Kräfteplan entstanden sein wie die Klüfte selbst; vielmehr ist sehr wohl vorstellbar, daß Schubklüfte vorliegen, an denen erst später bei verändertem Kräftebild die Schollen auseinanderwichen. Umgekehrt ergeben neuere Arbeiten in Hessen und Südhannover und anderen Gebieten der saxonischen Tektonik, daß bestimmte Grabenzonen von nordwestlicher (herzynischer) Erstreckung, die alle Anzeichen einer starken Pressung aufweisen, als Zerrungsgebilde angelegt und erst später gepreßt worden sind, während abweichend (rheinisch) gerichtete Zerrungsgebilde diesen ihren Zerrungscharakter durchweg bewahrt haben.

Wenigstens ein Teil der Zerrungstektonik kann also letzten Endes aus Druckbeanspruchungen erklärlich werden. Aber daneben scheint es auch „reine“ Zerrungen zu geben infolge eines gewissen Auseinandertreibens größerer Erdschollen. An ein solches wird z. B. gedacht bei den großen Bruchzonen Afrikas von überwiegend nördlicher Richtung, die mit der Rhônesenke, dem Rheintalgraben, den rheinischen Brüchen Hessens und

überhaupt in der „Mittelmeer-Mjösen-Zone“ nach Europa ausstrahlen. SUSS hat ihre Gesamtheit als die „afrikanischen“ Brüche bezeichnet. Aber es ist nicht zu übersehen, daß die „rheinischen“ Zerrungen, z. B. im Rheintalgraben und in dessen Fortsetzung in Hessen, dem orogenen Zeitgesetz zu unterliegen scheinen. Wenn sie also auf „Unterströmungen“ im magmatischen Erdbereiche zurückgehen, so müssen diese besonders in den orogenen Perioden eingetreten sein oder wenigstens gewirkt haben. Und dasselbe gilt, wenn man auch die ganze Faltungstektonik auf Unterströmungen im beweglichen Tiefenbereiche zurückführen will. Die Unterströmungen wären wenigstens teilweise eine dem Materialzustande angepaßte subkrustale Tektonik, die sich gewiß nicht ausschließlich, aber nach den Zeitverhältnissen der ihr zugeschriebenen Wirkungen doch gesteigert in den orogenen Phasen vollzogen haben müßte.

## 6.

In den Untersuchungen des Baues der tektonischen Großbilder und in der Aufklärung ihrer Kinematik und Dynamik bedient sich die moderne Geologie der *kleintektonischen Arbeitsmethoden*, ausgehend davon, daß die Vorgänge und Kräfte, die den Großbau geschaffen haben, sich auch in dessen kleinen und kleinsten Teilen abzubilden pflegen, ja aus ihnen sich vielfach besonders klar ergeben. So fallen die Kleinklüfte weitgehend zusammen mit den großen Kluft- und Verwerfungssystemen, die uns die geologische Kartierung enthüllt. Die Einengungserscheinungen (Faltungen, Überschiebungen), die das Großbild beherrschen, zeigen sich im allgemeinen auch in den Kleinstrukturen in übereinstimmenden Richtungen und mit überwiegend gleichen und hier besonders leicht ablesbaren Verenzen. Haben wir Zerrungsklüfte im Großbild, so pflegen sie auch im Kleinbild nicht zu fehlen, und der Zerrungscharakter pflegt hier sogar viel klarer ausgedrückt zu sein. Und noch mancherlei andere Gruppen von Kleinerscheinungen, die mit den Großvorgängen in festem mechanischen Zusammenhange stehen, sind bei ihrer Kleinheit besser übersehbar. So kann es bei moderner tektonischer Arbeitsweise nicht mehr befriedigen, daß der Großbau eines Erdstückes, etwa eines Gebirgsteiles, aufgeklärt wird; vielmehr ist die Forderung zu erheben, daß auch die Kleinstrukturen in die Untersuchung einbezogen werden. Sind sie in vielen Fällen richtungweisend für die Deutung der Großtektonik, so sind sie andererseits oft erst der Prüfstein für die großtektonisch gewonnenen Anschauungen. In diesem Sinne hat sich die kleintektonische Arbeitsweise auch den zweifelhaften Fällen des Deckenbaues der Gebirge noch mehr, als schon geschehen, zuzuwenden.

Stärkere Berücksichtigung zur Deutung der Großstrukturen des Alpenbaues haben die Kleinstrukturen schon vor fast 50 Jahren bei ALB. HEIM'S Untersuchungen über den „Mechanismus der Gebirgsbildung“ gefunden. Etwa zur gleichen Zeit wertete A. DAUBRÉE die Kluftsysteme, die er in den Einzelaufschlüssen der flachliegenden oder nur flach geneigten Schichtfolgen Nordfrankreichs vorfand und eingehend untersuchte, für die Mechanik der tektonischen Vorgänge — und daneben für die Gestaltung der Relief-

verhältnisse — aus. Der Kleinklüftung zu beiden Seiten des Rheintalgrabens als Unterlage zur Deutung des Phänomens der Rheinabbrüche hat sich in den letzten Jahrzehnten W. SALOMON-CALVI mit seinen Schülern zugewandt. Doch in besonders fruchtbarer Weise ist diese Arbeitsmethode gepflegt und ausgebaut worden durch H. CLOOS. Er ist ausgegangen von der „Granittektonik“. Diese untersucht die Spuren, die dem plutonischen Material und seiner Nachbarschaft in der flüssigen, der zähflüssigen und endlich der festen Phase des Magmas aufgeprägt worden sind, und benutzt diese Erscheinungen zur Klarlegung des Intrusionsvorganges und seiner Begleitverhältnisse. Die zunächst in der Granittektonik entwickelten Arbeitsmethoden wurden von CLOOS und seinen Schülern dann auf die Normaltektonik übertragen und in bezug auf diese weiter ausgebaut. Auf solchen Wegen enthüllten sich die überraschendsten Analogien in den Bewegungskleinbildern des magmatischen und des sedimentären Materials, von denen schon die Rede gewesen ist. An die Arbeiten der CLOOSSchen Schule schließen sich diejenigen von BUBNOFFs und seiner Mitarbeiter an, während F. LOTZE die Verwendbarkeit der kleintektonischen Arbeitsweise für die Deutung recht verwickelter und vorher sehr umstrittener Sachlagen der jüngeren („saxonischen“) Tektonik Mitteldeutschlands erwies. Genannt seien auch CH. B. LONGWELLs Auswertungen von „sympathetischen“ Kleinstörungen in der Trias von Connecticut zur Deutung der dortigen Groß-Schollentektonik.

Die kleintektonische Arbeitsweise wird ergänzt durch eine kleinstektonische. Sie untersucht das Kleinstgefüge des Gesteins und wertet es zur Feststellung großtektonischer Deformationsvorgänge bei der Gebirgsbildung aus. Sie erfordert dementsprechend in der Hauptsache mineralogisch-optische Dünnschliffmethoden. Vorbilder für solche „gefügekundlichen“ tektonischen Forschungen geben die ganz überwiegend in den kristallinen Gebieten der österreichischen Alpen durchgeführten Arbeiten BR. SANDERs und seiner Mitarbeiter und diejenigen von WALTER SCHMIDT, dem u. a. die Einführung statistischer Methoden in die Gefügeuntersuchungen zu verdanken ist.

Der Wert des *tektonischen Experimentes* ist umstritten und im allgemeinen sicherlich nicht annähernd vergleichbar demjenigen des physikalischen. Man bedenke nur, daß die Ereignisse sich in der Natur in einem Maßstab von Raum und Zeit vollziehen, der im Experiment nicht nachahmbar ist. Und hinzu kommen die Schwierigkeiten, für das Experiment Anordnungen und Materialien zu finden, die der Verkleinerung in bezug auf Raum und Zeit entsprechen. Aber trotzdem kann das tektonische Experiment nicht nur Veranschaulichungswert für mancherlei Vorgänge der tektonischen Geologie besitzen, sondern es kann auch unmittelbaren Forschungswert haben, indem es neue Erkenntnisse bringt oder zu ihr die Wege weist. Ihn wird man gewiß nicht den über ein halbes Jahrhundert zurückliegenden und recht berühmt gewordenen Versuchen A. DAUBRÉEs, des eigentlichen Begründers einer experimentellen Geologie, absprechen — dieses namentlich nicht, soweit die Experimente der Aufklärung der Kluftsysteme unserer Erdkruste gewidmet gewesen sind. Aus neuester Zeit sei vor

allen Dingen der Versuche von H. CLOOS gedacht, die bei einer dem verkleinerten Verhältnis des Experimentes gegenüber der Wirklichkeit Rechnung tragenden Wahl des Werkstoffes und durch besonders glückliche Versuchsanordnungen dynamische Bilder erzielt haben, die nicht nur ganz überraschende und bis in außerordentlich charakteristische Einzelheiten gehende Übereinstimmungen mit den Wirklichkeitsbildern aufweisen, sondern auch zur Erklärung der Kinematik, ja auch der Dynamik der Wirklichkeitsbilder beitragen. Z. B. kann die bei dem Ablauf des Experimentes ersichtlich werdende Reihenfolge der Einzelercheinungen wertvoll werden für die zeitliche Zergliederung auch der großen Naturprozesse.

Gute Dienste hat die experimentelle Forschung auch für die Klärung und das Verständnis der so eigenartigen Erscheinungen der Salztektonik geleistet.

## 7.

In bezug auf die größeren Erdtiefen, für die die rein geologische Forschung ausscheidet, springt die *Geophysik* mit ihren verschiedenartigsten Arbeitsmethoden ein, so besonders seismischen und gravimetrischen.

Zunächst sei hier schon der Leistungen der sogenannten „angewandten“ Geophysik zur Feststellung von Verhältnissen in geringeren Erdtiefen, also in diesem Sinne zu einer aufklärenden Tätigkeit von zunächst mehr lokal-tektonischer Bedeutung, gedacht. Diese angewandte Geophysik macht sich in der „Mikroseismik“, — arbeitend mit künstlichen, durch Sprengung hervorgerufenen Erderschütterungen —, die Elastizitätsunterschiede der Gesteinsmassen, in den gravimetrischen Methoden ihre Gewichtsunterschiede, in den magnetometrischen Methoden ihre verschiedengradige magnetische Suszeptibilität zunutze und grenzt Körper und Regionen von abweichendem geophysikalischen Verhalten ab, in deren spezieller Ausdeutung ihr dann in vielen Fällen die Geologie zu Hilfe kommen muß. Sie hat bereits große Bedeutung für die bergmännische und speziell die erdölgewinnende Praxis erlangt, so in der Feststellung und Abgrenzung unterirdischer und häufig in der Randregion Erdöl aufweisender Salzkörper auf Grundlage der höheren Elastizität der Salzgesteine (mikroseismische Methode) und ihres abnorm niedrigen spezifischen Gewichtes (gravimetrische Methode). Sie dient mit solchen örtlichen Untergrundforschungen aber auch der allgemein-tektonischen Erkenntnis, z. B. in der Feststellung der Salzkörper des nord-westlichen Deutschlands oder der Randgebiete des Golfes von Mexiko der Fortentwicklung unserer Anschauung über die Bedingtheiten des Salzaufstieges.

Die „angewandte“ Geophysik erforscht also nur relativ geringe Erdtiefen, in die schließlich auch der Bohrer noch vordringen könnte. Der ganz große Wert der Geophysik für die Geotektonik liegt aber in ihren Leistungen zur Aufklärung der weit tieferen Erdregionen. In diesem Sinne braucht ja nur auf zweierlei verwiesen zu werden.

Es sei zuerst an das erinnert, was die Erdbebenforschung zur Gewinnung unserer heutigen Vorstellungen über die ganz großen Erdtiefen beigetragen hat im Sinne des alten E. WICHERTSchen Wortes, daß die

Erdbebenwellen für den Erdkörper leisten, was die Röntgenwellen für den menschlichen Körper.

Und zweitens sei nur hervorgehoben — und hier berühren wir ein Kapitel von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis außerordentlich vieler Züge im geotektonischen Geschehen der höheren Erdkruste —, daß wir doch allein der Geophysik in ihrer Erforschung der Schwereanomalien der Erdkruste die Grundlagen für den ganzen Vorstellungskreis der Isostasie verdanken. Seit der Erkennung eines Massendefizits unter dem Himalaya in der Mitte des vorigen Jahrhunderts auf Grund der auffallend geringen Seitenattraktion des Gebirges und seit den für die Entwicklung der Schwereforschung klassischen ersten systematischen Pendelmessungen von STERNECKS in Tirol in den Jahren 1887/88, seit KOHLSCHÜTTERS Schwerebestimmungen in Ostafrika und denjenigen HECKERs im Bereich der Ozeane ist in weiten Teilen der Erde die Schwereforschung in Gang gekommen. Sie liefert ein großes Material für die geotektonische Auswertung, die z. B. in bezug auf die mitteleuropäischen Verhältnisse von F. KOSSMAT, A. BORN u. a. schon weitgehend und fruchtbringend durchgeführt worden ist. Eine Großtat der Schwereforschung nicht nur in geophysikalischem, sondern auch in geotektonischem Sinne — mag ihre Ausdeutung einstweilen auch noch umstritten sein — liegt aus jüngster Zeit in den von dem Holländer VENING-MEINESZ vom Unterseeboot aus in geotektonisch besonders labilen Zonen des südöstlichen Asiens und auch Westindiens ausgeführten umfassenden Schweremessungen vor. Sie haben eine starke Anhäufung leichterer Untergrundmassen in einer relativ schmalen und scharf ausgeprägten, zwischen weiten Gebieten mit positiven Schwereanomalien liegenden Längszone eines großen und jugendlichen orogenen Baues ergeben.

# Biochemie.

Von

RICHARD KUHN, Heidelberg.

In einem durch die Sorgfalt der Quellenforschung hervorstechenden Aufsatz „Über katalytische Verursachung im physiologischen Geschehen“ hat vor kurzem A. MITTASCH<sup>1</sup>, ein Mitbegründer der katalytischen Großindustrie Deutschlands, des 100. Jahrestages gedacht, an dem Schwedens großer Chemiker JÖNS JAKOB BERZELIUS das Wort und den Begriff der Katalyse geprägt hat.

Der Glaube an eine besondere Lebenskraft, die allein imstande sei, die Stoffe des Tier- und Pflanzenkörpers zu bilden, war damals durch die künstliche Darstellung des Harnstoffes, die L. WÖHLER 1828 gelungen war, bereits erschüttert. Der Satz: „Was sich in den Gefäßen organischer Körper aus den Grundstoffen bildet, das macht kein Chemiker im Kolben und Schmelztiegel nach“ (GREN 1796) war erstmals durchbrochen. Schon machten sich ans Werk diejenigen, denen die künstliche Darstellung zahlreicher Farbstoffe und Riechstoffe, Geschmacksstoffe und Arzneistoffe der belebten Natur gelingen sollte. Schon war der Tag der organischen Synthese angebrochen.

J. J. BERZELIUS scheint damals vorausahnend empfunden zu haben, daß die Besonderheit der Lebensvorgänge vor allem in der Art ihres Ablaufes zu suchen ist, nicht nur in der chemischen Eigenart der daran beteiligten Stoffe. Bekanntlich sind die Bedingungen, unter denen der Farbstoff der Krappwurzeln, der Riechstoff der Vanilleschoten und viele andere Naturprodukte heute in der Industrie synthetisch hergestellt werden, meist sehr verschieden von den Bedingungen, unter denen sich eben diese Stoffe in den Pflanzen bilden. Die erforderliche Anwendung hoher Temperaturen, ätzender Alkalien, rauchender Säuren u. a. ist der belebten Natur fremd.

Erst in den letzten Jahren ist es, vor allem auf dem Gebiete der Alkaloide, gelungen, Synthesen zu finden, die in annähernd neutraler wässriger Lösung und bei gewöhnlicher Temperatur sehr glatt verlaufen, so daß sie als physiologisch möglich erscheinen, zumal auch die Ausgangsstoffe zu bekannten Bausteinen der Zellen in sehr naher Beziehung stehen. Die durch ihre Wirkung auf das Atemzentrum bemerkenswerten Lobeliaalkaloide z. B. sind jetzt auf solchem Wege leicht erhältlich (C. SCHÖPF). Es ist zu erwarten, daß die Zukunft die Zahl derartiger Synthesen, die im wesentlichen nur durch die Wasserstoffionenkonzentration der reagierenden Lösungen gesteuert werden, noch erheblich vermehren wird, so daß der Chemiker hoffen darf, in bezug auf verschiedene pharmakologisch wirksame Pflanzenbasen, zu deren Gewinnung man noch

<sup>1</sup> Naturw. 23, 361, 377 (1935).

auf tropische Drogen wie das Opium angewiesen ist, mit der Natur in erfolgreichen Wettbewerb treten zu können. In einen Wettbewerb, der sich nicht nur auf das fertige Produkt, sondern auch auf den Weg zu seiner Herstellung bezieht.

So bedeutungsvoll diese Anfänge sein mögen, die ganz überwiegende Mehrzahl der chemischen Vorgänge in den lebenden Organismen wird nicht durch die Wasserstoffionenkonzentration allein gesteuert. Der Richtung und der Geschwindigkeit nach entscheidend wirken vielmehr in allen Zellen und Geweben jene Stoffe mit, denen vor 100 Jahren J. J. BERZELIUS eine „katalytische Kraft“ zugesprochen hat: „Gewisse Körper üben durch ihre Berührung mit anderen einen solchen Einfluß auf diese aus, daß eine chemische Wirksamkeit entsteht, Verbindungen zerstört oder neue gebildet werden, ohne daß der Körper, dessen Gegenwart dies veranlaßt, im mindesten Anteil daran nimmt“. BERZELIUS sprach die begründete Vermutung aus, daß in den lebenden Pflanzen und Tieren Tausende von katalytischen Prozessen zwischen den Geweben und Flüssigkeiten vor sich gehen. Die seitherige Entwicklung der Biochemie hat sich ganz im Sinne dieser Vorstellung vollzogen.

Wenn heute die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften aus Anlaß ihres 25jährigen Bestehens Fragestellungen und Ergebnisse biochemischer Forschung weiteren Kreisen näherzubringen wünscht, so wollen wir uns im Geiste neben BERZELIUS stellen und zu erkennen suchen, welche unter diesen Tausenden von katalytischen Prozessen im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts das besondere Ziel biochemischer Forschung gebildet haben, und welche Bedeutung die *Klärlegung katalytischer Einzelvorgänge im Zellgeschehen* einerseits für die Ausgestaltung neuer biochemischer Verfahren, andererseits für die Ernährung und Fortpflanzung und für die praktische Heilkunde zu gewinnen verspricht.

Die Möglichkeit, mit Erfolg den katalytischen Vorgängen der belebten Natur nachzuspüren, bestand zur Zeit von BERZELIUS noch kaum. Denn man wußte nur sehr wenig von der chemischen Zusammensetzung der wichtigsten Bausteine der Zellen. Wie sollte es da möglich sein, die normalen chemischen Umsetzungen etwa von den unter krankhaften Bedingungen stattfindenden näher zu unterscheiden, oder gar die äußeren Erscheinungen einer Krankheit oder Vergiftung schon ursächlich auf bestimmte Veränderungen der an diesen Umsetzungen beteiligten katalytisch wirkenden Stoffe zurückzuführen? Man erkennt, daß die *chemische Kenntnis und Erforschung der wichtigsten Zellbestandteile unabhängig von den Veränderungen, denen sie im Organismus dauernd unterliegen*, vorangehen mußte. Wenigstens in erheblichem Umfange, denn eine vollständige Kenntnis aller im menschlichen Körper oder auch nur in einer Hefezelle vorkommenden organischen Substanzen kann niemand erhoffen. So gewaltig die Anstrengungen der Biochemie und so groß ihre Erfolge in der Zukunft sein mögen, wir werden diesem Ziel näher und näher kommen, aber wir werden es niemals erreichen.

In einer verhältnismäßig kleinen Tabelle können wir die 92 chemischen Elemente, die am Aufbau unserer Erde beteiligt sind, mitsamt ihren

Isotopen anführen und auch das Mengenverhältnis der einzelnen Atomarten, soweit es sich um die Erdkruste handelt, mit befriedigender Genauigkeit schätzen. Wir wissen, daß in dieser Tabelle nur noch winzige Lücken auszufüllen sind. Wir können die etwa 1600 Mineralien unserer Erdoberfläche in einen verhältnismäßig kleinen Katalog aufnehmen, der durch neue Entdeckungen wohl noch da und dort bereichert werden wird. Eine vergleichbare Kenntnis der organischen Substanzen, die im menschlichen Körper vorkommen, besitzen wir nicht. Nur die der Menge nach überwiegenden wie die Eiweißstoffe, Kohlehydrate, Fette, Purinkörper, Sterine und Phosphatide sind in den Hauptzügen erfaßt, daneben eine Anzahl von Farbstoffen, die der chemischen Bearbeitung besonders günstige Anhaltspunkte geboten haben. Die biochemische Forschung lenkt heute ihr besonderes Augenmerk auf die in viel geringeren Mengen auftretenden *Zwischenstufen*<sup>1</sup>, die beim Auf- und Abbau der genannten Verbindungen im Organismus durchlaufen werden, und deren Zahl sich vorerst kaum abschätzen läßt. Es ist, wenn man von den Eiweißkörpern mit ihrer an astronomische Zahlen erinnernden Variationsmöglichkeit absieht, nicht wahrscheinlich, daß die Zahl derartiger Zwischenstufen unermeßlich groß sein wird. Das Unterscheidende gegenüber dem Mineralreich scheint hier weniger die Zahl der Einzelstoffe zu sein als ihre Wichtigkeit auch in kleinsten Mengen. Während das Fehlen mancher seltener Mineralien das Antlitz und die Geschichte unserer Erde kaum nennenswert verändern würde, haben wir Grund zu der Annahme, daß der Ausfall auch nur einer einzigen Zwischenstufe, etwa im Stoffwechsel der Kohlehydrate, die schwersten Störungen für den gesamten Organismus zur Folge haben wird.

Die Voraussetzung für die Erforschung der katalytischen Vorgänge ist, wie gesagt, eine gewisse Kenntnis der Zellbestandteile gewesen. Diese verdanken nun die Biochemiker auf vielen der wichtigsten Gebiete einem Forscher, dessen Ansehen und dessen auf Deutschlands Zukunft gerichteter Blick in entscheidender Weise auch zur Gründung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft vor 25 Jahren beigetragen hat: EMIL FISCHER. In ihm erblicken die Kaiser Wilhelm-Institute biochemischer Richtung den Schöpfer ihrer besonderen Arbeitsbedingungen. Von ihm haben sie die grundlegenden Einblicke in den Bau der Kohlehydrate, der Purine, der Eiweißstoffe und Gerbstoffe erhalten. Auf seinem Werke bauen sich auf alle Untersuchungen über die katalytischen Umwandlungen der genannten Stoffe, von denen im folgenden berichtet werden wird.

Auf dem Gebiete der *Zuckerarten* ist seit E. FISCHERs Tod die Spannweite der Sauerstoffbrücken und die Verknüpfungsstelle der Monosaccharide in den Di-, Tri- und Polysacchariden weitgehend geklärt worden durch Abbau der permethylierten Verbindungen (J. C. IRVINE, W. N. HAWORTH und andere). Die Spezifität der Zucker- und Glukosid-spaltenden Fermente, zu deren Reinigung und Trennung vor allem Adsorptions- und

<sup>1</sup> Darunter sind hier und im folgenden nicht nur in freiem Zustande isolierbare Zwischenprodukte des Stoffwechsels, sondern auch Ferment-Substratverbindungen zu verstehen.

Elutionsverfahren ausgearbeitet wurden (R. WILLSTÄTTER), rückte dadurch in neues Licht. Mit Hilfe von Fermenten gelang die Synthese von Disacchariden und zahlreicher Glukoside. Die künstliche Darstellung von Rohrzucker und von Polysacchariden (Stärke, Zellulose) bleibt aber noch immer eine Aufgabe der Zukunft.

Hochwirksame Substanzen, die zu den Zuckerarten in naher Beziehung stehen, wurden aufgefunden im Vitamin C (Ascorbinsäure, A. v. SZENT-GYÖRGYI) und im gelben Vitamin B<sub>2</sub> (Laktoflavin, R. KUHN). In beiden Fällen handelt es sich um reversibel reduzierbare und oxydierbare Verbindungen, deren Wirksamkeit aber nicht allein durch das Redoxpotential bestimmt wird, sondern daneben in entscheidender Weise von der Konstitution und Konfiguration der Zuckerreste abhängt. Diese Erkenntnis gründet sich auf die Synthese der Ascorbinsäure (T. REICHSTEIN, W. N. HAWORTH) und diejenige des Laktoflavins (P. KARRER, R. KUHN), welche jeweils von der künstlichen Darstellung isomerer und ähnlicher Verbindungen begleitet war.

Ein neues Feld der Forschung stellen spezifisch wirksame Kohlehydrate dar, die den Polysacchariden nahestehen. Hierher scheinen z. B. teilweise diejenigen stickstoffhaltigen Substanzen zu gehören, die als Träger der Blutgruppenmerkmale (O, A, B) im Harn ausgeschieden werden (K. FREUDENBERG). Das die Gerinnung des Blutes hemmende schwefelhaltige Heparin aus Leber steht den Zuckerarten nahe (E. JORPES). Eine gerinnungshemmende Wirkung zeigen schon gewöhnliche Polysaccharide wie Stärke und Zellulose, wenn sie mit Schwefelsäure verestert werden (S. BERGSTRÖM).

Von wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung wurde die namentlich C. NEUBERG zu verdankende Erkenntnis, daß die alkoholische Gärung der Zuckerarten durch geeignete Zusätze in neue Bahnen gelenkt werden kann; daß man an Stelle von Alkohol und Kohlensäure Glycerin und Azetaldehyd erhalten, daß man die alkoholische Gärung in Milchsäuregärung umschalten kann, und vieles andere mehr. Die Möglichkeit, aus Kohlehydraten mit Hefe Glycerin zu gewinnen, ist bereits während des Weltkrieges, als Knappheit an Fetten herrschte, von Deutschland ausgewertet worden. Weitere Gärungsvorgänge gestatten heute zahlreiche Säuren, Alkohole und Ketone in großem Maßstabe technisch darzustellen.

Die beim biologischen Zuckeraabbau durch Hefe nachweisbaren Zwischenstufen sind vor allem Phosphorsäureester (A. HARDEN). Dasselbe trifft für die Kohlehydratumsetzungen im arbeitenden Muskel zu (O. MEYERHOF). Die Frage nach den einzelnen Teilvorgängen steht heute im Mittelpunkt der Forschung. Es wird versucht, für die alkoholische Gärung, für die Glykolyse im Muskel usw. in chemischer Formelsprache jeweils ein Schema zu finden, das die zahllosen diesbezüglich vorliegenden Beobachtungen zusammenzufassen und neue vorauszusagen ermöglicht. G. EMBDEN, O. MEYERHOF und J. K. PARNAS haben in letzter Zeit unsere Erkenntnis nach dieser Richtung besonders weit vorwärts getrieben. Als Aufgabe der Biochemie erscheint es, ähnliche Schemata für den Auf- und Abbau der Fette, Phosphatide, Eiweißkörper u. a. zu suchen. Denn man darf erwarten, daß ähnlich den Fermenten auch Vitamine und

Hormone, über deren Wirkungsweise erst wenig bekannt ist, letzten Endes nur bestimmte Teilvorgänge auf diesen Gebieten steuern. Das Wesen der Krankheiten, die auf Störungen der Ernährung, sowie auf Störungen von Drüsenfunktionen beruhen, wird dann chemisch verständlich werden und der Heilkunde neue Wege erschließen. Wie außerordentlich mangelhaft aber unser heutiges Wissen noch ist, zeigt eindrucksvoll das Beispiel des Insulins. Es beherrscht den Zuckerstoffwechsel. Trotz zahlloser Arbeiten kann es aber noch immer nicht bestimmten, *in vitro* zu verwirklichenden Umsetzungen der Zucker zugeordnet werden. Seit der Entdeckung von BANTING und BEST wurde erkannt, daß das Pankreas-hormon ein in Gegenwart von Metallspuren krystallisierbarer, schwefelhaltiger Eiweißstoff ist (J. J. ABEL, K. FREUDENBERG).

Die Bildung von *Fetten* aus Zuckerarten ist noch immer in Dunkel gehüllt. Das gelegentliche Vorherrschen von Fettsäuren, deren Kohlenstoffzahl durch 6 teilbar ist, belebt die Vorstellung E. FISCHERS, daß wenigstens teilweise die Moleküle der Glukose als ganze diese Umwandlung eingehen. Der oxydative Abbau der Fettsäuren dagegen erfaßt in der Hauptsache immer je 2 Kohlenstoffatome ( $\beta$ -Oxydation, F. KNOOP). In besonderen Fällen ist auch ein Angriff an dem der Karboxylgruppe abgewandten Ende festgestellt worden ( $\omega$ -Oxydation, P. E. VERKADE). Lezithine und Kephaline, die als Bestandteile tierischer und pflanzlicher Zellen, insbesondere als Bausteine der Gehirn- und Nervensubstanz bekannt sind, konnten synthetisch gewonnen werden (A. GRÜN). Physikalisch-chemisch betrachtet stellen sie Zwitterionen dar (J. HAUSSER und R. KUHN), die besondere dielektrische Eigenschaften aufweisen, und deren weitere Erforschung einerseits für das Verständnis der Permeabilität der Zellen, andererseits im Hinblick auf die elektrischen Vorgänge in Gehirn und Nerven wichtig erscheint.

Auf dem von E. FISCHER in seinen Grundzügen klargelegten Gebiet der *Purine* nimmt die Erforschung der Nukleinsäuren, die charakteristische Bausteine der Zellkerne darstellen, eine bevorzugte Stellung ein. Die enzymatischen Wege des Abbaues, die chemische Differenzierung der Hefe- und Muskeladenylsäure (P. A. LEVENE) und die Entdeckung der Adenosintriphosphorsäure, die ein Co-Ferment des Zuckerabbaues darstellt (K. LOHMANN), haben viele neue Fragen aufgeworfen. Das von B. C. P. JANSEN isolierte antineuritische Vitamin B<sub>1</sub>, eine schwefelhaltige Verbindung (A. WINDAUS), steht als Pyrimidinderivat (R. R. WILLIAMS) zu dieser Stoffklasse chemisch in Beziehung.

Zu den wundervollsten Kapiteln der neueren Biochemie gehört die Klasse der *Zyklopentanoperhydrophenanthrene*. Ihr seit längstem bekannter Vertreter, das Cholesterin, hat die Aufgabe, in das Blut eindringende Stoffe zu entgiften. Den durch Eintritt von Hydroxylgruppen und oxydative Kürzung einer Seitenkette daraus hervorgehenden Gallensäuren (H. WIELAND) obliegt es, in Wasser unlösliche Stoffe für die Resorption im Darm löslich zu machen. Gewisse Pflanzen kürzen die Seitenkette ebenfalls und schließen überdies einen Sauerstoffring. Auf diese Art

(W. JACOBS, A. STOLL) bilden sich in den Digitalisblättern, den Strophanthusarten und in der Meerzwiebel Stoffe, die eine spezifische Verwandtschaft zum Herzmuskel besitzen und seit langem medizinische Verwendung finden. Durch weiteren Abbau der Seitenkette im Cholesterin entsteht das Progesteron (A. BUTENANDT, K. H. SLOTTA), welches als Hormon der gelben Körper im Eierstock für die Aufrechterhaltung der Schwangerschaft unentbehrlich ist. Durch vollständigen Abbau der Seitenkette gelangt man zu den männlichen Sexualhormonen. Unter diesen sind sowohl das aus Männerharn isolierte Androsteron (A. BUTENANDT) wie das noch wirksamere Testosteron aus Stierhoden (E. LAQUEUR) schon künstlich dargestellt worden (L. RUZICKA, A. BUTENANDT). Wird nun nach vollständigem Abbau der Seitenkette im Gerüst des Zyklopentanoperhydrophenanthrens noch ein Ring aromatisch, so gelangt man neuerdings zu weiblichen Sexualstoffen, den Follikelhormonen (E. A. DOISY, A. BUTENANDT, A. GIRARD). Die Mannigfaltigkeit der Wirkungen ist damit nicht erschöpft. Unter dem Einfluß ultraviolettten Lichtes öffnet sich einer der Kohlenstoffringe im Zyklopentanophenanthren bei gewissen Sterinen (Ergosterin), und so entsteht eine Substanz, die den Kalzium- und Phosphatstoffwechsel beherrscht, das antirachitische Vitamin D (A. WINDAUS). Andere Bestrahlungsprodukte des Ergosterins, die antirachitisch unwirksam sind, vermögen den Kalziumgehalt des Blutes zu erhöhen und so bei fehlenden Nebenschilddrüsen das COLLIP-Hormon zu ersetzen (Tachysterin, Toxisterin). Vom Phenanthrenskelett leiten sich neben den Sterinen auch aromatische Kohlenwasserstoffe ab, die krebs-erregende Wirkung besitzen (J. W. COOK) und aus Steinkohlenteer isoliert sowie synthetisch dargestellt wurden. Es ist eine überraschende Mannigfaltigkeit spezifischer Wirkungen, welche die Natur durch verhältnismäßig geringfügige Veränderungen der Moleküle hervorbringt.

Die Erforschung der *Eiweißstoffe*, mit denen letzten Endes alle Lebenserscheinungen untrennbar verknüpft sind, stellt noch gewaltige Aufgaben. Auf dem von E. FISCHER angebahnten Wege, der durch systematische Verknüpfung von Aminosäuren eine Näherungslösung erstrebte, haben vor allen E. ABDERHALDEN und M. BERGMANN viele neue Peptide dargestellt, an denen die Spezifität der am Eiweißabbau beteiligten Fermente (E. WALDSCHMIDT-LEITZ, W. GRASSMANN) anfängt, klar hervorzutreten. Unter den *Aminosäuren* haben verschiedene, die spezifische Wirkungen entfalten, zu neuen Fragestellungen geführt. Es seien nur erwähnt das jodhaltige Hormon der Schilddrüse (Thyroxin, CH. HARRINGTON); das schwefelhaltige Glutathion (F. G. HOPKINS), das als Aktivator verschiedener Fermente in den Zellen weit verbreitet ist; die  $\beta$ -Indolylessigsäure (Heteroauxin, F. KÖGL), ein „Hormon“ der pflanzlichen Zellstreckung, das merkwürdigerweise dieselben Wirkungen entfaltet wie die stickstofffreien Auxine a und b; eine  $\alpha$ -Amino- $\beta$ -oxybuttersäure (W. C. ROSE), die im Verein mit einem Gemisch anderer synthetischer Aminosäuren das Eiweiß im Futter der Ratte vollwertig zu ersetzen vermag.

Zu den Eiweißkörpern sind seit kurzem auch *Fermente* zu zählen, die in krystallisierter Form dargestellt werden konnten, so die harnstoff-

spaltende Urease (J. B. SUMNER) und die eiweißspaltenden Fermente Pepsin und Trypsin (J. H. NORTHROP).

Eiweißstoffe mit Farbstoffgruppen, sog. *Chromoproteide*, deren bekanntester Vertreter das Hämoglobin des Blutes ist, sind in der Natur weit verbreitet. Ihre chemische Erforschung hat in bezug auf die Farbstoffkomponenten große Fortschritte gemacht, die Synthese des Hämins (H. FISCHER) stellt den bemerkenswertesten Markstein der Entwicklung dar. Die Wiedervereinigung der Farbstoffkomponenten mit den spezifischen Eiweißstoffen ist für das Hämoglobin (R. HILL und H. F. HOLDEN) und das gelbe Ferment (O. WARBURG, H. THEORELL) in gleichartiger Weise durchgeführt worden. Der aus den Komponenten aufgebaute Blutfarbstoff besitzt dasselbe Sauerstoff- und Kohlenoxydbindungsvermögen wie natürliches Hämoglobin und das aus den Komponenten künstlich erhaltene gelbe Ferment dieselben katalytischen Wirkungen wie das natürliche. Chemisch verwandt mit dem Blutfarbstoff sind eine ganze Anzahl von Fermenten, die als eisenhaltig erkannt wurden: die Zytochrome (D. KEILIN), von denen die Komponente c anscheinend rein dargestellt werden konnte; das Atmungsferment von O. WARBURG, dessen auf indirektem Wege ermittelte Absorptionsbanden neuerdings direkt sichtbar wurden; die Katalase (K. ZEILE), die sich wie Hämoglobin umkehrbar in einen nicht dialysierbaren Eiweißkörper und in ein dialysierbares Hämin zerlegen läßt. Die Vorstellung von R. WILLSTÄTTER, daß die Fermente aus einer chemisch reagierenden Gruppe und einem kolloiden Träger bestehen, hat durch die angeführten Befunde immer klarere Gestalt angenommen. Daß die kolloiden Träger in einzelnen Fällen ohne Verlust der Wirkung ausgetauscht werden können, ist wahrscheinlich (E. WALDSCHMIDT-LEITZ). Die bedeutsame Frage, welchen Einfluß bestimmte chemische Veränderungen einerseits der chemisch reagierenden Gruppen (Farbstoffkomponenten), andererseits der kolloiden Träger (Eiweißstoffe) auf die Spezifität der Fermente haben werden, rückt in den Bereich experimenteller Möglichkeiten.

BERZELIUS würde heute eine bemerkenswerte Zahl unter den Tausenden von katalytischen Prozessen, die er vor 100 Jahren als kennzeichnend für die Vorgänge des Lebens erahnte, überraschend weit aufgeklärt finden. Er würde aber auch feststellen, daß die Worte, mit denen er die letzten Fragen der Biochemie gekennzeichnet hat, noch immer unberührt dastehen: „Die innewohnende Kraft, welche unter den dazu erforderlichen Einflüssen bestimmt, daß der von außen aufgenommene Nahrungsstoff zu der Art von Pflanze oder Tier wird, von welcher der Same oder das Ei herrührte, ist das Rätsel des Lebens, welches wir niemals lösen werden. Wie ernstlich wir uns auch bemühen, einen Blick in diese Laboratorien (der Organismen) zu werfen, so nehmen wir doch niemals den spiritus rector wahr, welcher diese Kräfte bestimmt, nach ihren Zielen zu wirken.“ Die chemischen Vorgänge, die zu den Erscheinungen der Vererbung und der Sippenmerkmale führen, sind uns noch verborgen. Für die Zukunft der Biochemie wird es von Bedeutung sein, bis zu welchem Grade diese und andere Fragen, welche heute noch in das Gebiet der reinen Biologie gehören, chemisch-experimentellen Methoden sich als zugänglich erweisen.

# Biologie.

Von

FRITZ VON WETTSTEIN, Berlin-Dahlem.

Der Deszendenzgedanke DARWINs war das Ferment, das die gewaltige Entwicklung der Biologie im vergangenen Jahrhundert katalysierte. Der große Fortschritt der Untersuchungsmethoden, vor allem der mikroskopischen Technik, bot die Möglichkeit zur großen Entwicklung der Biologie. Die Erschließung der Welt brachte die Bestandaufnahme der Organismen im großen Umfang und die immer größere Zahl von Biologen leistete ungeheuere Einzelarbeit. Gerade der Abstand, den wir heute von dieser Zeit der ersten Blüte biologischen Forschens haben, zeigt uns die Wirkung von DARWINs Konzeption in ihrer ganzen Größe. Dem glänzenden Aufstieg aber folgte auch die Übertreibung. So ungeheuer fruchtbar die vergleichende Morphologie, Zellforschung, Entwicklungsgeschichte, Systematik, Biogeographie und Ökologie in den Händen der führenden Männer ausgebaut waren, mit der Erschöpfung der methodisch möglichen Fragestellungen setzte vielfach ein Epigontum ein, das ziel- und kritiklos in die Breite ging. Und gerade die Teilgebiete, welche vom Deszendenzgedanken besonders beeinflußt waren, erfuhren diese Verflachung am schnellsten. Wo feinste Köpfe in phylogenetischen Gedankengängen die Grundlagen unserer Systeme schufen, da drohte kritikloses Schülertum mit haltlosen Spekulationen die klarsten Linien zu verwirren, nicht sehend, daß die Grenzen bestimmter Methoden gegeben sind. Wo die Fragen der Artbildungsvorgänge die Grundlagen der Deszendenztheorie betreffen, da wurde mit falscher Methodik auf Grund von mißverstandenen Tatsachenmaterial ein Überbau falscher Hypothesen geschaffen, unter dem die ganze Deszendenztheorie selbst im Zusammenbruch begraben zu werden drohte.

Die Ernüchterung kam und die Kritik setzte ein. Und mit ihr finden neue kritische Methoden in alle Gebiete der Biologie ihren Einzug. Es sind Methoden, die bezeichnenderweise aus den Gebieten kommen, die, am wenigsten vom Gedankengebäude DARWINs beeinflußt, sich entwickelten, aus dem Gebiet physiologischer Forschung. Und wenn durch die vergleichende Betrachtung auf allen Gebieten das Beobachtungsmaterial geordnet und damit vor allem die Problemlage geklärt war, so setzt eine neue kritische Behandlung durch das Experiment ein. Wenn wir heute nach der Ernüchterung wohl am ersten Beginn einer neuen Aufwärtsentwicklung stehen, so trägt sie auf *allen* Gebieten das Zeichen des experimentellen Forschens.

Will man ein Bild davon geben, was uns heute in der Biologie bewegt, wo die vordersten Linien sind im Kampfe um neue Erkenntnis an unseren

so spröden Objekten, steht man vor einer Schwierigkeit. Biologie bedeutet eine Synthese aus gemeinsamem Forschen an Pflanzen und Tieren. Es ist ja überraschend schnell und sicher gelungen, aus den Einzelergebnissen in beiden Teilgebieten auch allgemein gültige Antworten zu finden auf so manche Fragen, die uns der lebendige Organismus überhaupt gibt. In vielen anderen Fällen bleibt aber Ungleichheit der Behandlung. Wenn auch sicher die Grundprobleme die gleichen sind, ist die Art, wie diese Grundprobleme am einzelnen Organismus gelöst sind, so verschieden, daß ihre Forschung am verschiedenen Objekt oft ungleich weit, öfters noch in verschiedener Richtung und mit verschiedenartiger Einstellung vorwärts geführt wurde. Es sei trotzdem versucht, eine einheitliche Skizze zu entwerfen, wenn auch da und dort das Schwergewicht mehr auf botanischen oder zoologischen Ergebnissen ruhen muß.

An einer Stelle berühren sich die Ergebnisse an Pflanzen und Tieren so eng, daß wirklich etwas Gemeinsames aufgebaut werden konnte, in der *Vererbungsforschung*. Es kann uns nicht deutlich genug zum Bewußtsein kommen, daß für jeden Organismus in jeder Lebenslage, für jede Gestaltung und für jeden Vorgang das Wesentliche ist, womit er sein Leben beginnt, welches die Ausgangssituation seiner Entwicklung ist. Da diese durch den Vererbungsvorgang geregelt wird, bedeutet die Aufklärung dieses Vorgangs, mit dem Verstehen an dieser Ausgangssituation einzusetzen. Und darum, nicht aus einseitiger Überschätzung, mag auch diese Aufgabe hier an den Anfang gestellt werden. Es ist ganz gleichgültig, welcher Frage sich ein Biologe zuwendet; in jedem Vorgang und in jeder Eigenschaft ist zunächst als Ursache das enthalten, was der Organismus durch Vererbung von den Vorfahren erhalten hat. Die Vererbung bedeutet das Schicksal für das ganze Leben, und was sind die Vorgänge, die am Anfang jedes Schicksals stehen?

Jeder Organismus hat in dem Zellkern seiner Zellen bestimmte Gebilde, die in großer Anzahl in verschiedenartiger Zusammensetzung das erbliche Material bilden. Sie sind die Erbinheiten oder Gene. Es sind konstante Gebilde, die von Zelle zu Zelle, von Generation zu Generation weitergegeben werden.

Durch restlose Ausnützung aller Möglichkeiten, die uns die experimentelle Kreuzungsanalyse bietet, konnte zunächst das Problem der Lokalisation dieser Gene und damit ihrer Verteilung weitgehendst gelöst werden. In den Zellkernen finden sich Organellen, die Chromosomen, die bei der Zellteilung in konstanter Zahl und Form sichtbar werden. Sie sind in jedem Organismus zu einem bestimmten Chromosomensatz vereinigt und werden bei der Zellteilung durch gleichmäßige Längsteilung unverändert weitergegeben. In diesen Chromosomen sind an ganz bestimmten Stellen, in reihenweiser Anordnung die Gene eingelagert. Sie werden mit ihren Trägern vollzählig von Zelle zu Zelle weitergegeben. Die Zahl der Gene ist groß, für das bestuntersuchte Objekt, die Taufliege *Drosophila*, dürfte sie um  $\pm 10000$  liegen. Es bleibt abzuwarten, ob dieselbe Größenordnung

auch bei anderen Organismen Geltung hat oder ob sie von uns einfach erscheinenden Organismen zu komplizierteren ansteigt.

Werden die Gene durch diese Lage bei jeder Zellteilung auf die Tochterzellen gleichmäßig weitergegeben, so ist diese Lagerung bei jeder Fortpflanzung auch die Ursache bestimmter Verteilungsgesetze, die wir als MENDELSche Gesetze bezeichnen. Jede Fortpflanzungszelle enthält einen Chromosomensatz. Bei der Vereinigung zweier solcher Zellen während der Befruchtung entsteht eine Verschmelzungszelle mit zwei ganzen Sätzen. Aus ihr entwickelt sich der wachsende Organismus. Die in den Chromosomen gelagerten Anlagen werden so durch den Befruchtungsprozeß kombiniert. Verschmelzen gleiche Befruchtungszellen, entsteht ein Organismus mit einheitlichem Anlageninhalt, anderenfalls gibt es Kreuzungskombinationen. Mit dieser Ausrüstung beginnt die Entwicklung und sie wird während des individuellen Lebens beibehalten. Als Abschluß erscheint wieder die Fortpflanzungszellenbildung. Ein Vorgang regelt dabei die Verteilung so, daß zwar immer ein ganzer Chromosomensatz in die Fortpflanzungszelle gelangt, daß aber beliebige Kombinationen aus mütterlichen und väterlichen Chromosomen innerhalb des Satzes auftreten können. Damit sind aber auch die Anlageninhalte der Chromosomen aus Mutter und Vater stammend frei kombinierbar und alle errechenbaren Kombinationen treten in den zu erwartenden Zahlenverhältnissen auch wirklich auf. Da aber in jedem Chromosom eine große Zahl von Anlagen gelagert ist, werden die Anlagen in Gruppen gekoppelt vererbt, in so viele Gruppen, als Chromosomen im Satz vorhanden sind. Die Beobachtung lehrte aber, daß auch die Anlagen, die im selben Chromosom gelagert sind, getrennt verteilt und kombiniert werden können. Es muß also noch ein Vorgang vorhanden sein, der einzelne Chromosomenteile mit ihren Genen austauschen läßt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Chromosomen in bestimmten Stadien der Fortpflanzungszellenbildung in Stücke brechen und die entsprechenden Stücke der gleichartigen Chromosomen paarweise ausgetauscht werden. Daß diese Austauschvorgänge sich abspielen, ist durch das Experiment erwiesen. Die genaue Analyse des Vorganges ist die Aufgabe, an der wir hier jetzt halten.

Die Lagerung der Gene ist bekannt und damit ist auch der Verteilungsvorgang aufgeklärt, der den Vererbungsgesetzen zugrunde liegt, der Verteilungsvorgang, der bewirkt, daß die Anlagen, die aus dem Großelternpaar in die Elternorganismen kommen, in freier Weise kombiniert, nach Zufallsgesetzen geregelt, in den Kindern erscheinen müssen. Die erbliche Ausgangssituation der Kinder ist das Produkt des Erbgutes der Großeltern und des Verteilungsmechanismus bei der Fortpflanzungszellenbildung der Eltern. Die Lagerung der Gene und ihre Verteilungsweise kann an Hunderten von verschiedenen Pflanzen und Tieren und auch beim Menschen überhaupt als allgemein klargelegt gelten. Der Kampf geht weiter um die Frage nach der Beteiligung anderer Zellbestandteile am Erbeschehen. Es wird immer wahrscheinlicher, daß auch ein genetisch bestimmt qualifiziertes Plasma, meist von der Mutter weitergegeben, am Erbvorgang beteiligt ist und daß bei Pflanzen noch bestimmte Organellen,

die Träger des Chlorophylls, die Plastiden als weitere Erbelemente hinzukommen.

Wir wissen wenig darüber, was die Gene sind. Es handelt sich wohl um bestimmte spezifische Stoffe, die in geringsten Mengen eine ungeheure Wirkung haben. Aus Versuchen, die Einwirkung von Röntgenstrahlen und anderem auf die Gene zu untersuchen, konnten in jüngster Zeit Anhaltspunkte gewonnen werden, daß es sich wohl um Einzelteile mit Molekülgefüge handelt. Die ersten Ansätze solcher Studien dürfen hier noch reiche Ernte erwarten lassen.

Wir treten alle leidenschaftlich für die Richtigkeit der Chromosomentheorie der Vererbung ein, die uns die Lage und damit die Verteilung der Erbsubstanzen klarlegt. Es bleibt eine ganz wichtige Aufgabe, die letzten Geheimnisse der Genlokalisierung aufzudecken. Aber schon tritt ein anderes Problem mehr in den Vordergrund, an dem da und dort verschiedene Forscher sich versuchen. Wir werden das Gesamtgeschehen der Vererbung nie verstehen, wenn wir die Fragen nicht aufklären können, wie die Gene in dem Zellkern wirken; wie es dazu kommt, daß sie ihren ungeheuren Einfluß ausüben können. Es ist die Zeit gekommen, sich nicht immer nur damit zu begnügen, festzustellen, daß ein Gen für irgend etwas an einer bestimmten Stelle da ist. Wir wollen wissen, wie es wirkt. Die Wirkungsweise hängt von der Menge der vorhandenen Anlagen ab und von ihrer Wirkungsstärke, sie ist abhängig vom Zusammenwirken mit dem zugehörigen plasmatischen Zellinhalt. Ausgezeichnete Versuche an der Schirmalge *Acetabularia* machen es wahrscheinlich, daß von den Genen Wirkstoffe in die Zellen austreten, die dort in die verschiedenen Vorgänge steuernd eingreifen. Wie aber kommt es, daß diese Gene, die alle in jeder Zelle vorhanden sind, nicht auch alle gleichzeitig durcheinander wirken, sondern immer nacheinander in feinst geregelter Ablauf die Prozesse steuern? Es sind die Fragen der Determination in jedem Entwicklungs geschehen, an die wir hier von der genetischen Seite stoßen. Ihre Aufklärung bedeutet erst das restlose Erfassen des Erbgeschehens. Das ist die Wand, die es hier jetzt zu durchsteigen gilt!

Die Grundlage für die Vererbungsvorgänge sind Befruchtung und Fortpflanzungszellenbildung. Voraussetzung aber ist die geschlechtliche Differenzierung, die Sexualität der Organismen, die ihrerseits selbst wieder in ihrer Verteilung auf die nächste Generation durch den Vererbungsvorgang geregelt wird. Es ist ein Musterbeispiel für das Zusammenwirken biologischer Prozesse und ihre so komplizierten Kausalbeziehungen, die besonders durch die Vererbung von Generation zu Generation übergreifen. Der tiefe Einschnitt ist durch die Individuengrenze für alle individuellen Prozesse gegeben, durch die Vererbung wird er verwischt. Und wenn sich auch alle anderen biologischen Forschungszweige an das Einzelindividuum halten müssen, so soll man doch nie vergessen, daß alle diese Prozesse in ihm gesteuert werden durch das, was die Vorgänge im Elternorganismus als Ausgangssituation geschaffen haben.

Das Wesen der sexuellen Differenzierung, die Vorgänge der Geschlechtsvererbung gehören durch die Lebensarbeit von CORRENS, GOLDSCHMIDT

und HARTMANN zum best Durchgearbeiteten der ganzen Biologie. Die allgemeine Sexualitätstheorie besagt, daß in jeder Zelle, in jedem Organismus die Anlagen für die Ausbildung beider Geschlechter vorhanden sind. Welches Geschlecht äußerlich erscheint, darüber entscheiden entweder die äußeren Bedingungen, unter denen die Entwicklung des Individuums vor sich geht. Sie lassen die einen oder anderen Anlagen zur Entfaltung kommen. Oder es ist die relative Stärke dieser Anlagen, die beim Zusammenwirken die Oberhand des einen erreicht. Schließlich — und dies gilt für die übergroße Mehrzahl der Tiere und höheren Pflanzen und für den Menschen — ist ein besonderes Anlagenpaar herausgebildet, das Realisatorenpaar, das die letzte Kontrolle über die Geschlechtsdifferenzierung ausübt. Von diesem Anlagenpaar ist in einem Geschlecht, meist im weiblichen, zweimal die gleiche Anlage vorhanden, im anderen, meist im männlichen, ist einmal die männliche und einmal die weibliche enthalten. Die Fortpflanzungszellen des ersteren führen daher nur die Anlagen für Weibchenbestimmung, die Fortpflanzungszellen des anderen werden zur Hälfte männchen-, zur Hälfte weibchenbestimmend. Die freie Kombination muß so in der nächsten Generation wieder 50 % Weibchen und 50 % Männchen geben.

Um dieses Grundprinzip der Geschlechtsbestimmung rankt sich wieder die ganze Mannigfaltigkeit der Abwandlung, wie wir sie bei biologischen Prozessen immer wieder gewohnt sind. Sehr viele zunächst abweichende Einzelfälle konnten aufgeklärt und in die allgemeine Vorstellung eingefügt werden. Und doch bleibt uns das Wesen der geschlechtlichen Differenzierung, wie es uns in überraschender Gleichmäßigkeit als Grundlage für alle Befruchtungsvorgänge entgegentritt, ungeklärt. Die Entstehung dieser Differenzierung hat für die Gesamtentwicklung der Organismen eine ungeheuere Bedeutung gehabt, denn auf ihr fußt die geregelte Vererbung und damit die Kontinuität der Formbildung, aber auch alle Prozesse, die zur Neukombination und großen Mannigfaltigkeit führen. Daß dies aber wieder nicht restlos gilt, zeigen uns die Organismengruppen ohne geschlechtliche Fortpflanzung, die Blaualgen und Bakterien. Kontinuität der Eigenschaften und große Mannigfaltigkeit sind auch hier gegeben. Ihre Erhaltung durch den Befruchtungsprozeß mit der geregelten Chromosomenverteilung bedeutet also wohl das *best ausgebildete* Prinzip, aber doch auch nur *ein* Prinzip.

Die stürmische Entwicklung der Vererbungsforschung hat auch andere Gebiete mit emporgerrissen. Nachdem der Zusammenhang der Gerverteilung mit den Kernteilungsprozessen und der Chromosomenverteilung aufgeklärt war, setzte natürlich eine besonders eingehende Analyse des Feinbaues der Chromosomen ein. Die Kernteilungsprozesse in all ihrer Mannigfaltigkeit sind weitgehend analysiert und die gemeinsamen Grundprinzipien der Chromosomenentwicklungsgeschichte und der Verteilung der Chromosomen durch den Spindelapparat herausgeschält. Der Feinbau der Chromosomen ergibt immer neue Überraschungen. Dickere Partien wechseln an einem Faden aufgereiht mit dünneren Zwischenstücken. Der Faden dürfte in einer Schraube im normalen Chromosom eingerollt sein,

in bestimmten Stadien der Fortpflanzungszellenbildung ist er dagegen lange ausgestreckt, gerade in einem Stadium, wo die entscheidenden Austauschvorgänge sich abspielen dürften. Besonders günstige Verhältnisse wieder an *Drosophila* ermöglichten in der letzten Zeit, die dickeren Partien mit den Stellen zu identifizieren, wo die Gene im Chromosom gelagert sind. Man spürt, daß hier das Zusammenarbeiten von Chromosomenforschung und Genetik den großen Schlußfolgerungen nahe ist, die das Gebäude der Chromosomentheorie zum Abschluß bringen können. Aber auch hier rührt sich die experimentelle Forschung. Die Kernteilungsvorgänge werden analysiert, die Ursachen und der Verlauf der Spindelbildung, die Mechanik der Chromosomenteilung und Beförderung, die Vorgänge der Reifungsteilung mit all ihrer Abhängigkeit von äußeren Bedingungen, Genwirkungen und Eigenschaften der Zellbestandteile selbst beginnen wir in ihrer Kompliziertheit zu ahnen. Die Untersuchungen sind hier verknüpft mit Problemen, die die Wuchsstoffforschung für die Zellteilungs- und Wachstumsprozesse aufgerollt hat, wie ja überhaupt beim Studium aller Zellvorgänge sich die Ergebnisse von Genetik und Entwicklungsphysiologie, Entwicklungsgeschichte und Stoffwechselphysiologie in der ganzen Mannigfaltigkeit ihrer Problemstellungen aufs engste verbinden.

Schon bei der Betrachtung der Genwirkung trat uns das Determinationsproblem entgegen. Es ist in der Formulierung, wie die Gene beim Entwicklungsablauf nacheinander eingreifen, vom Standpunkt der Vererbungsforschung angefaßt. Aber auch schon lange bevor eine Verknüpfung mit der Vererbungsforschung sinnvoll erschien, wurden die Ursachen der Entwicklungsprozesse zu erfassen versucht, wurde eine Entwicklungsphysiologie aufgebaut. Bei Pflanzen und Tieren trennten sich die Wege stark, weil gerade hier im Zusammenhang mit der verschiedenen Organisation auch die Verschiedenheit der Entwicklungsvorgänge besonders deutlich ist. Gerade die Verknüpfung mit genetischen Gedankengängen zeigt hier einen Wandel, indem mit der allgemein ausgearbeiteten Vererbungsforschung auch die gleichartigen Grundfragen der pflanzlichen und tierischen Entwicklungsprozesse herausgearbeitet werden können. Doch werden hier wohl immer wesentliche Unterschiede bleiben. Das Hauptproblem, um das sich viele andere gruppieren, ist die Frage nach den Ursachen der Differenzierungsprozesse.

Bei den Pflanzen ist die Art der Entwicklung eine andere als bei den Tieren. Die Differenzierung geht bei ersteren nach außen. Äußere Oberflächen, andauerndes Weiterwachsen nach außen, fertige Differenzierung der älteren Teile, immer neues Ansetzen von jungen Zuwachsorganen stellen das Charakteristische dar, während die tierische Entwicklung von Anfang an auf Durchgliederung der inneren Oberfläche eingestellt ist. Es ist verständlich, daß bei den Pflanzen der Einwirkung äußerer Bedingungen ein besonderer Einfluß zukommt und so nehmen die Untersuchungen über die gestaltende Einwirkung dieser Bedingungen in der botanischen Entwicklungsphysiologie immer einen breiten Raum ein. Seit genetische Gesichtspunkte hier herangezogen sind, ist es gerade wieder die Abhängigkeit der Genwirkung von äußeren Bedingungen, die dabei im Vorder-

grund der Forschung steht. Versuche, hier tiefer einzudringen und die Genwirkung im Innern der Organismen, in den Zellen selbst, zu fassen, sind erst nur spärlich zu finden, und doch wird hier der Fortschritt zu suchen sein.

Eine Belebung erfährt die entwicklungsphysiologische Forschung bei Pflanzen vorerst von ganz anderer Seite. Schon SACHS prägte die Vorstellung der sogenannten organbildenden Stoffe, von Spezialstoffen, die in geringsten Mengen vorhanden, ihre besondere organbildende Wirkung ausüben. Die Beobachtungen HABERLANDT's führten erstmalig hier über die Hypothese hinaus. Er konnte die Wirkung von teilungsauslösenden Stoffen nachweisen, und damit war ein erster Ansatz vorhanden, der in neuester Zeit zu einem der erfreulichsten Kapitel der Botanik führte, zur Erforschung solcher Spezialstoffe, von denen vor allem die Wuchsstoffforschung ihre besondere Bedeutung gewonnen hat.

Jede Entwicklung pflanzlicher Objekte ist mit Wachstum verbunden. Durch die Arbeiten vor allem von WENT und seinen Schülern gelang es, einen Spezialstoff nachzuweisen, der in geringsten Mengen in den Vegetationspunkten vorhanden ist, von dort abwärts wandert und das Wachstum beeinflusst. Durch KÖGL wurde dieser Spezialstoff kristallisiert gewonnen und in bewundernswerter Weise chemisch aufgeklärt. Es ist das Streckungswachstum der pflanzlichen Zelle, dessen Spezialstoff hier gefaßt ist. Bei der grundlegenden Bedeutung gerade dieses Prozesses für alle Entwicklungsvorgänge ist diese Analyse, für sich allein betrachtet, schon ein besonderer Fortschritt. Darüber hinaus ist aber dadurch ein Weg gewiesen, dessen Bedeutung nicht hoch genug gewertet werden kann. Wie im einzelnen diese Wachstumsstoffe, *Auxin* und andere ähnliche, wirken, ist noch nicht geklärt. Sie beeinflussen das Streckungswachstum der Zellwand, doch bleibt es unentschieden, ob und wie es über das Zellplasma geht. Neben diesen Wuchsstoffen sind durch KÖGL andere Stoffe erfaßt, die die Zellteilung beeinflussen, WENT jr. versucht die wurzelbildenden Stoffe zu analysieren, FITTING hat sich in jahrelangen, mühevollen Arbeiten um die Stoffe bemüht, die das Strömen des Protoplasmas in der Zelle bedingen. Und wenn man sich an die Wirkstoffe erinnert, die von HÄMMERLING bei *Acetabularia* nachgewiesen sind, an die Spezialstoffe, die HARTMANN als Sexualstoffe bei verschiedenen niedrigen Algen fand, dann rundet sich das Bild und man sieht, daß die Kenntnis dieser Spezialstoffe es ist, die uns hier weiterführt. Und wenn erst die Brücke geschlagen ist zwischen diesen Spezialstoffen und jenen anderen, die wir längst durch die Vererbungsforschung in den Genen kennen, dann öffnet sich da plötzlich ein ganz weites Feld, wo uns wirklich ein neues Gebiet für die Erforschung zugänglich geworden ist.

Die Bedeutung der Wuchsstoffforschung liegt aber noch auf einem anderen Gebiete. Mit den Wachstumsprozessen verknüpft sind bei Pflanzen vielfach Bewegungserscheinungen, die für die Entfaltung der Organe, für die letzte Ausgestaltung der fertigen Pflanzen von größter Wichtigkeit sind. Die Einstellung der Organe zu Licht, Schwerkraft und anderen äußeren Bedingungen erfolgt durch diese Bewegungen. Es sind

Bewegungen, die auf äußere Einwirkungen, auf Reize, wie man sagt, erfolgen. Die Analyse dieser Bewegungen ist Inhalt der Reizphysiologie der Pflanzen. Ein solcher Reizvorgang ist die Lichtreizreaktion. Es ist allbekannt, daß ein Keimling sich durch Krümmung zum Lichte wendet. Das Licht wirkt als Reiz und die Folge ist eine Reizbewegung typischer Art. Die Reizbewegung beruht auf einseitigem Wachstum und damit ist die Verknüpfung mit der Wuchsstoffforschung hergestellt. Es konnte gezeigt werden, daß durch seitlich einfallendes Licht der Wuchsstoff nach der beschatteten Seite abgelenkt wird und dort erhöhtes Wachstum hervorruft. Das muß wieder zur Krümmung des Organes nach dem Licht zu führen. Der „Reizvorgang“ der Lichtkrümmung kann so auf die einseitige Wirkung der Spezialstoffe zurückgeführt werden, und damit finden die „Reizbewegungen“ der Pflanzen im Prinzip ihren Anschluß an die allgemeinen entwicklungsphysiologischen Probleme, die wieder ihrerseits in der Erfassung der Spezialstoffe ihre Aufklärung finden können. Es braucht kaum betont zu werden, was es bedeutet, wenn die so recht eigentlich biologischen Reizvorgänge in dieser Weise einer Aufklärung zugänglich gemacht werden. Noch ist ein weiter Weg. Außer den Wachstumskrümmungen sind ja noch andere komplizierteste „Reizerscheinungen“ vorhanden. Noch ist die Lichtwachstumskrümmung durch Ablenkung des Wuchsstoffes durchaus nicht restlos aufgeklärt. Aber daß es möglich geworden ist, die immer so rätselhaften Reizbewegungen hier anzuschließen, ist einer der wesentlichsten Schritte, den die Biologie überhaupt in letzter Zeit gewonnen hat.

Die entwicklungsphysiologischen Untersuchungen am Tierkörper sind andere Wege gegangen. Differenzierung bedeutet hier vor allem die Ausgliederung der inneren Oberfläche, und die Entwicklungsprozesse spielen sich im Gegensatz zum Pflanzenkörper im allgemeinen im Tierkörper so ab, daß gleichzeitig überall Ausbildung und Umbildung erfolgt, bis der ganze Organismus fertig durchdifferenziert ist.

Die Analyse dieser Vorgänge erfolgt hier — besonders an Amphibienkeimen, Seeigeln u. a. — durch Untersuchung der Entwicklungsfähigkeit einzelner Zellgruppen oder Gewebeteile, die frühzeitig am sich entwickelnden Keime voneinander getrennt oder in anderer Anordnung zueinander wieder zusammengesetzt werden. Dabei hat sich gezeigt, daß bei manchen Typen die einzelnen Keimbezirke schon sehr früh so festgelegt sind, daß sie sich, auch voneinander getrennt, jeder für sich unabhängig zu entsprechenden Teilstücken weiterentwickeln. In der Mehrzahl der Fälle sind aber recht komplexe Regulationen, gegenseitige Beeinflussungen der einzelnen Teile untereinander vorhanden, die soweit gehen können, daß manche Bezirke als Organisationszentren oder Organisatoren (SPEMANN) fungieren. Von ihnen gehen „Differenzierungsströme“ aus, die andere Gewebe ergreifen und deren Ausbildung in bestimmte Bahnen lenken. Stehen so bisher gerade diese Regulationsvorgänge im Tierkörper in gewissem Gegensatz zu den Beobachtungen bei Pflanzen mit ihrer starken Abhängigkeit von äußeren Bedingungen, so führen die neuesten Untersuchungen auf beiden Gebieten wieder zu einer starken Annäherung der Probleme. Bei

eingehenden Studien über das Wesen der Organisatorwirkung konnte von HOLTFRETER u. a. wahrscheinlich gemacht werden, daß auch von diesem Organisator gewisse Stoffe in die Nachbargewebe übertreten. Wenn auch die Isolierung und Identifizierung dieser Stoffe Schwierigkeiten bereitet, zeigen diese Befunde doch, daß auch hier, nachdem durch die eingehenden entwicklungsmechanischen Untersuchungen vor allem von SPEMANN so Vieles im Wesen des Differenzierungsvorganges bei den Tieren klargeworden ist, der weitere Fortschritt wohl auch wieder in der Erfassung dieser wirkenden Spezialstoffe gesucht werden muß. Besonders im Tierkörper sind die verschiedenen Hormone zur Ausbildung bestimmter Organe und zur Steuerung verschiedener Prozesse schon lange bekannt. Von den in größeren Mengen produzierten Hormonen bestimmter Drüsen des erwachsenen Organismus über die Spezialstoffe der Organisatorenwirkung bis zu den in der Zelle wirkenden Genen ist wohl eine gleitende Reihe jener Stoffe, die recht eigentlich die Entwicklung jedes Organismus beherrschen.

Wenn schon in so besonders biologischen Gebieten wie in den Fragen der Entwicklungsphysiologie oder sogar in reizphysiologischen Problemen die Erfolge der Chemie entscheidend in den Gang der Ereignisse eingreifen, so ist der Stoffwechsel der Organismen längst das Gebiet geworden, wo die Grenzen zwischen Biologie und Chemie gefallen sind. Die von den Biologen herausgearbeiteten Probleme werden von den Chemikern aufgegriffen und gelöst, und nicht selten sind es Biologen gewesen, die mit ihren Untersuchungen in die Aufhellung der Grundlagen chemischer Probleme eingegriffen haben.

Die meisten der wesentlichen Stoffwechselprobleme sind für die Einzelzelle ebenso gegeben wie für den vielzelligen Organismenverband, und so hat sich in besonderem Maße die stoffwechselphysiologische Zellforschung entwickelt, in der alle grundlegenden Probleme der Stoffaufnahme, Umformung und Abgabe, der Assimilation und Atmung, der Zusammenhänge zwischen Stoffwechselvorgang und energetischer Leistung der Zelle in allen ihren Äußerungen gegeben sind. Die Organdifferenzierung der höheren Pflanzen und Tiere bedeutet auch für den Stoffwechsel vielfach Spezialisierung auf Einzelleistungen, die da und dort stärker hervortreten. Manchmal sind solche Einzelleistungen besser zu fassen; es bedeutet dies aber auch stets eine Verarmung der Prozesse. Und wenn der Stoffwechselphysiologe heute besonders auf die Verknüpfung der grundlegenden Umsetzungen in der lebenden Zelle untereinander achtet, so bedeutet eine Spezialisierung zur Einzelleistung nur eine scheinbare Einfachheit. Es ist daher verständlich, wenn die Untersuchung der Leistungen der Einzelzelle immer mehr in den Vordergrund tritt und als Objekte solche Organismen wie einzellige Algen, Hefepilze, Bakterien und ähnliches herausgehoben werden.

Die Stoffaufnahme der Einzelzelle ist heute sehr weitgehend analysiert. Besonders die Pflanzenzelle ist, aufbauend auf den Studien über Osmose

von PFEFFER, in den Eigenschaften der Wanddurchlässigkeit und der Permeabilität des Protoplasten als Ursache der Stoffaufnahme eingehendst erforscht. Die zunächst so widersprechenden Vorstellungen der Ultrafilter-, Lipoid- und Oberflächenspannungshypothesen beginnen längst ihre Gegensätzlichkeit zu verlieren, und wir verstehen, daß der komplizierte Bau der Plasmaoberfläche manche Stoffe nach der Teilchengröße durch die Poren, andere nach ihren Löslichkeitsverhältnissen durchläßt, wobei die Oberflächenkräfte selbstverständlich ihre wesentliche Wirkung tun. Die Einzeluntersuchungen sind längst zu einer vergleichenden Protoplasmatik ausgebaut worden, die uns die ganze Kompliziertheit der Zusammensetzung des Protoplasten und seiner vielfältigen physikalisch-chemischen Eigenschaften ahnen läßt. Während die Probleme der Stoffaufnahme, ob in Ionenform oder als ganze Moleküle, im erbitterten Meinungsstreit langsam einer Lösung zustreben, hat LUNDEGÅRDH in neuester Zeit versucht, zu einer Vorstellung über die Energiequellen zu kommen, die die Ionenaufnahme ermöglichen. Die interessantesten Beziehungen zwischen Stoffaufnahme in die Zellen und den Atmungsvorgängen sind herausgestellt und der Versuch gemacht, auch von dieser Seite die meist getrennt behandelten Fragen der Stoffaufnahme mit den anderen Stoffwechselleistungen der Zelle zu verknüpfen.

Überhaupt finden gerade die Fragen der Energieverhältnisse, der Energieumsetzungen an biologischen Objekten wieder erhöhte Beachtung. Die zusammenfassende Darstellung einer Pflanzenthermodynamik von STERN zeigt, daß für diese Betrachtungen auch am Pflanzenkörper zwar vielfach vorerst nur Ansätze gegeben sind, sie rückt aber auch die große Bedeutung solcher Fragen in das rechte Licht.

Für die allgemeinen Fragen der Stoffaufnahme durch den Protoplasten sind die osmotischen Zustandsgrößen der Zellen wichtig, von denen wieder die Wasseraufnahme abhängig ist. Ihre Kenntnis ist gerade in den letzten Jahren besonders an Pflanzenzellen so weit gefördert, daß die allgemeine und vergleichende Osmotik der Zellen zu einem der besonders gut durchgearbeiteten Gebiete zu zählen ist. In Verbindung mit der Zellmembran stellen die osmotischen Zustände auch die Ursachen für die Festigkeit des Pflanzenkörpers dar.

Mit der Stoffaufnahme eng verknüpft sind die Fragen nach der Unentbehrlichkeit oder Entbehrlichkeit der verschiedensten Elemente. Längst haben feinste Untersuchungsmethoden erkennen lassen, daß es kaum ein Element gibt, das nicht in den verschiedensten Organismenköpern zu finden ist. Aber während man früher geneigt war, die große Mehrzahl dieser Elemente als rein zufällige Begleiter anzunehmen und nur ganz wenige als unentbehrlich für den Zellaufbau anzuerkennen, setzt sich immer mehr die Ansicht durch, daß manche von den selten oder nur in geringer Menge in den Organismen gefundenen Elementen oft doch eine unentbehrliche Rolle spielen, auch wenn man im einzelnen noch nicht weiß, in welchen Vorgang sie eingreifen. Eine vergleichende Untersuchung zeigt auch, daß sich hierin die einzelnen Organismen durchaus nicht so gleichmäßig verhalten, wie man dies lange Zeit annehmen wollte.

Noch schwieriger als bei der Untersuchung der Stoffaufnahme ist es, den eigentlichen Stoffumsetzungen, den Aufbau- und Abbauvorgängen beizukommen. Aus den zahlreichen nebeneinander herlaufenden Prozessen können zunächst für die Analyse einzelne herausgeschält werden. Der zugänglichste dieser Teilprozesse ist der Kohlehydratstoffwechsel, weil er mit den relativ einfachsten organischen Stoffen zu tun hat, und bei ihm waren bisher wohl auch die wesentlichsten Fortschritte zu erzielen. Beim Pflanzenkörper spielt der Kohlehydrataufbau ja eine besondere Rolle, weil die Umformung der Kohlensäure der Luft in Kohlehydrate gleichzeitig der Grundprozeß überhaupt ist, der auf der Erde zum Aufbau organischer Substanz führt. Von verschiedenen Seiten ist ein Angriff auf diesen Grundvorgang der  $\text{CO}_2$ -Assimilation unternommen worden. Auf die berühmten Untersuchungen WILLSTÄTTERS über den Aufbau des Chlorophylls folgten die Arbeiten von STOLL, HANS FISCHER u. a., die heute weitgehendst den Feinbau dieses so wichtigen Farbstoffes aufgeklärt haben, wenn auch der letzte Abschluß in Form einer Synthese noch aussteht. Dem Vorgang der  $\text{CO}_2$ -Assimilation selbst ist vor allem WARBURG zu Leibe gerückt, und ihm ist es zu verdanken, daß wir die energetische Seite dieses Vorganges, den photochemischen Prozeß in quantenmechanischer Betrachtung durchschauen können. Trotz dieser großen Fortschritte ist aber der Vorgang selbst noch nicht restlos erfaßt, und mehrere wohlbegründete Hypothesen streiten um die richtige Auffassung des Verlaufes und der Zwischenstufen der Kohlehydratbildung, die schließlich zur Stärke führt. Günstiger liegen in dieser Hinsicht die Fortschritte in der Kenntnis der Abbauprozesse dieser Verbindungen. Eine ganze Reihe von im Experiment erfaßten Zwischenstufen sind hier festgestellt, die von Stärke oder Glykogen zu den einfachsten Stoffen wie Azetaldehyd und  $\text{CO}_2$  durchlaufen werden. Die einzelnen Schritte sind an verschiedene Fermente gebunden, die reihenweise hintereinander eingreifen; die Kenntnis dieser Fermente bedeutet auch hier erst die restlose Aufklärung. Und es läßt sich wohl vermuten, daß im Aufbauwege der Kohlehydrate ähnliche Durchgangsstufen unter Fermenteinwirkung gebildet werden.

Unter den Abbauvorgängen nehmen die Atmungsprozesse als fundamentalste Lebensvorgänge zur Energiegewinnung einen besonderen Platz ein. Daß es sich dabei im wesentlichen um Abbauvorgänge an Kohlehydraten handelt, die unter Sauerstoffzufuhr letzten Endes zu  $\text{CO}_2$  verbrannt werden, ist eine lange gesicherte Tatsache. Aber darum geht es heute gerade besonders, welchen Weg dieser Vorgang nimmt. Und wenn die Arbeiten WIELANDS über die Dehydrierungsvorgänge bei der Atmung und die Umwandlung des freigewordenen Wasserstoffes durch den Sauerstoff als Akzeptor in Peroxyd zunächst in scharfem Gegensatz zu den Untersuchungen WARBURGS stehen, der die fermentative Oxydationswirkung des Sauerstoffes unter Schwermetallkatalyse vor allem untersuchte und die dabei wirksamen eisenhaltigen Fermente in zäher Arbeit isolierte, so scheinen doch auch hier die zuerst schroffen Gegensätze einer gegenseitigen Ergänzung zuzustreben, und es bleibt der Wunsch, daß wie so oft gerade aus den im schärfsten Kampfe zweier Arbeitsrichtungen

erreichten Höchstleistungen die restlose Aufklärung des Vorganges geboren wird.

Die Analyse des Kohlehydratstoffwechsels hat für andere Gebiete noch ihre besondere Bedeutung. Das für den Körper der höheren Tiere so wesentliche Problem der Energieumsätze und damit der Ursachen der Muskelbewegung fand gerade durch die Untersuchungen MEYERHOFs über die Umsätze von Glykogen in Milchsäure und den reversiblen Prozeß seine wichtigste stoffwechselphysiologische Verankerung. Durch die intensive Arbeit der letzten Jahre wird es wahrscheinlich, daß noch andere Prozesse in komplizierter Koppelung mitspielen bei der Erscheinung der Muskelkontraktion, der Ermüdung und Erholung und vor allem des Umsatzes von chemischer Energie in die Arbeitsleistung im Muskel. Die Untersuchungen des Kohlehydratstoffwechsels der embryonalen Krebszellen durch WARBURG haben den ersten Schritt ermöglicht zu einem Verständnis der rätselhaften Vorgänge, die auf einmal jahrzehntelang im teilungsunfähigen Zustand verharrende Zellen zu wilden, überstürzten Teilungen in den Geweben führen, die jenes fürchterliche Krankheitsbild der bösartigen Geschwülste ergeben. Möge eine eingehende Kenntnis dieser abnormen Stoffwechselprozesse endlich einen Ansatz dafür bieten, wie dieser Krankheit einmal Einhalt geboten werden könnte.

Mit noch größeren Schwierigkeiten, als die Untersuchungen des Kohlehydratumbaues bieten, sind die Versuche verbunden, in die anderen Stoffwechselprozesse einzudringen, in die Aufbau- und Abbauvorgänge des Fett- und Eiweißstoffwechsels mit allen ihren zahlreichen Nebenwegen und Endprodukten. Bei den Kohlehydraten sind vielfach nur die Wege unklar, aber die Substanzen selbst in ihrer Konstitution erfaßt. Beim Eiweißaufbau ist die Unkenntnis der Wege noch verknüpft mit den Grenzen der analytischen Forschung überhaupt, den Grenzen, die ungeheuere Kompliziertheit und Mannigfaltigkeit auch hier wieder setzen. Und wenn man alle diese verschlungenen Wege überblicken will, die hier im Zellgetriebe durcheinanderlaufen, dann sind es vielleicht zwei wesentliche Gesichtspunkte, die sich klar herausheben. Schon die Kohlehydratumsetzungen erscheinen uns gebunden an alle möglichen katalysierenden Spezialstoffe, die Fermente, die einzelne Umsetzungen in der Zelle mit ganz anderen Mitteln unter den Temperaturverhältnissen und den anderen Bedingungen erreichen, die in der Zelle herrschen, und die sich weit unterscheiden von den Methoden, die der Chemiker sonst bei seinen Synthesen oder Analysen anzuwenden versucht. Die Kenntnis dieser Spezialstoffe und ihrer Wirkung, die Beherrschung der Enzyme, Vitamine und Hormone bedeutet den wirklichen Fortschritt der Stoffwechselphysiologie, und mit neidloser Bewunderung vermerkt der Biologe, wie die führenden Köpfe der Chemie Schritt für Schritt in zähestem Ringen sich diese Beherrschung erkämpfen.

Und wenn das Herauslösen einzelner Umsatzgruppen wie des Kohlehydratstoffwechsels für die Analyse zunächst unbedingt notwendig erscheint, so wird auf der anderen Seite immer deutlicher, wie alle diese Auf- und Abbauprozesse in jeder Zelle und in jedem Organismus nicht

unabhängig nebeneinanderlaufen, sondern in vielfacher Verbindung und Rückkoppelung eines das andere beeinflusst. Die Aufnahme von Kalium und Stickstoff in antagonistischer Wirkung zu anderer Stoffaufnahme beeinflusst die Transpiration, den Chlorophyllgehalt und damit die Assimilation und den Kohlehydrataufbau. Die davon abhängigen Atmungsvorgänge beeinflussen die Salzaufnahme. An die Durchgangsprodukte des Kohlehydratstoffwechsels im Abbau setzen die Aufbauvorgänge für den Eiweißstoffwechsel an, die ihrerseits wieder für Dissimilationsprozesse wesentlich sind und nicht zum wenigsten beim Aufbau der enzymatischen Spezialstoffe wieder ihre entscheidende Wirkung für alles Stoffwechselgetriebe haben. Wir wollen die Beispiele dieser vielfachen gegenseitigen Querverbindungen nicht vermehren. Aber wenn schon die Aufklärung der verschlungenen Wege im Auf- und Abbau der Einzelprozesse zu den kompliziertesten Einzelstoffen die größten Schwierigkeiten bietet, so beginnen die kaum faßbaren Komplikationen vielleicht erst dort, wo es in das Labyrinth der verschlungenen Wege der gegenseitigen Abhängigkeit der Stoffwechselprozesse einzudringen gilt, Schwierigkeiten, die vorerst oft nur durch größere Gedankensprünge überbrückt werden.

Der vielzellige Körper ist nicht nur durch Spezialisierung für bestimmte Hauptaufgaben im Stoffwechsel charakterisiert. Es bedarf auch der Leitungen durch den Körper und bestimmter Leitungssysteme. Der Transport von Wasser und Nährsalzen, die Weiterbeförderung der Assimilate im Pflanzenkörper, die Versorgung des Tierkörpers mit verschiedenen Aufbaustoffen, mit Spezialstoffen, Hormonen, Vitaminen und anderem und nicht zuletzt der Blutkreislauf haben ihre besonderen Probleme. Es bedeutet einen wichtigen Fortschritt für ein pflanzenphysiologisches Kapitel, wenn in der Analyse der Dynamik der pflanzlichen Transpiration und der davon abhängigen Wasserversorgung wohl die grundlegendsten Fragen gelöst sind und wir für die so schwierigen Probleme des Assimilantentransportes wenigstens eine fördernde Arbeitshypothese besitzen. Und es bedeutet sicher ein Meisterstück stoffwechselphysiologischen Forschens, wenn die genaue Kenntnis der Vorgänge im Blutkreislauf mit der Analyse und *Synthese* des Blutfarbstoffes durch HANS FISCHER gekrönt wurde.

Eine letzte, besonders wichtige Frage muß hier noch berührt werden, bei deren Beantwortung wohl die stoffwechselphysiologische Analyse ein erstes Wort zu sprechen haben wird, bei der Aufklärung des Erregungsvorganges in den Nerven bei den Reizvorgängen der Tiere. Ein schier unerschöpfliches Tatsachenmaterial ist beim Studium der Sinnesorgane der Tiere in ihrer unglaublichen Mannigfaltigkeit und feinsinnigen Konstruktion zusammengetragen worden. Aber kaum in einem Fall ist der Vorgang eines solchen sinnesphysiologischen Reizvorganges, wie er sich im Organismus abspielt, restlos aufgeheilt. Es bedeutet wohl einen ganz wesentlichen Versuch hier einzudringen, wenn DOWNING, HILL, GERARD und MEYERHOF versuchen, die Wärmetönung als Nachweis des Stoffwechsels bei den Nervenregungsvorgängen zu messen und aus den geringen Mengen des Sauerstoffverbrauches einen Schluß auf eine Kohlehydratverbrennung zu ziehen. Es ist der erste Schritt, diese so rätselhaften

Vorgänge der Sinnesphysiologie am Tiere unserem Verständnis näher zu bringen.

Diese Feststellung soll keinerlei Verkleinerung der gewaltigen Arbeit bedeuten, welche die Sinnesphysiologie in unzähligen Experimenten und Beobachtungen an Tieren geleistet hat. Sie bedeuten aber fast ausnahmslos nur die eingehendsten Studien über das Verhalten der Tiere unter verschiedenen bestimmten Bedingungen, die Veränderungen der Sinnesorgane und die interessantesten Reaktionen. Es konnten wichtigste Gesetzmäßigkeiten über die Art des Reagierens festgestellt werden, und doch bleibt uns das Wesen der tierischen Reizvorgänge durch alle diese Untersuchungen unaufgeklärt, solange nicht die Vorgänge selbst, die sich in den Nervenapparaten abspielen, erfaßt sind. Die Art des Verhaltens und die Gesetzmäßigkeiten des Reagierens sind die Voraussetzungen für die Aufklärung der Reizvorgänge. Die zweite Stufe ist die Analyse des Vorganges selbst. Ob sich davon dann eine Brücke schlagen läßt zu den Bewußtseins- und Denkvorgängen? Wer sollte jetzt darüber eine Antwort geben, wenn heute die erste Stufe noch nicht überschritten ist!

Das Studium des Verhaltens der Organismen unter verschiedenen Bedingungen spielt auch in der Botanik eine sehr große Rolle. Es ist zweifellos richtig, daß die Abwandlung eines Vorganges unter allen möglichen äußeren Bedingungen am Standort und im Laboratorium klargelegt werden muß und daraus dann vielfach Ansätze zu gewinnen sind für eine Erforschung des wesentlichen Verlaufs des Vorganges selbst. So finden wir zahlreiche Untersuchungen über den Assimilationsvorgang unter verschiedenen Außenbedingungen von Sonnen- und Schattenpflanzen, über Atmungsprozesse, über den Transpirationsverlauf und die Nährsalzaufnahme auf trockenen Wüstenstandorten und in feuchten Regenwäldern und so vieles andere. Die Probleme werden mitbestimmt durch pflanzengeographische Fragestellungen, und ein sehr großes Tatsachenmaterial ist hier erarbeitet worden. In dieser Arbeitsrichtung liegt aber eine Gefahr. Die Analyse des grundlegenden Stoffwechselforganges führt oft zu Situationen, wo das Weiterkommen nur schwer Schritt für Schritt erkämpft werden muß. Je größer die Schwierigkeiten werden, desto mehr werden Seitenwege eingeschlagen, die in der Untersuchung des Verhaltens im Hinblick auf den zuerst studierten Vorgang unter allen möglichen Bedingungen enden. Es führt dies häufig zu einem Abgleiten von der eigentlichen Aufgabe der Analyse des Grundvorganges. Und wenn dann der ganze breite Strom der immer emsig tätigen Mitarbeiter sich in dieses Seitenbett ergießt, dann werden zwar zahlreiche Kenntnisse der mannigfaltigen Abwandlungen der äußeren Erscheinung dieses Vorganges erreicht, eine tiefergehende Analyse des Vorganges aber nur vorgetäuscht. Die Kenntnis des eigentlichen Prozesses wird damit nicht gefördert. Gar manche Untersuchung in dieser Richtung wird stoffwechselphysiologisch genannt, während sie eine solche über das Verhalten der Pflanze in einem bestimmten Einzelfall ist.

---

Alle die Gebiete, die uns bisher entgegentraten, sind in besonderem Maße durch die Methode des experimentellen Forschens gekennzeichnet. Daneben haben aber andere, die weniger experimentell durchdrungen sind, immer ihre besondere Bedeutung gewahrt. So wird vergleichende Morphologie und Entwicklungsgeschichte noch lange Zeit ein Gebiet bleiben, wo ein ergiebiges Feld für ordentliche Arbeit vorhanden ist. Man darf nicht glauben, daß hier schon alle Arbeit geleistet ist. Es fehlt in vielen Organismengruppen auch heute noch an genauen entwicklungsgeschichtlichen Analysen, und von Zeit zu Zeit bringen glückliche Umstände ein Material zusammen, das dann wieder eine Lücke schließen läßt. Und doch liegen die Dinge etwas anders als in den bisher betrachteten Gebieten. So sehr es noch an Einzelarbeiten fehlt, so sind doch die prinzipiellen Fragen beantwortet.

In einer ähnlichen Situation befindet sich auch die Systematik. Die ordnende Bestandesaufnahme der heute lebenden Organismen ist eine Aufgabe von ganz großer Bedeutung für alle Zweige der Biologie. Je gründlicher sie erfolgt, mit desto größerem Erfolge werden die Arbeiten der Genetiker, Biogeographen und Deszendenztheoretiker vorwärts kommen — von all den Fragen der angewandten Biologie ganz zu schweigen. Es ist verständlich, daß in den alten Kulturgebieten Europas die restlose Erfassung der heimischen Fauna und Flora weitgehend erreicht ist, während andere Gebiete der Erde noch sehr viel Arbeit erfordern werden. Wie gründlich aber doch schon die Erforschung der Erde erfolgt ist, erhellt daraus, daß nur mehr sehr selten ein Organismus entdeckt wird, der in prinzipieller Weise von den vorhandenen abweicht. Meist sind es immer neue, unerschöpflich abgewandelte Variationen um Themata, die uns lange geläufig sind. Selbst die noch am wenigsten durchforschten Gebiete wie der zentralasiatischen Gebirge, der Quellgebiete des Amazonas oder des Innern von Neuguinea haben bisher nur wenig prinzipiell Neues geboten.

Es ist darum auch der Ausbau der biologischen Systeme seit längerer Zeit in den Grundzügen festgelegt. Manche strittige Stelle kann einmal durch einen glücklichen Fund geklärt werden, manche andere, um die gerade der Streit der Meinungen am heftigsten tobt, wird wohl immer strittig bleiben, weil die entscheidenden Zeugen aus der Vergangenheit nicht mehr vorhanden sind. Die lebende Formenwelt ist eben nur der sehr begrenzte dürftige Rest des einst Vorhandenen. Vielleicht etwas anders ist hier die Lage der Paläontologie. Jeder Tag kann hier dem Systematiker ein neues Material in die Hände geben, das wesentliche Aufklärung bringt.

Je mehr die ordnende Bestandesaufnahme fortschreitet, um so stärker treten andere Aufgaben in den Vordergrund. Und gerade in den Ländern Europas, wo die Erfassung der heimischen Organismenwelt dem Ende entgegengeht, treten die Bestrebungen besonders deutlich hervor, die Systematik durch neue Problemstellungen, durch Verknüpfungen mit anderen Gebieten wieder im besten Sinne aktuell zu gestalten. Je reichhaltiger das Material vorliegt, um so dringender sind monographische Bearbeitungen der Arten einzelner Gruppen nach ihren gegenseitigen

Beziehungen und ihrer geographischen Verbreitung. Solche Bearbeitungen können nicht genug durchgeführt werden, denn sie liefern wieder die Grundlage für jene Entwicklungsrichtungen der systematischen Forschung, in welche die fortgeschrittene Systematik früher oder später in immer zunehmendem Maße ausläuft, in biogeographische Probleme und in die Fragen nach der Artentstehung. In dieser Problematik findet die moderne Systematik ihre Berührung mit Stoffwechselfysiologie, Zytologie und Genetik, und damit erfährt auch sie den Einbruch experimenteller Methoden.

Schon seit DARWIN'S Zeiten ist die Aufklärung der Ursachen für die charakteristische Verteilung der Organismen auf der Erde eines der anregendsten Probleme. Zunächst gilt es, die genaue Zusammensetzung der Besiedlung an einem Standort zu ermitteln. Mit umfangreichen Kartierungsmethoden, mit statistischen Meßmethoden werden die charakteristischen Vertreter, wie sie auf den einzelnen Standorten in bestimmter Kombination erscheinen, die Haupttypen, die dem Standort das Gepräge geben und die mehr oder weniger zufälligen Begleiter ermittelt. Die Erhaltung einer solchen Pflanzen- und Tiergesellschaft wird bedingt vor allem durch die klimatischen Verhältnisse am Standorte, die stoffwechselphysiologischen Bedingungen und die Beeinflussung der einzelnen Glieder der Gesellschaft aufeinander, Ursachen, die nur durch oft schwieriges experimentelles Arbeiten im Laboratorium und am Standort selbst analysiert werden können. Oft ist in solchen Gesellschaften ein Gleichgewichtszustand eingetreten, der die Gesellschaft selbst zu einem relativen Dauerbestand werden läßt. In vielen anderen Fällen sind es Durchgangsgesellschaften, die in bestimmter Aufeinanderfolge sich ablösen.

Wenn so auch Einblicke zu gewinnen sind in alle die Faktoren, die einen gegebenen Standort in seiner Organismenzusammensetzung garantieren, so sind es wieder ganz andere Ursachen, die bewirkt haben, daß in einer bestimmten Gegend sich überhaupt bestimmte Pflanzen- und Tierformen zusammenfinden konnten. Es sind alle die geologischen Veränderungen, die eine Gegend betroffen haben. Die Flora und Fauna unserer Heimat ist ein gutes Beispiel für das Ineinandergreifen aller dieser Bedingungen. Am Ende der Tertiärzeit war ein relativ warmes, teilweise subtropisches Klima in unseren Breiten vorhanden. Der Pflanzenwuchs und Tierbestand war aus Formen zusammengesetzt, die durchaus diesem Klima entsprachen. Die rhythmisch zunehmende Vereisung und so starke Verschlechterung des Klimas verminderte von Stufe zu Stufe der einzelnen Eiszeitstöße den Bestand an wärmeliebenden Elementen, und nur ein geringer Rest von sog. Relikten ist aus damaliger Zeit in den Alpen und anderswo in Mitteleuropa übrig geblieben. Während der Eiszeiten erfolgte eine Vermischung früher polarer Formen mit alpinen. Nach dem Rückgang des Eises begannen Einwanderungen verschiedener Typen aus den Zufluchtsstätten im Osten und Westen. Die Wiedererwärmung des Klimas seit der Eiszeit hatte wieder die Ausmerzungen der polaren und alpinen Organismen im heute gemäßigten, mitteleuropäischen Tiefland zur Folge, und nur wenige Relikte blieben hier aus dieser Eiszeitbesiedlung übrig.

So ist der Bestand an Organismen eines Gebietes der Erfolg von all den verschiedensten klimatischen Bedingungen, die das Gebiet im Laufe der Zeit getroffen haben. Sie bedingen Verarmung und Wiederbesiedelung, Vermischung und Isolierung, und mit diesem dadurch kombinierten Organismenmateriale formen die gegenwärtig wirkenden Standortsverhältnisse und die Einwirkung der Organismen aufeinander die Tier- und Pflanzengesellschaften, wie sie uns heute entgegentreten. Es erscheint darum verständlich, wenn lange isolierte Inseln oder Hochgebirge ihre besondere Flora oder Fauna besitzen; es wundert uns nicht, wenn Mitteleuropa nach den verheerenden Wirkungen der Eiszeit eine so sehr verarmte Flora zeigt und andererseits Gebiete wie die zentralchinesischen Gebirge oder die südafrikanischen Steppengebiete einen ungeheueren Reichtum an Formen aufweisen, weil sie seit längster Zeit eine ungestörte Entwicklung in ihrer Organismenwelt durchlaufen konnten.

Damit sind wir wieder zu Gedankengängen gekommen, die schon in den ersten Sätzen uns beschäftigt haben. Der Entwicklungsgedanke DARWINs findet ja gerade in der tausendfältigen Erfahrung an der Verbreitung von Tier- und Pflanzenformen seine besondere Stütze. Alle diese Erscheinungen sind verständlicher, wenn wir eine stammesgeschichtliche Entwicklung der Organismenwelt annehmen dürfen, wenn wir eine Artumbildung voraussetzen können. Und es ist eine der allergrößten Aufgaben, die sich die moderne Biologie stellen kann, die Aufklärung der Vorgänge der Artumwandlung zu erreichen, der Vorgänge, welche diese Voraussetzung bilden. In diese Probleme münden die Bestrebungen der Systematiker und Zytologen, der ökologisch eingestellten Stoffwechselphysiologen und Biogeographen, der Genetiker und Entwicklungsphysiologen. Sie alle suchen heute auf experimentellen Wegen die Grundlagen zu gewinnen, die die umspannende Deszendenztheorie DARWINs sichern können. Die Artentstehung in ihrer ganzen Vielfältigkeit gilt es zu erfassen.

Der Artbegriff selbst ist gerade in neuester Zeit wieder Gegenstand vielfacher, oft heftig geführter Diskussionen geworden. Das Ordnungsbedürfnis der Systematiker verlangt einen strengen Artbegriff, der als Einteilungsgrundlage gelten könnte. Für den deszendenztheoretisch eingestellten Biologen ist gerade das Veränderliche der Arten dasjenige, was er sucht, und was ihm den Schlüssel zum Verständnis der organischen Welt in ihrer ganzen Mannigfaltigkeit bieten kann. So begreiflich der Wunsch der ordnenden Systematik ist, auf den sicheren Grundlagen eines Artbegriffes von strenger Definition die Systeme aufzubauen, so sehr müssen alle Versuche zu einer solchen zu gelangen, scheitern. Das heutige Artenbild geht hervor aus dem Zusammenwirken zweier ganz verschiedener Prinzipien. Das eine, das genetische, wirkt kombinierend und verbindend, das andere, die Wirkung aller äußeren Lebensbedingungen, arbeitet an der Isolierung.

Die Grundeinheit, auf die jede Artbetrachtung zunächst zurückzugehen hat, sind die einzelnen Anlagen, die Gene, aus denen die erbliche Konstitution der Organismen aufgebaut ist. Der Mechanismus der

Genkombination auf Grund der Chromosomenverteilung sorgt für immer neue Kombinationen in uferloser Mannigfaltigkeit. Es könnten so lückenlose Reihen von Formen entstehen in allen möglichen Übergängen. Dieses in der Vererbung enthaltene Kombinationsprinzip müßte zu einer Formenwelt führen, wo nach allen Kombinationen alle Eigenschaften in buntester Verbindung auftreten. Aus dieser durch die Genkombination entstandenen Formenmannigfaltigkeit isolieren andere Faktoren einzelne Kombinationen heraus. Sie isolieren stärker oder schwächer, nach bestimmten Richtungen oder wahllos, und dadurch kommt erst das typische Artbild zustande. Die Faktoren der Isolierung sind gerade jene äußeren Faktoren, die wir eben als diejenigen kennen gelernt haben, die das Zusammenkommen verschiedener Arten an einem Standort begünstigen oder verhindern. Bestimmte Kombinationen werden gefördert und isoliert, andere werden vernichtet, wieder andere geographisch abgedrängt. Je ungestörter sich ein Gebiet entwickelt hat, desto mehr werden alle die Genkombinationen erhalten bleiben; die Mannigfaltigkeit wird groß, der Artbegriff verwischt und die Systematik schwieriger. Sind große Eingriffe in dem Gebiet vor sich gegangen, werden die Typen stark isoliert; die Mannigfaltigkeit ist geringer, die systematische Behandlung wird günstiger. Sind die genetischen Kombinationen für bestimmte Gegenden verschieden günstig, werden in der scharfen Konkurrenz einzelne isoliert, sind sie alle mehr gleichgültige Variationen um ein Thema, dann werden viele erhalten bleiben. Der Artbegriff wird auch dadurch klarer oder verwirrter. So darf es uns nicht wunderlich erscheinen, daß je nach der Gegend, je nach den Standortverhältnissen und den historischen Veränderungen, je nach der Eigenschaftsbildung und den Kombinationsmöglichkeiten der Artbegriff selbst solchen Schwankungen unterworfen ist, daß alle Versuche zu einer einheitlichen Definition zu kommen, scheitern müssen. Die zu immer neuen Formen führenden Vorgänge der Vererbung und die daraus isolierenden Bedingungen der Umwelt sind die Gegenspieler, aus deren Wettbewerb das fertige Artenbild mit seiner Mannigfaltigkeit und seinen charakteristischen Eigenschaften hervorgeht. Doch sei nicht verschwiegen, daß in den Vorgängen der Vererbung selbst auch wohl einige sind, welche für Isolierung sorgen. Es sind Vorgänge bekannt, welche die Grundlagen der Chromosomenkombination nach Kreuzung stören und dadurch der freien Genkombination zwischen den einzelnen Organismengruppen auch von dieser Seite eine Grenze setzen. Vielleicht sind es bestimmte Eigenschaften der Chromosomen, vielleicht auch bestimmte Einwirkungen des Protoplasmas. Es sind Vorgänge, die für alle Artbildungsfragen die größte Bedeutung haben können, deren Untersuchung uns aber auch wieder hier die vorderste Linie biologischen Forschens zeigt.

Mit dieser Erörterung des Artbegriffes sind aber einige wichtige Gedankengänge klar geworden, die für das Problem der Artumwandlung selbst, für die Entstehung neuer Arten, wesentlich sind. Alle die äußeren Bedingungen sorgen für die Erhaltung oder Vernichtung und für die Verteilung der einzelnen Organismen aus der großen Mannigfaltigkeit, die durch die Vererbungsvorgänge entsteht. Es ist die natürliche Zuchtwahl

im Kampf ums Dasein, wie sie DARWIN in seine Gedankengänge eingesetzt hat. Sie wählt unter dem vorhandenen Material von Organismen verschiedenster Variabilität. Diese nahm DARWIN zunächst als gegeben hin, und erst auf Grund der Vererbungsforschung ist die Variabilität als Grundlage aller Artbildungsprozesse einer genauen Analyse zugänglich geworden.

Die entwicklungsphysiologischen Betrachtungen haben uns gezeigt, daß jeder Organismus während seiner Entwicklung dauernd von äußeren Bedingungen beeinflusst und seine Eigenschaftsbildung innerhalb bestimmter Grenzen von Individuum zu Individuum modifiziert wird. Die Grenzen werden durch den vererbten Anlageninhalt bestimmt und die Schwankungen innerhalb dieser Grenzen durch äußere Bedingungen sind nicht erblich. Die Vorgänge, die zu dauernden Änderungen der Organismen führen, können daher nur Änderungen der Erbanlagen selbst sein. Sie schaffen Änderungen der Grenzen, innerhalb deren dann ebenfalls wieder die nicht erblichen Modifikationen erscheinen. Die Antwort, wie erbliche Änderungen des Anlageninhaltes entstehen, kann daher nur von der experimentellen Vererbungsforschung gegeben werden.

Die in den Chromosomen gelagerten Gene werden durch den bekannten Verteilungsmechanismus in allen möglichen Kombinationen vereinigt. Dadurch entsteht ausgehend von zwei Formen, die in einer größeren Anzahl von Genen unterschieden sind, eine ganz große Zahl von neuen Kombinationen, die z. B. bereits bei 10 Genunterschieden die Zahl von 59049 verschiedenen Kombinationen erreicht. Nachdem 10 Genunterschiede noch sehr wenig sind — jeder Mensch unterscheidet sich von seinem Nachbarn in einer viel größeren Zahl — ist leicht ersichtlich, wie groß die Mannigfaltigkeit dadurch allein schon werden kann.

Doch ist damit immer nur Kombination von schon vorhandenen Genen gegeben. Wie entstehen dann aber neue abgeänderte Gene selbst? Abänderungen der Gene bezeichnen wir als *Mutationen*. Man kennt sie schon lange, wie sie aus zunächst unbekanntem Ursachen an den Wildformen oder in den Zuchten unserer Experimente in größerer oder geringerer Häufigkeit auftreten. Ihre Ursachen aufzuklären ist eine Aufgabe, die gerade jetzt von verschiedenen Seiten mit besonderem Erfolge bearbeitet wird. Als Ursachen von Genveränderungen kommen verschiedene Einwirkungen von außen in Betracht, vor allem Bestrahlungen mit kurzwelligem Strahlen, Ultraviolett, radioaktiven Strahlen und besonders Röntgenstrahlen. Auch andere Einflüsse, verschiedene Chemikalien, Narkotika, Temperatursprünge, Alternlassen sind als mutationauslösend gefunden worden. Die Erfolge sind hier so groß, daß man heute mit dieser Methodik willkürlich für verschiedenste Zwecke Mutationen auslösen kann, wenn solche für Vererbungsversuche benötigt werden.

Meist sind es gegensätzliche Abänderungen, die so von einem Gen zum anderen führen. Manchmal auch können Gene in ganzen Reihen von einem zum nächsten, übernächsten und so fort als Reihenmutationen verändert werden. Die Mutationen entstehen richtungslos. Auf eine

Bestrahlung hin erfolgen Abänderungen der Anlagen für Blütengestalt, Wachstum oder Färbung, für Flügelhaltung, Augenbildung oder Behaarung usw., doch werden bei Reihenmutationen die Gene so abgeändert, daß auch die gleiche Eigenschaft am Organismus stufenweise verändert erscheint. Es handelt sich immer um erbliche Abänderungen vorhandener Gene, deren Ursachen heute schon genauer bekannt sind. Das Auftreten, die Bildung neuer Gene, ist ein Problem, das grundlegendste Bedeutung für alle Fragen der Artentstehung hat, zu dem wir aber heute noch keinerlei Beiträge liefern können.

Die Genmutationen schaffen die Grundlagen, von denen aus immer wieder von neuem die Kombinationen gebildet werden und wodurch die Mannigfaltigkeit der Varianten immer neu gesteigert wird. Ein anderer Vorgang kommt noch hinzu, der bei den Pflanzen offenbar besonders bedeutungsvoll geworden ist. Wenn die Gene die letzte Entscheidung für die Eigenschaftsbildung haben, wird jede Veränderung, die den Gesamtgenbestand trifft, auch neue Eigenschaften erreichen. Es sind eine ganze Reihe von Vorgängen bekanntgeworden, die ganze Chromosomensätze vermehren oder überhaupt den Chromosomenbestand verändern. Organismen mit verdoppelten oder vervielfachten Chromosomenbeständen zeigen besonders Vergrößerung aller Organe und andere wichtige Unterschiede. In vielen Pflanzengruppen finden sich Arten, die sich in Chromosomenzahlen verdoppelt, vervierfacht und vervielfacht gegenüber einer anderen Art mit einer Grundzahl zeigen. Besonders bei der Entstehung der Kulturpflanzen großen Stils, bei Getreide, Zuckerrohr, Baumwolle, Obstsorten usw. hat wohl eine solche Chromosomenvermehrung eine große Rolle gespielt.

Durch Kombination der Gene, durch Chromosomenkombination und Vervielfachung, vor allem aber durch die Mutationen und die darauf aufbauenden immer neuen Kombinationen entsteht eine erbliche Variabilität größten Stiles. Was zu untersuchen bleibt, ist die Frage, ob diese Variabilität ausreicht, um als Grundlage für alle Artbildung zu dienen, als Grundlage für alle die auswählenden (selektionierenden) Wirkungen, die Zuchtwahl und Daseinskampf erreichen sollen, um *das* Artbild entstehen zu lassen, wie wir es heute sehen. Dieses Artenbild ist durch ein paar besondere Züge charakterisiert. Die Mannigfaltigkeit der Arten ist einmal keine ungeordnete, sie tritt uns in Reihenbildungen entgegen, Reihen von einfacherer zu komplizierterer Gestaltung, von differenzierter zu reduzierter Formbildung. Und das, was vielleicht schon den unvoreingenommensten Beschauer immer am meisten an den Organismen fesselt, ist die zweckentsprechendste Organisation, die zweckmäßige Ausbildung einzelner Eigenschaften und komplizierter Organe bis zur äußerst raffinierten Durchbildung. Eine Erklärung für die Entstehung dieser ganzen Formenwelt muß gerade diese charakteristischen Züge erfassen können.

Die eben behandelte, durch das Vererbungsexperiment erfaßte Variabilität ist eine richtungslose, zunächst ungeordnete. Durch richtungslose

Mutationen und zufallsmäßige Kombinationen entsteht das Material, aus dem die äußeren Bedingungen in ihrer ganzen Vielgestaltigkeit die Typen isolieren und dadurch erst tritt die Ordnung, die Reihenbildung und das Herausholen der zweckmäßigen Organisationen ein. Der grundlegende Gedankenbau DARWINs bewährt sich bis zum heutigen Tage, nur daß durch die Vererbungsforschung die primäre Variabilität analysiert wurde und dieses zunächst in der Theorie als gegeben hingenommene Element auch in seinem Wesen und in seinen Ursachen aufgeklärt werden konnte.

Freilich kann nicht geleugnet werden, daß trotz der Fortschritte, die gerade hier die experimentelle Forschung gemacht hat, noch vieles für ein restloses Verständnis schwierig ist und es noch sehr viel experimenteller Arbeit bedarf, bis sich aus dem gerade hier heftig tobenden Kampf der Ansichten eine einheitliche Auffassung durchsetzen wird. Der wesentlichste Streitpunkt besteht in folgendem. Wir kennen viele Eigenschaften, die durch ein einzelnes Gen bestimmt werden, die monogen bedingten Eigenschaften. Wird hier das Gen abgeändert, so ist damit auch die ganze Eigenschaft neu bestimmt, und diese wird nach ihrem Selektionswert von den äußeren Bedingungen erfaßt. Treten hier Reihenmutationen auf, kann direkt auch eine Reihenbildung in der betreffenden Eigenschaft erscheinen. Anders liegen die Verhältnisse bei jenen Organen, wo eine große Zahl von Genen zusammenwirken muß, bis eine bestimmte Ausbildung zustande kommt, bei den polygen bedingten Organen. Einen bestimmten Selektionswert hat hier nur das ganze, komplexe Organ. Die Mutation in einem Gen zerstört oft das Zusammenwirken, und es bedarf wieder einer größeren Zahl verschiedener richtungsloser Mutationen, bis zufällig wieder eine neue selektionsfähige Kombination erscheint. Nachdem es Massenmutationen nicht gibt, die in einem Schritt das ganze polygen bedingte Organ ändern würden, müssen zwischen der ersten und zweiten Selektionsstufe Zwischenstadien eingeschaltet sein, die von selektionierenden Außenbedingungen nicht erfaßt werden. Die beste Hypothese ist wohl derzeit die, daß es neben selektionsfähigen nützlichen und schädlichen Eigenschaften tatsächlich eine Menge — vielleicht ist es sogar die große Mehrzahl — gibt, die indifferent weder nützen noch schaden. Es sind vielleicht die Zwischenstufen, die wir brauchen, um auch das Zustandekommen der polygen bedingten zweckmäßigen Organe zu erklären. Es bleibt den vielfach möglichen Experimenten überlassen, hier die richtige Antwort zu erteilen.

DARWIN hat recht behalten! Dort, wo sein Gedankenbau am kühnsten schien, hat die moderne Experimentalforschung den tragfähigen Unterbau liefern können. Es war die Meisterleistung des ganz großen Genies, das vor Jahrzehnten der Biologie den Weg gewiesen, auf der sie heute noch mit immer neuem Erfolge vorwärts geht. Und sind die Grenzen dieses Weges schon zu sehen? Oft standen und stehen an dem Wege Kleinmütige, die warnend vor dem falschen Wege und vor dem baldigen Ende dieses Weges ihre Stimme erheben zu müssen glauben. Wohl standen Hindernisse in dem Wege, oft unwegsame Berge, und doch haben die

alten, streng bewährten Methoden der naturwissenschaftlichen Forschung immer wieder den Weg über diese scheinbar so unübersteigbaren Berge gefunden. Der frische Wind, der von physikalischen und chemischen Bereichen immer wieder zu uns herüberweht, läßt auch unsere Segel mächtig schwellen zu kühnen Fahrten in unbekannte Fernen. Nur eines darf man nie vergessen. Die Kompliziertheit der Stoffe, mit denen heute der Chemiker im langsamen Fortschritt ringt, sie steigert sich am biologischen Objekt ins Unübersehbare. Die Vorgänge im Organismus bedeuten komplizierteste Kombinationen des Kompliziertesten, was der Chemiker kennt. Vielleicht ist es die unerfaßbare Kompliziertheit, die das für uns Unerfaßliche des Lebens bedeutet. Wen diese Kompliziertheit schreckt, der möge vorzeitig resignieren. Bis zur endgültigen Schranke dieser Kompliziertheit ist aber ein Bereich von solcher Weite und wohl wert, daß man seiner Erschließung sein Leben widmet!

**B. Berichte über die wissenschaftlichen Arbeiten  
der Kaiser Wilhelm-Institute.**

# I. Physikalisch-Chemisch-Technische Institute.

## 1. Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, verbunden mit der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen.

### Vorbemerkung.

Als im Jahre 1907 die Motor-Luftschiff-Studiengesellschaft nach den Plänen von Professor PRANDTL in Göttingen die ersten Einrichtungen zur wissenschaftlichen Förderung der Luftfahrt schuf, aus denen später das Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung hervorging, erhielt die Neugründung den Namen „Modellversuchsanstalt“. Durch diese Bezeichnung ist zum Ausdruck gebracht, daß das Schwergewicht der in Frage kommenden Forschung auf dem Versuch liegen soll. Man könnte sich die Tätigkeit in einem solchen Institut etwa so vorstellen, daß eine Versuchsanlage errichtet ist, mit der nach einem bestimmten Schema Messungen ausgeführt werden. Eine solche Tätigkeit kommt wohl bei verhältnismäßig ausgebauten Wissensgebieten vor, um in zeitraubender Kleinarbeit noch erforderliche Versuchswerte zu gewinnen. Bei einem noch stark in der Entwicklung begriffenen Wissensgebiet, wie es die Strömungsforschung ist, würde eine solche einseitige Versuchstätigkeit nicht erfolgreich sein. Es kommen dazu noch „Nebenarbeiten“, die vielfach einen wesentlich größeren Teil der Gesamtarbeit ausmachen, als sich ein Außenstehender im allgemeinen vorstellt.

Eine solche sehr umfangreiche „Nebenarbeit“ ist die Entwicklung und Bereitstellung des für die Versuche nötigen Gerätes. Die Aufgaben, welche von den praktischen Bedürfnissen her an eine Versuchsanstalt herantreten, wechseln mit der Zeit sehr stark. Es sind daher immer wieder neue Meßmethoden anzuwenden und neues Gerät zu entwickeln, um diesen Aufgaben gerecht zu werden.

Außerdem muß neben der Versuchstätigkeit eine starke theoretische Behandlung der auftretenden Probleme einhergehen. Diese ist einerseits nötig, um als Leitfaden der Versuche zu dienen, d. h. um zu erkennen, welche Versuche am nötigsten und erfolgversprechendsten sind, um eine bestimmte Frage zu lösen. Ohne eine solche Leitung durch die Theorie würde die Versuchsarbeit, die zur Lösung eines Problems nötig ist, leicht ins Ungemessene steigen. Weiterhin ist die Theorie auch nötig, um die Versuchsergebnisse so zu ordnen, daß sie mit hohem Wirkungsgrad verwertet werden können. In Verbindung mit den theoretischen Überlegungen lassen sich aus den Versuchen vielfach sehr viel weitergehende Schlüsse ziehen, als es bei dem Versuchsergebnis an sich, das meist nur für eine spezielle engumgrenzte Frage gilt, möglich wäre.

Die Entwicklung der wissenschaftlichen Forschung eines Instituts spiegelt sich in erster Linie in der Versuchstechnik und dem Ausbau der theoretischen Erkenntnis wieder, weniger in den einzelnen Versuchsarbeiten mit ihren Teilergebnissen. Wenn im folgenden ein Überblick über die wissenschaftliche Entwicklung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung gegeben werden soll, so muß daher besonders auch auf diese „Nebenarbeiten“ eingegangen werden. Eingehendere Mitteilungen enthalten die Veröffentlichungen des Instituts, insbesondere die bisher erschienenen vier Lieferungen der „Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen“ (1).

### Entwicklung der Versuchstechnik.

Das erste, was man zur Erforschung der Strömung braucht, sind Einrichtungen zur Herstellung von Strömungen. So bildete auch den Ausgangspunkt des jetzigen Instituts ein *Windkanal*, der 1907/08 erbaut wurde. Es war ein im Viereck herumgeführter Kanal von nahezu  $2 \times 2 \text{ m}^2$  Querschnitt, in dem ein elektrisch angetriebenes Gebläse eine Strömung von etwa 10 m/s erzeugen konnte. Zur Vermeidung von Störungen waren an den Ecken des Kanals besondere Umlenkschaufeln angebracht. Ferner waren zur Verbesserung der Strömung Gleichrichter und Siebe eingebaut. Erstere haben die Aufgabe, die Strömung parallel zu richten, letztere, Geschwindigkeitsunterschiede der Stromfäden auszugleichen. Von den Kennzeichen dieses ersten Kanals wurden die Luftführung in einem geschlossenen Kreislauf, die Umlenkecken und der Gleichrichter auch späterhin beibehalten. Dagegen wurden bei dem 1915 — 1917 erbauten größeren Kanal zwei Maßnahmen übernommen, welche von EIFFEL in Paris stammen: Die Düse und der Freistrahler.

Die *Düse* ist eine Verengung des Kanals kurz vor der Meßstrecke. Hinter ihr erweitert sich dann der Kanal allmählich wieder. Dadurch erreicht man zwei wesentliche Vorteile. Einmal herrscht die hohe für die Versuche benötigte Geschwindigkeit nur in der Meßstrecke, in den übrigen Teilen des Kanals sind die Geschwindigkeiten wesentlich kleiner und damit werden auch die Energieverluste erheblich vermindert. Dann wird aber durch die Verwendung der Düse auch die Verteilung der Geschwindigkeit im Meßquerschnitt wesentlich gleichmäßiger. Sie wird zum größten Teil in der Düse durch den Druckunterschied zwischen der Düsenvorkammer und der Meßstrecke erzeugt. Da nun die Drücke nahezu konstant über den Querschnitt sind, so werden es auch die durch sie erzeugten Geschwindigkeiten.

An der Versuchsstrecke ist der Luftstrom nicht durch Wände eingeschlossen, er tritt als *freier Strahl* aus der Düse aus und wird hinter der Meßstrecke durch einen Auffangtrichter wieder in die geschlossene Kanalleitung eingeführt. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß man bequem an die im Strahl befindlichen Modelle herankam. Sie hat weiterhin den Vorteil, daß die Geschwindigkeit in Richtung der Strömung besser konstant ist als bei begrenzenden Wänden. Der freie Strahl hat aber den Nachteil,

daß durch die starke Durchmischung mit der Außenluft verhältnismäßig viel Energie verbraucht wird. Außerdem ist das Problem, wie man den Strahl wieder auffängt, noch nicht restlos befriedigend gelöst. Ein nicht richtig bemessener Auffangtrichter kann leicht einerseits ein störendes Druckfeld in der Versuchsstrecke erzeugen, andererseits zu Luftschwingungen im ganzen Kanal Anlaß geben. Der im Kriege erbaute zweite Göttinger Windkanal hat einen Strahlquerschnitt von  $4 \text{ m}^2$  und ergibt bei einer Antriebsleistung von 300 PS eine Geschwindigkeit von über 50 m/s. Er hat sich recht gut bewährt und ist für viele spätere Kanäle das Vorbild gewesen.

Ein in den Jahren 1926/27 erbauter weiterer Windkanal mit auswechselbaren Düsen von 1 m und 1,5 m Durchmesser besitzt noch eine besondere bemerkenswerte Einrichtung. Bei ihm besteht die Möglichkeit, den ganzen Windkanal luftdicht abzuschließen und auf etwa  $\frac{1}{4}$  Atmosphäre zu evakuieren, so daß die Versuche in verdünnter Luft stattfinden können<sup>1</sup>. Dies ist für manche Zwecke erwünscht und bietet außerdem die Möglichkeit, die Geschwindigkeit bei gleichbleibender Motorleistung (200 PS) noch weiter zu erhöhen (auf etwa 120 m/s). Diese hohen Windgeschwindigkeiten sind für manche Propellerversuche nötig, da die Spitzengeschwindigkeit der Propellerflügel vielfach in der Nähe der Schallgeschwindigkeit (340 m/s) liegt und hierbei besondere Erscheinungen auftreten, die nur durch Herstellung der wahren Flug- und Umfangsgeschwindigkeiten erforscht werden können.

Für die Erzeugung von Wasserströmungen sind von PRANDTL bereits vor dem ersten Windkanal Einrichtungen geschaffen worden. Mit der Gründung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung im Jahre 1925 wurden solche Anlagen in größerem Maßstabe und mit verbesserten Einrichtungen in Betrieb genommen. Sie gestatten, nicht nur das Wasser in Bewegung zu setzen, sondern auch Körper in ruhendem Wasser zu bewegen.

Für Sonderzwecke, z. B. zur Erzeugung sehr hoher Geschwindigkeiten, sind zwei Kessel von je  $10 \text{ m}^3$  Inhalt vorhanden. Diese können sowohl mit einer Vakuumpumpe luftleer gemacht als auch mittels eines Kompressors mit Druckluft gefüllt werden. Man kann Luft in die evakuierten Kessel einströmen, oder nach Aufpumpen der Kessel Druckluft ausfließen lassen. Während der kurzen Zeit dieses Vorganges können Versuche in der Strömung gemacht werden, die eine Leistung von rund 2000 PS und mehr erfordern würden, wenn die Strömung dauernd aufrechterhalten werden sollte. Diese hohen Geschwindigkeiten sind wichtig, da in der Nähe der Schallgeschwindigkeit und darüber wesentlich andere Strömungsgesetze bestehen als bei niedrigen Geschwindigkeiten. Man kann auch Wasser ausfließen lassen und ihm mittels Druckluft eine besonders große Geschwindigkeit erteilen. Schließlich können in einer an diese Kessel angeschlossenen Umlaufleitung Wasserströmungen unter vermindertem

<sup>1</sup> Auf die Vorteile einer solchen Anordnung hat zuerst Herr MARGOULIS hingewiesen [Nouvelle méthode d'essai de modèles en souffleries aérodynamiques. C. r. Acad. Sci. Paris 171, 997 (1920)].

Druck hergestellt werden. Dabei lassen sich insbesondere die Erscheinungen der sog. Kavitation studieren, bei denen sich an Stellen niedrigen Druckes Luft oder Wasserdampf ausscheidet und die Strömung stört.

Um die Strömung sichtbar zu machen, streut man bei Wasser nach einem Verfahren von AHLBORN ein Pulver (heute meist Aluminium) auf die Oberfläche, das die Bewegung des Wassers mitmacht und bei guter Beleuchtung die Herstellung von Kinoaufnahmen gestattet. Luftströmungen kann man durch Einleiten von Rauch sichtbar machen, doch läßt die Schärfe der Rauchfäden und die Lichtstärke sehr viel zu wünschen übrig. Im allgemeinen tragen diese optischen Untersuchungen einer Strömung mehr qualitativen Charakter. Doch kann man bei genügender Sorgfalt auch recht gute quantitative Ergebnisse erzielen, wie eine kürzlich von SCHWABE veröffentlichte Arbeit zeigt (2).

Für quantitative Messungen dienen besondere Meßgeräte: Zur Messung von Druck und Geschwindigkeit gebraucht man einerseits Sonden (Staugeräte), welche an die zu beobachtende Stelle der Strömung gebracht werden und andererseits Ablesegeräte für den von den Sonden aufgenommenen Druck (Mikromanometer). Auf beiden Gebieten wurden in Göttingen Geräte entwickelt und vervollkommenet.

Das wichtigste Meßgerät der Windkanäle sind die Waagen zur Ermittlung der Kräfte und Momente auf Körper im Luftstrom. Bereits bei dem ersten Göttinger Windkanal waren die Modelle an Drähten aufgehängt und durch diese mit drei Waagen verbunden, welche Auftrieb (Kraft senkrecht zur Windrichtung), Widerstand (Kraft in Windrichtung) und den Angriffspunkt der Kraft lieferten (3-Komponentenwaage). Das Prinzip dieser ersten Waage ist im wesentlichen auch heute noch im Gebrauch. Insbesondere hat sich die Aufhängung des Modelles in drei Punkten an dünnen Drähten als die am wenigsten störende bewährt. Die erwähnten drei Kraftkomponenten genügten, solange nur Körper mit einer Symmetrieebene in der Strömungsrichtung untersucht wurden. Später trat aber die allgemeinere Aufgabe heran, die Kräfte auch in unsymmetrischen Fällen, z. B. bei schräger Anströmung des Flugzeuges oder bei ausgeschlagenen Seiten- oder Querrudern zu bestimmen. Dabei treten noch eine Kraft senkrecht zur Symmetrieebene und Momente um die Längs- und Hochachse hinzu. Die zur Messung dieser Kräfte erforderliche 6-Komponentenwaage wurde aus der 3-Komponentenwaage durch Hinzufügen von zusätzlichen Einrichtungen entwickelt. Waagen dieser Bauart sind mehrfach an ausländische Institute geliefert worden. Für Sonderzwecke dienen noch andere Waagen, die teils behelfsmäßig bei Bedarf an die Hauptwaage angebaut werden, teils abgeschlossene Konstruktionen darstellen (z. B. Waage zur Untersuchung von Propellern).

Der Bau der Versuchskörper, der Modelle, welche im Windkanal untersucht werden, erfordert besondere Erfahrung. Einmal müssen die Modelle hinreichend genau und glatt sein, andererseits aber auch so fest, daß sie den erheblichen Beanspruchungen durch die Luftkräfte gewachsen sind. Insbesondere machen die langen dünnen Flügel der Flugzeugmodelle

Schwierigkeiten. Sie werden so hergestellt, daß ein Kern aus Eisenblech als festes Traggerüst dient, der dann mit Gips überzogen wird und damit seine genaue Form erhält.

Besondere Schwierigkeiten entstanden, als die Aufgabe herantrat, Flugzeuge mit laufenden Propellern zu untersuchen, was sehr dringend war, da der Propellerstrahl die Wirkung des Seiten- und Höhenleitwerkes wesentlich beeinflußt. Der Propeller erfordert auch im Modell sehr erhebliche Leistungen und die üblichen Kraftmaschinen waren bei den entsprechenden Leistungen viel zu groß, um in den Modellen untergebracht werden zu können. Es mußten erst besonders kleine schnelllaufende Elektromotore von hoher Leistung entwickelt werden, um an diese Aufgabe mit Erfolg herangehen zu können. Diese Motoren sind im vergangenen Jahrzehnt in mühsamer Versuchs- und Konstruktionsarbeit immer weiter vervollkommen worden. Es gibt jetzt eine Reihe von Typen verschiedener Größe. Ein Motor von 52 mm Durchmesser leistet z. B. bei 30000 Umdrehungen pro Minute etwa 5 PS, ein anderer von 90 mm Durchmesser etwa 30 PS. Die größeren Typen werden meist mit Wasserkühlung verwandt.

Es läßt sich naturgemäß im Rahmen dieser kurzen Darstellung längst kein erschöpfendes Bild von den umfangreichen Arbeiten geben, welche der Entwicklung und Weiterbildung der Meßgeräte und Meßverfahren gewidmet werden müssen. Die gegebene Auswahl dürfte aber immerhin eine Vorstellung von der Wichtigkeit, der Schwierigkeit und dem Umfang dieser Arbeiten geben.

#### Entwicklung einzelner Forschungsgebiete.

Als Endziel der Forschungstätigkeit muß man erstreben, die physikalischen Grundlagen der einzelnen Vorgänge so weit aufzuklären, daß sie sich theoretisch erfassen lassen. Damit allein ist aber der Praxis vielfach noch nicht gedient. Häufig ist wohl ein Vorgang theoretisch aufgeklärt, die Anwendung der Theorie erfordert aber so erhebliche Rechenarbeit, daß es einfacher ist, das, was man im einzelnen Falle wissen will, durch den Versuch zu ermitteln. Die theoretische Behandlung eines Problems darf daher nicht mit der theoretischen Erfassung der Vorgänge abschließen, sie muß vielmehr auch die Theorie so umformen und vereinfachen, daß diese mit verhältnismäßig geringem Aufwand an Kenntnissen und Arbeit verwendet werden kann. Als charakteristisches Beispiel für eine solch weitgehende Aufklärung der Vorgänge kann etwa die Tragflügeltheorie dienen, von der weiter unten noch die Rede sein wird.

Leider läßt sich bei den meisten Problemen dieses Ziel nicht annähernd so gut erreichen. Man muß es aber wenigstens anstreben, selbst wenn die Aussicht auf Erfolg oft recht gering ist. Vielfach sind auch schon Teilerkenntnisse von erheblichem praktischen Nutzen. Es gibt da alle Zwischenstufen zwischen rein empirischer Forschung und theoretisch ausgebauten Ergebnissen.

Zu den ersten Arbeiten der damaligen Modellversuchsanstalt gehörte das Studium über die Strömungsvorgänge an Luftschiffen. Gleich diese erste Arbeit, welche von G. FUHRMANN (3) in den Jahren 1909/10 durchgeführt wurde, ist ein mustergültiges Beispiel für die zweckmäßige Verbindung von experimenteller und theoretischer Forschung. Sie brachte auch eine theoretisch verhältnismäßig weitgehende Aufklärung der Vorgänge. Es zeigte sich, daß die Strömung und damit die Druckverteilung um Luftschiffkörper verhältnismäßig gut durch theoretische Ansätze dargestellt werden kann. Über den Widerstand lassen sich auf Grund dieser theoretischen Behandlung allerdings keine Aussagen machen. Da bald darauf die dringenderen Aufgaben der Flugzeugforschung die Probleme der Luftschiffe in den Hintergrund drängten, so wurde die Forschung auf diesem Gebiet zunächst nicht mehr intensiv weitergetrieben. Sie wurden späterhin an anderer Stelle, insbesondere durch eigene Versuchsarbeiten des Luftschiffbau-Zeppelin, sowie durch theoretische Arbeiten von v. KÁRMÁN (4) und KLEMPERER (5) und erst wieder im Anschluß daran durch eine theoretische Arbeit von LOTZ (6) auch in unserem Institut weitergefördert. Diese späteren Arbeiten befassen sich hauptsächlich mit dem Verhalten bei Schräganströmung und im Kurvenflug.

Eines der wichtigsten und auch am erfolgreichsten behandelten Gebiete ist das der Tragflügel. Die ersten Versuche von O. FÖPPL (7) zeigten, daß die Eigenschaften eines Flügels außer von der Profilform sehr stark von dem Seitenverhältnis (Flügeltiefe zu Spannweite) abhängen. Die dadurch angeregten theoretischen Überlegungen über die Vorgänge an den Flügelenden führten nach anfänglichen Fehlschlägen sehr bald zu wichtigen und auch durch einfache Formeln darstellbaren Ergebnissen. Es gelang, das Wesentliche der Vorgänge bei einem Flügel mit endlicher Spannweite rechnerisch zu erfassen. Durch den Ausgleich der Druckunterschiede zwischen Druck- und Saugseite an den Flügelenden entsteht eine zusätzliche Strömung, welche im wesentlichen durch zwei von den Flügelenden sich nach hinten erstreckende Wirbel gekennzeichnet ist. Diese zusätzliche Strömung ist in der Gegend des Flügels nach unten gerichtet und bewirkt einerseits eine Verminderung des Auftriebes und andererseits einen zusätzlichen Widerstand, für den sich dann der Ausdruck „induzierter Widerstand“ einbürgerte. Es gelang durch die Theorie, diese Wirkungen, die Auftriebsverminderung und den induzierten Widerstand rechnerisch mit sehr hoher Genauigkeit zu bestimmen. Da der induzierte Widerstand eines Flügels meist von derselben Größenordnung ist wie die sonstigen Widerstände, so war damit eine wesentliche Erleichterung zur Abschätzung des Gesamtwiderstandes eines Flugzeuges gegeben. Man brauchte nicht mehr, wie in der ersten Zeit, Serien von Flügeln mit verschiedenem Seitenverhältnis zu untersuchen, sondern konnte den Einfluß einer Änderung des Seitenverhältnisses ohne weiteres berechnen. Vom allgemeinen Standpunkt ist die theoretische Erfassung des „induzierten Widerstandes“ besonders deshalb wichtig, weil es das erstmal war, daß man über den Widerstand auf Grund theoretischer Überlegungen eine quantitative Aussage machen konnte. Dieser Stand der Forschung wurde

etwa in den ersten Kriegsjahren erreicht. An den Arbeiten sind hauptsächlich die Herren PRANDTL, BETZ und MUNK beteiligt. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Theorie sind in zwei Mitteilungen von PRANDTL dargestellt (8).

Das Hauptinteresse bei dieser Forschung lag in der Richtung des „induzierten Widerstandes“. Es entsprach dies dem damaligen starken praktischen Interesse nach den Flugleistungen (Steiggeschwindigkeit, Gipfelhöhe) der Flugzeuge. Späterhin traten diese Fragen in der Praxis mehr zurück gegenüber den Fragen nach den Flugeigenschaften (Steuerfähigkeit) und der Festigkeit der Flugzeuge. Hierfür war von theoretischer Seite wichtig die Verteilung des Auftriebes über die Flügelspannweite. Die Grundlagen der Behandlung dieses Problems waren zwar bereits durch die ersten Ansätze der Tragflügeltheorie ausreichend gegeben. Man konnte insbesondere zu einer beabsichtigten Auftriebsverteilung eine zugehörige Flügelform berechnen, welche die gewünschte Auftriebsverteilung gibt. Für das umgekehrte Problem, zu einem gegebenen Flügel die Auftriebsverteilung zu berechnen, war zwar der mathematische Ansatz vorhanden, aber die mathematischen Schwierigkeiten der Weiterbehandlung dieses Ansatzes erwiesen sich als außerordentlich groß. Zum ersten Male wurde dieses Problem 1919 von BETZ (9) für einen einfachen rechteckigen Flügel gelöst, allerdings unter Aufwendung so erheblicher Rechenarbeit, daß das angewandte Verfahren für regelmäßige praktische Verwendung kaum in Frage kam. Nach langjährigen Bemühungen von verschiedenen Seiten, diese mathematischen Schwierigkeiten zu überwinden, wurde 1927 durch J. LOTZ (10) eine Umformung gefunden, welche bei hinreichender Genauigkeit die Rechenarbeit auf ein erträgliches Maß herabsetzte.

Die Tragflügeltheorie ist nicht auf einen einzelnen Flügel beschränkt, sie gestattet auch z. B. die Behandlung von Mehrdeckern, von Flügeln in Bodennähe und von Propellern. Auf Propellerprobleme wurden insbesondere 1919 durch BETZ (11) die für den Tragflügel wichtigen Überlegungen über den kleinsten induzierten Widerstand übertragen und führten zu einer Theorie der Propeller mit geringstem Energieverlust.

Diese heute bereits zu hoher Vollkommenheit entwickelte und praktisch viel benutzte Tragflügeltheorie bezieht sich nur auf die mit dem Auftrieb zusammenhängenden Vorgänge. Über den Widerstand (abgesehen vom induzierten Widerstand) macht sie keine Aussagen und setzt auch voraus, daß dieser Widerstand klein gegenüber dem Auftrieb ist. Auch über den Höchstauftrieb eines Flügels, der mit den gleichen Vorgängen zusammenhängt, welche den Widerstand bedingen, sagt die Theorie nichts aus. Diese Vorgänge hängen von der Form des Profiles ab und sind vorläufig noch der experimentellen Forschung vorbehalten. Die Behandlung eines Flügels zerfällt demnach in zwei Teile: das eine sind die Profileigenschaften, welche experimentell bestimmt werden, das andere sind die Eigenschaften, welche von der Verteilung dieser Profile über die Flügelspannweite abhängen und der theoretischen Behandlung im weitgehenden Maße zugänglich sind. Von wichtigen Problemen der Tragflügeltheorie, welche noch nicht gelöst sind, sind besonders jene zu erwähnen, bei denen der Flügel teilweise den

Höchstauftrieb überschritten hat. Solche Zustände führen zum Beispiel unter anderem zu dem gefährlichen Vorgang des Trudeln. Die Tragflügeltheorie läßt sich bisher nur auf Vorgänge im normalen Auftriebsbereich, d. h. vor Erreichung des Höchstauftriebes anwenden. Es ist aber zu hoffen, daß in absehbarer Zeit auch diese wichtigen heute noch wenig geklärten Aufgaben der theoretischen Behandlung zugänglich werden.

Wesentlich schwieriger als das Auftriebsproblem der Tragflügel sind die Vorgänge, welche den *Widerstand* der Körper verursachen. Durch die im Jahre 1904 von PRANDTL (12) vorgetragene Theorie der Reibungsschichten ist zwar die Entstehung des Widerstandes qualitativ physikalisch geklärt. Der quantitativen Behandlung stellten sich aber ganz außerordentliche Schwierigkeiten in den Weg. Nach dieser Theorie bildet sich in unmittelbarer Nachbarschaft der Körperoberfläche eine dünne Schicht aus, welche durch die Reibung an der Oberfläche eine erhebliche Verminderung ihrer kinetischen Energie erfahren hat. Diese Teile mit geringerer Energie geben dann zur Bildung von Wirbeln hinter dem Körper Anlaß, welche die gesamte Strömung wesentlich umformen. Der Widerstand kommt nun teils dadurch zustande, daß durch die Reibung der dem Körper benachbarten Schicht längs der Körperoberfläche Schubkräfte entstehen, die in der Bewegungsrichtung liegen (Reibungswiderstand), teils dadurch, daß die von den entstandenen Wirbeln gestörte Außenströmung eine Verteilung der Normaldrücke über den Körper ergibt, welche ebenfalls eine Resultierende in der Bewegungsrichtung haben, also einen Widerstand (Druckwiderstand) darstellen. Je nach der Form des Körpers überwiegt der eine oder der andere Anteil. Bei einem von Flüssigkeit durchströmten geraden Rohr oder bei einer in der Stromrichtung liegenden dünnen ebenen Platte haben wir ausschließlich Reibungswiderstand, bei einer quergestellten Platte ausschließlich Druckwiderstand. Je nachdem sich eine Form dem einen oder dem anderen dieser extremen Fälle nähert, überwiegt der Reibungs- oder der Druckwiderstand. Bezüglich des Druckwiderstandes kann die Theorie heute im wesentlichen nur als Hilfsmittel zur Aufklärung mancher Erscheinungen herangezogen werden. Quantitative Werte sind hier aber fast ausschließlich nur durch den Versuch erhalten worden.

Erfolgreicher war die Forschung über die Vorgänge in den Reibungsschichten selbst und im Zusammenhang damit über die Oberflächenreibung. Insbesondere gelang es aus den verhältnismäßig leicht experimentell zu gewinnenden Versuchsergebnissen über den Reibungswiderstand in Rohren Aussagen über die Reibung an Platten zu machen. Durch diese weitgehende Aufklärung der Reibungsgesetze besteht Aussicht, den Widerstand einer großen Gruppe von Körpern der theoretischen Behandlung zugänglich zu machen, nämlich aller „Körper kleinen Widerstandes“, bei denen der Reibungswiderstand gegenüber dem Druckwiderstand überwiegt. Die Theorie des Widerstandes dieser Körper ist zwar noch nicht in dem Maße wie die Tragflügeltheorie ausgebaut und verwendbar. Es ist aber wenigstens der Weg zu weiterer Aufklärung vorgezeichnet.

Die Erkenntnisse über die Vorgänge in Reibungsschichten werden sich wahrscheinlich auch für die Behandlung des Druckwiderstandes nützlich auswirken, da auch dieser wesentlich von den Reibungsschichten und deren späterem Verhalten ausgeht. Es handelt sich dabei vor allem festzustellen, an welcher Stelle des Körpers die Reibungsschicht die Körperoberfläche verläßt (Ablösungspunkt). Ein erfolgreicher Vorstoß in dieser Richtung ist z. B. durch die Arbeit von GRUSCHWITZ (13) gemacht worden.

Wenn von zwei Körpern, z. B. einem Flügel und einem Rumpf, die aerodynamischen Eigenschaften bekannt sind, so kann man noch nicht ohne weiteres eine Aussage machen, wie sich diese Körper nach dem Zusammenbau, also z. B. ein Flügel mit Rumpf, verhält. Es treten dabei gegenseitige Beeinflussungen auf. Auf diesem Gebiet ist man von seiten der Theorie über grobe Abschätzungen kaum hinausgekommen. In sehr vielen Fällen sind nicht einmal diese möglich. Man ist in dieser Richtung noch fast ausschließlich auf den Versuch angewiesen. Die laufende Arbeit der Windkanäle für die Praxis gilt neben Fragen des Widerstandes und Höchstauftriebes zum weitaus größten Teile diesem Gebiet. Es gehören dazu vor allem auch die Wirkungen der verschiedenen Ruder und Flossen. Auch zwischen dem Propeller und dem übrigen Flugzeug bestehen solche gegenseitigen Einflüsse. Vor allem wichtig ist die Wirkung des Propellerstrahles auf den Flügel und das Höhen- und Seitenleitwerk.

Ein Forschungsgebiet, das mit wachsender Fluggeschwindigkeit auch für die Flugtechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist das Studium der Vorgänge in der Nähe und über der Schallgeschwindigkeit. Die theoretischen Ansätze und eine Reihe experimenteller Arbeiten gehen bereits auf verhältnismäßig frühe Zeiten zurück. Mit der Gründung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, in dem Einrichtungen für dieses Sondergebiet vorgesehen waren, wurden diese Untersuchungen wieder in stärkerem Maße aufgenommen und führten durch die Arbeiten von PRANDTL, ACKERET (17) und BUSEMANN (15) auch in theoretischer Hinsicht wesentlich weiter. Man kann wenigstens schätzungsweise den Einfluß der Kompressibilität der Luft unterhalb der Schallgeschwindigkeit angeben, wenn es sich um sehr flache, in der Strömungsrichtung liegende Körper handelt (z. B. Propellerflügel). Außerdem sind die Vorgänge an Flügeln und an rotationssymmetrischen Körpern oberhalb der Schallgeschwindigkeit der theoretischen Behandlung in praktisch brauchbarer Form zugänglich gemacht.

Ein weiteres Sondergebiet betrifft die Hohlraumbildung, welche sich bei hohen Geschwindigkeiten eines Körpers in Wasser zeigt, die sog. Kavitation. Sie tritt vor allem bei Schiffsschrauben und Wasserturbinen als stark störende Erscheinung auf. Außer der Verschlechterung des Wirkungsgrades der Maschinen können im Zusammenhang mit der Kavitation Anfressungen des Materials auftreten, die zu einer raschen Zerstörung der Propellerflügel bzw. Turbinenschaufeln führen. Diese Vorgänge sind ebenfalls mit den im Kaiser Wilhelm-Institut für Strömungsforschung neu

geschaffenen Einrichtungen durch ACKERET, WALCHNER und SCHRÖTER experimentell genau erforscht und teilweise auch durch theoretische Überlegungen aufgeklärt worden.

Wenn im vorstehenden immer der Stand der Theorie in den einzelnen Forschungsgebieten besonders betont wurde, so geschah das deshalb, weil dieser Stand der Theorie ein Maßstab für den Stand des ganzen Forschungsgebietes ist. Die Theorie kann sich aber nur in engster Anlehnung an die experimentelle Forschung gesund entwickeln. Einmal muß die theoretische Forschung ständig durch das Experiment daraufhin geprüft werden, ob sie mit ihren Gedankengängen auf dem richtigen Wege ist. Dann wird aber die Theorie vielfach überhaupt erst durch die Versuche und die dabei gefundenen merkwürdigen Erscheinungen angeregt, nach einer Erklärung zu suchen. Das Experiment ist aber nicht immer auf die Förderung der Theorie eingestellt, es dient vielfach einfach dringenden unmittelbaren Forderungen der industriellen Praxis. Insbesondere bei der Aerodynamischen Versuchsanstalt spielt diese Art der experimentellen Arbeit eine stark überwiegende Rolle. Naturgemäß kann aus solchen unsystematischen Versuchsarbeiten für die allgemeine Erkenntnis nicht das herausgeholt werden, wie aus besonders der theoretischen Forschung angepaßten Versuchen. Diese praktischen Versuche sind aber trotzdem auch für den Fortschritt der Forschung nicht wertlos. In einer Hinsicht sind sie sogar besonders wertvoll und unersetzbar. Sie zeigen nämlich die dringenden praktischen Fragen auf und regen die Forschung an, sich gerade mit diesen praktisch wichtigen Dingen zu befassen. Die Verbindung von wissenschaftlicher Forschung mit der Beschäftigung mit den dringenden Tagesaufgaben der Praxis, wie sie in Göttingen seit jeher bestand, hat sich als besonders glücklich erwiesen.

#### Schrifttum.

1. PRANDTL, L. u. A. BETZ: Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen, I. bis IV. Lief. München: Oldenbourg 1921, 1923, 1927, 1932.
2. SCHWABE, M.: Über Druckermittlung in der nichtstationären ebenen Strömung. Ing.-Arch. 6, 1 (1935).
3. FUHRMANN, G.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Ballonmodellen. Diss. Göttingen 1912.
4. KÁRMÁN, TH. V.: Berechnung der Druckverteilung an Luftschiffkörpern. Abh. Aerodyn. Inst. Techn. Hochsch. Aachen 1927, H. 6.
5. KLEMPERER, W.: Luftschiff-Meßtechnik. Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, 3. Teil, S. 132. 1930.
6. LOTZ, J.: Zur Berechnung der Potentialströmung um quergestellte Luftschiffkörper. Ing.-Arch. 2, 507 (1931).
7. FÖPPL, O.: Winddruck auf ebene schräg gestellte Platten von verschiedenem Seitenverhältnis. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 1, 87 (1910).
8. PRANDTL, L.: Tragflügeltheorie. I. u. II. Mitt. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1918, 451; 1919, 107<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Die Veröffentlichungen (8), (11) und (12) sind 1927 in einem Neudruck unter dem Titel: L. PRANDTL und A. BETZ, Vier Abhandlungen zur Hydrodynamik und Aerodynamik erschienen. (Auslieferung durch Julius Springer, Berlin.)

9. BETZ, A.: Beiträge zur Tragflügeltheorie mit besonderer Berücksichtigung des einfachen rechteckigen Flügels. Diss. Göttingen 1919.
10. LOTZ, J.: Berechnung der Auftriebsverteilung beliebig geformter Flügel. Z. Flugtechn. Motorluftsch. 22, 189 (1931).
11. BETZ, A.: Schraubenpropeller mit geringstem Energieverlust, mit einem Zusatz von L. PRANDTL. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1919, 193<sup>1</sup>.
12. PRANDTL, L.: Über Flüssigkeitsbewegung bei sehr kleiner Reibung. Verh. 3. internat. Math.kongr. Heidelberg S. 484, 1904. Leipzig 1905<sup>1</sup>.
13. GRUSCHWITZ, E.: Die turbulente Reibungsschicht in ebener Strömung bei Druckabfall und Druckanstieg. Ing.-Arch. 2, 321 (1932).
14. ACKERET, J.: Gasdynamik. Handbuch der Physik, Bd. 7. Berlin: Julius Springer 1927.
15. BUSEMANN, A.: Gasdynamik. Handbuch der Experimentalphysik, Bd. 4, Teil 1. Leipzig: Akad. Verlagsgesellschaft 1931.

A. BETZ.

## 2. Forschungsinstitut für Wasserbau und Wasserkraft der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in München.

Das im Jahre 1926 gegründete Forschungsinstitut führt sowohl wissenschaftliche Untersuchungen als auch Auftragsversuche aus dem Gebiete des Wasserbaues und der Wasserkraft durch. Aus der Fülle der im Laufe der Jahre durchgeführten Arbeiten wird im folgenden von den wichtigsten Mitteilung gemacht.

### 1. Versuche an Modellen und Großausführungen zur Ermittlung des Modellmaßstabeinflusses.

a) Die Veranlassung zu den ersten Untersuchungen an Modellwehren 1927 war die Eichung eines bereits bestehenden Absturzbauwerkes in einem Entlastungskanal (Semptflutkanal) der Mittleren Isar A.G.<sup>1</sup>. Die Erfahrungen im Betrieb zeigten, daß das erste der vier Absturzbauwerke weniger Wasser abführte, als man auf Grund der Vorberechnungen, die nach den damals bekannten Abflußgleichungen durchgeführt wurden, annahm. Die Wehrkrone mußte deshalb, um einen Überstau zu vermeiden, nachträglich tiefer gelegt werden. Um die Unstimmigkeiten zwischen den Betriebserfahrungen und den Vorberechnungen zu klären, erschien es zweckmäßig, neben den Messungen am ausgeführten Bauwerk auch Versuche an Modellwehren auszuführen. Die Untersuchung sollte sich außer auf die Ermittlung des Überfallbeiwertes am Bauwerk und am Modell auch noch auf die Ermittlung der Überfallbeiwerte an Modellen von verschiedenen Wehrformen mit abgerundeter Krone und verschieden geneigtem Wehrrücken erstrecken. Diesen Untersuchungen wurden noch Beobachtungen der Kolkbildung stromab des Wehrbodenendes in der Natur und im Modell angeschlossen. Die Untersuchungen an den verschiedenen Wehrkörperformen zeigten eine starke Abhängigkeit des Überfallbeiwertes

<sup>1</sup> KIRSCHMER: Untersuchung der Überfallkoeffizienten und der Kolkbildungen am Absturzbauwerk I im Semptflutkanal der „Mittleren Isar“. Vergleich zwischen Modell und Wirklichkeit. Ein Beitrag zur Kritik der Wassermessung mittels Überfall. Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wasserbau und Wasserkraft e. V. München, H. 1. München und Berlin: R. Oldenbourg 1928.

von der Ausführung der Wehrkrone und des Wehrrückens. Die Abflußbeiwerte, die an dem Halbmodell im Maßstab 1:50 ermittelt wurden, stimmen mit denjenigen, die man aus Wassermengen- und Spiegelmessungen am Absturzbauwerk selbst errechnete, im allgemeinen gut überein. In der dritten Versuchsreihe wurde beobachtet, daß die Kolkbildung weniger von der Wehrform als von der Tiefe des Unterwassers abhängig ist. Ein Vergleich der Kolke im Modell mit denen der Natur zeigte, daß aus den Kolkbildungen im Modell keine quantitativen Schlüsse gezogen werden dürfen.

b) Die Untersuchungen an Wehrmodellen verschiedenen Maßstabes wurden wiederum durch die Aufgabe veranlaßt, das Wasserabführungsvermögen eines bereits bestehenden Ems-Wehres bei Hanekenfähr zu ermitteln<sup>1</sup>. Da der Strahl bei den vorhandenen Wehrrückenausführungen auf eine lange Strecke mit der Oberfläche des Bauwerks in Berührung kommt, schien es wahrscheinlich, daß die Einwirkung der Wandreibung im Modell und Natur verschieden groß ist. Damit tauchte auch die für das wasserbauliche Versuchswesen grundsätzliche Frage der quantitativen Übertragung der an Modellen gewonnenen Ergebnisse auf den Naturmaßstab auf. Zur Klärung dieser Frage wurden von der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau Berlin Versuche an Modellen in kleineren Maßstäben vorgenommen, während vom Forschungsinstitut Versuche an einem Modell im Maßstab 1:4,375 durchgeführt wurden.

Aus den Versuchen folgt einwandfrei, daß man Modelle in nicht zu kleinem Maßstab herstellen darf, wenn man nicht Fehler bestimmter Größe im Ergebnis in Kauf nehmen will. Das Forschungsinstitut ist demnach stets bestrebt, den allzu kleinen Modellmaßstab zu vermeiden und die Größe seiner Anlagen weitgehendst auszunützen.

## 2. Versuche über verschiedene Verfahren zur Wassermengenmessung.

a) In Arbeitsgemeinschaft mit einer deutschen und einer ausländischen Firma wurden 1929 Vergleichswassermengenmessungen mit dem Salzgeschwindigkeitsverfahren, mit hydrometrischen Flügeln, Pitot-Röhren und nach dem sog. GIBSON-Verfahren an den Rohrleitungen des Walchenseewerkes vorgenommen<sup>2</sup>.

Eine Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse zeigte, daß die mit dem Salzgeschwindigkeitsverfahren ermittelten Werte nur wenig von denen der Flügelmessung abweichen. Die Messungen mit den Pitot-Röhren ergaben gegenüber den Flügelmessungen bei kleinen Wassermengen zu große Werte, bei mittleren gleiche und bei großen zu kleine Werte. Die Meßergebnisse nach dem GIBSON-Verfahren zeigten volle Übereinstimmung mit denen der Flügelmessung.

<sup>1</sup> EISNER: Überfallversuche in verschiedener Modellgröße. Maßstabeinfluß und Auswertungsverfahren. Heft 11 der Mitteilungen der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin. Berlin: Eigenverlag der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau 1933.

<sup>2</sup> KIRSCHNER: Vergleichsmessungen am Walchensee. Z. VDI 74, H. 17, 521 (1930).

b) In der ersten Jahreshälfte 1930 wurden mit Unterstützung der deutschen Forschungsgemeinschaft Vergleichsversuche in offenen Kanälen mit Überfallmessungen, mit hydrometrischen Flügeln, nach dem Salzgeschwindigkeits- und Salzverdünnungsverfahren auf dem Versuchsfelde durchgeführt<sup>1</sup>.

Die mit den bisher gebräuchlichen Überfallgleichungen ermittelten Werte wiesen erhebliche Abweichungen von den Beckenmeßwerten als Urmaß auf. Für die Flügelmessung kann im allgemeinen festgestellt werden, daß sie zu geringe Wassermengen anzeigt. Bei der Auswertung des Salzgeschwindigkeitsverfahrens konnte eine starke Abhängigkeit des Meßergebnisses von der zugrunde gelegten Meßstrecke beobachtet werden. Das Salzverdünnungsverfahren zeigt die kleinste Abweichung von der Beckenmessung; die Abweichungen liegen ziemlich gleichmäßig in positiver und negativer Richtung.

c) Im Winter 1930/31 wurde vom Forschungsinstitut mit dem Salzverdünnungsverfahren im Auftrage der A.E.G. ein System von Wassermessstellen in dem Einzugsgebiet des geplanten Tauernwerkes errichtet<sup>2</sup>.

d) Die mit dem Salzverdünnungsverfahren gewonnenen, äußerst zufriedenstellenden Ergebnisse regten das Forschungsinstitut an, das Farbverdünnungsverfahren, das ebenfalls auf der Bestimmung der Konzentrationsänderung einer zugeführten Flüssigkeit beruht, weiter auszubauen und geeignete Meßeinrichtungen zu schaffen.

### 3. Flußbauliche Versuche.

Flußbauliche Versuche in größerem Ausmaß wurden in den Jahren 1931, 1932 und 1934 durchgeführt, die sämtlich unter der wissenschaftlichen Leitung von Geheimen Rat Prof. Dr. Dr.-Ing. e. h. ENGELS, Dresden, standen.

a) Im Jahre 1931 wurden Modellversuche ausgeführt, die das Verhalten eines geschiebeführenden gewundenen Flußlaufes unter der Einwirkung wechselnder Wasserstände und verschiedenartiger Deichführung klären sollten<sup>3</sup>.

Für die Ausführung der Versuche wurde eine rund 95 m lange und ungefähr 11 m breite Versuchsanlage gebaut. Der Flußschlauch, der sich aus drei sich aneinander reihenden Kreisbögen zusammensetzte, besaß trapezförmigen Querschnitt mit 2,50 m lichter Weite. Die Versuche umfaßten drei Versuchsreihen:

1. Geradlinige Hochwasserdeiche in rund 11 m Abstand.
2. Geradlinige Hochwasserdeiche in rund 11 m Abstand, von denen in den Krümmungen Flügeldeiche (Leitdeiche) abzweigen, die ungefähr

<sup>1</sup> KIRSCHMER-ESTERER: Die Genauigkeit einiger Wassermessverfahren. Z VDI 74, H. 44, 1499 (1930).

<sup>2</sup> KIRSCHMER: Das Salzverdünnungsverfahren für Wassermessungen. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. 1931, H. 18.

<sup>3</sup> ENGELS: Großmodellversuche über das Verhalten eines geschiebeführenden gewundenen Wasserlaufes unter der Einwirkung wechselnder Wasserstände und verschiedenartiger Eindeichungen. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. 1932, H. 3—4.

parallel zum Flußschlauch laufen und deren Höhen sich allmählich auf die Vorlandhöhe vermindern. Sie sind bei hohen Wasserständen teilweise überflutet.

3. Hochwasserdeiche im Abstand von 4,5 m, die den Krümmungen des Flußschlauches folgen.

Das verwendete Modellgeschiebe war feines Isargeschiebe; das Gefälle der Sohle von 1<sup>0</sup>/<sub>00</sub> wurde während des Wasserdurchflusses als Wasserspiegelgefälle beibehalten. Ein Modelljahr, d. i. Wasserdurchfluß von NW über HW nach NW, dauerte 94 Stunden. Nach dem MW- (172 li/s) und HW- (548 li/s) Durchfluß wurde das Flußbett trocken gelegt und Querschnittsaufnahmen vorgenommen. Bei allen Versuchen wurde die Geschiebezufuhr und -abfuhr nach Möglichkeit ins Gleichgewicht gebracht, so daß die einzelnen Versuchsreihen unter sich vergleichbar sind. Das Geschiebe bewegte sich bei diesen großmaßstäblichen Modellversuchen in langen Rücken. Die Einwirkungen des Hochwassers auf die Flußsohle sind am kleinsten bei der Deichanordnung 1 und am größten bei derjenigen der Versuchsreihe 3, d. h. die Höhenunterschiede zwischen den höchsten Rücken und den tiefsten Kolken sind bei 1 am kleinsten und bei 3 am größten. Von besonderer Wichtigkeit für die Beurteilung des Talweges auf die Schifffahrt ist die Länge des Überganges von Bank zu Kolk; diese Übergänge sind bei Deichanordnung 2 am gestrecktesten, d. h. am günstigsten. Die erhebliche Einengung des Hochwasserbettes durch die Deichführung 3 rief statt einer Senkung des Hochwasserspiegels eine Hebung hervor, trotzdem hier die Geschiebeabfuhr größer war als die Geschiebezufuhr.

b) Im Jahre 1932 wurden im Auftrag der Flood Relief Commission der chinesischen Regierung für die Regelungsarbeiten am Hwangho systematische Versuche an einem Modell mit geradlinigem, befestigtem Mittelwasserbett, befestigten Vorländern und stark schwemmstoffführendem Wasser durchgeführt. Die Problemstellung war die grundsätzliche Klärung der Frage des Einflusses des Deichabstandes auf die Lage des Wasserspiegels bei Hochwasser, auf die Räumungskraft der bei Hochwasser durchfließenden Wassermasse (Eintiefung des Flußschlauches) und auf die Ausbildung der Flußsohle und der Vorländer. Ein Modelljahr umfaßte einen Zeitraum von 570 Minuten; jede Versuchsreihe einen solchen von drei Modelljahren. Da für die Naturähnlichkeit der Versuchsergebnisse gleichförmige Wasserbewegung Voraussetzung war, wurde bei sämtlichen Versuchen angestrebt, das Wasserspiegelgefälle gleich dem Sohlengefälle während der ganzen Versuchsdauer zu halten. Der Modellschwemmstoff mußte bei modellähnlichen Wassertiefen angenähert dieselben Bewegungsgrenzen aufweisen wie der Naturschwemmstoff, der chinesische Löß. Auf Grund einer Reihe von Vorversuchen konnte als das diesen Bedingungen entsprechende Material: Pechkohlenrohrgries ermittelt werden. Um die Versuchsausführung dem tatsächlichen Verhalten eines schwemmstoffführenden Flußlaufes anzupassen, wurde im Kreislaufbetrieb das schwemmstoffhaltige Wasser am Gerinnenende wieder in die Modellstrecke zurückgepumpt. Durch eine Verkleinerung des Deichabstandes um rund 57 %

(Versuchsreihe 1: Deichabstand 3,82 m, Versuchsreihe 2: 8,91 m) vergrößert sich die Oberflächengeschwindigkeit im Flußschlauch und auf den Vorländern und die mittlere Wasserspiegellhöhe bei HW (rund 47%). Der sekundliche Schwemmstoffgehalt bei HW erfährt angenähert eine Verdoppelung. Die Auflandefähigkeit der Wassermasse auf den Vorländern verringert sich auf rund den dritten Teil. Die Berechnung der Eintiefung des Flußschlauches wurde nach der Wechselwirkung in der Natur zwischen Eintiefung und Auflandung vorgenommen. Auf Grund dieser Betrachtungsweise ergab sich, daß die Räumungskraft des Wassers bei großem Deichabstand rund 3mal so groß ist wie bei kleinem.

c) Die Versuche des Jahres 1932, die eindeutige Ergebnisse erbrachten, wurden im Jahre 1934 im Auftrage des National Economic Council of China durch Versuche an einer Modellstrecke eines gewundenen Flußlaufes mit befestigtem Mittelwasserbett und befestigten Vorländern ergänzt. Durch diese Versuche sollte die Einwirkung verschiedenartiger Deichführung auf die Eintiefung des Flußschlauches und die Hochwasserspiegellage ermittelt werden. Die für die Durchführung der Versuche geschaffene Modellanlage hatte bei einem Gefälle von 1,2‰ eine Länge von rund 125 m und eine größte Breite von rund 9 m. Der S-förmig gewundene Flußschlauch, trapezförmig ausgebildet und von rund 2 m lichter Weite, bestand aus sich aneinanderreihenden Kreisbogenabschnitten. Insgesamt wurden vier verschiedene Eindeichungsarten untersucht:

1. Geradlinige parallele Hochwasserdeiche, Deichabstand 8,9 m.
2. Geradlinige parallele Hochwasserdeiche wie bei 1., von denen in den Krümmungen Flügeldeiche abzweigen, ähnlich der Eindeichungsart der Untersuchungen im Jahre 1932.
3. Gewundene Hochwasserdeiche in schlankerer Linienführung als der Flußschlauch in einem Abstand von 5,72 m.
4. Gewundene Hochwasserdeiche parallel zum Flußschlauch verlaufend in einem Abstand von 3,47 m.

Die Versuchsdurchführung war die gleiche wie bei den Untersuchungen des Jahres 1932. Die Untersuchungen erstreckten sich auf fünf aufeinander folgende Modelljahre. Eine Absenkung der Wasserspiegellhöhe bei HW im Verlaufe der fünf Modelljahre infolge der Austiefung des Flußschlauches konnte nur bei Deichanordnung 1 und 4, wenn auch nur in ganz geringem Maße festgestellt werden. Bei allen vier Versuchsreihen wurde eine mehr oder minder starke Abnahme des sekundlichen Schwemmstoffgehaltes im Laufe der Modelljahre beobachtet. Eine starke Zunahme der auf den Vorländern abgelagerten Schwemmstoffmengen zeigte sich nur bei den Deichanordnungen 1 und 2 im Laufe der Modelljahre. Die Flußschlauchaus-tiefung dagegen nimmt bei Versuchsreihe 1 und 2 stetig zu. Dem Vergleich der vier Versuchsreihen lag stets der Zustand während und nach dem 5. Versuchsjahr zugrunde. Die Oberflächengeschwindigkeit im Flußschlauch war bei Deichanordnung 4 am größten und bei 1 am kleinsten, ebenso die Wasserspiegellhöhen bei Hochwasser über den Vorländern. Der sekundliche Schwemmstoffgehalt bei HW war bei der 4. Versuchsreihe größer als

bei den anderen und am kleinsten bei Versuchsreihe 2. Bei der Deichführung 2 wurde die rund 2,5fache Schwemmstoffmenge pro Vorlandflächeneinheit gegenüber der Deichführung 4 abgelagert. Auf Grund der Betrachtung der Wechselwirkung zwischen Auflandung und Eintiefung ergibt sich, daß die Deichanordnung 2 eine rund 2,2fache Austiefung der Flußsohle gegenüber der Deichanordnung 4 hervorruft. Die Talwegausbildung im Flußschlauch wird durch die Art der Eindeichung stark beeinflußt. Am gestrecktesten und damit am günstigsten für die Schifffahrt sind die Übergänge von Bank zu Kolk bei der Deichführung 2 und 4.

#### 4. Untersuchungen und Erhebungen über wasserbauliche Maßnahmen in der Praxis.

a) Beim Bau der großen Versuchsgerinne des Forschungsinstituts ergab sich die Notwendigkeit, die Gerinne, die in einem angeschwemmten, stark durchlässigen Gelände liegen, gegen Wasserversickerung zu schützen. Die wenig guten Erfahrungen, die man in den letzten Jahren besonders mit Betonabdeckungen gemacht hat, führten zu Nachforschungen nach einer Abdeckungsart, die sowohl wasserundurchlässig ist, fugenlos verlegt werden kann und sich den unvermeidlichen Setzungen des Untergrunds gut anpaßt. In Anlehnung an die Erfahrungen des modernen Straßenbaues wurde die Herstellung von Dichtungsdecken mit Asphalt und Teer vorgesehen<sup>1</sup>. Der versuchsweise Einbau dieser Dichtungsdecken sollte die Verwendung der Bitumen für Wasserbauten unter Beweis stellen. Da die Versuchsanlagen den Einflüssen des Frostes während der Wintermonate stark ausgesetzt sind, konnte die Bewährung der Dichtungsdecken auch unter diesen Verhältnissen eingehend beobachtet werden. Der versuchsweise Einbau umfaßte Decken, die nach der billigsten Bauweise, dem Oberflächenverfahren, hergestellt sind, Tränkdecken, Gußasphaltdecken und Mischdecken. Während die nach dem Oberflächenverfahren hergestellten Decken nach dem Winter 1930/31 über der Wasserlinie stark gelitten hatten, konnten an den Tränk- und Gußasphaltdecken keine Rißbildungen und Abfriererscheinungen beobachtet werden. In den einzelnen Versuchsreihen sollte auch das Verhalten von Bindemitteln an geneigten Flächen geklärt werden, weshalb Bitumen mit den verschiedensten Tropfpunkten gewählt wurden. Ebenso wurde die aufgegossene oder aufgespritzte Bindemittelmenge stark variiert.

Die Versuche zeigten, daß Dichtungsdecken selbst für größte Flächen ohne Dehnungsfugen je nach Bedürfnis fast beliebig dicht oder durchlässig hergestellt werden können, die den Witterungseinflüssen der verschiedenen Jahreszeiten standhalten, und deren Herstellung absolut wirtschaftlich gerechtfertigt ist.

<sup>1</sup> KURZMANN-MÖSSLANG-WÄCKEN-ZIEGS: Versuche über die Brauchbarkeit von Asphalt und Teer zur Dichtung und Befestigung von Erdbauten. Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wasserbau und Wasserkraft e. V. München, H. 2. München und Berlin: R. Oldenbourg 1932.

b) Die Drahtnetzkörper haben sich als Bauelement im Lauf der Jahre als ein nicht mehr entbehrliches Hilfsmittel im Wasserbau erwiesen<sup>1</sup>. Auf Anregung der Ministerialbauabteilung des Bayerischen Staatsministeriums des Innern wurden 1932/33 Ermittlungen und Untersuchungen über die zweckmäßigste und wirtschaftlichste Anwendung von Drahtnetzbauten im Wasserbau vorgenommen. Für die Untersuchung standen die Erfahrungen von Baubehörden zur Verfügung. Außerdem wurden diese Unterlagen auf Grund von Laboratoriumsversuchen nach folgenden Gesichtspunkten hin ergänzt: die mechanische Zerstörung der Drahtnetze durch den Geschiebeabschliff und die Zerstörung durch Korrosion oder Metallselbstauflösung. Drahtnetzkörper können sowohl für die Herstellung von Längsbauten als auch von Querbauten und für andere Baumaßnahmen wie Kolksicherungen u. ä. verwendet werden. Sie werden in verschiedenartigster Form hergestellt, so z. B. als Walze oder als viereckiger Kasten. Drahtnetzkörper müssen in geschiebeführenden Gewässern stets vor der Einwirkung des Geschiebeabschliffes durch geeignete Baumaßnahmen geschützt werden, da sonst der Zinkschutzbelag der Drähte abgescheuert wird und die Netze dann leicht der Rostzerstörung anheimfallen. Der Einbau von unabgedeckten Drahtnetzkörpern in Flüssen, in denen getriftet wird, sowie der Einbau in Sperren und Sohlschwellen hat sich als unzweckmäßig erwiesen. Bei der Verwendung dieser Bauweise kommt der Frage der günstigsten Bauausmaße und der Wirtschaftlichkeit eine große Bedeutung zu. Die Bauausmaße sind von dem Zweck der Verwendung abhängig; so sind für Längsbauten andere Querschnitte und Baulängen empfehlenswert als z. B. für Kolksicherungen. Die Wahl der Maschenweite der Drahtnetze richtet sich in erster Linie nach der Größe der an der Baustelle vorhandenen und zur Füllung benötigten Klausteine. Die Größe des Geschiebeabschliffes wurde an verzinkten Drahtnetzen von verschiedenen Drahtstärken und an verschiedenen Drahtsorten zu einem qualitativen Vergleich versuchstechnisch ermittelt. Die Untersuchungen zeigten, daß die Einwirkung sehr bedeutend ist, und daß der Zinkbelag schon nach einem kurzen Zeitabschnitt abgescheuert sein kann. Am widerstandsfähigsten gegen den Geschiebeabschliff erwies sich der Stahldraht, dessen Verwendung aber in den meisten Fällen wegen seines hohen Herstellungspreises nicht wirtschaftlich ist. Da bei Drahtnetzeinbauten mit dem Vorhandensein von Wasser bzw. Feuchtigkeit gerechnet werden muß, kommen in der Hauptsache elektrolytische Korrosionen der Drahtnetze in Frage. Sämtliche mechanische Beschädigungen des Zinküberzuges sowie Fehler bei der Verzinkung sind als korrosionsfördernd anzusehen. Im Laufe der Untersuchungen trat die Unzulänglichkeit des Korrosionsschutzes besonders durch die einfache Verzinkung immer mehr in Erscheinung. Allerdings weist auch das doppelt verzinkte Netz im großen ganzen die gleichen Nachteile wie das einfach verzinkte auf, nur

<sup>1</sup> KEUTNER: Die Verwendung von Drahtnetzkörpern im Wasserbau. Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wasserbau und Wasserkraft e. V. München der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, H. 4. München und Berlin: R. Oldenbourg 1935.

in geringerem Maße. Seine Lebensdauer ist jedenfalls wesentlich höher und damit sein Einbau auch wirtschaftlich gerechtfertigt. Man wird in Fällen, in denen mit einem starken Geschiebeangriff gerechnet werden kann, mit Eisennetzen, die statt eines Zinküberzugs einen größeren Drahtdurchmesser besitzen, voraussichtlich bessere Ergebnisse erzielen. Die Drahtnetzbauweise weist zwar eine große Reihe von Vorzügen auf, doch sind ihre Nachteile nicht zu unterschätzen.

### 5. Technisch-physikalische Untersuchungen.

a) Die Ermittlung der Zusammensetzung von Korngemischen aus Bestandteilen verschiedener Größen spielt sowohl für bodenkundliche als auch für erdbaumechanische Untersuchungen eine bedeutende Rolle<sup>1</sup>. Wenn es sich dabei um Korngemische von größeren Durchmessern handelt, erfolgt die Feststellung der Zusammensetzung mit Hilfe des Siebverfahrens entweder auf nassem oder trockenem Wege. Bei kleineren Korngrößen als 0,3 mm tritt an Stelle der Siebanalyse die Schlämmanalyse nach dem Spül- oder Sedimentationsverfahren. Für die Ausführung von Schlämmanalysen wurde die Eignung einer photoelektrischen Meßeinrichtung vom Forschungsinstitut untersucht und ein Meßgerät durchgebildet. Die das Korngemisch in gleichmäßiger Verteilung enthaltende Flüssigkeit durchfließt ein parallelwandiges mit Glasfenstern versehenes Gefäß in lotrechter Richtung von unten nach oben. Die Schwächung der Lichtstärke eines durch die Glasfenster gesandten, parallel gerichteten, waagerechten Lichtbandes wird beim Durchströmen der Flüssigkeit mittels einer photoelektrischen Zelle und eines hochempfindlichen Zeigergalvanometers gemessen. Durchflußversuche, die mit Schlämmerkide, Kalksteinpulver u. ä. vorgenommen wurden, zeigten, daß gleiche Gewichtsmengen dieser Stoffe, in je gleich viel Wasser aufgeschlämmt, das durchfallende Licht verschieden stark schwächen. Es konnte festgestellt werden, daß die Lichtschwächung nicht nur vom Schwebestoffgehalt und vom Material, sondern auch vom Korndurchmesser abhängig ist. Die Lichtschwächung, die sich in dem Galvanometerausschlag ausdrückt, konnte vom Schwebestoffgehalt und der Korngröße bei gleichbleibender Beschaffenheit des Materials in Abhängigkeit gebracht werden. Daran anschließend wurde die Abhängigkeit des Galvanometerausschlages von der Art eines Korngemisches, d. h. also Gemischen mit verschiedenen Durchmessern untersucht. Es konnte ebenfalls eine Gesetzmäßigkeit unter Zugrundelegung eines „gleichwertigen Korndurchmessers“ ermittelt werden. Wird der Zulauf zum Durchflußgefäß unterbrochen und das darin befindliche Wasser von einem bestimmten Schwebestoffgehalt, der sich aus einem gleichmäßig verteilten Korngemisch zusammensetzt, sich selbst überlassen, so sinken die Schwebestoffteilchen mit um so größerer Geschwindigkeit nach unten, je größer

<sup>1</sup> ESTERER: Photoelektrisches Verfahren zur Untersuchung von Korngemischen. Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wasserbau und Wasserkraft e. V. München der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, H. 3. München und Berlin: R. Oldenbourg 1935.

ihr Durchmesser ist. Die Konzentration nimmt im Laufe der Untersuchung ab und der Galvanometerausschlag zu. Aus der während der Absinkzeit erfolgten Änderung des Galvanometerauschlages wurde auf Grund der Fallgesetze ein Verfahren zur Ermittlung der Kornzusammensetzung (Mischungslinie) ermittelt. Ausgeführte Vergleiche von Schlämmanalysen nach diesem photoelektrischen Verfahren und nach dem Spülverfahren ergaben befriedigende Übereinstimmung der Mischungslinien. Außerdem benötigt die Schlämmanalyse nach diesem Verfahren nur einen Bruchteil des Zeitaufwandes, den die bisher bekannten Verfahren beanspruchen.

b) In einer Abzweigung eines Rohrstranges des Walchenseekraftwerkes wurden in den letzten Jahren im Verfolg der Forschungen des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungsforschung, Göttingen, Untersuchungen über die Werkstoffanfressung oder Korrosion durch Kavitation unternommen<sup>1)</sup>. Werkstoffanfressungen werden in der Praxis besonders an schnell laufenden Laufrädern von Turbinen oder Schiffsschrauben häufig beobachtet. Die Kavitation oder Hohlraumbildung innerhalb einer Flüssigkeitsströmung setzt überall dort ein, wo infolge hoher Strömungsgeschwindigkeiten der Druck im Verlauf der Strömung unter die Dampfspannung der Flüssigkeit sinkt. An diesen Stellen tritt ein Verdampfen der Flüssigkeit ein, das zur Entstehung von Hohlräumen innerhalb der Flüssigkeit führt. Die systematischen Untersuchungen zeigten, daß der Grad der Anfressung von folgenden Größen abhängig ist: der Dauer der Kavitationseinwirkung, dem Material, der Beschaffenheit der Oberfläche des Materials und von den Versuchsbedingungen, worunter die Formgebung der Kavitationskammer, die Strömungsführung innerhalb derselben, die Einzelheiten der Hohlraumbildung in der Kammer, die Strömungsgeschwindigkeit und die Wasserbeimengungen fester und gasförmiger Art verstanden werden. Die Versuche führten zur Durchbildung einer Kavitationskammer, in der durch geeignete Formgebung der Zerstörungsangriff bei gleichbleibender Wassergeschwindigkeit erhöht werden konnte. Bei der Versuchsdurchführung wird die Probeplatte in eine Wandung der Düse eingefügt und der Druck im Diffusor so einreguliert, daß der Verdichtungsstoß auf der Probeplatte erfolgt. In der ersten Versuchsreihe wurden bei einer Wassergeschwindigkeit von 44 m/s im engsten Querschnitt der Düse die verschiedenartigsten Werkstoffe wie Aluminium, Blei, Walzmessing usw. untersucht und der Fortschritt der Zerstörung während der Versuchsdauer beobachtet. Bei allen Stoffen zeigten sich zunächst keine Zerstörungserscheinungen; erst nach einer bestimmten Zeit, die von der Art des Materials abhängig ist, beobachtete man mechanische Druckwirkungen auf dem Material. Bei fortschreitender Versuchsdauer vermehrten sich die anfänglich nur mikroskopisch feststellbaren, kraterartigen Vertiefungen, bis die ganze Oberfläche im Zerstörungsgebiet

<sup>1</sup> SCHRÖTER: Versuche zur Frage der Werkstoffanfressung durch Kavitation. Mitteilungen des Forschungsinstituts für Wasserbau und Wasserkraft e. V. München der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, H. 3. München und Berlin: R. Oldenbourg 1935.

die Einwirkungen deutlich erkennen ließ. Der Grad der Anfressung wurde durch die Bestimmung des Gewichtsverlustes ermittelt. Außerdem wurden noch die Anfangszeiten der Zerstörung bei verschiedenen Wassergeschwindigkeiten bestimmt. Die Zerstörungslöcher bilden sich bei kleinen Geschwindigkeiten feiner aus und vergrößern sich wesentlich langsamer als bei großen, so daß man annehmen darf, daß die Fortschritte sich wie die Anfangszeiten der Zerstörung verhalten. In der zweiten Versuchsgruppe wurden verschiedene andere Werkstoffe wie Stahlproben, Bronze-  
proben, Gußeisen, Materialien mit Schutzüberzügen der Einwirkung der Kavitation bei verschiedenen Wassergeschwindigkeiten unterworfen. Es ergab sich, daß die Gewichtsverluste exponentiell mit der Wassergeschwindigkeit zunehmen. Die untersuchten hochwertigen, legierten Stähle erwiesen sich im allgemeinen widerstandsfähiger als die untersuchten Bronzen. Aus den Versuchsergebnissen konnte gefolgert werden, daß die Anfressungen nur in geringem Maße auf chemische und elektrolytische Korrosion bei Berührung des Dampf-Wasser-Gemisches mit der Metalloberfläche zurückzuführen sind, sondern hauptsächlich durch die Einwirkung der Druckstöße im Zusammensturzgebiet der Hohlräume ausgelöst werden.

Neben den im vorstehenden beschriebenen größeren Untersuchungen werden laufend hydrologische Arbeiten durchgeführt. Es werden Niederschlags-, Verdunstungs- und Schneemessungen in verschiedenen Höhenlagen der umliegenden Gebirgszüge vorgenommen, um Aufschluß über die Größe der Abflußmengen, der Schneedichte usw. zu erhalten. In einem im Jahre 1934 erbauten Turbinenprüfstand mit einem Gefälle von rund 2 m ist es möglich, verschiedene Bautypen von Turbinenlaufrädern, Saugrohren u. ä. zu untersuchen. Außerdem nahm das Forschungsinstitut im Laufe der Jahre Wassermengenmessungen, Turbinenprüfungen, Pegel-  
eichungen, Ermittlungen der Fließverluste in Kraftwerkskanälen im Auftrage von in- und ausländischen Kraftwerken vor.

CHR. KEUTNER.

### **3. Die Höhenobservatorien des Sonnblickvereins auf dem Obir (2044 m) und auf dem Sonnblick (3106 m).**

Wenn wir uns in einem Überblick die wissenschaftliche Entwicklung der Höhenobservatorien auf dem Sonnblick und auf dem Obir vergegenwärtigen, müssen wir staunen über die Fülle von Arbeiten und neuen Erkenntnissen, die wir diesen Stationen verdanken. Mit allen Mitarbeitern an diesem großen Werk kann auch die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften mit Freude und mit Stolz in ihrem Jubiläumsjahr ihren ganz wesentlichen Anteil an der Ermöglichung der Fortführung der Arbeiten an diesen Höhenobservatorien im Sinne ihrer großen Tradition zu neuer Blütezeit und wissenschaftlicher Betriebsamkeit verzeichnen.

Der Tatkraft einfacher, ihrer Herkunft nach der Wissenschaft nicht verbundener Männer entsprungen<sup>1</sup>, haben die Observatorien eine zunächst nicht vorausgeahnte wissenschaftliche Entwicklung genommen, die wir im folgenden in einer kurzen Zusammenstellung der bedeutendsten Leistungen uns vorführen wollen, die uns nicht nur den Wert der Höhenobservatorien in ihrer Vergangenheit, sondern auch ihre große Bedeutung in der Gegenwart und für die Zukunft zeigen soll.

Als hervorragend und beispielgebend ausgerüstete meteorologische Höhenstationen — das Sonnblickobservatorium war zur Zeit seiner Gründung (1886) und viele Jahre lang nachher auf der ganzen Erde die einzige mit Registrierinstrumenten für alle meteorologischen Elemente ausgerüstete Station in einer Höhe von über 3000 m — haben sie zunächst eine Fülle von neuen klimatologischen Daten aus vorher der meteorologischen Wissenschaft unzugänglichen Gebieten der Hochalpen gebracht, die, wie aus der großen Zahl der damaligen und späteren Veröffentlichungen und Besprechungen von J. HANN u. a. hervorgeht, das größte allgemeine Interesse geweckt hatten<sup>2</sup>. Die täglichen Beobachtungen wurden bisher in extenso in den Jahrbüchern der Wiener Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik publiziert. Dort sind zum Teil auch die stündlichen Auswertungen der Registrierungen, bzw. Zusammenfassungen davon veröffentlicht. Monatsübersichten der Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen auf den Höhenstationen erscheinen jährlich auch in den Jahresberichten des Sonnblickvereines.

Außer in klimatologischer Hinsicht sind die täglichen Beobachtungen unmittelbar auch noch für die Wettervoraussage von Bedeutung. Beide Observatorien melden täglich zweimal ihre Beobachtungen telegraphisch an die Zentralstelle, wo sie dem Prognostiker oft gute Dienste erweisen, aber auch durch international vereinbartem Funkspruch in ganz Europa Verbreitung finden.

Aber weder in der Kenntnis der klimatischen Verhältnisse, die uns die Bergobservatorien vermittelten, noch in ihrer Bedeutung für die Wettervoraussage liegt der eigentliche große Wert und Sinn der Höhenobservatorien.

<sup>1</sup> HANN, J.: Zur Geschichte der meteorologischen Station auf dem Hohen Sonnblick. *Met. Z.* 1887, 42. — OBERMAYER, A.: Die Beobachtungsstation auf dem Hohen Sonnblick, ihre Anlage, ihre Entwicklung und ihre Kosten. *Jber. Sonnblick-Ver.* 1, 1 (1892). — *Met. Z.* 1887, 33. — Die meteorologischen Beobachtungsstationen auf dem Obir in Kärnten. *Jber. Sonnblick-Ver.* 17, 3 (1908). — HANN, J.: Die neue Anemometer- und Temperaturstation auf dem Obirgipfel. *Met. Z.* 1893, 281.

<sup>2</sup> Veröffentlichungen über die Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen auf dem Sonnblick bzw. dem Obir finden sich u. a. an folgenden Stellen: *Met. Z.* 1870, 160, 193; 1884, 331; 1885, 140, 175; 1887, 54, 124, 262, 455; 1888, 134; 1889, 260; 1891, 479; 1898, 1; 1903, 193; 1912, 263; 1914, 265. — *Wien. Sitzgsber.* IIa 56, 705 (1867); 59, 65 (1870); 84, 382, 965 (1881); 90, 585 (1884); 97, 5 (1888); 102, 709 (1893); 104, 351 (1895); 107, 537 (1898); 110, 289 (1901); 116, 723 (1907); 117, 217 (1908); 122, 45 (1913); 127, 2229 (1918). — *Denkschr. Wiener Akad.* 58, 99, 203 (1891); 59, 177 (1892); 84, 163 (1909); 88, 67 (1913); 95, 1 (1918). — *Jber. Sonnblick-Ver.* 1, 25 (1892); 9, 26 (1900); 10, 9 (1901); 11, 12 (1902); 13, 17 (1904); 15, 31 (1906); 17, 16 (1908); 21, 7 (1912); 26/27, 3 (1917/1918); 41, 10 (1932). — *Z. dtsh. u. österr. Alpen-Ver.* 20, 71 (1889).

„Der Meteorologe weiß, daß so lange von einer befriedigenden Prognosenstellung nicht die Rede sein kann, solange es ihm nicht gelungen ist, die Ursache aller Veränderungen in unserer Atmosphäre kennenzulernen; und er wird sich auch andererseits nicht mit einer bloßen Beschreibung der Verhältnisse unserer Atmosphäre zufriedengeben, sondern er will auch einen Einblick in diese Verhältnisse gewinnen, er will wissen, warum sich die Vorgänge in der Atmosphäre so oder so abspielen, und feststellen, inwieweit die eine Erscheinung mit der anderen im Zusammenhang steht . . . . .“

Die Aufgabe der Meteorologie ist mit einem Worte die Erforschung der Gesetze unserer Atmosphäre, und gerade hierbei haben sich die Beobachtungen auf dem Sonnblick als ein unschätzbares Material ergeben. Hierin liegt ihr Wert<sup>1</sup>.“

Dafür zeugt vor allem schon, um nur einiges anzuführen, die Arbeit HANNs über die Barometer-Maxima und -Minima auf dem Sonnblick<sup>2</sup>, die uns die geradezu grundlegende und den früheren Ansichten total widersprechende Erkenntnis brachte, daß die Luftmassen der Hochdruckgebiete in der Höhe warm, die der Tiefdruckgebiete aber kalt sind. Dort wurde auch gezeigt, daß nicht die Temperatur die Ursache der Druckverschiedenheit, sondern im Gegenteil die Temperaturverhältnisse eine Folge der durch die Druckverteilung bedingten auf- und absteigenden Bewegungen der Luft sind.

Weitere wichtige Erkenntnisse brachten die Untersuchungen TRABERTs<sup>3</sup> über den täglichen Gang der Temperatur und des Sonnenscheins auf dem Sonnblick und seines Zustandekommens, wo dargelegt wurde, daß selbst auf dem Sonnblick noch die Wärmezufuhr durch Konvektion vom Boden her die durch Strahlungsabsorption aufgenommene Wärmemenge wesentlich übersteigt. Damit wurde auch ein ziffernmäßiger Beweis für die Erklärung der Temperaturabnahme mit der Höhe gegeben.

Mit Hilfe der Barometer- und Thermometerablesungen der Höhenstationen konnte HANN<sup>4</sup> den Temperaturgang der oberen Luftschichten der freien Atmosphäre ableiten. Später hat er die Sonnblickbeobachtungen mit den Ergebnissen der Ballonaufstiege verglichen und so ihre

<sup>1</sup> TRABERT, W.: Die bisherigen Ergebnisse der wissenschaftlichen Beobachtungen auf dem Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. 3, 1 (1894).

<sup>2</sup> HANN, J.: Studien über die Luftdruck- und Temperaturverhältnisse auf dem Sonnblickgipfel, nebst Bemerkungen über deren Bedeutung für die Theorie der Zyklonen und Antizyklonen. Wien. Sitzgsber. 100, 367 (1891). In diesem Zusammenhang sind auch die Arbeiten zu erwähnen: ST. HANZLIK: Die räumliche Verteilung der meteorologischen Elemente in den Antizyklonen. Denkschr. Wien. Akad. 84, 163 (1909). — Die räumliche Verteilung der meteorologischen Elemente in den Zyklonen. Denkschr. Wien. Akad. 88, 67 (1913). — FICKEB, H.: Beziehungen zwischen Änderungen des Luftdruckes und der Temperatur in den unteren Schichten der Troposphäre (Zusammensetzung der Depressionen). Wien. Sitzgsber. IIa 129, 763 (1920).

<sup>3</sup> TRABERT, W.: Der tägliche Gang der Temperatur und des Sonnenscheins auf dem Sonnblickgipfel. Denkschr. Wien. Akad. 59, 177 (1892).

<sup>4</sup> HANN, J.: Beiträge zum täglichen Gang der meteorologischen Elemente in den höheren Luftschichten. Wien. Sitzgsber. IIa 103, 51 (1894).

Übertragbarkeit auf die Verhältnisse der freien Atmosphäre zu zeigen versucht<sup>1</sup>.

Wesentlich neue Tatsachen brachten auch die Windregistrierungen auf dem Sonnblick, die den früheren Theorien zum Teil widersprechende Ergebnisse lieferten und so Anlaß zur Schaffung einer neuen Theorie waren<sup>2</sup>.

Durch all diese Untersuchungen wurden neue und oft ganz grundlegend neue Kenntnisse gewonnen, die wir nur dem Beobachtungsmaterial des Sonnblickobservatoriums verdanken. Es gäbe noch eine Unzahl von Untersuchungen zu erwähnen, in denen die Beobachtungen und Registrierungen vom Sonnblick Verwendung gefunden haben, die aufzuzählen in diesem Rahmen aber nicht möglich ist.

Überdies war aber das Sonnblickobservatorium der meteorologischen Wissenschaft besonders auch als unmittelbare Forschungsstätte von außerordentlich großem Nutzen. Zahlreiche Wissenschaftler weilten mehr oder minder lang auf dem Sonnblick, um dort ihre Messungen und Spezialuntersuchungen an Ort und Stelle vorzunehmen.

So wurden bedeutende Fortschritte der Kenntnis der Lufterlektrizität durch Untersuchungen auf dem Sonnblick gewonnen, die ELSTER und GETTEL dort begonnen haben<sup>3</sup>. Sie konnten nachweisen, daß der Sitz der störenden elektrischen Massen bei heiterem Wetter in der Luftschicht unterhalb 3000 m zu suchen sei. Auf dem Sonnblick war es auch, wo zum erstenmal die Erscheinung des Elmsfeuer gründlich studiert werden konnte<sup>4</sup>. Auf Grund mehrjähriger regelmäßiger Beobachtungen wurde auch der tägliche und jährliche Gang der Störgeräusche in der Telephonleitung (Knistern) untersucht<sup>5</sup>. Längere Zeit hindurch wurden Registrierungen des elektrischen Potential<sup>6</sup> und Messungen der elektrischen Zerstreuung auf dem Sonnblickgipfel vorgenommen<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> HANN, J.: Über die Temperaturabnahme mit der Höhe bis zu 10 km nach den Ergebnissen der internationalen Ballonaufstiege. Wien. Sitzgsber. IIa 113, 571 (1904).

<sup>2</sup> FERSTER, J. M.: Die Windverhältnisse auf dem Sonnblick und einigen anderen Gipfelstationen. Denkschr. Wien. Akad. 58, 203 (1891). — HANN, J.: Über die tägliche Drehung der mittleren Windrichtung und über eine Oszillation der Luftmassen von halbtägiger Periode auf Berggipfeln von 2—4 km Seehöhe. Wien. Sitzgsber. IIa 111, 1615 (1902). — Die tägliche Periode der Windstärke auf dem Sonnblickgipfel und auf Berggipfeln überhaupt. Wien. Sitzgsber. IIa 103, 619 (1894).

<sup>3</sup> ELSTER, J. u. GETTEL, H.: Elektrische Beobachtungen auf dem Sonnblick. Wien. Sitzgsber. IIa 99, 1008 (1890); 104, 37 (1895). — Beobachtungen der normalen atmosphärischen Elektrizität auf dem Sonnblick. Wien. Sitzgsber. IIa 102, 1295 (1893).

<sup>4</sup> ELSTER, J. u. GETTEL, H.: Elmsfeuerbeobachtungen auf dem Sonnblick. Wien. Sitzgsber. IIa 101, 1485 (1892). — OBERMAYER, A.: Versuche über die „Elmsfeuer“ genannte Entladungsform der Elektrizität. Wien. Sitzgsber. IIa 97, 247 (1888).

<sup>5</sup> TRABERT, W.: Das „Knistern“ im Telephon auf dem Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. 4, 3 (1895). — Met. Z. 1897, 54. — CONRAD, V.: Bemerkungen zum Zusammenhang des Knisterns im Telephon auf dem Sonnblick mit Potential und Zerstreuung. Met. Z. 1906, 318.

<sup>6</sup> CONRAD, V. u. EXNER, F. M.: Registrierungen des lufterlektrischen Potentials auf dem Sonnblick. Wien. Sitzgsber. IIa 112, 413 (1903).

<sup>7</sup> CONRAD, V.: Über den täglichen Gang der elektrischen Zerstreuung auf dem Sonnblick. Wien. Sitzgsber. IIa 113, 1143 (1904). — Met. Z. 1905, 173. — Über den Zusammenhang der lufterlektrischen Zerstreuung auf dem Sonnblick mit den meteorologischen Elementen auf dem Gipfel und im Tale. Wien. Sitzgsber. IIa 114, 335 (1905).

Die Höhenlage des Sonnblickobservatoriums verlockte auch frühzeitig schon zu Messungen der Ein- und Ausstrahlung und zur Untersuchung der Absorptionsverhältnisse in den verschiedenen Luftschichten durch Vergleichsmessungen im Tal, was wesentlich war für die Beurteilung des Wärmehaushaltes der Atmosphäre. ELSTER und GEITEL benutzten die Eigenschaften mancher Substanzen, negativ elektrisch geladen unter dem Einflusse ultravioletter Bestrahlung ihre Ladung zu verlieren, zur Bestimmung der Absorption der ultravioletten Strahlung in unserer Atmosphäre<sup>1</sup>. Absolutmessungen der Ein- und Ausstrahlung wurden von J. PERNTER und F. M. EXNER vorgenommen<sup>2</sup>.

Die Lage des Sonnblickobservatoriums im Wolkeniveau bietet auch die beste Gelegenheit zur Untersuchung der Konstitution der Wolken und ihres Wassergehaltes, was auch eine für die Meteorologie wichtige Frage darstellt, die eigentlich nur auf Bergstationen gelöst werden kann. V. CONRAD hat eine eigene Methode ersonnen, mit der er auf dem Sonnblick den Wassergehalt der Wolkenluft und die Tropfengrößen feststellte<sup>3</sup>. Auch später wurden noch mehrfache Wolkenuntersuchungen auf dem Sonnblick durchgeführt<sup>4</sup>.

In den Observatorien auf dem Sonnblick und Obir wurden auch wichtige geophysikalische Untersuchungen angestellt. So sind auf dem Sonnblick Schweremessungen vorgenommen worden, um so in experimenteller Weise über die theoretische Annahme des Verlaufes der Erdschwere in Gebieten mit großen Gebirgsmassen Aufklärung zu erlangen. Es wurde zu diesem Zwecke auf dem Gipfel eine eigene Beobachtungshütte erbaut<sup>5</sup>. Auf dem Obir bot ein vom Schutzhaus in den Berg einführender Stollen wegen seiner Temperaturkonstanz die Möglichkeit zur Anstellung magnetischer Registrierungen zur Untersuchung des Einflusses des Höhenunterschiedes auf die erdmagnetischen Elemente. Die hiezu nötigen Parallelregistrierungen wurden im Tal nahe bei Eisenkappel vorgenommen. In demselben Stollen hat auch V. CONRAD mit einem ZOELLNERSchen Pendel die Neigung und Durchbiegung des Obirgipfels bei Tag und Nacht gemessen, die auf die ungleiche Erwärmung bzw. Abkühlung der Berghänge zurückgeführt wird<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> ELSTER, J. u. GEITEL, H.: Beobachtungen betreffend die Absorption des ultravioletten Sonnenlichtes in der Atmosphäre. *Met. Z.* 1893, 41.

<sup>2</sup> PERNTER, J. M.: Messungen der Ausstrahlung auf dem Hohen Sonnblick im Februar 1888. *Wien. Sitzgsber.* 97, 1562 (1888). — EXNER, F. M.: Messungen der Sonnenstrahlung und der nächtlichen Ausstrahlung auf dem Sonnblick. *Met. Z.* 1903, 409.

<sup>3</sup> CONRAD, V.: Über den Wassergehalt der Wolken. *Denkschr. Wien. Akad.* 73, 115 (1901).

<sup>4</sup> WAGNER, A.: Untersuchung der Wolkenelemente auf dem Hohen Sonnblick. *Wien. Sitzgsber.* IIa 117, 1281 (1909). — *Met. Z.* 1909, 371.

<sup>5</sup> ANDRES, L.: Die Schwerkraft am Sonnblick nebst allgemeinen Betrachtungen über die Erdschwere. *Jber. Sonnblick-Ver.* 22, 3 (1913).

<sup>6</sup> CONRAD, V.: Die zeitliche Folge der Erdbeben und bebenauslösende Ursachen. *Handbuch der Geophysik*, Bd. 4, S. 1008.

Nicht zuletzt wären die Untersuchungen der Gletscher und ihrer Änderungen, der temporären Schneegrenze<sup>1</sup> und der Dichte der Firnschichten auf den Sonnblickgletschern zu erwähnen<sup>2</sup>.

Hier sollten nur einige der wichtigsten Untersuchungen und Forschungen erwähnt werden, die wir den österreichischen Höhenobservatorien in der ersten Periode ihrer Entwicklung vor dem Weltkrieg verdanken. Der Österreichischen Meteorologischen Gesellschaft, der damals die Führung der Observatorien oblag, und dem Sonnblickverein, der die materielle Unterlage schaffen sollte, war es dabei oft sehr schwer geworden, ihren Aufgaben nachzukommen, das für die meteorologische Wissenschaft so bedeutungsvolle Werk beständig im Gang zu halten.

Die schwersten Zeiten brachen aber über die Höhenobservatorien herein, als der Weltkrieg und seine traurigen Folgeerscheinungen, die allgemeine große Notlage der Inflation, dem Sonnblickverein und der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie ihre weitere Erhaltung nahezu unmöglich machten. In größter Not wurde da durch das Zusammenwirken der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, der Wiener Akademie der Wissenschaften und des Österreichischen Bundesministeriums für Unterricht ein Weg gefunden, der die Observatorien vor dem Untergang rettete und die wissenschaftliche Tätigkeit daselbst wieder zu neuem Aufschwung führen sollte. Die Plattform für das Zusammenwirken der verschiedenen fördernden Stellen bildet seither der alte Sonnblickverein, der nur durch statutarische Umwandlung den neuen Verhältnissen angepaßt werden mußte.

Das Arbeitsgebiet der neuen Vereinigung wurde auch auf die Errichtung und Erhaltung alpiner Vergleichsstationen und auf die Erforschung der Gebirgsmeteorologie im allgemeinen ausgedehnt. So kamen nicht nur neue Gipfelstationen hinzu (Villacher Alpe 2157 m, Hochkönig 2938 m, Schöckel 1436 m, Adlersruhe 3465 m), sondern es wurde auch ein enges Stationsnetz im Sonnblickgebiet fast 4 Jahre lang außer den ständigen Basisstationen im Tal, Rauris, Döllach und Mallnitz erhalten, das zur eingehenden Erforschung der klimatischen und meteorologischen Besonderheiten des Gebirgsstockes Material liefern sollte.

Die Verarbeitung der Beobachtungen ist derzeit im Gange und soll in eine große umfassende Klimatologie des Sonnblickgebietes eingebaut werden, die nach Ablauf der ersten 50 Jahre des Bestandes des Sonnblickobservatoriums im Jahre 1936 herausgegeben werden wird. Inzwischen hat F. STEINHAUSER schon einige vergleichende statistische Studien

<sup>1</sup> PENCK, A.: Gletscherstudien im Sonnblickgebiet. Z. dtsch. u. österr. Alpen-Ver. 28, 52 (1897). — MACHATSCHKE, F.: Zur Klimatologie der Gletscherregion der Sonnblickgruppe. Jber. Sonnblick-Ver. 8, 3 (1899). — KINZL, H.: Die Gletscher der Sonnblickgruppe in den Jahren 1896—1928. Jber. Sonnblick-Ver. 37, 12 (1928).

<sup>2</sup> DEFANT, A.: Schneedichtebestimmungen auf dem Hohen Sonnblick. Wien. Sitzsber. IIa 117, 1231 (1908). — Met. Z. 1909, 362.

veröffentlicht, die auch damit zusammenhängen und als Vorarbeiten dafür gelten<sup>1</sup>.

Das Stationsnetz im Sonnblickgebiet wurde 1934 zum Teil wieder abgebrochen und in das Tal der Pasterze übersiedelt, um dort Material für die Erforschung der meteorologischen Besonderheiten dieses Gletschertales zu sammeln.

Den Erfordernissen der neuen Zeit entsprechend war die wissenschaftliche Tätigkeit des Sonnblickvereines und seiner Observatorien in der neuen Ära besonders auch auf Befriedigung der Bedürfnisse der Praxis eingerichtet worden<sup>2</sup>. In erster Linie kamen hiezu Niederschlagsbeobachtungen in hochgelegenen Gebieten in Betracht, die dazu notwendig sind, die Gleichförmigkeit des Zuflusses zu Wasserkraftwerken zu beurteilen und zugleich auch für die gefürchteten Frühjahrshochwässer vorsorgen zu können. Hierin erwuchs dem Sonnblickverein eine praktische Aufgabe, an deren Lösung er unter Verwendung der neuesten Methode mit Erfolg ging. Zunächst wurden im Sonnblickgebiet selbst an verschiedenen Stellen Niederschlagssammler (Totalisatoren) aufgestellt, die vom Beobachter nur monatlich einmal zum Zwecke einer Messung besucht werden müssen. Da diese Beobachtungen neue, die bisherigen Ansichten wesentlich berichtigende Ergebnisse brachten<sup>3</sup>, schien es zweckmäßig, das Netz der Niederschlagssammler auch weiter über das Pasterzen- und Glocknergebiet auszudehnen, so daß nun insgesamt 15 Sammler in diesen Gebieten in Betrieb sind. Neben der direkten Niederschlagsmessung wurde im Sonnblickgebiet auch die Ansammlung von Schnee mit in verschiedenen Höhen aufgestellten Schneepiegeln untersucht<sup>4</sup>.

Alle diese Beobachtungen und ferner viele aus den normalen Terminbeobachtungen des Stationsnetzes im Sonnblickgebiet konnten gerade in letzter Zeit auch praktisch Verwendung finden, als es sich darum handelte, über die günstigste Anlage der Großglockner-Hochalpenstraße und über die Arbeitsbedingungen dabei ein Urteil zu bekommen. Als wesentlich ist aber noch festzuhalten, daß sich die im Sonnblickgebiet gewonnenen Ergebnisse nicht nur auf dieses beschränken, sondern sich in den meisten Fällen auch auf andere Gebiete übertragen lassen, aus denen keine direkten Beobachtungen vorliegen. Und hierin liegt auch die besondere Rechtfertigung für den großen Aufwand, der im Sonnblickgebiet für solche Untersuchungen gemacht wird.

<sup>1</sup> STEINHAUSER, F.: Ein Beitrag zur Anwendung der beschreibenden Statistik in der Klimatologie. *Met. Z.* 1935, 206. — Eintrittszeiten der täglichen Temperaturextreme in verschiedenen Höhenlagen in den Ostalpen. *Met. Z.* 1935, 252. — Zur Kenntnis der Extremtemperaturen in den Ostalpen. *Jber. Sonnblick-Ver.* 43, 43 (1934). — ROSCHKOTT, A.: Die Sonnenscheinverhältnisse auf dem Sonnblick. *Jber. Sonnblick-Ver.* 41, 10 (1932).

<sup>2</sup> SCHMIDT, W.: Hochgebirgsklima und Technik. *Naturwiss.* 22, 381 (1934).

<sup>3</sup> STEINHAUSER, F.: Ergebnisse neuer Beobachtungen über die Niederschlagsverhältnisse im Sonnblickgebiet. *Jber. Sonnblick-Ver.* 41, 18 (1932). — Neue Ergebnisse von Niederschlagsbeobachtungen in den Hohen Tauern (Sonnblickgebiet). *Met. Z.* 1934, 36.

<sup>4</sup> STEINHAUSER, F.: Schneehöhenmessungen am Sonnblick und im Sonnblickgebiet. *Jber. Sonnblick-Ver.* 42, 43 (1933).

Für die Trassenführung der Hochalpenstraße, die in einzelnen Varianten knapp an Gletschern vorbeiführen sollte, war auch die Erwägung von besonderer Bedeutung, ob die Gletscher, die in den letzten Jahren besonders im Rückzug begriffen waren, nicht etwa wieder so weit vorstoßen können, daß sie die Straße gefährden. Das hängt wesentlich von den Schwankungen der Temperatur bzw. des Niederschlages, also von Klimaschwankungen ab. Da boten nun 50 Jahre hindurch fortgeführte Beobachtungen vom Sonnblick wieder die Möglichkeit festzustellen, daß tatsächlich die letzten Jahre einen Höhepunkt milder Witterung darstellten<sup>1</sup>, so daß also nicht unbedingt sicher mit einer Andauer der derzeitigen geringen Vergletscherung gerechnet werden kann.

Ein anderes Gebiet, auf dem die Beobachtungen unserer Bergstationen in den letzten Jahren besondere Bedeutung erlangten, eröffnete sich mit den Bedürfnissen des zunehmenden Luftverkehrs. So gehen denn schon seit mehreren Jahren täglich mehrmals Wettertelegramme auch an den Flugwetterdienst, wo die Bergbeobachtungen besonders für die Beurteilung der Witterungsverhältnisse der Flugstrecken verwertet werden. Es kommt dabei aber nicht nur auf die momentanen Witterungsverhältnisse am Berg selbst an, sondern viel mehr Bedeutung erlangen die Beobachtungen dadurch, daß sie als Indikatoren für das zu werten sind, was anderswo zu erwarten ist. Da erweisen sich gerade wieder die Bergstationen als unumgängliche Notwendigkeit, weil nur dort es möglich ist, sich *jederzeit* über die Strömungsverhältnisse der oberen Luftschichten zu unterrichten. Es ist daher von besonderem Wert, zu untersuchen, wie das, was sich in der Luft über den Tieflagen abspielt, mit den Vorgängen, die auf den Bergstationen beobachtet werden, verknüpft ist. Dabei dreht es sich hauptsächlich um die Feststellung der Strömungsverhältnisse. Von solchen Erwägungen ausgehend, wurden daher gerade durch den Sonnblickverein auch entsprechende Sonderuntersuchungen gefördert, die sich nicht nur auf die unmittelbare Umgebung des Sonnblick erstreckten<sup>2</sup>, sondern auch auf fernere Gebiete bis zum Gebirgsrand, Salzkammergut und Alpenostrand (W. SCHMIDT). Dabei war von besonderem Interesse die Beeinflussung der Allgemeinströmung durch das Gebirge in seinen Tälern (Berg- und Talwind, Gletscherwind).

Ein anderes Forschungsgebiet, das in gleicher Weise der meteorologischen Wissenschaft und praktischen Bedürfnissen dient und in den letzten Jahren daher vom Sonnblickverein besonders gepflegt wurde,

<sup>1</sup> STEINHAUSER, F.: Wie ändert sich unser Klima? Met. Z. Okt. 1935. — WAGNER, A.: Die Abnahme der Jahresschwankung der Temperatur in den letzten Dezennien in Europa. Met. Z. 1928, 361. — Eine bemerkenswerte 16jährige Klimaschwankung. Wien. Sitzgsber. IIa 133, 169 (1924).

<sup>2</sup> ROSCHKOTT, A., STEINHAUSER, F. u. LAUSCHER, F.: Winduntersuchungen im Sonnblickgebiet; Ergebnisse einer Pilotierungswoche vom 24.—29. Juli 1933. Jber. Sonnblick-Ver. 42, 15 (1933). — ROSCHKOTT, A.: Die Windverhältnisse im Sonnblickgebiet. Beihefte zum Jahrgang 1929 der Jahrbücher der Zentral-Anstalt für Meteorologie und Geod. Wien 1933. — Der Wind auf Berggipfeln und in der freien Atmosphäre. Met. Z. 1934, 347. — TOLLNER, H.: Gletscherwinde in den Ostalpen. Met. Z. 1931, 414.

ist die Strahlungsforschung<sup>1</sup>. Besonders die heilklimatische Wirkung der Strahlung im Hochgebirge war es, die von Seite der Praxis das Interesse an Strahlungsuntersuchungen weckte, von Seite der Wissenschaft gab dies die Frage nach den Wärmehaushalt der Atmosphäre. Die Strahlungsuntersuchungen beschränkten sich daher nicht nur auf die Höhenobservatorien Sonnblick<sup>2</sup> und Obir<sup>3</sup>, sondern auf weite Gebiete der österreichischen Alpen wie Kanzelhöhe<sup>4</sup>, Stolzalpe<sup>5</sup>, Semmering<sup>6</sup>, Feuerkogel, Schmittenhöhe, Lunz u. a. Neben der gesamten Sonnenstrahlung wurden auch bestimmte Spektralbereiche, besonders das Ultraviolett, und auch die Ausstrahlung, die Himmelsstrahlung und die Reflexion von Wolken untersucht.

Mit ganz neuen Methoden wurde auch die Untersuchung der Wolken, ihrer Konstitution, der Tropfenzahl und Größe und des Wassergehaltes der Wolkenluft vorgenommen<sup>7</sup>. Auch der Chlor- und Jodgehalt der Luft und der Rauhreifablagerungen wurden auf dem Sonnblick bestimmt<sup>8</sup>. Zur Untersuchung des Reinheitsgrades der Luft sind Beobachtungen des Himmelsblaus<sup>9</sup> und Sichtmessungen<sup>10</sup> vorgenommen worden.

Ein ganz neues Arbeitsgebiet eröffnete sich der Arbeit auf den Höhenobservatorien nach der Entdeckung der durchdringenden Höhenstrahlung, deren rätselhafter Herkunft und besonderen Eigenheiten man in den

<sup>1</sup> EXNER, F. M.: Strahlungsmessungen im österreichischen Gebirge. Jber. Sonnblick-Ver. **36**, 30 (1927).

<sup>2</sup> LAUSCHER, F.: Strahlungsmessungen auf dem Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. **37**, 37 (1928).

<sup>3</sup> HOLZAPFEL, R.: Ergebnisse von Strahlungs- und Polarisationsmessungen auf dem Hochobir im Sommer 1927. Wien. Sitzgsber. IIa **138**, 1 (1929). — Studien über die Diffusion des Lichtes. Beitr. Geophysik **21**, 190 (1929).

<sup>4</sup> ECKEL, O.: Zum Strahlungsklima der Kanzelhöhe. Wien. Sitzgsber. IIa **141**, 187 (1932). — Die Verteilung der Ultraviolettstrahlung über das Himmelsgewölbe. Met. Z. **1934**, 180. — Messungen der Ausstrahlung und Gegenstrahlung auf der Kanzelhöhe. Met. Z. **1934**, 234. — Die Intensität der Sonnenstrahlung auf der Kanzelhöhe in getrennten Spektralbereichen. Met. Z. **1934**, 266. — LAUSCHER, F. u. ECKEL, O.: Zur Kenntnis des Winterklimas der Kanzelhöhe. Mitt. Volksgesdh.amt Wien **1931**.

<sup>5</sup> SCHEMBOR, F.: Ergebnisse der Strahlungsmessungen auf der Stolzalpe. Wien. Sitzgsber. **138**, 497 (1929). — HOLZAPFEL, R.: Hauptergebnisse der Strahlenmessungen auf der Stolzalpe in der Zeit vom 1. Nov. 1928 bis 1. Okt. 1929. Wien. Sitzgsber. IIa **139**, 373 (1930).

<sup>6</sup> TOPERCZER, M.: Strahlungsmessungen am Semmering. Mitt. Volksgesdh.amt. Wien **1929**.

<sup>7</sup> ALBRECHT, F.: Wolkenuntersuchungen und Rauhreifuntersuchungen auf dem Hohen Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. **33**, 11 (1924); **35**, 25 (1926). — Das geheizte Haarhygrometer als Meßgerät des Wassergehaltes von Wolken und Nebeln. Met. Z. **1925**, 468. — KOEHLER, H.: Wolkenuntersuchungen auf dem Sonnblick im Herbst 1928. Met. Z. **1929**, 409. — Jber. Sonnblick-Ver. **37** (1929).

<sup>8</sup> CAUER, H.: Bericht von Untersuchungen über den Jodgehalt der Luft im Hochgebirge (Hoher Sonnblick, 3106 m). Jber. Sonnblick-Ver. **39**, 19 (1930). — Das Jod der Luft im Hochgebirge. Sonnblick-Ver. **40**, 20 (1931). — LAUSCHER, F. u. SCHWARZ, K.: Über den Chlorgehalt des Nebelfrostes auf dem Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. **40**, 32 (1931).

<sup>9</sup> LAUSCHER, F.: Über zweijährige Beobachtungen mit der LINKESCHEN Blauskala auf dem Sonnblick. Met. Z. **1930**, 312.

<sup>10</sup> LOEHLE, F.: Sichtmessungen auf dem Hohen Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. **39**, 13 (1930).

großen Höhen eher auf die Spur zu kommen hoffte als im Tiefland. So wurden zuerst auf dem Obir<sup>1</sup> und dann, bis zur Gründung des Strahlungsforschungsinstitutes auf dem Hafelekar, auf dem Sonnblick gründliche und ausgedehnte Untersuchungen und Registrierungen vorgenommen<sup>2</sup>.

Auch mit der Verbreitung und allgemeinen Einführung der Radiotelegraphie und des drahtlosen Rundspruches waren neue Aufgaben gestellt worden, deren Lösung wieder vornehmlich auf den Höhenobservatorien in Angriff genommen werden konnte. Es handelte sich dabei hauptsächlich um die Feststellung der atmosphärischen Störungsquellen und der Wellenausbreitung. Entsprechende Untersuchungen wurden in den letzten Jahren auch auf dem Sonnblick durchgeführt<sup>3</sup>.

Nicht zu vergessen sind auch die ausgedehnten Untersuchungen der Gletscher und ihrer Veränderungen, für die sich gerade auf dem Sonnblick günstige Bedingungen boten, weil dort durch die fortwährenden meteorologischen Beobachtungen am Observatorium auch die klimatischen Daten zur Beurteilung des Anfalles von Niederschlägen und der Ursachen der Gletscheränderungen zur Verfügung stehen.

Es sei noch erwähnt, daß auch für theoretische geophysikalische Untersuchungen wie zur Bestimmung der elastischen Deformation der Erdkruste durch die Schneebelastung der Alpen die Sonnblickbeobachtungen die hauptsächlichsten Unterlagen lieferten<sup>4</sup>.

Schließlich sei darauf hingewiesen, daß auf den Höhenstationen in letzter Zeit auch Versuche zu astronomischen Untersuchungen gemacht worden sind. Auf der Adlersruhe wurden photographisch-photometrische Untersuchungen des U.V.Spektrums ausgewählter hellerer Sterne, unmittelbare spektralphotometrische Vergleiche der Sonne mit einigen Sternen und Vergleiche der Intensität des langwelligen Streulichtes in der Atmosphäre mit der Helligkeit des Mondes auf photographischem Wege<sup>5</sup> angestellt.

So sehen wir nach diesem Überblick über die wissenschaftliche Entwicklung der Höhenobservatorien auf eine ergebnisreiche Arbeitszeit zurück, die für Wissenschaft und Praxis gleich bedeutungsvolle Resultate

<sup>1</sup> HESS, V. F. u. KOFER, M.: Beobachtungen der durchdringenden Strahlung auf dem Obir. Jahrbücher der Zentral-Anstalt für Meteorologie. Wien 1915. — Wien. Sitzgsber. IIa 126, 1389 (1917).

<sup>2</sup> STEINMAURER, R.: Registrierbeobachtungen der Schwankungen der HESSschen kosmischen Ultrastrahlung auf dem Sonnblick im Juli 1929. Wien. Sitzgsber. IIa 139, 281 (1930). — PRIEBSCHE, J. u. STEINMAURER, R.: Ganzjährige Registrierbeobachtungen der kosmischen Ultrastrahlung auf dem Hohen Sonnblick. Beitr. Geophysik 37, 296 (1932).

<sup>3</sup> FUCHS, J.: Die Sende- und Empfangsverhältnisse für drahtlose Telegraphie am Sonnblick. Jber. Sonnblick-Ver. 37, 31 (1928). — Z. Hochfrequenztechn. 34, 96 (1929). — FUCHS, J. u. SCHOLZ, J.: Untersuchungen über luftelektrische Phänomene und die atmosphärischen Störgeräusche der Radiotelegraphie. Beitr. Geophysik 27, 176 (1930).

<sup>4</sup> STEINHAUSER, F.: Über die elastische Deformation der Erdkruste durch lokale Belastung mit besonderer Berücksichtigung der Schneebelastung der Alpen. Beitr. Geophysik 41, 466 (1934).

<sup>5</sup> KIENLE, H.: Astronomische Beobachtungen auf der Adlersruhe am Großglockner. Jber. Sonnblick-Ver. 40, 7 (1931).

brachte und all die, die dazu irgendwie beigetragen haben, die Observatorien arbeitsfähig zu erhalten, mit Freude und Stolz über das Geleistete erfüllen und zu intensiver Weiterarbeit anspornen kann.

F. STEINHAUSER, Wien.

#### 4. Meteorologisches Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Danzig.

Wie in dem Handbuch der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft erwähnt, hat sich das Meteorologische Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Danzig aus der Forschungsabteilung des Staatlichen Observatoriums der Freien Stadt entwickelt. Es war daher selbstverständlich, daß sich die Arbeiten des Instituts an die der früheren Forschungsabteilung anschlossen.

Bei diesen handelt es sich zunächst um die *Anwendung hydro- und aerodynamischer Methoden und Ergebnisse auf Probleme der Meteorologie*. Als eine der ersten Fragen wurde der Einfluß der Luftbewegung auf die Genauigkeit der *Luftdruckmessung in Gebäuden* untersucht, etwa gleichzeitig mit den gleichsinnigen Modellversuchen, wie sie z. B. in Göttingen und Kopenhagen ausgeführt sind. Zu den Messungen des Windeinflusses auf die Druckangabe wurde ein Bergobservatorium gewählt, weil dort erst die Windgeschwindigkeiten so groß werden, daß meßbare Effekte häufiger zu erwarten sind. Die Untersuchungen auf dem Observatorium Schneekoppe<sup>1</sup>, die mit freundlicher Genehmigung des Preußischen Meteorologischen Instituts durchgeführt wurden, ergaben auch ein positives Ergebnis: in dem Gebäude konnten bei geeigneten Verhältnissen bei 20 m/s Windgeschwindigkeit etwa 1 mm Hg, bei 30 m/s etwa 2 mm Hg Unterdruck tatsächlich registriert werden. Das sind beachtliche Effekte, denn sie entsprechen einem Fehler von max. 6° C, wenn man mit Hilfe der unkorrigierten Druckwerte die Mitteltemperatur der unterhalb der Schneekoppe gelegenen Luftmassen berechnet. Es kommt hinzu, daß die Druckerniedrigung sehr stark von der Windrichtung (Anblasrichtung) abhängt, so daß mitunter bei einer Windrichtungsänderung eine Druckerniedrigung vorgetäuscht wird, während in Wirklichkeit in der freien Atmosphäre eine Druckerhöhung auftritt. — Eine zweite Aufgabe betraf die Ausführung der *Regenmessungen*<sup>2</sup>. Schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts war erkannt worden, daß diese sehr stark dadurch beeinflußt werden, daß der frei aufgestellte Regenschirm die Luftbewegung ablenkt, wodurch die fallenden Tropfen zum Teil über das Auffanggefäß hinweggetragen werden. Diese Schwierigkeit wurde jetzt beseitigt, indem der ganze Regenschirm in die feste Erde versenkt wurde, so daß eine Ablenkung der Luftbewegung vermieden war. Spritzwasser wurde dadurch unterdrückt, daß die Auffangfläche mit einer kreisförmigen Bürste umgeben

<sup>1</sup> KOSCHMIEDER, H.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, H. 1. — Zur Theorie: Met. Z. 1930, 317.

<sup>2</sup> KOSCHMIEDER, H.: 3. Hydrologische Konferenz der baltischen Staaten Warschau 1930 und 4. Hydrologische Konferenz der baltischen Staaten Leningrad 1933.

wurde, deren Borsten nach oben stehen und die auffallenden Regentropfen festhalten. Vergleichsmessungen zwischen einem freistehenden Regenschirm und dem versenkten, die wieder auf der windreichen Schneekuppe durchgeführt wurden, ergaben, daß dort bei einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s der freistehende Regenschirm einen Fehlbetrag von 40 %, bei 15 m/s sogar von etwa 65 % aufweist. Da die Luftbewegung in der Nähe eines Berggipfels im einzelnen häufig schlecht zu übersehen ist, so sind nach Abschluß der 4-jährigen Meßreihe auf der Schneekuppe die Versuchsregenschirme jetzt auf der ganz flachen Insel Wangerooe eingebaut worden. — Diese beiden Untersuchungen führten auch zur Aufstellung der Begriffe „Geräte-, Gebäude- und Geländestörung“, die darauf hinweisen, daß durch außenliegende Störungen die oft sehr beträchtliche Ablesegenauigkeit der meteorologischen Instrumente gar nicht ausgenutzt werden kann, da die Fehler infolge der Anwesenheit des Meßgerätes selber, des Beobachtungshauses oder einer Geländeunebenheit häufig das Zehnfache oder mehr der Ablesegenauigkeit erreichen.

Außer diesen experimentellen Untersuchungen wurde eine Reihe theoretischer Arbeiten durchgeführt, die sich vornehmlich auf die *Kinematik in der freien Atmosphäre* bezogen. Im allgemeinen ist es in der Atmosphäre ja so, daß stationäre Verhältnisse selten auftreten, vielmehr über mehr oder weniger stationäre Verhältnisse noch eine Translation überlagert ist<sup>1</sup>. Während in den meisten hydrodynamischen Versuchen, oder wenigstens in sehr vielen, Stromlinien und Luftbahnen zusammenfallen, ist dies schon bei den einfachsten Gedankenmodellen der atmosphärischen Vorgänge nicht mehr der Fall<sup>2</sup>, wodurch sich eine Reihe Irrtümer in der Deutung meteorologischer Vorgänge eingeschlichen hatte. Erd- und luftfestes System müssen in der Meteorologie sorgfältig auseinander gehalten werden. Man gelangt leicht zu einer einfachen Darstellung der Verhältnisse, indem man die von MAXWELL ersonnene Methode der Überlagerung voll ausschöpft.

Das zweite Arbeitsgebiet betraf den Begriff der *Sichtweite*, die durch die Entwicklung des Luftverkehrs große praktische Bedeutung erlangt hat. Zunächst handelte es sich darum nachzuprüfen, wie weit eine unter sehr einschränkenden Bedingungen durchgeführte Theorie der Sichtweite<sup>3</sup> das Wesentliche der Erscheinung wiedergibt. Diese geht davon aus, daß bei Tage das Verschwinden eines schwarzen Zieles nicht auf Verdunkelung des Zieles, sondern vielmehr auf seine Aufhellung zurückgeht, indem bei hinreichender Entfernung dieses durch das in der Atmosphäre vorhandene Streulicht so stark aufgehellt wird, daß es dem Auge ebenso hell erscheint wie etwa der umgebende Horizont Himmel. Die Theorie macht die Aussage, daß das Verhältnis „scheinbare Flächenhelligkeit des schwarzen Zieles : Horizonthelligkeit“ nur Funktion der Entfernung, nicht aber Funktion des Azimuts der Blickrichtung gegen den Sonnenvertikal ist.

<sup>1</sup> KOSCHMIEDER, H.: Met. Z. 1932, 118. — Abschnitt Kinematischer Aufbau hydrodynamischer Stromfelder. Physik der Atmosphäre. Leipzig 1933.

<sup>2</sup> FRISCHMUTH, G.: Met. Z. 1932, 267.

<sup>3</sup> KOSCHMIEDER, H.: Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Bd. 12, S. 33 und 171.

Diese Aussage wurde dadurch nachgeprüft, daß um die Ostmole der Danziger Hafenausfahrt auf der Bucht ein schwarzes Ziel herumgeführt und seine Flächenhelligkeit sowie die des umgebenden Horizonthimmels jeweils gemessen wurde. Es ergab sich in der Tat das auf den ersten Blick überraschende Ergebnis, daß das schwarze Ziel 5—15mal so hell erscheint, wenn es unter der Sonne, also in seinem eigenen Schatten steht, als wenn es sich der Sonne gegenüber befindet und voll beleuchtet wird. Die Lösung für diesen Sachverhalt liegt darin, daß sich die Horizontelligkeit im gleichen Sinne ändert. Unmittelbar sichtbar wurden diese Verhältnisse dadurch, daß neben dem schwarzen Sammetziel ein weißes Leinenziel mitgeschleppt wurde. Dann erschien der Sonne gegenüber das schwarze Ziel tiefschwarz, das weiße Ziel knallweiß, wie zu erwarten; dagegen waren unter der Sonne beide Ziele voneinander überhaupt nicht zu unterscheiden, das schwarze Ziel also durch die Aufhellung sozusagen in ein weißes verwandelt. Diese Messungen waren noch gestört dadurch, daß die Luftmassen in der Nähe der Küste optisch nicht homogen sind. Grundsätzlich dieselben Messungen, jedoch mit mehreren, auf einem Kreis fest aufgestellten Zielen, wurden dann im Danziger Werder durchgeführt, im strengen Winter 1929, der den Vorteil einer gleichmäßigen Schneedecke, also gleichförmigen „Unterlichtes“ bot. Bei den in dieser Jahreszeit auftretenden Kleinsichtweiten bis zu 4 km blieben die Abweichungen gegenüber der Theorie unter 6 % und gingen kaum über die sorgfältig erörterten Fehlergrenzen der Beobachtungen hinaus<sup>1</sup>. Die im Sommer 1930 bei wesentlich größeren Sichtweiten durchgeführten Messungen ergaben kein so günstiges Ergebnis, die Abweichungen gegenüber der Theorie überschritten deutlich die Fehlergrenze der Beobachtungen, wenn sie auch mit 15 % klein blieben (gegenüber denjenigen azimutalen Schwankungen, die auf Grund anderer Messungen auf 60 % und mehr zu veranschlagen waren). Der Grund für die Abweichung liegt darin, daß bei den großen Sichtweiten die Reflexion der Ziele sowie alles andere falsche Licht sich bei der geringen Aufhellung der Ziele im Sommer sehr stark bemerkbar macht. Eine dritte Meßreihe wurde so angelegt, daß durch Benutzung von Hilfszielen das falsche Licht eliminiert werden konnte; alsdann blieben die relativen Abweichungen bis 10 km Sichtweite in der Größenordnung der Fehlergrenze, bis 50 km Sichtweite wurden sie größer. Da sie aber wechselnden Vorzeichens waren, konnten sie nur durch Inhomogenitäten der Luft gedeutet werden, erwiesen sich zudem mit maximal 10 % als so klein, daß sie bei praktischen Aufgaben kaum in Frage kommen<sup>2</sup>. — Nachdem sich somit die Theorie in einem wesentlichen Teil als bestätigt erwiesen hatte und auch von anderer Seite die Aufhellung als Funktion der Entfernung als der Theorie entsprechend festgestellt worden war, wurde die Theorie benutzt, um einen Zusammenhang zwischen der Sichtweite eines schwarzen Zieles bei Tage und der Tragweite eines Leuchtfeuers bei Nacht herzustellen<sup>3</sup>. Die Rechnung gibt Antwort auf die Frage: Wie groß ist die Tragweite eines Leuchtfeuers

<sup>1</sup> KOSCHMIEDER, H.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, Heft 2.

<sup>2</sup> RÜHLE, H.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, Heft 3.

<sup>3</sup> FOTZLIK, L.: Met. Z. 1932, 134.

gegebener Lichtstärke bei völlig dunkler Nacht, wenn die Trübung der Atmosphäre bei Tage eine Sichtweite von 2 oder 10 oder 20 km bedingen würde? Die einfache Rechnung liefert eine übersichtliche graphische Darstellung, die für viele Zwecke eine praktische Verwendung finden kann. Allerdings beschränkt sich die Verwendbarkeit auf mondlose Nächte, da, wie von anderer Seite gezeigt wurde, das Mondlicht die Tragweite eines Leuchtfeuers schon erheblich herabsetzen kann. Auf der Grundlage dieser Rechnung wurde dann ein Nachtsichtmesser entwickelt, der letzten Endes auf eine Absorptionsmessung hinausläuft<sup>1</sup>. Dabei wird das Licht einer kleinen Scheinwerferlampe geteilt, der eine Teil geht unmittelbar in das eine Gesichtsfeld des benutzten Pulfrichphotometers, der andere Teil wird gegen einen etwa 100 oder 200 m weit entfernten Spiegel gerichtet, dort reflektiert und in das andere Gesichtsfeld geleitet. Durch Vergleich der beiden Helligkeiten kann unmittelbar der Absorptionskoeffizient gefunden werden, wenn einmal in einer sehr klaren Nacht die Absorptionsverluste usw. desjenigen Strahles bestimmt worden sind, der den langen Luftweg zurückzulegen hat. Die Apparatur, die von der Firma Zeiß gebaut wurde, gestattet zudem durch Vorschlagen geeigneter Filter, die spektrale Durchlässigkeit von Naturnebeln zu bestimmen. Solche Messungen wurden ausgeführt zuerst in Danzig, dann auf dem Brocken, in Berlin und schließlich auf Wangerooge, um die möglicherweise verschiedenen Nebelarten, die sich auf Bergen, in Großstädten und auf Inseln finden, zu erfassen. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, daß bei großen Sichtweiten über 900 m rot durchdringender ist als blau, wie allgemein angenommen wird, daß aber bei kleineren Sichtweiten die Verhältnisse sich umkehren, wenn dann auch die Unterschiede schon sehr klein sind. Es scheint demnach, daß man es bei Dunst und Nebel mit zwei genetisch verschiedenen Erscheinungen zu tun hat. Einzelreihen von Beobachtungen mit dichter werdendem Dunst oder mit abnehmendem Nebel zeigen, daß Dunst und Nebel nicht nur durch die Sichtweite, sondern vor allem auch durch die spektrale Durchlässigkeit gekennzeichnet werden<sup>2</sup>.

Das dritte Arbeitsgebiet erstreckt sich auf die *Strahlung in der Atmosphäre*, und zwar wurden grundsätzlich *Strahlungsregistrierungen* angestrebt. Nach mehreren unbefriedigenden Versuchen mit handelsüblichen Instrumenten mußten die Untersuchungen zunächst auf die Sonnenstrahlungen allein beschränkt werden. Auch da wurde die Empfängeranlage für die Sonnenstrahlung neu konstruiert. Doch lag hierin nicht das Wesentliche der Danziger Aufgabe, da an anderen Orten sicher ebenso gute oder bessere Geräte vorhanden sind, vielmehr war als Ziel eine vollständige Auswertung angestrebt, derart daß nicht wie bisher nur Intensitäten der Sonnenstrahlung (auf die zur Strahlung senkrechte Fläche) zu bestimmten Zeitpunkten des Tages, sondern vielmehr die gesamte Wärmesumme erfaßt werden sollte. Dazu war notwendig, daß alle Registrierstreifen ausplanimetriert wurden, was tatsächlich für die Jahre 1931—35 durchgeführt

<sup>1</sup> FOITZIK, L.: Naturwiss. 1934, 384.

<sup>2</sup> FOITZIK, L.: Vortr. Danzig. Tagg dtsh. met. Ges. 1935.

wurde<sup>1</sup>. Es ist dies eines der wenigen Male, daß Strahlungssummen tatsächlich durch Messungen erfaßt wurden. Das ist auch nicht erstaunlich bei dem Umfang der Arbeit, die in die Planimetrierung gesteckt werden muß. Da die Ermittlung solcher Summen ihren Wert letzten Endes durch den Vergleich mehrerer Stationen erhält, die Voraussetzungen für eine so zeitraubende Auswertung aber nur an wenigen Plätzen gegeben sind, so erschien es notwendig, selbstintegrierende Geräte zu entwickeln. Diese Aufgabe wurde in ganz allgemeiner Weise angefaßt, indem nicht nur die Registrierung und Integrierung, sondern auch der Empfänger neu entwickelt wurde. Für den Empfänger lagen die Vorarbeiten von P. DUBOIS vor. Die Integrierung gelang durch einen abgestimmten Säbelzähler der Siemenswerke, der in Verbindung mit einem FUESSSchen meteorologischen Chronographen die ganze Planimetrierung auf das Auszählen aufgeschriebener Kontakte reduziert. In grundsätzlicher Beziehung wurde der Empfänger noch vervollständigt durch den Einbau einer stets horizontal liegenden Thermosäule, so daß man jetzt diejenige Wärmemenge erhält, die für den Landwirt und Meteorologen in erster Linie von Bedeutung ist, nämlich die auf die horizontale Erdoberfläche fallende Sonnenstrahlung<sup>2</sup>.

Schließlich sind im Laufe der Jahre noch solche Arbeiten in Angriff genommen worden, die durch die große Nähe der Küste ermöglicht wurden. Der Strand liegt nur 3 km vom Observatorium entfernt, und so war es naheliegend, die meteorologischen Vorgänge in der Nähe des Strandes zu untersuchen. Zunächst erfolgte eine Darstellung des Strandklimas<sup>3</sup>, wobei sich zeigte, daß in der Nähe des Strandes auf eine Entfernung von 100 bis 300 m die verschiedensten Klimate auf engstem Raum zusammenliegen. Wenn diese Tatsache an sich auch schon bekannt war, so geben die hier aufgeführten Untersuchungen doch die quantitativen Unterlagen zur Beurteilung der Klimaunterschiede. Die Temperatur wurde an vier Stationen beobachtet, die auf einer zur Küste senkrechten Geraden lagen, und zwar in der Erdoberfläche sowie in 5, 25, 50, 100 und 150 cm Höhe über dem Erdboden und in einem zeitlichen Abstände von etwa 20 Minuten vom Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang. Die Temperatur der unteren Luftschichten wurde mitgenommen, um gerade die Verhältnisse zu erhalten, in denen sich der ruhende Mensch aufhält. Außerdem wurde an einigen Beobachtungstagen auch die Lufttemperatur über See in 8 m Abstand vom Strande sowie die Wassertemperatur an dieser Stelle gemessen und schließlich die Windgeschwindigkeit an den vier erstgenannten Stationen. Es zeigt sich, daß die Unterschiede der Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit an den vier Stationen so groß sind, daß sie vollständig ausreichen, um die physiologische Wirkung des Strandaufenthaltes zu erklären. Es erscheint demnach nicht notwendig, Unterschiede über Land und See in der Sonnen- und Himmelsstrahlung oder gar der Ultraviolettstrahlung für die Heilwirkung des Strandes verantwortlich zu machen. Die starke Luftbewegung in der Nähe des Strandes reicht im

<sup>1</sup> Ergebnisse der Strahlungsregistrierungen in Danzig, Jg. I—V. Umdruck Danzig.

<sup>2</sup> DUBOIS, P.: Naturwiss. 1935, 450.

<sup>3</sup> RÜHLE, H.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, Heft 6.

allgemeinen aus, um die dem Körper durch die Sonnenstrahlung zugeführte Wärmemenge abzutransportieren, teils durch einen unmittelbaren Wärme-  
fluß vom Körper zu der umgebenden Luft, teils durch die Verdunstung  
des Schweißes. Und diese starke Wärmeabgabe ermöglicht dann dem  
Körper die Ausnutzung der Strahlung, ohne daß Verbrennungserschei-  
nungen eintreten, so daß, grob gesprochen, von der Strahlung nur der  
biologisch wirksame Teil vom Körper verarbeitet wird.

Noch ein Küstenproblem wurde im Laufe der letzten Jahre auf-  
gegriffen, das des *Seewindes*<sup>1</sup>. Die Danziger Bucht weist im Sommer-  
halbjahr häufig einen sehr ausgesprochenen Seewind auf, der deutlicher  
ist als an den meisten Stellen der Ost- oder gar der Nordsee. Es scheint,  
daß die gute Ausbildung des Seewindes in der Danziger Bucht damit  
zusammenhängt, daß die Küste nicht geradlinig, sondern nahezu halb-  
kreisförmig verläuft. Stellt man sich das Druckfeld in der Umgebung  
einer geradlinigen Küste und in der Umgebung einer Bucht schematisch  
dar, so findet man ungleich größere Druckunterschiede und Druck-  
gradienten an der Bucht als an der geradlinigen Küste. Experimentell  
wurde der Seewind untersucht mit Hilfe dreier Registrierstationen in der  
Nähe der Küste, die mit Böenschreibern und Thermohygrographen aus-  
gerüstet waren. Liegen die Stationen nicht auf einer geraden Linie, so  
ist es möglich, aus den zeitlichen Unterschieden in dem Einsatz des See-  
windes die Richtung der Front zu bestimmen, die die eindringende kühlere  
Seeluft mit der erhitzten Landluft bildet, sowie die Geschwindigkeit, mit  
der sich diese Front verlagert. Die Beobachtungen der Jahre 1932 und  
1935 zeigen alsdann mit Deutlichkeit, daß im allgemeinen die Verlagerungs-  
geschwindigkeit der Front geringer ist als die Komponente der Wind-  
geschwindigkeit normal zur Front. Das besagt aber nichts anderes, als  
daß die eindringende Seeluft auf ihrer Vorderseite aufsteigt. Ein weiteres  
unerwartetes Beobachtungsergebnis ist, daß der Seewind besonders deutlich  
dann in Erscheinung tritt, wenn die Wetterlage während des Tages eine  
vom Land zur See gerichtete Luftbewegung erwarten läßt. Nur in diesem  
Falle bilden sich deutliche Fronten aus, nur in diesem Falle wird der  
Seewind als solcher empfunden. Es scheint so, als ob zu der Ausbildung  
der Fronten einmal die Druckunterschiede beitragen, die durch die auf-  
gehäuften kühlere Luftmasse über See entstehen, sowie die Scherkraft, die  
durch den ablandigen und aus der Wetterlage bedingten Wind auf die  
darunter gelegenen Luftmassen über See ausgeübt wird. Die weiteren  
umfangreichen Beobachtungen liegen bisher wenigstens handwerksmäßig  
ausgewertet vor, so die Flugzeugaufstiege in der Land- und Seeluft 1933  
und 1934, die ganz wesentliche Temperaturunterschiede bis über 500 m  
hinauf ergeben, so die Pilotballonmessungen im Jahre 1933 und 1934,  
die die obere Grenze des Seewindes zu bestimmen gestatten, und schließlich  
die Pilotballonmessungen 1935, die an zwei Stationen, nämlich in unmittel-  
barer Küstennähe und in 3 km Küstenabstand durchgeführt wurden und  
so eine quantitative Bestimmung der Konvergenz in der Horizontalen

<sup>1</sup> KOSCHMIEDER, H.: Vortr. Danzig. Tagg dtsch. met. Ges. 1935.

gestatten. Dabei sind an den ausgewählten Beobachtungstagen an jedem Tag 10—15 Aufstiege pro Station ausgeführt worden, so daß eine eingehende Darstellung des Windfeldes in Isoplethenform möglich war.

Es versteht sich, daß außer den aufgeführten Hauptarbeitsgebieten noch eine Reihe anderer Untersuchungen durchgeführt wurde, von denen nur die theoretischen<sup>1</sup> oder synoptischen<sup>2</sup> über die Energieverhältnisse in der freien Atmosphäre erwähnt sein sollen, oder die Bemühungen um die Synchronisierung meteorologischer Registrierungen.

H. KOSCHMIEDER.

## 5. Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem.

### Abteilung BECKMANN (1912—1923).

Zunächst wurden die in Leipzig unterbrochenen Arbeiten auf dem Gebiete der Molekulargewichtsbestimmungen, der anorganischen Chemie und der Spektralanalyse mit einer Reihe Leipziger Schüler, die BECKMANN nach Dahlem gefolgt waren, fortgesetzt. Bei den Molekulargewichtsarbeiten handelte es sich um Beurteilung aller Vorgänge, die sich in Lösungen abspielen, wie Assoziationserscheinungen u. a. m. Eingehende Versuche über die verschiedenen allotropen Zustände des Schwefels, das Verhalten von Jod zu Schwefel, Selen, Tellur wurden durchgeführt.

Im Anschluß an frühere Arbeiten wurden mancherlei physikalisch-chemische Arbeitsmethoden verbessert (Konstruktion einer neuen Natriumlampe für Polarisationsarbeiten, Analysenbrenner aus Porzellan u. a. m.).

Bei der feierlichen Einweihung der Institute für Chemie und für Physikalische Chemie hatte der Kaiser eine wissenschaftliche Aufgabe gestellt: die Auffindung geeigneter Vorrichtungen zur rechtzeitigen Anzeige von Schlagwettergefahr in Kohlenbergwerken. BECKMANN widmete sich neben seinen anderen Arbeiten auch dieser Aufgabe und baute einen Schlagwetteranzeiger, der ihn bis in seine letzten Lebensjahre beschäftigte.

In der Kriegezeit verschob sich die Haupttätigkeit der Abteilung auf Versuche von kriegswirtschaftlichem Interesse. Die immer größer werdende Knappheit an Rohstoffen und Futtermitteln gab Anlaß zu eingehenden Untersuchungen auf dem Gebiete der Futtermittelverbesserung. Hierher gehören vor allem systematisch durchgeführte Arbeiten über den Strohaufschluß zur Gewinnung von Kraftstroh, die zu der Entdeckung führten, daß eine einfache Behandlung des Strohes mit verdünnter Natronlauge in der Kälte vorteilhafter ist als frühere komplizierte Verfahren in der Hitze in Druckgefäßen. Dies praktische Problem gab Veranlassung zu einer gründlichen Untersuchung über das Lignin.

Neben die Fragen der besseren Kohlehydratausnutzung des Strohs traten entsprechende Aufgaben, Verbesserungen von Pflanzeneiweißfuttermitteln zu erzielen. Hier boten sich vor allem die Lupinen dar, die ein vorzügliches Futtermittel sind, wenn ihnen die giftigen Bitterstoffe

<sup>1</sup> LITWIN, W.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, Heft 4.

<sup>2</sup> KOSCHMIEDER, H.: Forsch.-Arb. Stl. Obs. Danzig, Heft 5.

entzogen werden. Als Maß für den Grad der durch Auslaugen erreichten Entbitterung benutzte BECKMANN den Geschmack des Auslaugewassers. Den ernsthaften Bedenken gegen diese nicht ungefährlichen Geschmacksproben hat BECKMANN leider nicht genügend Beachtung geschenkt.

Trotz der sich mehr und mehr geltend machenden Beschwerden hat BECKMANN seinen Rücktritt von der Leitung des Instituts nicht dazu benutzt, sich der Wiederherstellung seiner Gesundheit zu widmen. Im Gegenteil, die Forschungsgebiete seiner jungen Lebensjahre, die seinen Ruhm begründet hatten, die BECKMANNsche Umlagerung, die BECKMANNschen Molekulargewichtsmethoden, zogen ihn von neuem in ihren Bann, bis der unerbittliche Tod seinem rastlosen Streben ein Ende setzte.

Von Mitarbeitern BECKMANNs während seiner Dahlemer Zeit seien erwähnt: E. BARK, E. CORRENS, O. FAUST, R. HANSLIAN, R. KEMPF, FR. LEHMANN, H. LINDNER, H. NETSCHER, A. PHILIPPOVICH, C. PLATZMANN, K. STEGLICH, Frl. M. MAXIM. Besonders gedacht sei des Oberassistenten O. LIESCHE, der BECKMANN von der Grundsteinlegung des Instituts an bis zu seinem Ableben mit unermüdlichem Eifer bei den wissenschaftlichen und den Verwaltungsgeschäften auf das wirksamste unterstützt hat. Auch OTTO LIESCHE weilt nicht mehr unter den Lebenden.

HAHN.

#### Abteilung WILLSTÄTTER (1912—1916).

Beim Eintritt WILLSTÄTTERS in das Institut waren seine groß angelegten Untersuchungen über die Blattfarbstoffe bereits in vollem Gange. Sie wurden in Dahlem gemeinsam mit A. STOLL, M. FISCHER, H. J. PAGE erfolgreich fortgesetzt. Der stufenweise Abbau des Chlorophylls bis zu den Stammsubstanzen wurde durchgeführt, Beziehungen des Pflanzenfarbstoffs Chlorophyll zu dem Blutfarbstoff Hämin aufgedeckt und Methoden geschaffen, das für den Farbstoff notwendige Magnesium in dessen metallfreie Abkömmlinge wieder einzuführen. Nach einer erneuten Durchführung aller analytischen und präparativen Methoden der Chlorophyllchemie, von der Gewinnung des rohen Farbstoffs bis zur Darstellung der einzelnen Chlorophylle und Karotinoide in reinem Zustand, fanden diese Untersuchungen ihren Abschluß in dem mit A. STOLL veröffentlichten Buche: „Untersuchungen über Chlorophyll, Methoden und Ergebnisse“ (Berlin 1913, 424 Seiten).

An diese pflanzenchemischen Arbeiten schloß sich eine Reihe von pflanzenphysiologischen an (gemeinsam mit A. STOLL), die sich auf die Darstellung kolloider Chlorophyllösungen und ihre Reaktionen und auf die Vorgänge der Kohlensäureassimilation im lebenden Blatt bezogen. Sie gipfelten in einer experimentell begründeten Theorie der Photosynthese. Diese Arbeiten erschienen erst im letzten Kriegsjahre im Druck („Untersuchungen über die Assimilation der Kohlensäure“, 7 Abhandlungen Berlin 1918, 448 Seiten).

Ferner wurden mit einigen Mitarbeitern Untersuchungen über die Chemie der Zellulose und des Holzes in Angriff genommen. Für die Gewinnung von Traubenzucker aus Zellstoff und Holz wurde eine hohe, ja

quantitative Ausbeute liefernde Methode ausgearbeitet, die später ihren Weg zu großindustrieller Anwendung gefunden hat.

An Alkaloidarbeiten früherer Jahre knüpften sich (gemeinsam mit PFANNENSTIEL und BOMMER) Versuche zu neuen Synthesen des Atropins und Kokains an. Die Grundlage wurde in einer Synthese des Sukzinyldiessigesters gelegt; ihren erfolgreichen Abschluß fanden diese Arbeiten später in München.

Ganz neue Aufgabengebiete wurden in der Abteilung betreten mit den Untersuchungen der bis dahin völlig rätselhaften Farbstoffe der Blüten, Beerenfrüchte und Wurzeln. Die „Anthozyane“ einer großen Reihe von Blüten und Früchten wurden in reinem kristallisiertem Zustand isoliert, ihre Konstitution in den wesentlichen Zügen aufgeklärt und die Synthese eines Anthozyanidins durchgeführt.

Unter der großen Zahl tüchtiger Mitarbeiter dieses letzterwähnten Forschungsgebietes seien hier die Herren BOLTON, EVEREST, MALLISON, MIEG, ZECHMEISTER, ZOLLINGER besonders genannt.

Während der Kriegszeit wurden die wissenschaftlichen Arbeiten immer mehr eingeschränkt, da die Mehrzahl der Mitarbeiter durch freiwilligen Heeresdienst oder Einberufung den Laboratorien entzogen wurden. WILLSTÄTTER selbst übernahm die Aufgabe, geeignete Gasschutzmittel für die Ausrüstung unserer Truppen zu entwickeln. In dem für diese militärtechnischen Untersuchungen besser ausgerüsteten HABERSchen Institut wurde diese wichtige Aufgabe von WILLSTÄTTER und seinen Mitarbeitern A. PFANNENSTIEL und F. J. WEIL erfolgreich gelöst. Die nach WILLSTÄTTERS Angaben verfertigten Gasmaskeneinsätze wurden bei den Truppen eingeführt.

HAHN.

#### Abteilung STOCK (1916—1926).

Der wesentlichste Teil der Arbeit betraf die Weiterführung der an der Technischen Hochschule Breslau begonnenen Untersuchungen über die Silizium- und Borhydride (Silane, Borane) und die mit deren Hilfe erschlossenen Gebiete der Silizium- und Borchemie.

*Siliziumchemie.* Darstellung und Untersuchung der höheren Silane,  $\text{Si}_2\text{H}_6$ ,  $\text{Si}_3\text{H}_8$ ,  $\text{Si}_4\text{H}_{10}$  usw., ihre Reaktion mit Wasser, Halogenen, Alkalimetall usw. Darstellung des Prosiloxans  $\text{SiH}_2(\text{O})$ , des Disiloxans  $(\text{SiH}_3)_2\text{O}$ , des Methylsilans  $\text{SiH}_3(\text{CH}_3)$ , der Verbindung  $(\text{SiH}_3)_3\text{N}$  u. a. m. Es ergab sich, daß die Chemie des Siliziums trotz gewisser formaler Ähnlichkeiten mit der Chemie des Kohlenstoffes hinter dieser an Vielseitigkeit weit zurücksteht, was sich aus dem ausgesprochen positiveren Charakter des Siliziums erklärt.

*Borchemie.* Den in experimenteller Hinsicht recht schwierigen Untersuchungen kamen die bei den Silanen gewonnenen Erfahrungen zugute. Eine immer weiter ausgebildete Hochvakuumtechnik (selbsttätige Quecksilberluftpumpe, besondere fettfreie Ventile, Verfahren zur Isolierung und Charakterisierung sehr kleiner Mengen flüchtiger Stoffe) gestattete

die Handhabung der empfindlichen Substanzen unter völliger Ausschließung von Luft, Feuchtigkeit und Fett. Als einfachste Borane wurden dargestellt:  $B_2H_6$ ,  $B_4H_{10}$ ,  $B_5H_9$ ,  $B_5H_{11}$ ,  $B_6H_{10}$ ,  $B_{10}H_{14}$ . Ihre Reaktion mit Wasser, Halogenen, Halogenwasserstoffen, Alkalimetall, Ammoniak und ihre thermische Zersetzung führten zu einer großen Zahl bemerkenswerter Stoffe und Beobachtungen. Beispielsweise seien nur genannt:  $B_2H_5Cl$ , das schon bei Zimmertemperatur in  $B_2H_6$  und  $BCl_3$  zerfällt, das beständige Salz  $K_2(B_2H_6)$ , die salzartige Verbindung  $(NH_4)_2B_2H_4$ .

Die später an der Technischen Hochschule in Karlsruhe fortgesetzten Arbeiten machten mit einem unerwarteten Teile der Borchemie bekannt, dessen Formenreichtum an die organische Chemie erinnert. Die Theorien über das Wesen der chemischen Bindung haben hier ein dankbares Feld gefunden.

*Weitere Veröffentlichungen:*

Kohlensuboxyd  $C_3O_2$ , dessen Darstellung nach DIELS verbessert und dessen Konstanten genau bestimmt wurden.

Thermischer Zerfall des Kohlenoxysulfids. Bequemes Darstellungsverfahren. Konstanten. Untersuchung der Gleichgewichte  $2 CO + S_2 \rightleftharpoons 2 COS \rightleftharpoons CO_2 + CS_2$ .

Thermischer Zerfall des Phosgens, der, wie zum ersten Male festgestellt wurde nicht nur nach  $COCl_2 \rightleftharpoons CO + Cl_2$ , sondern auch nach  $2 COCl_2 \rightleftharpoons CO_2 + CCl_4$  erfolgt. Die Gleichgewichte wurden auch hier bestimmt.

Das Dampfdruckthermometer, für das eine einfache Form angegeben wurde und das wegen seiner leichten Herstellbarkeit und wegen seiner großen Genauigkeit seitdem vielfach benutzt wird. Genaue Bestimmung der Dampfdrucke geeigneter Füllstoffe; Aufstellung von Dampfdrucktafeln für Temperaturen zwischen  $-185^0$  und  $+25^0$  (mit F. HENNING, Physikalisch-Technische Reichsanstalt).

Atomgewicht des Bors. Reindarstellung von  $BCl_3$ ,  $BBr_3$ ,  $B(CH_3)_3$ ,  $B(C_2H_5)_3$ .

Der Zinklichtbogen als Reduktionsmittel. Darstellung von  $C_3S_2$ ,  $Si_2Cl_6$ ,  $B_2Cl_4$ .

Das Verhalten der Nichtmetallhydride gegenüber Chlor.

Die Modifikationen des Phosphors.

Tensimetrische Molekulargewichtsbestimmungen mit flüssigem Ammoniak als Lösungsmittel.

Die elektrolytische Gewinnung des Berylliums. Es gelang zum ersten Male, das Metall gleich in kompakter Form darzustellen. Dies wurde zum Ausgangspunkt vieler wissenschaftlicher und technischer Untersuchungen und der Industrie der Berylliumlegierungen.

Schwebewaage zur Gasdichtebestimmung nach dem Aräometerprinzip. Besonders eine später in der I.G. Farbenindustrie A.G. vervollkommnete elektromagnetische Form zeichnet sich durch Schnelligkeit der Messungen aus.

Nomenklaturfragen.

Vergleichende Betrachtungen über die Chemie des Kohlenstoffs und seiner Nachbarelemente.

In Buchform erschienen „Ultra-Strukturchemie“ und eine Neuauflage des „Praktikums der anorganischen quantitativen Analyse“ (mit STÄHLER), beide in mehrere andere Sprachen übersetzt.

Eine der letzten Veröffentlichungen behandelte die Gefährlichkeit des Quecksilbers. STOCK und seine Mitarbeiter hatten sich bei ihren, viel mit Quecksilber arbeitenden Hochvakuumuntersuchungen chronische Quecksilbervergiftungen zugezogen, die die Arbeitsfähigkeit zeitweise stark beeinträchtigten, deren Ursache aber lange Zeit unerkannt blieb. Die offene Schilderung der dabei gemachten bösen Erfahrungen hat die allgemeine Aufmerksamkeit auf die allmählich fast in Vergessenheit geratene Gefährlichkeit des wegen seiner Flüchtigkeit besonders tückischen metallischen Giftes gelenkt. Im Zusammenhang damit wurde nachgewiesen, daß auch die so verbreiteten quecksilberhaltigen Amalgamzahnfüllungen nicht selten gesundheitliche Schädigungen verursachen. Diese Fragen wurden von STOCK nach seinem Weggang von Berlin weiter bearbeitet, wobei viele das Wesen der Quecksilbervergiftung klärende und deren Vermeidung erleichternde Beobachtungen gemacht werden konnten.

Die in der Abteilung tätigen Mitarbeiter waren: A. BRANDT, H. FISCHER, R. HELLER, E. KUSS, E. POHLAND, P. PRAETORIUS, O. PRIESS, G. RITTER, P. SEELIG, W. SIECKE, C. SOMIESKI, P. STIEBELER, H. STOLTZENBERG, R. WINTGEN, W. WUSTROW, F. ZEIDLER.

STOCK.

#### Abteilungen HAHN und MEITNER (ab 1912).

Im Jahre 1912 waren die Kenntnisse der radioaktiven Umwandlungsprodukte und ihrer Strahlen teilweise noch ziemlich lückenhaft. Die Arbeiten umfaßten daher (in Fortsetzung früher ausgeführter Untersuchungen) wesentlich zwei Richtungen. Einerseits wurden Lücken in den Zerfallsreihen ausgefüllt und zweifelhafte Zerfallsprozesse aufgeklärt, andererseits eingehende Untersuchungen der  $\beta$ -Strahlen verschiedener radioaktiver Substanzen zu Ende geführt. Zur ersten Gruppe gehören die Untersuchungen über Uran X<sub>2</sub>, Uran Y, Radioaktinium und die Entdeckung von Uran Z; ferner Versuche über die  $\beta$ -Strahlung des gewöhnlichen Rubidiums (M. ROTHENBACH) und über die vermeintlichen  $\alpha$ -Strahlen des Wismuts aus Pechblende.

Besonders erwähnt seien die Auffindung und Abtrennung des Protaktiniums, des langgesuchten Anfangsgliedes der Aktiniumreihe. Die Entdeckung des Protaktiniums bedeutete nicht nur eine Förderung der Kenntnisse der radioaktiven Reihen, sondern hatte auch für die allgemeine Chemie Interesse, weil es der einzige Vertreter des Elements 91 ist, das durch seine lange Lebensdauer eine Darstellbarkeit in wägbaren Mengen voraussehen ließ.

Die Arbeiten der zweiten Gruppe umfaßten außer der Aufnahme der magnetischen Spektren der  $\beta$ -Strahlen von Radium, Radiothor, Radioaktinium u. a. auch die Messung von Absorptionskoeffizienten und die

Untersuchung solcher Substanzen, die *gleichzeitig*  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen emittieren. Für die letzteren konnte das für den Zerfallsmechanismus wichtige Ergebnis erhalten werden, daß nur die  $\alpha$ -Strahlen aus dem Atomkern stammen und die  $\beta$ -Strahlen daher *sekundären* Ursprungs sein müssen.

Im Laufe der Jahre haben die untersuchten Probleme im wesentlichen zu rein chemisch-radioaktiver oder zu rein physikalisch-radioaktiver Arbeitsrichtung Anlaß gegeben.

In der *chemisch-radioaktiven* Abteilung wurde das Protaktinium zum ersten Male als reines Salz gewonnen, sein Röntgenspektrum aufgenommen und die Abwesenheit fremder Verunreinigungen festgestellt (A. v. GROSSE). Durch Verarbeitung von 5000 kg Joachimsthaler Radiumrückständen wurden dann in letzter Zeit 500 mg des neuen Elements in Form des Kaliumdoppelfluorides chemisch rein abgeschieden. Weitere 100–150 mg liegen in angereicherterem Zustande vor (G. GRAUE und H. KÄDING). Ein Teil der Präparate wurde an andere Institute verliehen. So konnten H. SCHÜLER und G. GOLLNOW (Potsdam) aus Hyperfeinstrukturaufnahmen feststellen, daß das Atomgewicht des Protaktiniums sicher ungerade ist. Da für das Atomgewicht nur die Werte 230 oder 231 in Frage kamen, ist damit 231 als Atomgewicht des Elements bewiesen.

Abgesehen von den Arbeiten über Protaktinium verschob sich das Schwergewicht der Untersuchungen immer mehr auf die Seite der *Anwendungen* radioaktiver Substanzen auf Fragen der allgemeinen Chemie. Hier kann man drei Gruppen von Arbeitsgebieten unterscheiden; erstens: die Indikatormethode, bei der die leicht in gewichtsloser Menge nachweisbaren radioaktiven Atomarten als Indikatoren für die Eigenschaften der ihnen isotopen inaktiven oder schwach aktiven Elemente dienen; zweitens: das Verhalten kleinster Substanzmengen in flüssigen oder festen Phasen, wobei man neben dem Verhalten des Radioelements einen Einblick in die Eigenschaften der Trägersubstanzen erhält; drittens: die Emaniermethode, die zum Studium von Strukturen und Strukturänderungen oberflächenarmer und oberflächenreicher Substanzen in den letzten Jahren vielfache Anwendung gefunden hat.

Von Arbeiten nach der Indikatorenmethode seien erwähnt eine Reihe sorgfältiger Untersuchungen O. ERBACHERs über die Vorgänge beim Austausch zwischen Metallatomen und edleren Ionen, die wohl erstmalig zu einer einwandfreien Methode zur Bestimmung der absoluten Oberfläche von Metallen geführt haben.

Durch Verwendung des kurzlebigen UZ als Indikator für das in geringer Menge schwer nachweisbare Protaktinium wurde die Entstehung dieser Substanz aus Uran bewiesen und die erste genauere Bestimmung seiner Halbwertszeit durchgeführt (E. WALLING). Umgekehrt wurden geeichte Protaktiniumpräparate als Indikator dazu verwendet, die Stellung des etwas rätselhaften Uran Z in der Uranreihe und seine Strahlenbeteiligung zu kontrollieren (E. WALLING).

Zahlreiche Untersuchungen galten dem Verhalten kleinster Substanzmengen in Lösungen und bei Adsorptions-, Fällungs- und Kristallisationsvorgängen. Auf qualitativem und quantitativem Wege wurde das Problem

der sog. Radiokolloide studiert und eine Erklärung für ihr Auftreten gegeben (O. WERNER).

Die Gültigkeit des Massenwirkungsgesetzes auch bei minimaler Konzentration der einen Ionenart wurde durch Löslichkeitsbestimmungen von Radiumsulfat bei steigender  $\text{SO}_4$ -Ionenkonzentration erwiesen (O. ERBACHER und B. NIKITIN).

Die Vorgänge bei normaler und anomaler Mischkristallbildung, gerichtete Adsorptionen im Innern von wachsenden Kristallen, Adsorptionsvorgänge an oberflächenreichen Niederschlägen wurden studiert und in ihren Ursachen aufgeklärt (H. KÄDING, R. MUMBRAUER, L. IMRE). Zum ersten Male konnten Adsorptionsvorgänge an polaren Niederschlägen in zeitlich verschiedene Stufen zerlegt und mit den Veränderungen an den äußersten Grenzschichten verknüpft werden (L. IMRE).

Die Untersuchungen über anomale Mischkristallbildung zwischen Alkali- und Bleihalogeniden führten zu gewissen geochemischen Folgerungen und zur Erklärung des bisher rätselhaften Vorkommens von Helium in manchen Alkalimineralien. Als weitere Folge ergab sich die Voraussage eines Radiumgehalts in norddeutschen Tiefenwässern, die durch Probeentnahmen an Ort und Stelle bestätigt wurde (H.-J. BORN).

Von Anwendungen der Emaniermethode seien folgende hervorgehoben: Herstellung hochemantierter oberflächenreicher Metallhydroxyde und Untersuchung reversibler und irreversibler Oberflächenänderungen an diesen (mit M. BILTZ, G. GRAUE); Prüfung von Strukturänderungen katalytisch wichtiger Oxyde, vor allem Eisenhydroxyd und Aluminiumhydroxyd, beim stufenweisen Entwässern und Glühen nach einer Strömungsmethode, bei der die Änderungen *während* der allmählichen Temperaturerhöhung unmittelbar gemessen werden können (mit V. SENFTNER, R. JAGITSCH).

Herstellung von Radiumpräparaten, die ihre Emanation im trockenen Zustande bei gewöhnlicher Temperatur zu fast 100 % freiwillig nach außen abgeben (mit J. HEIDENHAIN). Derartige Präparate haben auch medizinische Anwendung gefunden (Radonator der Auergesellschaft).

Untersuchungen von Struktur und Strukturänderungen oberflächenarmer Salze, Auflockerung der Gitter bei höherer Temperatur, Entwässerungsstufen kristallwasserhaltiger Salze (mit H. MÜLLER, F. STRASSMANN, R. MUMBRAUER). Bestimmung der relativen und absoluten Oberfläche von Glaspulvern und Glasstäben (M. HECKTER im Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatchemie).

Prüfung der charakteristischen Änderungen der Emanationsabgabe organischer Bariumsalze mit wachsender Kohlenstoffkette (F. STRASSMANN). Untersuchung des Gefüges und der Gefügeänderungen von Metallen verschiedener Vorbehandlung und Weiterverarbeitung (O. WERNER).

Zu den Arbeiten der physikalisch-radioaktiven Abteilung gehören die Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen, die zu einer Feststellung der Wellenlängen der  $\gamma$ -Strahlen führten, wobei es sich größtenteils um so kleine Wellenlängen handelt, daß sie nach den üblichen röntgenspektroskopischen Methoden nicht meßbar sind. Die genaue Bestimmung dieser Wellenlängen und der Energie der zugehörigen

sekundären  $\beta$ -Strahlen ermöglichte einen wesentlichen Einblick in den Mechanismus des Atomzerfalls und den Aufbau der Atomkerne. Es konnte gezeigt werden, daß in der überwiegenden Zahl der Fälle der Kern eines radioaktiven Atoms durch den vorangegangenen Zerfall in einem angeregten Zustand zurückbleibt und aus diesem Zustand durch Emission einer oder vieler  $\gamma$ -Strahllinien in den Grundzustand übergeht. Der betreffende Kern ist also verschiedener Anregungszustände fähig, und die entsprechenden Kernniveaus können aus den zugehörigen  $\gamma$ -Strahllinien entnommen werden.

Durch Heranziehung der sehr empfindlichen Zählmethoden wurden in den letzten Jahren auch Aussagen über die relative Intensität der einzelnen  $\gamma$ -Linien erhalten, also Aussagen über die relative Wahrscheinlichkeit für die verschiedenen Anregungsstufen der betreffenden Kerne (K. C. WANG). Zu interessanten Resultaten führten auch die Arbeiten über die Zerfallselektronen (primären  $\beta$ -Strahlen) der Kerne. Die von anderer Seite behauptete kontinuierliche Energieverteilung dieser primären  $\beta$ -Strahlen wurde durch Energiemessungen mit W. ORTHMANN mittels eines hochempfindlichen Elektrometers bestätigt. Der mit dem  $\beta$ -Zerfall verknüpfte Rückstoß des neu entstandenen Atomkerns wurde näher untersucht und die „Kondensation“ dieser Atomkerne auf mit flüssiger Luft und flüssigem Wasserstoff gekühlten Auffangflächen gemessen (K. PHILIPP und K. DONAT). Die genaue Kenntnis der Energien der primären  $\beta$ -Strahlen ist von prinzipieller Wichtigkeit, und die Tatsache der kontinuierlichen Energieverteilung hat die Theoretiker zu der Annahme ungeladener Teilchen von verschwindend kleiner Masse, sog. Neutrinos geführt, die gleichzeitig mit jedem Zerfallselektron emittiert werden müssen.

Die Untersuchungen der primären und sekundären  $\beta$ -Strahlen nach der früher praktisch allein üblichen photographischen Methode im Magnetfeld wurden durch Ablenkungsmessungen und Reichweitmessungen nach der WILSON-Methode und nach Zählmethoden ergänzt (N. RIEHL, J. PETROVA, E. STAHEL, T. ALPER, G. v. DROSTE).

Untersuchungen an  $\alpha$ -Strahlen nach der WILSON-Methode mit K. FREITAG und nach der Szintillationsmethode (K. PHILIPP) führten zur Auffindung sog. langreichweitiger Gruppen von  $\alpha$ -Strahlen und ermöglichten die Prüfung einiger kernphysikalisch interessanten Fragen.

Eine Reihe von Arbeiten der letzten Jahre in Gemeinschaft mit H. H. HUFFELD, H. KÖSTERS, G. v. DROSTE beschäftigte sich mit dem Verhalten sehr kurzweiliger  $\gamma$ -Strahlen beim Durchgang durch verschiedene Elemente. Die Prozesse der Absorption und Streuung sind eng verknüpft mit dem Aufbau der Materie und insbesondere auch mit der wechselweisen Umwandlung von Strahlungsenergie in kinetische Energie bzw. Erschaffung positiver und negativer Elektronen. Die ersten direkten Beweise für die Erzeugung positiver Elektronen durch  $\gamma$ -Strahlen, wie sie von der DIRACschen Theorie vorausgesagt worden ist, wurden gemeinsam mit K. PHILIPP hier erhalten.

Mit der neuesten Entwicklung der Kernphysik, die schließlich zur Entdeckung des Neutrons und zur Auffindung der künstlich herstellbaren

radioaktiven Stoffe geführt hat, haben sich eine Reihe von Arbeiten beschäftigt. So wurde z. B. die künstliche Zertrümmerung des Stickstoffs und Aluminiums durch  $\alpha$ -Strahlen eingehend untersucht (E. STEUDEL). Besonders erwähnt seien hier die Versuche mit K. PHILIPP über die Energieverteilung bei den aus Beryllium durch  $\alpha$ -Strahlen herausgeschlagenen Neutronen und über die Winkelverteilung bei Zusammenstößen Neutron-Proton, sowie die quantitative Untersuchung einiger durch Neutronen erzeugten künstlichen Zertrümmerungen in Stickstoff, Sauerstoff und Neon (R. JAECKEL). Ferner Arbeiten über die Emissionswahrscheinlichkeit der Neutronen aus Beryllium als Funktion der Energie der  $\alpha$ -Strahlen (F. RASSETTI, G. BERNARDINI), endlich Beiträge zur künstlich durch  $\alpha$ -Strahlen hervorgerufenen Radioaktivität an Stickstoff, Phosphor, Fluor und Silizium (H. FAHLENBRACH).

Über die Erzeugung radioaktiver Atomarten durch Neutronen sind Versuche gemeinsam von der physikalischen und der chemischen Abteilung durchgeführt worden. Eine sehr genaue Untersuchung über die künstliche Radioaktivität des Goldes von O. ERBACHER und K. PHILIPP führte auch zu einer Verwendung dieses radioaktiven Goldes als Indikator für gewöhnliches Gold. Sie ergab, daß gewisse, für Gold-Platin-Iridiumgemische in der Literatur angegebene Trennungsmethoden nicht einwandfrei sind.

Spezielle Untersuchungen an den aus Uran bei Neutronenbestrahlung entstehenden radioaktiven Substanzen von O. HAHN und L. MEITNER führten zur Bestätigung und Erweiterung der FERMISchen Versuche, aus denen FERMI auf das Vorhandensein eines Elementes jenseits Uran geschlossen hatte. Es konnte gezeigt werden, daß mindestens zwei, vielleicht sogar drei *verschiedene* „Transurane“ existieren.

Bei der künstlichen Umwandlung des Thoriums wurden die genetischen Zusammenhänge aufgeklärt und die Entstehung einer bisher nicht bekannten radioaktiven Reihe vom Atomgewichtsschema  $4n + 1$  nachgewiesen.

Von Arbeiten, die in das biologische Gebiet übergreifen, seien Untersuchungen über die Beeinflussung des lebenden Protoplasmas durch  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlen genannt (N. FEICHTINGER) und eine größere Untersuchung über die physikalische Deutung der den Mutationen zugrunde liegenden Vorgänge (M. DELBRÜCK).

Viele der genannten Untersuchungen sind nur durchführbar, wenn gut definierte radioaktive Präparate zur Verfügung stehen, deren Herstellung oft sehr mühevoll ist. Hier gebührt vor allem Herrn O. ERBACHER besonderer Dank.

O. HAHN, L. MEITNER.

**Abteilung HESS** (ab 1921, seit 1931 selbständige Gastabteilung).

Der größte Teil der Arbeiten befaßte sich mit der systematischen Untersuchung der hochmolekularen organischen Naturstoffe (Polysaccharide wie Zellulose, Stärke usw.; Eiweiß, Kautschuk), einem Forschungsgebiet, das bis 1919 stark vernachlässigt worden war. Die Untersuchungen

wurden bereits im Hochschullaboratorium in Karlsruhe mit einer Arbeit über den möglichen Aufbau der Zellulose (HESSsche Kammformel) begonnen, die zum erstenmal die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der Zellobioseausbeute für das Konstitutionsproblem dieses Polysaccharides lenkte, und die die moderne Entwicklung dieses Gebietes eingeleitet hat.

Die sich zunächst fast ausschließlich im Rahmen der dem Organiker geläufigen Arbeitsweise bewegenden Untersuchungen erstreckten sich auf die Trennung der durch hydrolytische Spaltung aus Zellulose hervorgehenden Dextringemische und führten in mühsamen, durch manche Irrwege gekennzeichneten Arbeiten (mit W. WELTZIEN, mit H. FRIESE) zu der früher für unmöglich gehaltenen Kristallisation der wichtigsten Zellosederivate: Azetylzellulose (mit G. SCHULTZE, mit K. DZIENGEL), Methylzellulose (mit H. PICHLMAYR, mit E. GARTHE), Äthylzellulose (mit A. MÜLLER), Nitrozellulose (mit K. DZIENGEL).

Auf Grund der optischen Aktivität wässriger Kupferamminlösungen von Zellulose, Mannan und Xylan wurde ein hochempfindliches Verfahren zur sicheren Identifizierung dieser wasserunlöslichen und daher sonst schwer zu charakterisierenden Polysaccharide entwickelt und die Abhängigkeit des Drehwertes von Kupfer- und Kohlenhydratkonzentration als Massenwirkung erkannt (mit E. MESSMER, mit N. LJUBITSCH).

Die zur weiteren Charakterisierung von Polysacchariden (Zellulose, Kartoffelstärke, Inulin und Glykogen) herangezogenen klassischen Methoden der Molekulargewichtsbestimmung (Kryoskopie) erwiesen sich trotz Entwicklung zu höchster Präzision (mit G. SCHULTZE, mit R. STAHN, mit E. GARTHE) als nicht empfindlich genug, um die offenbar komplizierten Lösungsverhältnisse mit genügender Sicherheit zu erfassen. Es wurde daher die Methode der isothermen Destillation unter Verwendung einer porösen Platte (Prinzip von E. ASKENASY) herangezogen und zu einem bequem und sicher zu handhabenden, allgemein brauchbaren Verfahren entwickelt (M. ULMANN). Dieses Verfahren stellt die heute empfindlichste Methode zur Messung von Molekulargewichten dar und erschließt ein Konzentrations- und Temperaturgebiet, das bisher unzugänglich war.

Die Anwendung der Methode auf Lösungen von Zellosederivaten und anderen Kohlenhydraten deckte komplizierte temperatur-, zeit- und konzentrationsabhängige Polymerisations- und Depolymerisationserscheinungen auf, die sich bereits bei Anwendung der klassischen Methoden andeutungsweise zu erkennen gegeben hatten, dabei aber nicht genügend exakt herausgearbeitet werden konnten.

Durch eine wesentliche Verbesserung der röntgenographischen Aufnahmetechnik für organische Faserstoffe wurden Interferenzbilder von bisher auf diesem Gebiet unbekannter Schärfe und Schleierfreiheit erzielt (C. TROGUS), wodurch die Anwendung der Röntgenmethode auf dem Faserstoffgebiet als diagnostisches Hilfsmittel zu erheblich sichereren Ergebnissen führte. Durch geeignete Kombination von röntgenographischen mit analytisch-präparativen Methoden gelang es, die sich überlagernden Teilvorgänge bei Faserreaktionen zu entwirren und dieses große und vielseitige Gebiet auf eine neue Grundlage zu stellen. Die

Bildung von Alkalizellulose (Merzerisierung [mit C. TROGUS und O. SCHWARZKOPF]), die Verkupferung von Zellulosefasern (Herstellung von Kupferseide [mit C. TROGUS und K. UHL]), die Nitrierung von Zellulosefasern (Herstellung von Schießbaumwolle [mit C. TROGUS und T. TOMONARI]), die Bildung von Zelluloid (mit C. TROGUS und M. WADANO) u. a. wurden in ihren Grundzügen mit einer durch gegenwärtig zur Verfügung stehende Methoden kaum noch zu überbietenden Sicherheit aufgeklärt und zahlreiche, jahrzehntelang bestehende experimentelle Widersprüche beseitigt. Die im Laufe dieser Arbeiten entwickelte Versuchsführung ist für die Untersuchung derartiger Systeme mustergültig geworden.

Im Laufe dieser Arbeiten wurden auch die seit altersher bekannten Quellungsvorgänge an Fasern einer besseren Beschreibung zugänglich und als komplexe Erscheinung erkannt, bei der auf Verbindungsbildung mit dem Quellmittel beruhende Lösungsvorgänge eine wesentliche Rolle spielen. Durch kinematographische Aufnahmen im Dunkelfeld (mit B. RABINOWITSCH) konnte der Ablauf von Quellungsvorgängen festgehalten und der Einfluß des natürlichen Faserbaus auf die neben Verbindungsbildung und Lösung sich abspielenden Vorgänge gezeigt werden (kinematographische Quellungsanalyse).

Die große Bedeutung, die den Viskositätserscheinungen auf dem Gebiet der hochmolekularen Naturstoffe für das Konstitutionsproblem zukommt, hat eingehende Untersuchungen auch auf diesem Gebiet notwendig gemacht. Bevor an die Erörterung über den Zusammenhang zwischen Viskosität und Molekülgröße herangetreten werden kann, gilt es, die mechanischen Eigenschaften derartiger Lösungen schärfer, als es bisher möglich ist, zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden geeignete Kräfte herangezogen, die in enger Fühlung mit den übrigen Arbeiten der Abteilung das Viskositätsproblem von Grund aus und umfassend bearbeiteten. Es wurde zum erstenmal die Charakterisierung von Zelluloselösungen durch mehrere Konstanten durchgeführt (Viskosität, Elastizität und Relaxationszeit [R. EISENSCHITZ und B. RABINOWITSCH]) und durch Schwingungsmessungen weitgehend bestätigt (W. PHILIPPOFF). Die bessere Charakterisierung der Lösungen führte zu verschiedenen neuen Gesetzmäßigkeiten, z. B. zu einer offenbar für lyophile Kolloide allgemein gültigen Konzentrationsabhängigkeit (W. PHILIPPOFF). Die durch die osmotischen Messungen aufgedeckten Lösungszustände in verdünnten Zelluloselösungen kamen auch in Präzisionsmessungen der Viskosität zum Ausdruck.

Die bis zum Jahre 1928 erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der Zellwandforschung fanden in einem großangelegten Werk über „Die Chemie der Zellulose und ihrer Begleiter“ ihre zusammenfassende Darstellung.

Die Untersuchungen über die natürlichen Polysaccharide führten wiederholt zu größeren synthetischen Arbeiten auf dem Gebiet der Zuckerchemie. Diese betrafen die Lage und Eigenschaften von Sauerstoffbrücken in einfachen Zuckern (mit F. MICHEEL und O. LITTMANN), Synthesen von Zuckeranhydriden (mit F. MICHEEL, mit O. LITTMANN, mit F. NEUMANN), die Synthese teilweise veresterter Toluolsulfoester der

Glukose, die beim hydrolytischen Abbau von Toluolsulfostärke und Toluolsulfocellulose erhalten worden waren (mit R. PFLEGER, mit O. LITTMANN, mit W. EVEKING, mit H. STENZEL), synthetische Versuche an Zellobiose und Zellotriose (mit G. SALZMANN, mit H. STENZEL).

Weitere Untersuchungen betrafen:

1. Die in den Hochschullaboratorien von Freiburg i. B. und Karlsruhe begonnenen Untersuchungen über einfach gebaute Pflanzenbasen (Hygrin, Cuskhygrin, Pelletierinbasen, Skopolamin u. a.), die in den ersten Jahren in Dahlem weitergeführt und zu einem gewissen Abschluß gebracht wurden (mit O. WAHL, mit R. GRAU, mit R. BAPPERT).

2. Halochromieerscheinungen bei Azetylderivaten, die in Analogie zu Triphenylmethanderivaten aufgebaut wurden, und die neue Gesichtspunkte für den Farbcharakter dieser Körperklasse vermittelten (mit W. WELTZIEN und F. MICHEEL).

3. Untersuchungen über die Konstitution von GRIGNARD-Verbindungen (mit W. WUSTROW).

4. Die chemische Konstitution des Pentaerythrits (mit H. BINCER).

5. Kinetische Untersuchungen über Polymerisations- und Depolymerisationsvorgänge in wässrigen Formaldehydlösungen (mit C. TROGUS und M. WADANO).

K. HESS.

## 6. Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie in Berlin-Dahlem.

Das Kaiser Wilhelm-Institut für physikalische Chemie und Elektrochemie wurde im Herbst des Jahres 1912 eingeweiht und seinem ersten Direktor, dem aus Karlsruhe berufenen o. Professor Dr. FRITZ HABER, übergeben.

Die organisatorischen Arbeiten des Aufbaues und der Einrichtung, sowie die Einarbeitung der wissenschaftlichen sowie technischen Belegschaft waren noch nicht völlig abgeschlossen, als der Weltkrieg ausbrach, der die eben einsetzende wissenschaftliche Arbeit in neue Bahnen lenkte und das Institut für mehr als 4 Jahre in den Dienst der Landesverteidigung stellte. Im Verlauf dieser Zeit entwickelte sich das Institut zur zentralen Stelle für die Organisation des chemischen Krieges. Die Erkundung von Körpern, die als Kampfstoffe geeignet waren, die Ausbildung der Verfahren ihrer Anwendung, die Methoden des Gasschutzes u. a. m. bildeten damals den Gegenstand der Arbeit dieser Forschungsstätte. Nahezu alle Gebiete der präparativen, analytischen, physikalischen, physiologischen Chemie, der Physik und Pharmakologie wurden von Mitarbeitern jenes Zeitabschnittes vertreten. Die wissenschaftliche Arbeit und ihre Anwendung standen damals völlig im Dienste der Wehrmacht.

Der Ausgang des Weltkrieges erzwang eine plötzliche und radikale Änderung der Arbeitsrichtung. Im Institut zog eine interalliierte Kontrollkommission ein, welche die schleunige Auflösung der Kriegsorganisation überwachte; ihrer Tätigkeit ist es unter anderem zuzuschreiben, daß viele

wertvolle Ergebnisse von Arbeiten, die auch für die kommende friedliche Entwicklung hätten von Nutzen sein können, nicht ausgewertet werden konnten.

In den ersten, für das deutsche Volk sehr schweren Jahren nach der Revolution von 1918, die im Zeichen des Mangels und der Geldentwertung standen, entwickelte sich langsam eine neue Richtung der wissenschaftlichen Forschung im Institut. Der Direktor nahm früher eingeleitete Untersuchungen über Verbrennungsvorgänge wieder auf, die in einigen Veröffentlichungen erschienen, und befaßte sich weiterhin mit Fragen der Wissenschaftsorganisation; in jene Jahre fallen seine Vorträge über „Wissenschaft und Wirtschaft“ und über das „Zeitalter der Chemie“.

Die Physiker FRANCK und HERTZ und anschließend vorwiegend FRANCK mit seinen Mitarbeitern begannen ihre Untersuchungen über die Konsequenzen der Vorstellungen von BOHR über das Atommodell sowie über Atom- und Ionenreaktionen. Gleichzeitig veröffentlichte bereits FREUNDLICH mit Mitarbeitern und Schülern eine Reihe von Untersuchungen auf dem Gebiete der Kapillarchemie, von denen insbesondere die Arbeiten über das elektrokinetische Potential, über Kathaphorese und die Strömungsdoppelbrechung die Arbeitsrichtung des Instituts auf lange Zeit nachhaltig beeinflussten. In jener Zeit erfolgten auch die Untersuchungen von POLANYI über Kristallplastizität, über die Veränderungen der kristallinen Struktur bei der Deformation und über den Zusammenhang zwischen Bearbeitung und Struktur. Auch die Entwicklung seiner Vorstellungen über die Adsorption, die eine sehr rege Diskussion in den folgenden Jahren auslösten, fällt in diesen Zeitabschnitt. In den letzten Jahren der Inflation begannen Untersuchungen über Chemielumineszenz und Reaktionskinetik sowie BONHOEFFERS Untersuchungen über atomaren Wasserstoff.

Ein Überblick über die wissenschaftliche Entwicklung des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie in den ersten Jahren nach dem Kriegsende bis zur Stabilisierung der Währung erweist, daß in jener Zeitspanne bereits die Keime entstanden für die Arbeitsrichtung des Instituts in den folgenden Jahren.

Nach der Beendigung des Währungsverfalles stieg die Förderung der im Institut anstehenden Probleme stark an. Es erschienen die ersten Veröffentlichungen der Untersuchungen HABERS und seiner Mitarbeiter über den Goldgehalt des Meerwassers; die Arbeiten konnten durch Aufwendung größerer Mittel alsbald beendet werden. Es zeigte sich, daß entgegen früher von verschiedenen Seiten geäußerten Vermutungen der Goldgehalt des Meerwassers durchweg viel zu gering ist, um eine wirtschaftliche Ausbeute unter den gegenwärtigen Bedingungen zuzulassen. HABER wandte sich danach wieder Untersuchungen über Zündvorgänge und über Katalyse zu; in diesem Zusammenhange erschienen 1931 und 1932 noch zwei Arbeiten HABERS als die letzten vor seinem Ableben. BONHOEFFER setzte mit Schülern und Mitarbeitern seine Arbeiten über atomaren Wasserstoff und seine Reaktionen auf breiter Basis fort und gelangte im Anschluß daran — annähernd gleichzeitig mit EUCKEN und CLUSIUS — zur Darstellung und Charakterisierung des Ortho- und Para-

Wasserstoffes, einer Entdeckung, die von besonderer Bedeutung war als Bestätigung wesentlicher Voraussagen auf Grund der Quantenmechanik. Daneben wurden von LADENBURG elektrooptische und magnetooptische Erscheinungen untersucht sowie von POLANYI und seinen Mitarbeitern reaktionskinetische Arbeiten durchgeführt. Von besonderem Nutzen erwies sich dabei das Verfahren der Molekülstrahlen. Im Zusammenhange damit standen die von POLANYI vorwiegend mit BEUTLER angestellten Untersuchungen an hochverdünnten Flammen, die weitgehende Aufschlüsse gewährten über die Voraussetzungen zur verlustarmen Lichterzeugung. An diese Arbeiten schließen sich Veröffentlichungen über Atomreaktionen und über eine Theorie der Reaktionskinetik an.

In jener Zeitspanne veröffentlichten FREUNDLICH und seine Schüler eine große Zahl von Untersuchungen auf dem Gebiete der Kapillarchemie. Ausgiebig behandelt wurden die Statik und Kinetik sowie wichtige Teile der Strukturlehre kolloider Systeme. Von diesen wurden besonders eingehend untersucht die Zerteilungen mit anisodimensionalen Partikeln; dabei wurden weitgehende Aufschlüsse gewonnen über das optische und mechanische Verhalten solcher Systeme. In diesen Zusammenhang gehört die Entdeckung der Tixotropie sowie die Erklärung der Ursache dieser Erscheinung und ihrer Abhängigkeit von äußeren Bedingungen. Auch Probleme der biologischen Kapillarchemie wurden behandelt, und zwar vorwiegend von ETTISCH und seinen Mitarbeitern. Aus der eingehenden Beschäftigung FREUNDLICHs mit den Problemen der Kapillarchemie entstanden in jener Zeit die zweite und dritte Auflage des umfassenden Lehrbuches von FREUNDLICH: „Kapillarchemie“, das bald eine weite Verbreitung fand.

Im Sommer des Jahres 1933 fand diese Arbeitsperiode des Instituts ihren Abschluß, als nach der Machtergreifung des Nationalsozialismus der Direktor des Instituts sowie die Abteilungsleiter zurücktraten und ein großer Teil der Mitarbeiter des Instituts ausschied. Mit der kommissarischen Leitung des Kaiser Wilhelm-Instituts für physikalische Chemie und Elektrochemie war vom Reichsminister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung Professor JANDER beauftragt worden. Im Institut wurden unmittelbar danach eine Reihe staatsnotwendiger Arbeiten durchgeführt, deren kurzfristiger Abschluß vordringlich erschien, und deren Veröffentlichung nicht vorgesehen war. Daneben wurden durch JANDER und seine Mitarbeiter eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt über die Aggregationsvorgänge in hochkonzentrierten und übersättigten Lösungen von Heteropolysäuren und ihrer Salze. Das Institut stand in dieser Zeit im Zeichen durchgreifender baulicher Änderungen und apparativer Neueinrichtungen. Davon wurden besonders betroffen die elektrischen Einrichtungen und von diesen vorwiegend die Röntgeneinrichtungen des Instituts. Soweit es die Durchführung der — nunmehr abgeschlossenen — organisatorischen Arbeiten zuließ, wurden eine Reihe von Untersuchungen, vorwiegend auf dem Gebiete der Kolloidforschung, in Angriff genommen. Diese betreffen das Gebiet kolloider Zerteilungen im gasförmigen Medium sowie Strukturuntersuchungen an Kautschuk im Zusammenhange mit

seiner mechanischen Verformung. Schließlich wurden eine Reihe von Untersuchungen an langkettigen fettsauren Salzen als den charakteristischen Typen der Mizellkolloide durchgeführt. Diese Arbeiten wurden besonders gefördert, nachdem im Mai dieses Jahres Professor Dr. P. A. THIESSEN zum Direktor des Instituts ernannt wurde. Gegenwärtig sind auf diesem Gebiete mehrere Arbeiten abgeschlossen und zum Teil im Druck.

THIESSEN.

### 7a. Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung in Berlin.

Wissenschaftliche Entwicklung seit der Gründung im Jahre 1921 bis zur Auflösung in Berlin-Dahlem am 30. September 1933.

*Abteilung für Metallographie.* Die Grundlage, die zur Erkenntnis der Abhängigkeit aller Eigenschaften einer Legierungsreihe von der Zusammensetzung und der thermischen Behandlung notwendig ist, ist das Erstarrungs- und Umwandlungsschaubild. Heute kennen wir zwar, wenigstens in groben Umrissen, die Zustandsdiagramme fast aller binären Legierungen. Mit der Verfeinerung unserer Meßwerkzeuge, mit der Anwendung neuer Untersuchungsverfahren, insbesondere auch der Röntgenuntersuchung, hat es sich aber immer wieder gezeigt, daß unsere Kenntnis vielfach noch sehr lückenhaft ist. Fast bei jeder Neubearbeitung eines bisher als feststehend angesehenen Zustandsdiagrammes treten neue Erkenntnisse auf. Insbesondere bedürfen bei fast allen Legierungen, die unter Mischkristallbildung erstarren, und das ist die Mehrzahl der technisch wichtigen Legierungen, die Bestimmungen der Löslichkeitsgrenzen der Mischkristalle bei niederen und höheren Temperaturen einer eingehenden Nachprüfung. Diese Untersuchungen sind nicht nur von rein theoretischem, sondern von ebenso großem praktischen Interesse, hängen doch mit den Löslichkeitsverhältnissen die als Vergütung, Veredelung oder Selbsthärtung bezeichneten Erscheinungen eng zusammen.

In einer grundlegenden Arbeit wurde zunächst von BAUER und HANSEN das theoretisch und praktisch gleich wichtige Erstarrungsschaubild der Kupfer-Zinkreihe einer Neubearbeitung unterzogen; daran schlossen sich eingehende Untersuchungen über die Eigenschaften des Hartmessings sowie über die Wirkung kleiner Zusätze anderer Metalle (Blei, Nickel, Zinn, Aluminium, Mangan, Eisen) auf Gefüge und Eigenschaften der Zink-Kupferlegierungen (Sondermessinge) an. Die Arbeiten über die Löslichkeitsgrenzen von Mischkristallen sowie über die mit der Löslichkeit zusammenhängende Ausscheidungshärtung nahmen ebenfalls einen breiten Raum ein. Untersucht wurden die binären Systeme: Ag—Al, Al—Cd, Al—Si, Al—Zn, Bi—Pb, Cu—Mg, Cu—Sn, Cu—Zn und Mg—Mn. An Aluminium-Zinklegierungen wurden die mit der Aufspaltung des Al—Zn Mischkristalls zusammenhängenden Volumveränderungen verfolgt. Sie sind für die Technik sehr störend, da sie im Gußstück starke innere Spannungen hervorrufen, die zu Brüchen führen.

Weitere Arbeiten beschäftigten sich mit der Alterungshärtung der aluminiumreichen Silber-Aluminiumlegierungen, mit dem Duraluminproblem, den Seigerungserscheinungen, Entmischung und Eigenschaftsänderungen übersättigter Silber-Kupferlegierungen, Eigenspannungen, Diffusionsvorgängen während und nach der Erstarrung sowie zahlreichen weiteren theoretisch und praktisch gleich wichtigen Fragen.

Das Laboratorium für *Gießereifragen* arbeitete in engstem Zusammengehen mit der Abteilung für Metallographie.

Das beim Guß eines Metalles oder einer Legierung entstehende primäre Gußgefüge beeinflußt weitgehend den weiteren Werdegang des Werkstückes.

Eingehende Untersuchungen über die Entstehung des Gußgefüges, über den Einfluß der chemischen und kristallographischen Beschaffenheit des Gußmaterials auf das Verhalten beim Walzen, Ziehen, Pressen wurden durchgeführt.

Ferner wurde der Einfluß der Gießtemperatur und der Abkühlungsverhältnisse auf die Gefügeausbildung studiert. Weitere Arbeiten betrafen die Wirkung verschiedener Desoxydationsmittel auf kupferoxydulhaltiges Kupfer, Untersuchungen über Schwindung, Wärmeausdehnung, Seigerung, Lunker- und Porenbildung und viele andere, beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand auftretende Erscheinungen.

Jeder Fehler bei der Herstellung einer Legierung erschwert die weitere Formgebung durch Walzen, Ziehen, Pressen oder macht sie sogar undurchführbar. Als Beispiel sei das Monelmetall angeführt. Monelmetall ist eine Kupfer-Nickellegierung, die aus ihren Erzen unmittelbar auf hüttenmännischem Wege erzeugt wird; ihre Eigenschaften sind ganz ausgezeichnete. Man hat daher immer wieder versucht, Legierungen mit gleich guten Eigenschaften durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Nickel zu erzielen; oft mit Erfolg, sehr oft aber auch mit Mißerfolg.

Erst kürzlich ist im Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung die Ursache dieser Mißerfolge aufgeklärt. Kupfer-Nickellegierungen besitzen im erstarrten Zustand ein gewisses Lösungsvermögen für Kohlenstoff, es beträgt etwa 0,12% C. Wird dieser Gehalt überschritten, so scheidet sich der überschüssige Kohlenstoff in graphitischer Form aus, und der *Graphit* ist es, der die Eigenschaften der Kupfer-Nickellegierungen in hohem Maße verschlechtert; die Walzbarkeit wird durch ihn ungünstig beeinflußt, die Festigkeitseigenschaften werden herabgedrückt, auch die an sich hohe Korrosionsbeständigkeit erleidet Einbuße. Wird der Schmelzprozeß so geführt, daß das Lösungsvermögen der Mischkristalle für Kohlenstoff nicht überschritten wird, so gelingt es auch durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Nickel Legierungen zu erzielen, die dem aus seinen Erzen erschmolzenen Monelmetall in jeder Beziehung gleichwertig sind.

Die Arbeiten der *röntgenographischen* und der *physikalischen Abteilung* sind im nachfolgenden in vier verschiedene Gruppen zusammengefaßt.

In der Gruppe *Allgemeines* herrschten die Arbeiten rein kristallographischen Inhalts vor. Besonders ist hier der Ausbau der kristallographischen Strukturtheorie hervorzuheben den K. WEISSENBERG, der vorübergehend

als Gast im Institut tätig war, durchgeführt hat. Die vorwiegend durch E. SCHIEBOLD geförderte Entwicklung von Auswertungsverfahren für Röntgendiagramme, die Erörterung der Eigenschaften von Laue-Reflexionsdiagrammen, Untersuchung von Oberflächenschichten, gemeinsam mit E. RUPP auch unter Heranziehung von Elektronenbeugung, gehören hierher; auch die gemeinsam mit E. GOENS in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durchgeführten Bestimmungen der elastischen Parameter und anderer physikalischer Eigenschaften von Metallkristallen wurden dieser Gruppe zugezogen.

Sehr zahlreich sind die Arbeiten der zweiten Gruppe: *Kristallplastizität*. An einer großen Reihe von Metallen und Legierungen wurden die Grundvorgänge bleibender Verformung, die Translation und Bildung von Deformationszwillingen am Einkristall studiert. Wenn wir heute auch noch keine abgeschlossene physikalische Theorie dieser Vorgänge haben, so besitzen wir doch vor allem dank dieser Arbeiten wenigstens eine quantitative Beschreibung der Erscheinungen. Das Schubspannungsgesetz hat sich stets als die beherrschende Gesetzmäßigkeit des Beginns der Translation erwiesen; ihren Verlauf beschreibt die Verfestigungskurve mit hinreichender Genauigkeit. Die Bruchbedingung wird maßgeblich von den zum Zerreißen des Kristalles führenden Vorgängen bestimmt. Eingehend wurde der Einfluß von Temperatur, Zeit und der chemischen Zusammensetzung geprüft. Insbesondere wurde die Versuchstemperatur unter Mitarbeit von M. POLANYI und W. MEISSNER, dem damaligen Leiter des Kältelaboratoriums der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, bis in den Bereich der Heliumtemperaturen erniedrigt. Die Änderung physikalischer Eigenschaften durch Kaltreckung wurde unter sorgfältigsten Versuchsbedingungen am Einkristall verfolgt. Wechseltorsionsversuche an Kristallen zeigten die tiefgreifenden Änderungen der plastischen Eigenschaften durch diese Beanspruchungsart und scheinen ein physikalisches Verständnis der technisch so bedeutsamen Dauerfestigkeit anzubahnen. In mehreren Arbeiten wurde ferner das plastische Verhalten von Steinsalzkrystallen und die hier so große Bedeutung gleichzeitiger Ablösung (JOFFÉ-Effekt) untersucht.

Die Arbeiten der dritten Gruppe befassen sich mit der *mechanischen Technologie der Metalle*. Hier wurden, wesentlich gefördert durch das Staatliche Materialprüfungsamt, in vorwiegend von G. SACHS und seinen Mitarbeitern ausgeführten Untersuchungen die stofflichen Grundlagen der spanlosen Formung in Theorie und Experiment behandelt. Ein neues Prüfgerät für Tiefziehbleche wurde entwickelt und Methoden zur Messung innerer Spannungen ausgearbeitet (Formänderung nach geeigneter Materialabtragung, Präzisionsbestimmung von Gitterkonstanten).

Zahlreiche weitere Arbeiten betrafen die technisch bedeutsame Aufgabe der Zurückführung des Vielkristallverhaltens auf die Eigenschaften des Einzelkorns. Hierzu wurde zunächst für eine große Zahl technisch wichtiger kaltverformter Werkstücke die Textur (Gefügeregelung) röntgenographisch ermittelt und auf Grund der die Verformung des Einkristalls begleitenden Umorientierungen in mehreren Fällen quantitativ

abgeleitet, in den übrigen Fällen verständlich gemacht. Es wurde gezeigt, daß der Wert von 1,125 für das Verhältnis von Zug- und Torsionsstreckgrenze von Kupfer und Nickel, der bisher nur unter der Annahme der Gestaltsänderungsenergie als Maß der Fließgefahr gedeutet werden konnte, auch aus der Gültigkeit des Schubspannungsgesetzes folgt. Die mehrfach beobachtete Anisotropie elastischer und technologischer Eigenschaften in technischen Werkstücken mit ausgeprägter Textur wurde auf Grund von Einkristallverhalten und Gefügeregelung aufgeklärt.

Auf die Bedeutung einer offenbar auf thermischem Platzwechsel der Atome beruhenden Plastizität für das Kriechen der Metalle bei erhöhten Temperaturen wurde an Hand von Fließversuchen unter gleichzeitiger Rekristallisation beziehungsweise Phasenumwandlung hingewiesen.

Eine vierte Hauptgruppe von Arbeiten beschäftigte sich schließlich mit *Legierungskunde*, wobei besonders röntgenographische Methoden herangezogen wurden. Die von SACHS und WEERTS zur genauen Bestimmung von Gitterkonstanten ausgebildete Rückstrahlkammer wurde vielfach zur Bestimmung von Löslichkeitslinien in technisch wichtigen Systemen herangezogen. Größte Beachtung wurde dem Problem der thermischen Vergütbarkeit von Legierungen (Duralumin) geschenkt. Der Mechanismus von Phasenumwandlungen (Martensitische Stahlhärtung, Umwandlung des Kobalts und eines Nickelstahls) konnte in eingehenden Untersuchungen als einfache Schiebung erkannt werden. Der Einfluß der Atomanordnung auf die Eigenschaften der Legierung wurde verfolgt, die Unabhängigkeit der Gitterkonstanten von der Korngröße sichergestellt.

Schon das wenige hier Vorgebrachte wird dem unvoreingenommenen Leser zeigen, daß weite Gebiete der Metallkunde eine Bearbeitung und Förderung erfahren haben. Trotz der ständigen hemmenden Schwierigkeiten in der Aufbringung der Mittel wurde dies ermöglicht durch die restlose Hingabe der wissenschaftlichen Arbeiter und durch vorzügliche Leistungen des technischen Personals.

Stets hat das Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung die Beziehungen zu anderen wissenschaftlichen Forschungsstätten gepflegt. Hier seien besonders neben den anderen Kaiser Wilhelm-Instituten das Staatliche Materialprüfungsamt Berlin-Dahlem, in dessen Räumen es als Gast untergebracht war, die Physikalisch-Technische Reichsanstalt und Forschungslaboratorien großer Industriewerke erwähnt.

Groß war die Zahl derjenigen, die aus dem In- und Ausland kommend, für kürzere oder längere Zeit an den Arbeiten insbesondere der röntgenographischen und physikalischen Abteilung, in denen stets dem Grundsätzlichen der Erscheinungen nachgegangen wurde, teilnehmen wollten. Von den vielen Gästen dieser Abteilungen seien E. SEIDL, R. SCHEU, O. VAUPEL, O. SUMMA, G. KURDJUMOW, M. A. VALOUCH, M. MASIMA, J. OBINATA, N. LEFRING, M. STRAUMANIS, G. v. VARGHA genannt. Vielfach wurden auch Diplom- und Doktorarbeiten ausgeführt.

Die Kolloquien des Instituts, die zunächst im Staatlichen Materialprüfungsamt, später im Helmholtzsaal des Harnackhauses der Kaiser

Wilhelm-Gesellschaft abgehalten wurden, waren stets außerordentlich stark besucht.

Alle Mitglieder des Kaiser Wilhelm-Instituts für Metallforschung zählen die in Dahlem zugebrachten wenigen Jahre der Forschung zu den schönsten ihres Lebens, verklärt durch rastlose begeisterte Arbeit und aufrichtige Freundschaft.

Die Gesamtzahl der während des Bestehens des Instituts in Berlin-Dahlem herausgebrachten Arbeiten beträgt über 220. Im Anhang sind die wichtigsten Arbeiten gesondert nach den einzelnen Abteilungen und Arbeitsgebieten aufgeführt. Sie sind, wie die Zusammenstellung zeigt, in den verschiedensten Fachzeitschriften veröffentlicht und dann in den Sonderheften aus dem Staatlichen Materialprüfungsamt und dem Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung (Verlag Julius Springer) gesammelt.

1934 erschien noch ein Sonderheft mit den letzten Arbeiten aus dem Institut.

G. TAMMANN schließt seine Besprechung des Heftes mit folgenden Worten:

„Obwohl die meisten dieser Arbeiten schon in anderen Zeitschriften veröffentlicht wurden, ist ihre Zusammenstellung zu begrüßen, weil sie nochmals in eindringlicher Weise an die großen Leistungen dieses Forschungsinstituts erinnert. Es ist sehr zu bedauern, daß ein Institut, welches Vorbildliches für die Metallkunde geleistet hat, seine Tore geschlossen und seine Arbeiter entlassen hat. Die Erforschung der Grundlagen zum Verständnis der plastischen Verformung und eine vertiefte Ausarbeitung der Legierungskunde verdankt die Metallkunde diesem Institut, *dessen Arbeiten zum Ruhm der deutschen Wissenschaft beigetragen haben.*“

Dem in glücklicheren Zeiten in Stuttgart neu entstandenen Institut mit dem die ehemaligen Abteilungsleiter BAUER, SACHS, SCHIEBOLD und SCHMID durch ihre Ernennung zu auswärtigen wissenschaftlichen Mitgliedern auch noch heute verbunden sind, seien die besten Wünsche für seine Entwicklung zu einem Brennpunkt der Deutschen Metallforschung dargebracht.

#### Verzeichnis der Arbeiten der metallographischen Abteilung und des Laboratoriums für Gießereifragen.

- BAUER, O. u. W. HEIDENHAIN: Das Verhalten der Aluminium-Zinklegierungen. Z. Metallkde. 16, 221 (1924).
- BAUER, O. u. O. VOLLENBRUCK: Die Härte der Kupfer-Zinnlegierungen. Z. Metallkde. 16, 926 (1924).
- BAUER, O. u. H. ARNDT: Das Verhalten einiger Metalle und Legierungen gegenüber der Einwirkung von Plastilin und freiem Schwefel. Z. Metallkde. 18, 85 (1926).
- BAUER, O. u. H. ARNDT: Über die Einwirkung von Zink, Zinn, Aluminium und Magnesium auf kupferoxydulhaltiges Kupfer. Gießerei-Ztg. 23, 671 (1926).
- HANSEN, M.: Der Aufbau des Rotgusses. Z. Metallkde. 18, 347 (1926).
- HANSEN, M.: Über die magnesiumreichen Kupfermagnesiumlegierungen. J. Inst. Met., Lond. 37 (1927).
- BAUER, O. u. G. SACHS: Die Bedeutung des Gußgefüges für die Eigenschaften von Kupfer. Met. u. Erz 24, 154 (1927).

- BAUER, O. u. O. VOLLENBRUCK: Härtebestimmungen und Spannungsmessungen mit Zink-Kupferlegierungen. Z. Metallkde. **19**, 86 (1927).
- BAUER, O. u. M. HANSEN: Der Aufbau der Kupfer-Zinklegierungen. Sonderh. IV. Berlin: Julius Springer 1927.
- HANSEN, M.: Über die Sättigungsgrenze des  $\alpha$ (Cu-Sn)-Mischkristalls. Z. Metallkde. **19**, 407 (1927).
- HANSEN, M.: Zur Kenntnis der Zinnbronzen. Z. anorg. allg. Chem. **170**, 18 (1928).
- HANSEN, M.: Der Aufbau der aluminiumreichen Silber-Aluminiumlegierungen. Z. Metallkde. **20**, 217 (1928).
- BAUER, O. u. H. SIEGLERSCHMIDT: Die Ausdehnung des Zinks bei steigenden Temperaturen. Meßtechn. **4**, 183 (1928).
- HANSEN, M. u. G. SACHS: Die elektrische Leitfähigkeit von Silberlegierungen. Z. Metallkde. **20**, 151 (1928).
- BAUER, O. u. K. MEMMLER: Die Eigenschaften des Hartmessings. Sonderh. VIII. Berlin: Julius Springer 1929.
- BAUER u. M. HANSEN: Der Einfluß von dritten Metallen auf die Konstitution der Messinglegierungen.
- I. Der Einfluß von Blei. Z. Metallkde. **21**, 145 (1929).
  - II. Der Einfluß von Nickel. Z. Metallkde. **21**, 357 (1929).
  - III. Der Einfluß von Zinn. Z. Metallkde. **22**, 387 (1930/31).
  - IV. Der Einfluß von Aluminium. Z. Metallkde. **24**, 1 (1932).
  - V. Der Einfluß von Mangan. Z. Metallkde. **25**, 17 (1933).
  - VI. Der Einfluß von Eisen. Z. Metallkde. **26**, 112 (1934).
- HANSEN, M.: Alterungshärtung der aluminiumreichen Silber-Aluminiumlegierungen. Naturwiss. **16**, 417 (1928).
- BAUER, O. u. P. ZUNKER: Einfluß der Temperatur und der Abkühlungsverhältnisse beim Gießen von Zink. Sonderh. X, S. 1. Berlin: Julius Springer 1930.
- HANSEN, M.: Die Löslichkeit von Kupfer in Silber. Z. Metallkde. **21**, 181 (1929).
- BAUER, O. u. E. DEISS: Zur Probenahme und Analyse von Rotguß und anderen zur Seigerung neigenden Legierungen. Z. analyt. Chem. **79**, 47 (1929).
- BAUER, O. u. O. VOLLENBRUCK: Über den Angriff von Metallen durch Insekten.
- I. Mitt. Z. Metallkde. **22**, 230 (1930).
  - II. Mitt. Z. Metallkde. **23**, 117 (1931).
- HANSEN, M.: Zur Kenntnis des Vergütungsvorganges in Legierungen. Z. Physik **59**, 466 (1930).
- HANSEN, M.: Die Härte silberreicher Kupfer-Silberlegierungen. Z. anorg. allg. Chem. **186**, 41 (1930).
- BAUER, O.: Arsen im Flußstahl. Mitt. Ver.igg Großkesselbes. **23**, 3 (1929).
- BAUER, O. u. P. ZUNKER: Einfluß geringer Mengen von Fremdmetallen auf die Eigenschaften von Raffinadezink. Z. Metallkde. **23**, 37 (1931).
- BAUER, O. u. O. VOGEL: Untersuchungen an technischen Gußlegierungen. Sonderh. XVIII, S. 51. Berlin: Julius Springer 1931.
- BAUER, O., O. VOLLENBRUCK u. G. SCHIKORR: Spannungsmessungen und Lösungsversuche mit Zinn-Kupfer- und Zink-Kupferlegierungen. Sonderh. XIX, S. 1. Berlin: Julius Springer 1932.
- HANSEN, M. u. B. BLUMENTHAL: Zur Kenntnis der Zweistoffsysteme des Aluminiums mit Kadmium, Blei und Wismut. Metallwirtsch. **10**, 925 (1931).
- BAUER, O. u. P. ZUNKER: Einfluß von Temperatur und Fremdmetallen auf die Walzbarkeit von Zink. Metallwirtsch. **11**, 21 (1932).
- BLUMENTHAL, B. u. M. HANSEN: Über den Einfluß von Kadmium und Blei auf die Eigenschaften des Aluminiums. Metallwirtsch. **11**, 671 (1932).
- BAUER, O. u. G. SCHIKORR: Über die Einwirkung von alkoholhaltigen Treibstoffen auf Aluminium und Aluminiumlegierungen. Automob.-techn. Z. **35**, 583 (1932).
- BAUER, O. u. J. WEERTS: Die Eigenschaften von Monelmetall und ähnlichen Kupfer-Nickellegierungen. Metallwirtsch. **11**, 629 (1932).
- BAUER, O., B. BLUMENTHAL u. M. HANSEN: Über aushärtbares magnesiumhaltiges Silumin. Sonderh. XXIII, S. 60. Berlin: Julius Springer 1934.

- BAUER, O. u. E. DEISS: Seigerung in einem Silberblock. Z. analyt. Chem. **92**, 161 (1933).  
 BAUER, O. u. P. ZUNKER: Die Dichte von Zink in Abhängigkeit von der Verformung durch Kalt- und Warmwalzen. Z. Metallkde. **25**, H. 7 (1933).  
 HANSEN, M. u. W. STENZEL: Die Löslichkeit von Kupfer in Zink. Metallwirtsch. **12**, 539 (1933).  
 BAUER, O., J. WEERTS u. F. BECK: Mechanische Eigenschaften von Elektrolytzinkblech. Metallwirtsch. **12**, 615 (1933).

## Verzeichnis von Arbeiten der Röntgenographischen und Physikalischen Abteilung.

### 1. Allgemeines.

- SCHIEBOLD, E.: Über graphische Auswertung von Röntgenphotogrammen. Z. Physik **28**, 355 (1924).  
 WEISSENBERG, K.: Kristallbau und chemische Konstitution. Z. Physik **64**, 406, 420, 433 (1925).  
 WEISSENBERG, K.: Der Aufbau der Kristalle. Z. Kristallogr. **62**, 13, 52 (1925).  
 SCHIEBOLD, E. u. G. SACHS: Graphische Bestimmung der Gitterorientierung von Kristallen mit Hilfe des Laueverfahrens. Gesetzmäßiges Wachstum von Aluminiumkristallen bei der Rekristallisation. Z. Kristallogr. **63**, 34 (1926).  
 SENG, H.: Verfahren zur Herstellung von Metallkristallen. Mitt. Mat.-Prüf.-Amt. u. Kais. Wilh.-Inst. Met.-Forschg. N. F. **1927**, H. 5, 105.  
 SACHS, E. u. J. WEERTS: Die Orientierung einzelner durch Rekristallisation gewonnener Kristalle. Z. Physik **58**, 497 (1930).  
 SANDER, B. u. G. SACHS: Zur röntgenoptischen Gefügeanalyse von Gesteinen. Z. Kristallogr. **75**, 550 (1930).  
 RUPP, E. u. E. SCHMID: Elektronenbeugung an passivem Eisen. Naturwiss. **18**, 459 (1930).  
 BOAS, W. u. E. RUPP: Über Elektronenbeugung an sauerstoffbedecktem Wolfram. Ann. Physik (15) **7**, 983 (1930).  
 SCHMID, E.: Beiträge zur Physik und Metallographie des Magnesiums. Z. Elektrochem. **37**, 447 (1931).  
 GOENS, E. u. E. SCHMID: Über die Bestimmung einiger physikalischer Eigenschaften von Magnesiumkristallen. Naturwiss. **19**, 376 (1931).  
 GOENS, E. u. E. SCHMID: Über die elastische Anisotropie des Eisens. Naturwiss. **19**, 520 (1931). — Z. Elektrochem. **37**, 539 (1931).  
 BOAS, W. u. E. SCHMID: Lauediagramme mit großen Ablenkungswinkeln. Metallwirtsch. **10**, 917 (1931).  
 WASSERMANN, G.: Über eine Heizvorrichtung für Röntgenpräparate. Metallwirtsch. **10**, 922 (1931).  
 BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Struktur der Oberfläche geschliffener Metallkristalle. Naturwiss. **20**, 416 (1932).  
 BOAS, W. u. E. RUPP: Über Elektronenbeugung an reinem und passivem Eisen. Ann. Physik (5) **13**, 1 (1932).  
 GOENS, E. u. J. WEERTS: Elastische Konstanten von Kupferkristallen. Z. Instrumentenkde. **52**, 167 (1932).  
 STENZEL, W. u. J. WEERTS: Präzisionsbestimmung von Gitterkonstanten nichtkubischer Stoffe. Z. Kristallogr. **84**, 20 (1932).  
 SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Röntgenographische Untersuchungen an elektrolytisch oxydiertem Aluminium. Aluminium **4**, 100 (1932).  
 WASSERMANN, G.: Über den strukturellen Aufbau von technischem Zinkstaub. Metallwirtsch. **12**, 1 (1933).  
 BOAS, W. u. H. EKSTEIN: Über die Bestimmung der Krümmungsachse gebogener Kristalle aus Laue-Diagrammen. Z. Kristallogr. **90**, 408 (1935).

### 2. Kristallplastizität.

- Buchveröffentlichung. SCHMID, E. u. W. BOAS: Kristallplastizität mit besonderer Berücksichtigung der Metalle. Berlin 1935.

- POLANYI, M. u. G. SACHS: Über elastische Hysteresis und innere Spannungen in gebogenen Steinsalzkristallen. Z. Physik **35**, 692 (1925).
- SEIDL, E. u. E. SCHIEBOLD: Das Verhalten von inhomogenen Aluminiumgußblöcken beim Kaltwalzen. Z. Metallkde. **17**, 221, 283, 320, 365 (1925).
- v. GÖLER Frh. u. G. SACHS: Das Verhalten von Aluminiumkristallen. I. Geometrische Grundlagen. Z. Physik **41**, 103 (1927).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Das Verhalten von Aluminiumkristallen bei Zugversuchen. II. Experimenteller Teil. Z. Physik **41**, 116 (1927).
- SACHS, G. u. H. SHOJI: Zug-Druckversuche an Messingkristallen (Bauschingereffekt). Z. Physik **45**, 776 (1927).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über die mechanische Zwillingbildung von Zinkkristallen. Z. Physik **48**, 370 (1928).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Festigkeitseigenschaften von Kristallen einer veredelbaren Aluminiumlegierung. Z. Physik **49**, 480 (1928).
- MASIMA, M. u. G. SACHS: Mechanische Eigenschaften von Messingkristallen. Z. Physik **50**, 161 (1928).
- MASIMA, M. u. G. SACHS: Leitfähigkeit und Kaltverformung. Z. Physik **51**, 321 (1928).
- v. GÖLER Frh. u. G. SACHS: Untersuchungen von Kristallen des  $\beta$ -Messings. Naturwiss. **16**, 412 (1928).
- SCHMID, E.: Festigkeit und Plastizität von Metallkristallen. Metallwirtsch. **7**, 1011 (1928).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Das Fließen von Metallkristallen bei Torsion. Z. Physik **53**, 605 (1929).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Dehnung von Kadmiumkristallen. Z. Physik **54**, 16 (1929).
- MASIMA, M. u. G. SACHS: Dichte und Kaltverformung. Z. Physik **54**, 666 (1929).
- MASIMA, M. u. G. SACHS: Wärmeeffekte bei der Dehnung von Messingkristallen. Z. Physik **55**, 394 (1929).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Zugversuche an Kristallen aus Kupfer und Messing. Z. Physik **55**, 581 (1929).
- SCHMID, E. u. O. VAUPEL: Festigkeit und Plastizität von Steinsalzkristallen. Z. Physik **56**, 308 (1929).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Bemerkungen zur Kristallplastizität. Z. Physik **56**, 516 (1929).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Temperaturabhängigkeit der kritischen Schubspannung von Kadmiumkristallen. Z. Physik **57**, 575 (1929).
- POLANYI, M. u. E. SCHMID: Zur Frage der Plastizität. Verformung bei tiefen Temperaturen. Naturwiss. **17**, 301 (1929).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Temperaturabhängigkeit der Kristallplastizität. Z. Physik **61**, 767 (1930).
- SCHMID, E. u. O. VAUPEL: Versuche an bewässerten Steinsalzkristallen. Z. Physik **62**, 311 (1930).
- SACHS, G. u. J. WEERTS: Zugversuche an Gold-Silberkristallen. Z. Physik **62**, 473 (1930).
- FAHRENHORST, W. u. E. SCHMID: Über die Temperaturabhängigkeit der Kristallplastizität. Z. Physik **64**, 845 (1930).
- MEISSNER, W., M. POLANYI u. E. SCHMID: Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium XIII. Plastizität von Metallkristallen bei tiefsten Temperaturen. Z. Physik **66**, 477 (1930).
- WASSERMANN, G.: Deformation von Antimon- und Wismutkristallen. Z. Kristallogr. **75**, 369 (1930).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Bruchbedingung plastisch deformierter Kadmiumkristalle. Naturwiss. **18**, 227 (1930).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Über die Temperaturabhängigkeit der Kristallplastizität. Z. Physik **71**, 703 (1931).
- BECK, P. u. M. POLANYI: Rekristallisationsversuche an verformten Aluminiumkristallen. Naturwiss. **19**, 505 (1931).
- FAHRENHORST, W. u. E. SCHMID: Wechseltorsionsversuche an Zinkkristallen. Z. Metallkde. **23**, 333 (1931).

- SCHMID, E. u. M. A. VALOUCH: Über sprunghafte Translation von Zinkkristallen. Z. Physik **75**, 531 (1932).
- FAHRENHORST, W. u. E. SCHMID: Über die plastische Dehnung von  $\alpha$ -Eisenkristallen. Z. Physik **78**, 383 (1932).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Über die Dehnung ternärer Magnesiummischkristalle. Metallwirtsch. **11**, 577 (1932).
- OBINATA, J. u. E. SCHMID: Über die Dehnung von Zinnkristallen. Z. Physik **82**, 224 (1933).
- FAHRENHORST, W. u. H. EKSTEIN: Über die Gestaltsänderung von wechseltordierten Kadmiumkristallen. Z. Metallkde. **25**, 306 (1933).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Über Wechseltorsionsversuche mit Magnesiumkristallen. Metallwirtsch. **13**, 353 (1934).
- EKSTEIN, H.: Zur Temperaturabhängigkeit der Plastizität. Z. Kristallogr. **91** (1935).

### 3. Mechanische Technologie der Metalle.

- Buchveröffentlichungen: SACHS, G.: Mechanische Technologie der Metalle. Leipzig 1925.
- SACHS, G. u. G. FIEK: Der Zugversuch. Leipzig 1926.
- SACHS, G.: Über die Kerbwirkungen beim Stauchversuch. Stahl u. Eisen **43**, 1587 (1924).
- SCHIEBOLD, E.: Die Verfestigungsfrage vom Standpunkt der Röntgenforschung. Z. Metallkde. **16**, 417, 462 (1924).
- SACHS, G.: Großzahlforschung, Zuverlässigkeit technischer Messungen und Streuungsmasse. Stahl u. Eisen **44**, 941 (1924).
- SACHS, G.: Zur Analyse des Zerreißversuchs. Ber. Werkstoffaussch. VDE **1925**, Nr 58.
- SAEFFEL, F. u. G. SACHS: Festigkeitseigenschaften und Struktur einiger begrenzter Mischkristallreihen. Z. Metallkde. **17**, 155, 258, 294 (1925).
- SACHS, G.: Festigkeitsuntersuchungen an Zink. Z. Metallkde. **17**, 187 (1925).
- POLANYI, M. u. G. SACHS: Über die Auslösung innerer Spannungen durch Glühen. Z. Metallkde. **17**, 227 (1925).
- SACHS, G. u. E. SCHIEBOLD: Rekristallisation und Entfestigung im Röntgenbild. Z. Metallkde. **17**, 400 (1925).
- SACHS, G. u. E. SCHIEBOLD: Wechselseitige Stauchversuche an Aluminium. Z. VDI **69**, 1557, 1601 (1925).
- SACHS, G. u. E. SCHIEBOLD: Über die Gitterlage in deformierten Metallkristallen und Kristallhaufwerken. Naturw. **13**, 964 (1925).
- SACHS, G. u. E. SEIDL: Örtlicher Massenausgleich unter der Wirkung örtlicher Kräfte in Technik und Geologie. Naturwiss. **13**, 1932 (1925).
- SACHS, G.: Beitrag zum Härteproblem. Naturwiss. **13**, 1219 (1926). — Z. techn. Physik **7**, 132 (1926).
- SEIDL, E. u. E. SCHIEBOLD: Das Verhalten von Industriekupfer bei der Beanspruchung. Z. Metallkde. **18**, 241, 315, 345 (1926).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Walz- und Rekristallisationstextur regulär-flächenzentrierter Metalle. Z. Physik **41**, 873, 889 (1927).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Versuche über die Rekristallisation von Metallen. Z. Physik **42**, 283 (1927).
- SACHS, G.: Zur Theorie des Ziehvorganges. Z. angew. Math. Mech. **7**, 235 (1927).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Gefüge und Festigkeitseigenschaften von sehr reinem Aluminium. Z. Metallkde. **19**, 90 (1927).
- SACHS, G.: Versuche zum Walz- und Schmiedevorgang. Z. Metallkde. **19**, 189 (1927).
- SACHS, G.: Nachweis innerer Spannungen in Stangen und Rohren. Z. Metallkde. **19**, 352 (1927).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Innere Spannungen im Röntgenbild. Z. Metallkde. **19**, 410 (1927).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Zur Deutung des Gußgefüges. Z. VDI **71**, 1353 (1927).
- SACHS, G.: Innere Spannungen in Metallen. Z. VDI **71**, 1511 (1927).
- KUNTZE, W. u. G. SACHS: Der Zugversuch am Flachstab. Stahl u. Eisen **47**, 219 (1927).
- SEIDL, E.: Der Einfluß der chemischen und kristallographischen Beschaffenheit des Gußmaterials auf das Verhalten beim Walzen; erläutert an Industrieraluminium, -kupfer und -zink. Min. Met. New York 1927.

- KARNOP, R. u. G. SACHS: Versuche über die Rekristallisation von Metallen. Z. Physik **52**, 301 (1928).
- BAUER, O., Frh. v. GÖLER u. G. SACHS: Untersuchungen an Kupfer und Messing. Z. Metallkde. **20**, 202 (1928).
- SCHMID, E.: Anordnung der Kristallite in Vielkristallen (Texturen). Z. Metallkde. **20**, 371 (1928).
- KUNTZE, W., G. SACHS u. H. SIEGLERSCHMIDT: Elastizität, statische Versuche und Dauerprüfung. Z. Metallkde. **20**, 641 (1928).
- SACHS, G.: Zur Ableitung einer Fließbedingung. Z. VDI **72**, 734 (1928).
- KUNTZE, W. u. G. SACHS: Zur Kenntnis der Streckgrenze von Stählen. Z. VDI **72**, 1011 (1928).
- LAUTE, K. u. G. SACHS: Was ist Ermüdung? Z. VDI **72**, 1188 (1928).
- SCHIEBOLD, E. u. G. RICHTER: Studien über den Zugversuch an kristallisierten Stoffen. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1928**, 5. Sonderheft, 68.
- SEIDL, E.: Kerbwirkung in Wissenschaft und Technik. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1928**, 5. Sonderheft, 122.
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Walz- und Rekristallisationstextur regulär flächenzentrierter Metalle. Z. Physik **56**, 477, 485, 495 (1929).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über die Textur gezogener Magnesium- und Zinkdrähte. Naturwiss. **17**, 312 (1929).
- NIX, F. C. u. E. SCHMID: Über die Gußtextur von Metallen und Legierungen. Z. Metallkde. **21**, 286 (1929).
- SACHS, G. u. H. SIEGLERSCHMIDT: Prüfung von Seildrähten durch Zug- und Biegeversuche. Metallwirtsch. **8**, 129 (1929).
- SACHS, G.: Schmiedespannungen, Vergütungsspannungen und Wärmespannungen. Metallwirtsch. **8**, 343 (1929).
- SACHS, G. u. W. STENZEL: Die Dehnung von Blechen. Metallwirtsch. **8**, 547 (1929).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Die Grobrekristallisation von Aluminium. Metallwirtsch. **8**, 1115 (1929).
- FROMMMER, L., W. KUNTZE u. G. SACHS: Der Einfluß von Poren auf die Festigkeit von Spritzguß. Z. VDI **73**, 1609 (1929).
- KARNOP, R. u. G. SACHS: Zur Kinetik der Rekristallisation. Z. Physik **60**, 464 (1930).
- KURDJUMOW, G. u. G. SACHS: Walz- und Rekristallisationstextur von Eisenblech. Z. Physik **62**, 592 (1930).
- SACHS, G. u. J. WEERTS: Elastizitätsmessungen mit Röntgenstrahlen. Z. Physik **64**, 344 (1930).
- KUNTZE, W. u. G. SACHS: Der Fließbeginn bei wechselnder Zug-Druckbeanspruchung. Metallwirtsch. **9**, 85 (1930).
- SACHS, G.: Ein neues Prüfgerät für Tiefziehbleche. Metallwirtsch. **9**, 213 (1930).
- SACHS, G.: Stoffliche Grundlagen der spanlosen Formung und Glühbehandlung von Metallen. Metallwirtsch. **9**, 238 (1930).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über die Walztextur hexagonaler Metalle. Metallwirtsch. **9**, 698 (1930).
- BOAS, W. u. E. SCHMID: Zur Deutung der Deformationstextur von Metallen. Z. techn. Physik **12**, 71 (1931).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über die Anisotropie von Zinkblechen. Z. Metallkde. **23**, 87 (1931).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Einfluß von Kaltreckung auf die Plastizität bei erhöhten Temperaturen. Z. Metallkde. **23**, 242 (1931).
- SACHS, G.: Zur Einführung in die Theorie der spanlosen Formung. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1931**, 16. Sonderheft, 5.
- SACHS, G.: Untersuchungen über Tiefziehen. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1931**, 16. Sonderheft, 11.
- LINICUS, W. u. G. SACHS: Versuche über die Eigenschaften gezogener Drähte und den Kraftbedarf beim Drahtziehen. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1931**, 16. Sonderheft, 38.
- EISBEIN, W. u. G. SACHS: Versuche über Stangenpressen. Mitt. dtsh. Mat.-Prüf.-Anst. **1931**, 16. Sonderheft, 67.

- KUNTZE, W. u. G. SACHS: Eindruckvorgänge bei Metallen. Mitt. dtsch. Mat.-Prüf.-Anst. 1931, 16. Sonderheft, 96.
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über die Walztextur von Kadmium. Metallwirtsch. 10, 375 (1931).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Zur Rekristallisation von Aluminiumblech. Metallwirtsch. 10, 409 (1931).
- FAHRENHORST, W. u. G. SACHS: Über das Aufreißen von kaltgezogenem Rundeisen. Metallwirtsch. 10, 783 (1931).
- SACHS, G. u. J. WEERTS: Technologie und Festigkeitseigenschaften von reinem Aluminium. Aluminium 3, 182 (1931).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Wachstums- und Deformationstexturen von Metallen. AUERBACH-HORTS Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik, Bd. 4/2, S. 319. 1931.
- VALOUCH, M. A.: Bemerkungen zur Walztextur von Zink. Metallwirtsch. 11, 165 (1932).
- FAHRENHORST, W., K. MATTHAES u. E. SCHMID: Über die Abhängigkeit der Dauerfestigkeit von der Kristallorientierung. Z. VDI 76, 797 (1932).
- WEERTS, J.: Textur und Eigenschaften von Kupferblech. Z. Metallkde. 25, 101 (1933).
- VARGHA, G. v. u. G. WASSERMANN: Über den Einfluß des Formgebungsverfahrens auf die Kristallgleichrichtung in Drähten. Z. Metallkde. 25, 310 (1933).
- VARGHA, G. v. u. G. WASSERMANN: Über die Walztextur von Aluminium. Metallwirtsch. 12, 511 (1933).

#### 4. Legierungskunde.

- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Versuche zum Duraluminproblem. Metallwirtsch. 7, 1329 (1928).
- GÖLER, Frh. v. u. G. SACHS: Die Veredelung einer Aluminiumlegierung im Röntgenbild. Metallwirtsch. 8, 671 (1929). — Naturwiss. 17, 309 (1929).
- SACHS, G. u. J. WEERTS: Die Gitterkonstanten von Gold-Silberlegierungen. Z. Physik 60, 481 (1930).
- OSHIMA, K. u. G. SACHS: Röntgenographische Untersuchungen an der Legierung AuCu. Z. Physik 63, 210 (1930).
- AGEEW, N. u. G. SACHS: Röntgenographische Bestimmung der Löslichkeit von Kupfer in Silber. Z. Physik 63, 293 (1930).
- KURDJUMOW, G. u. G. SACHS: Über den Mechanismus der Stahlhärtung. Z. Physik 64, 325 (1930).
- AGEEW, N., M. HANSEN u. G. SACHS: Entmischung und Eigenschaftsänderungen übersättigter Silber- und Kupferlegierungen. Z. Physik 66, 350 (1930).
- WASSERMANN, G.: Zur Frage der molekularen oder atomaren festen Lösung einer Metallverbindung im Grundmetall. Z. Metallkde. 22, 158 (1930).
- WASSERMANN, G.: Über die Vergütung einer Konstruktallegierung. Z. Metallkde. 22, 160 (1930).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Röntgenographische Studien zum Vergütungsproblem. Metallwirtsch. 9, 421 (1930).
- SACHS, G. u. W. STENZEL: Versuche über das Altern von Stählen. Metallwirtsch. 9, 959 (1930).
- SACHS, G. u. J. WEERTS: Atomanordnung und Eigenschaften. (Untersuchungen an der Legierung AuCu<sub>3</sub>.) Z. Physik 67, 507 (1931).
- SACHS, G.: Unterdrückte Zustandsänderungen in Legierungen. Erg. techn. Röntgenkde. 2, 251 (1931).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Röntgenographische Bestimmung der Löslichkeit von Magnesium in Aluminium. Z. Metallkde. 23, 202 (1931).
- STRAUMANIS, M. u. J. WEERTS: Über die  $\beta$ -Umwandlung in Kupfer-Zink- und Silber-Zinklegierungen. Metallwirtsch. 10, 919 (1931).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Röntgenographische Bestimmung der Löslichkeit von Mangan in Magnesium. Metallwirtsch. 10, 923 (1931).
- HENGSTENBERG, J. u. G. WASSERMANN: Über röntgenographische Untersuchungen der Kaltvergütung des Duralumins. Z. Metallkde. 23, 114 (1931).

- STRAUMANIS, M. u. J. WEERTS: Röntgenographische Verfolgung von Umwandlungsvorgängen. Z. Physik 78, 1 (1932).
- WASSERMANN, G.: Einfluß der  $\alpha$ - $\gamma$ -Umwandlung eines irreversiblen Nickelstahls auf Kristallorientierung und Zugfestigkeit. Arch. Eisenhüttenwes. 6, 347 (1932/33).
- WASSERMANN, G.: Über die Umwandlung des Kobalts. Metallwirtsch. 11, 61 (1932).
- SCHMID, E. u. H. SELIGER: Untersuchungen an binären Mischkristallegierungen des Magnesiums. Metallwirtsch. 11, 409 (1932).
- BOAS, W.: Röntgenographische Bestimmung der Löslichkeit von Kadmium in Zink. Metallwirtsch. 11, 603 (1932).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Hängt die Änderung der Gitterkonstanten bei Mischkristallbildung von der Korngröße ab? Metallwirtsch. 11, 685 (1932).
- SCHMID, E. u. G. SIEBEL: Über die Mischkristallbildung bei ein- und vielkristallinem Material. Z. Physik 85, 36 (1933).
- OBINATA, J. u. E. SCHMID: Röntgenographische Untersuchungen an Antimon-Blei- und Zinn-Bleilegierungen. Metallwirtsch. 12, 101 (1933).
- OBINATA, J. u. G. WASSERMANN: Röntgenographische Untersuchung der Löslichkeit von Aluminium in Kupfer. Naturwiss. 21, 382 (1933).
- STENZEL, W. u. J. WEERTS: Präzisionsbestimmung von Gitterkonstanten nichtkubischer Stoffe. Z. Kristallogr. (A) 84, 20 (1932).
- SCHMID, E. u. G. WASSERMANN: Über das System Aluminium-Zink. Z. Metallkde. 26, 146 (1934).
- WASSERMANN, G.: Über die Umwandlungsvorgänge in  $\beta$ -Aluminiumbronze. Metallwirtsch. 13, 133 (1934).
- WASSERMANN, G. u. J. WEERTS.: Über den Mechanismus der  $\text{CuAl}_2$ -Ausscheidung in einer aushärtbaren Kupfer-Aluminiumlegierung. Metallwirtsch. 14, 605 (1935).

O. BAUER, E. SCHMID.

## 7b. Kaiser Wilhelm-Institut für Metallforschung in Stuttgart.

Die Gestalt der Wissenschaft ist unlösbar verknüpft mit den Männern, die sie schaffen. Wie sie erschaut, wie sie vertieft, und in welcher Richtung sie gefördert wird, hängt von der Persönlichkeit des Forschers ab. Seine geistige Veranlagung, sein Bildungsgang, Art und Umfang der zufällig von ihm gesammelten stofflichen Erfahrungen sind hierfür bestimmend. Unter diesem Gesichtspunkt bedeutet die 1934 vollzogene Neugestaltung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Metallforschung in Stuttgart eine Richtungsänderung der wissenschaftlichen Arbeit, verglichen mit der des ehemaligen Instituts, die in dem vorhergehenden Bericht geschildert worden ist. Die Zeitspanne seit dem Bestehen des Stuttgarter Instituts ist zu kurz, als daß dies an einem bereits vorliegenden umfangreicheren Arbeitsergebnis dargetan werden könnte. Statt dessen soll die Entwicklung umrissen werden, wie sie sich aus dem Wesen der heute zur Leitung und Mitarbeit berufenen Forscher voraussehen läßt.

In dem Institut für Röntgenmetallkunde beschäftigt sich der Leiter R. GLOCKER, ein Schüler W. C. RÖNTGENS, mit der Entwicklung neuer Röntgenverfahren zur wissenschaftlichen und technologischen Stoffuntersuchung. Seit dem Neubestehen des Instituts ist ihm einmal die Ermittlung der elastischen Spannungen in den einzelnen Punkten eines Werkstückes nach Richtung und Größe gelungen, zum anderen sind von

ihm neue Aussagen über die Atombindungen durch die Vermessung der Emissionslinien der ultraweichen Röntgenstrahlen ermöglicht worden. Das an Karbiden erprobte Untersuchungsverfahren wird neuerdings auf metallische Bindungen übertragen werden. Der Abteilungsvorsteher U. DEHLINGER arbeitet seit längerer Zeit, ausgehend von der Kristallphysik, an einer sichtenden Ordnung der Gleichgewichte und Legierungsmöglichkeiten der Metalle. Darüber hinaus behandelt er die Kinetik der Umwandlungen und Ausscheidungsvorgänge im festen Zustand sowie Fragen der Verformung und Rekristallisation. Das Ziel der Untersuchungen ist, die mit Hilfe der Röntgenstrahlen erhaltenen Kenntnisse mit den Ergebnissen der sonstigen wissenschaftlichen Untersuchungsverfahren der Metallkunde sinnvoll zu vereinen.

In den beiden anderen Teilinstituten wird die Metallkunde mit einem ausgesprochenen Einschlag seitens der physikalischen Chemie betrieben werden. Die Leiter der beiden Institute, W. KÖSTER und G. GRUBE, sowie die Abteilungsvorsteher E. SCHEIL und W. SEITH gehören dieser Fachrichtung an. Sie sind mit Ausnahme des letztgenannten aus der Schule G. TAMMANNs hervorgegangen, des Altmeisters der Metallkunde.

Bezeichnenderweise heißt deshalb das G. GRUBE unterstehende Laboratorium Institut für physikalische Chemie der Metalle. Gegenwärtig werden hier neue Meßverfahren zur Bestimmung der Konstitution der Legierungen entwickelt. Im Zusammenhang damit wird eine systematische Legierungskunde mit Hinblick auf die Stellung der Legierungsbildner im periodischen System der Elemente von der experimentellen Seite aus entwickelt. Eingehend wird die Beweglichkeit der Atome im Kristallgitter untersucht in Abhängigkeit von der Größe, der chemischen Verwandtschaft und der Konzentration der den Kristall aufbauenden Atomarten. Zu diesem Zweck werden auch radioaktive Indikatoren verwendet. Die hierauf beruhende Emaniermethode ist bereits zu einem Hilfsmittel einer verfeinerten Metallkunde ausgebaut worden. Die Beobachtung von Konzentrationsverschiebungen, die bei Durchgang eines elektrischen Stromes durch einen Mischkristall entstehen, eröffnet ein neues Forschungsgebiet, das Einblick in den inneren Aufbau und die Ladungsverteilung im Metall gestattet. In diesem Institut sollen ferner elektrochemische Arbeiten gefördert werden, sei es zur wissenschaftlichen Ergründung von Korrosionserscheinungen, sei es zur elektrolytischen Darstellung der Metalle aus wässrigen Lösungen oder geschmolzenen Salzen. Einen besonderen Raum nimmt schließlich die optische Spektralanalyse ein, die sich zur qualitativen und quantitativen Untersuchung von Legierungen besonders eignet.

Während die führenden Männer der zwei bisher behandelten Institute die akademische Laufbahn durchmessen haben, haben sich W. KÖSTER und E. SCHEIL, die an dem Institut für angewandte Metallkunde wirken, während einer langjährigen Tätigkeit in der Industrie mit den Bedürfnissen der Technik vertraut gemacht. Damit dürften sachliche Vorbedingungen erfüllt sein zur Lösung der Aufgaben dieses Instituts, in dem die Ergebnisse der Wissenschaft für die Anwendung in der Technik zugänglich gemacht

und die Erfahrungen der Praxis für eine wissenschaftliche Behandlung aufbereitet werden sollen. Im Vordergrund der Arbeiten wird eine gründliche Erforschung der Beziehungen zwischen den chemischen, physikalischen und technologischen Eigenschaften der Legierungen zu ihrer Herstellung, mechanischen Verarbeitung und Wärmebehandlung stehen. Da diese Vorgänge erst sicher beherrscht werden, wenn der Kristall- und Gefügebau der Legierungen bekannt sind, soll der Aufbau metallischer Mehrstoffsysteme als Sondergebiet der Konstitutionsforschung untersucht und die Gefügekunde besonders gepflegt werden. Mit Hilfe statistischer Betrachtungsweisen ist es bereits gelungen, auf Grund von Gefügeuntersuchungen in einigen Fällen von qualitativen zu quantitativen Aussagen zu gelangen. Besonderes Augenmerk wird ferner auf den hüttenmännischen Werdegang der Legierungen, auf die Einwirkung der Gase, der Schlacken und des Tiegelbaustoffes auf die Güte der Werkstoffe gerichtet werden.

W. KÖSTER.

### 8. Kaiser Wilhelm-Institut für Eisenforschung zu Düsseldorf.

Ziel und Zweck des Instituts ist wissenschaftliche Forschungsarbeit auf dem Gebiete von Eisen und Stahl. Durch eine planmäßige Durchforschung der hüttenmännischen Prozesse soll der eisenhüttenmännischen Praxis das wissenschaftliche Rüstzeug geschaffen und vermehrt und sie so in den Stand gesetzt werden, die technischen Arbeitsverfahren und die Güte ihrer Erzeugnisse zu verbessern oder neue technisch und wirtschaftlich günstigere Wege der Erzeugung und Verarbeitung von Eisen und Stahl zu beschreiten. Seit seiner Gründung hat das Institut im Rahmen der ihm durch seine Arbeitskräfte, technischen Versuchseinrichtungen und Betriebsmittel gegebenen Möglichkeiten jeden Weg mit zäher Energie verfolgt, der einen Erfolg in der vorgezeichneten Richtung versprach. Neben rein wissenschaftlichen grundlegenden Untersuchungen zum Zwecke der Vervollständigung und Klärung unserer theoretischen Erkenntnisse und Vorstellungen über die Eigenschaften der metallischen Werkstoffe und das Geschehen bei ihrer Erzeugung und Verarbeitung hat es immer wieder sich bietende Gelegenheiten zur Mitarbeit ergriffen, wenn es galt, in der Praxis auftretende Schwierigkeiten aufzuklären und aus dem Wege zu räumen oder an der Erschließung neuer Arbeitsweisen, die durch technische oder wirtschaftliche Notwendigkeiten gefordert wurden, mitzuwirken.

Trotz dieser zweifachen Zielsetzung ist niemals aus den Augen verloren worden, daß alle Arbeit letzten Endes der Förderung der allgemeinen Belange der deutschen Eisenindustrie und damit der deutschen Gesamtwirtschaft dienen soll. In diesem Bestreben hat sich in der Forschungstätigkeit des Instituts in den zurückliegenden Jahren eine enge Verknüpfung und vielfache Wechselwirkung ergeben zwischen der rein wissenschaftlichen Forschung, häufig mit einer Zielsetzung auf sehr weite Sicht und manchmal von einer scheinbar rein theoretischen Bedeutung, und der Bearbeitung dringender Tagesfragen mit dem Ziel und der Aussicht auf

unmittelbarste technische Nutzbarmachung der Ergebnisse. Diese Wechselbeziehungen spiegeln sich auch in der nachstehenden kurzen Übersicht über einige der wichtigsten Arbeitsgruppen aus der Tätigkeit der einzelnen Abteilungen des Instituts wieder. Dabei ist zu betonen, daß die Abteilungen sich bewußt darauf beschränkt haben, einige besonders dringliche Probleme aus ihrem sehr umfangreichen und vielseitigen Aufgabenkreise mit besonderem Nachdruck zu bearbeiten, wobei sie in vielfach jahrelanger planmäßig aufgebauter Forschungsarbeit umfassendes Tatsachenmaterial und grundlegende Erkenntnisse schaffen konnten.

#### Erzabteilung (Abteilungsvorsteher W. LUYKEN).

Die *Erzabteilung* wurde im Jahre 1922 eingerichtet, nachdem der im Jahre 1919 gegründete Erzausschuß des Vereins deutscher Eisenhüttenleute beschlossen hatte, das Eisenforschungsinstitut mit der Durchführung von *Versuchen zur Anreicherung deutscher Eisenerze* zu beauftragen und ihm hierfür Mittel zur Verfügung zu stellen. Veranlassung zu diesem Beschluß gab insbesondere die Abhängigkeit Deutschlands vom Bezuge ausländischer Eisenerze, die sich nach dem Verlust des Minettegebietes sehr einschneidend fühlbar gemacht hatte. Die Aufgabe der Erzabteilung war den Verhältnissen entsprechend nach zwei Richtungen hin anzusetzen, nämlich einmal auf eine beratende Tätigkeit für diejenigen Gruben, die ihre Erze bereits anreicherten, und zum anderen dahingehend, daß an der Ausarbeitung neuer Verfahren mitgearbeitet wurde, um die bisher fast unverwerteten eisenarmen deutschen Erze, wie sie vor allem im Harzvorlande und im Schwäbisch-Fränkischen Jura in verhältnismäßig großen Mengen vorhanden sind, nutzbar zu machen.

Den Ausgangspunkt für diese Arbeiten bildeten *erzmikroskopische* und *lagerstättenkundliche* Untersuchungen, welche die für die Anreicherung notwendigen Kenntnisse über den Feinbau der fraglichen Erze vermitteln, und auf denen die Versuche zur Auffindung günstigster Anreicherungen aufbauen sollten. Mehrere Arbeiten dieser Art wurden im Institut durchgeführt; besonders eingehend wurde dabei die Erzausbildung und die *Anreicherbarkeit der Erze des Salzgitterer Höhenzuges* erforscht. Da bei diesen oolithischen und bohnerartigen Eisenerzen die Art der *Aufschließung*, d. h. die Zerlegung des Erzes in seine natürlichen Bestandteile unter Vermeidung einer Zerkleinerung dieser Bestandteile erhebliche Schwierigkeiten bietet, wurde den hierfür in Frage kommenden Verfahren besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Bei der Bearbeitung dieses Gebietes mußte sehr bald die Feststellung gemacht werden, daß es für die Auswertung von Aufbereitungsergebnissen in technischer und auch in wirtschaftlicher Hinsicht an den notwendigen Anleitungen fehlte. Um also die Versuchsergebnisse in ihrer Bedeutung richtig darstellen zu können, und um vor allem vor wirtschaftlichen Fehlschlägen geschützt zu sein, gleichzeitig auch die wirtschaftlich günstigste Anreicherungsstufe zu erkennen, erwies es sich als notwendig, die *Erfassung des Aufbereitungserfolges* einer eingehenden Behandlung zu unterziehen. Die hierauf gerichteten Arbeiten bildeten dann die Veranlassung, daß es

in Fachkreisen zu einer Festlegung der wichtigsten rechnerischen Begriffe und Formeln für die eindeutige Wiedergabe von Anreicherungs Ergebnissen kam.

Nachdem diese Unterlagen gewonnen waren, wurden weitere Arbeiten aufgenommen, die darauf abzielten, durch Untersuchung in Betrieb befindlicher Anlagen festzustellen, welche von den verschiedenen Arten der *Aufbereitung des Siegerländer Spateisensteins* als die wirtschaftlich günstigste zu gelten hat. Eine weitere Untersuchung galt der *Entkupferung von Siegerländer Spateisenstein*. Diese kann durch Angliederung einer Schwimmaufbereitungsanlage wesentlich verbessert werden und bringt gleichzeitig die Möglichkeit, minderwertige Schlämme nutzbar zu machen.

Auch die Umwandlungen, die der Spateisenstein bei der *Röstung* erfährt, waren Gegenstand einer Untersuchung. Sie vermittelte die Erkenntnis, daß der Eisenspat sich zunächst in ferromagnetisches kubisches Oxyd umwandelt, das mit Manganferrit isomorph gemengt ist. Bei höherer Temperatur und längerer Dauer des Luftzutritts geht das kubische Oxyd teilweise in das unmagnetische hexagonale Oxyd über.

Nebenher gingen Arbeiten, die sich mit einzelnen *Verfahren der Aufbereitung* beschäftigten, so z. B. der *Herdaufbereitung*, der *Schaumschwimm-aufbereitung* (Flotation) und der *magnetischen Röstung*, d. h. der Umwandlung schwachmagnetischer Erze in ferromagnetische Rösterzeugnisse. Gerade dieser letztere Weg verdient bei der Verarbeitung von armen Eisenerzen Beachtung. Zwei Wege zur Herstellung eines einheitlich ferromagnetischen Erzeugnisses konnten bereits in ihrer Bedeutung klar herausgearbeitet werden. Es sind dies die *Erzeugung eines ferromagnetischen Eisenoxydes* durch Wiederoxydation im Anschluß an eine teilweise Reduktion des Erzes und die *Röstung von Eisenoxyden gemeinsam mit Eisenkarbonaten*, wobei durch eine Regelung der Mengenanteile dieser Erze die einheitliche Erzeugung von starkmagnetischem Eisenoxyduloxyd möglich ist. Es fehlen aber auf diesem Gebiete der magnetischen Eigenschaften der verschiedenen Eisenoxyde und der Bedingungen der Erzeugung starkmagnetischer Eisensauerstoffverbindungen noch gesicherte Unterlagen, die gegenwärtig Gegenstand umfassender Untersuchungen sind.

Zwei weitere Arbeiten beschäftigten sich mit der *Stückigmachung von Feinerzen*. So konnte der Nachweis erbracht werden, daß Siegerländer Feinspat, mit Koks-kohle bis zu gleichen Gewichtsmengen gemischt, einen Koks von guter Stückigkeit und erhöhter Sturzfestigkeit ergibt. Sehr eingehend wurde ferner der Vorgang der *Saugzugsinterung* studiert. Neben dem Einfluß wechselnder Betriebsbedingungen auf den erzeugten Sinter wurde seine Zusammensetzung, seine Stückigkeit, Festigkeit und Porigkeit sowie seine Reduzierbarkeit geprüft und durch mikroskopische Untersuchungen die Frage nach seiner mineralischen Zusammensetzung geklärt.

Entsprechend der Aufgabe der Erzabteilung, die ganz auf die Sache „deutsches Eisenerz“ abgestellt ist, wurde auch den *bergwirtschaftlichen Zusammenhängen* Aufmerksamkeit zugewandt und insbesondere erörtert, wie die Wettbewerbslage der deutschen Eisenerze den vom Ausland gelieferten gegenüber verbessert werden kann.

Ein weiteres Arbeitsgebiet bildete die *Bewertung von Eisenerzen*. Diese Frage hat zwar schon seit vielen Jahren die Eisenhüttenleute beschäftigt. Da man jedoch keine Übereinstimmung zwischen den errechneten Werten und den Betriebsergebnissen fand, erschien es zweckmäßig, den Gegenstand einer erneuten Bearbeitung zu unterziehen. Dabei zeigte sich, daß das bisherige Vorgehen, bei dem der Hochofen jeweils als ausschließlich mit dem zu bewertenden Erz betrieben angenommen wurde, nicht zu brauchbaren Werten führt, daß vielmehr auch der Ausgleich zwischen den verschiedenen Einsatzstoffen des Hochofens, so wie er betrieblich im Möller vorgenommen wird, von Einfluß auf den Wert ist und deswegen die Bewertungsrechnung auch die Versorgungsmöglichkeiten zu berücksichtigen hat.

Metallurgische Abteilung (Abteilungsvorsteher: P. BARDENHEUER).

Sehr vielgestaltig waren die von der *metallurgischen Abteilung* behandelten Aufgaben.

Eine Gruppe von Arbeiten dieser Abteilung befaßt sich mit grundlegenden Untersuchungen über Fragen, die für die im *Hochofen* sich abspielenden Vorgänge von Bedeutung sind, wie Reduktionsgeschwindigkeit der Erze, Reaktionsfähigkeit des Koks und Reaktionen zwischen technischen Roheisensorten und ihren Schlacken. Untersuchungen am Hochofen führten zu dem bemerkenswerten Ergebnis, daß die vor den Blasformen vorhandene oxydierende Zone nicht beabsichtigte Nebenreaktionen hervorruft, die die Beschaffenheit des Erzeugnisses verschlechtern und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens herabdrücken. Es wurden Vorschläge gemacht, die schädlichen Nebenreaktionen durch betriebliche und bauliche Maßnahmen in ihrer Wirkung abzuschwächen.

An der Erforschung und Weiterentwicklung des *Gußeisens* hat das Institut lebhaften Anteil genommen. Eine grundlegende Untersuchung über das niedriggekohlte hochwertige Gußeisen bildete im Jahre 1922 den Auftakt zu einer Reihe von Arbeiten, die innerhalb weniger Jahre zu einer Klarstellung der Bedingungen für eine erhebliche Verbesserung des Gußeisens geführt haben. Durch diese Arbeiten wurde vor allem auf die Bedeutung der Form und Verteilung des Graphits und der perlitischen Grundmasse für die mechanischen Eigenschaften hingewiesen. Größere Untersuchungen über die Ausbildung des Graphits sowie über die Beeinflussung der Kristallisation durch Schmelzbehandlung haben dem Gießer wichtige praktische Fingerzeige zur Gütesteigerung seiner Erzeugnisse gegeben. Insbesondere wurden auch die Grenzen scharf umrissen, innerhalb deren eine Schmelzüberhitzung des Eisens zu einer Erhöhung der Festigkeit führen kann. Die zahlreichen Mißerfolge, die bei der Nachbehandlung von Kupolofeneisen im Elektroofen auftraten, wurden aufgeklärt. Gleichzeitig hat das Institut sich mit der Vervollkommnung der Gießerei-Schmelzöfen befaßt und die Entwicklung neuer Schmelzverfahren gefördert mit dem Ziel, ein einwandfreies Schmelzen zu erleichtern, die Wirtschaftlichkeit des Schmelzens zu steigern und Fehlguß infolge falscher Behandlung des Schmelzgutes zu vermeiden. Ferner sind die Vorgänge

bei der Erstarrung und Abkühlung, namentlich der *Schwindungsvorgang* von Gußeisen sowie auch von Stahlguß eingehend untersucht und dem Praktiker Unterlagen für die Bemessung der Gußform unter wechselnden Arbeitsbedingungen gegeben werden. Das „*Wachsen des Gußeisens*“, d. h. die bleibende Volumenvergrößerung bei wiederholter Erhitzung, wodurch z. B. Heißdampfmaschinen nach verhältnismäßig kurzer Lebensdauer zerstört werden können, sind eingehend untersucht worden. Diese Arbeiten haben die Ursache des Wachsens aufgeklärt und gezeigt, daß durch die Wahl einer geeigneten Gußzusammensetzung und Gefügeausbildung der Fehler in weitem Umfange eingeschränkt werden kann.

Ganz besondere Aufmerksamkeit wurde der wissenschaftlichen Untersuchung der mit der *Stahlerzeugung* zusammenhängenden Fragen gewidmet. Es handelt sich dabei vornehmlich um die Anwendung der Gesetze der *physikalischen Chemie auf die Untersuchung der Eisenhüttenprozesse*. Eine reine Beschreibung der Vorgänge in den großen Schmelzeinrichtungen der Stahlerzeugungsverfahren, so wie sie etwa durch die zeitliche Änderung der Gehalte der Stahlschmelze und der Schlacke angezeigt werden, kann nicht zu einer befriedigenden Erkenntnis führen, wenn nicht auch die Ursachen für diese Änderungen und die Bedingungen, unter denen sie in der einen oder anderen Richtung eintreten, erfaßt werden. Der Erforschung der Gesetze, nach denen sich diese metallurgischen Reaktionen der Stahlerzeugungsverfahren vollziehen, stellt sich als besonders erschwerend in den Weg, daß es sich um eine Vielzahl von Umsetzungen handelt, die sich teils nacheinander, teils nebeneinander in mehr oder weniger enger Verknüpfung zwischen der Stahlschmelze, der Schlacke, der Zustellung und auch der Gasphase vollziehen. Es erwies sich daher als unumgänglich, zunächst *für die verschiedenen möglichen Einzelreaktionen die Gesetze ihrer Gleichgewichte über möglichst große Konzentrationsbereiche festzulegen* und auch die Eigenheiten ihres Ablaufes unter den verschiedensten Bedingungen zu kennzeichnen. Auch das theoretische Rüstzeug für die Aufstellung der Gleichgewichtsbedingungen der Metallschlackenreaktionen mußte einer Nachprüfung unterzogen werden. Die Lösung dieser Aufgaben wurde durch umfassende Untersuchungen an Hand kleiner Schmelzungen im Laboratorium in Angriff genommen. Es wurden die *Reaktionen des Mangans, des Siliziums, des Kohlenstoffes, des Chroms, des Vanadins, des Schwefels und des Phosphors* hinsichtlich ihrer Gleichgewichte und zum Teil auch hinsichtlich ihres Ablaufes und ihrer gegenseitigen Verknüpfung untersucht.

Besonderer Wert wurde auf die Ermittlung der Gesetze gelegt, nach denen sich die *Verteilung der Oxyde zwischen der Stahlschmelze und der Schlacke* regelt. Die Bedingungen für die Abscheidung der gelösten Oxyde aus der Stahlschmelze durch die Wirkung der üblichen *Desoxydationsmittel* Mangan und Silizium wurden mit Hilfe der Untersuchungen an den Metallschlackenreaktionen festgelegt. Die wesentliche Frage nach der Beständigkeit der *Karbide, Silizide und Phosphide im flüssigen Eisen* konnte ebenfalls eine befriedigende Antwort erfahren. Untersuchungen über *Zustandschaubilder metallurgisch bedeutsamer Schlackenmischungen* wurden in

Angriff genommen, um aus ihnen Rückschlüsse zu ziehen auf das metallurgische Verhalten der Schlacken, sei es als Reaktionsschlacken in den Stahlschmelzöfen oder als Desoxydationsprodukte, die sich aus der Stahlschmelze ausscheiden können.

Auf diese Weise wurden Grundlagen geschaffen, von denen aus das Reaktionsgeschehen in den großen Stahlschmelzöfen und auch die Vorgänge während der Abkühlung und der Erstarrung der Stahlschmelze beurteilt werden können. So haben Untersuchungen über den *metallurgischen Verlauf des Thomasverfahrens* gezeigt, welche große Bedeutung die Reaktion der Schlacke auf die Umsetzungen im Bad besitzt, und Aufschluß über die große Geschwindigkeit ergeben, mit der der Sauerstoff des Bades mit dem Kohlenstoff reagieren kann; denn trotz des starken Einblasens von Luft in den Konverter bleibt der Sauerstoffgehalt des Bades so lange niedrig, als noch genügend Kohlenstoff im Bad vorhanden ist. Die große Reduktionsfähigkeit des Kohlenstoffs im Metallbad ließen auch die Untersuchungen über den Reaktionsablauf der *Schmelzungen im basischen Siemens-Martinofen* erkennen. Auch hier konnte gezeigt werden, daß in erster Linie der Kohlenstoff für die Höhe des Sauerstoffgehaltes des Bades maßgebend ist. Sehr klar und eindeutig trat der maßgebliche Einfluß des Kohlenstoffes auf das Reaktionsgeschehen bei den Untersuchungen des *sauren Siemens-Martinverfahrens* hervor. Die Siliziumreduktion trat in vielen Fällen unter Schlacken mit sehr hohen Eisenoxydulgehalten ein, ein Zeichen dafür, daß durch die Reaktion des Kohlenstoffes der Sauerstoffgehalt des Bades sehr niedrig gehalten wird. Diese Siliziumreduktion führt zur Bildung einer Schicht aus hochkieselsäurehaltiger zähflüssiger Schlacke oder gar aus fester Kieselsäure zwischen Bad und Schlacke, so daß die eisenoxydulreiche Schlacke nahezu vollständig vom Bad abgesperrt wird.

Aus diesen Untersuchungen technischer Schmelzungen war die Folgerung zu ziehen, daß während des wichtigsten Teiles des Schmelzverlaufes nach Einsetzen der lebhaften Entkohlung eine mit der Zeit immer stärkere Entfernung der Gehalte der Stahlschmelze an Mangan und Silizium von den durch die erwähnten Gleichgewichtsuntersuchungen an kohlenstofffreien Schmelzungen festgelegten Gleichgewichtgehalten eintritt. Die Ursache dieses bemerkenswerten Verhaltens ist in der *Wirkung des Kohlenstoffes* zu sehen, dessen reduzierende Wirkung auf die in der Schlacke enthaltenen Oxyde nicht in der Reihenfolge deren jeweiliger Reduzierbarkeit, sondern nach Maßgabe seiner eigenen Reaktionsfähigkeit und dem Angebot an diesen Oxyden erfolgt; somit reißt der Kohlenstoff die führende Stellung im Reaktionsgeschehen an sich und drängt die übrigen Reaktionen aus ihrem Gleichgewicht heraus. Die Stichhaltigkeit dieser Schlußfolgerung konnte wiederum durch planmäßige Laboratoriumsversuche mit kohlenstoffhaltigen Schmelzen im sauren Tiegel erhärtet werden, wobei grundsätzlich neue Vorstellungen über das Wesen der Entkohlungsreaktion bei der Stahlerzeugung gewonnen wurden. Die Fruchtbarkeit der im Institut verfolgten Arbeitsweise, die Probleme gleichzeitig durch planmäßige Laboratoriumsversuche mit möglichst eindeutig festgelegten Ver-

suchsbedingungen und durch planmäßige Erforschung der unter sehr verwickelten Bedingungen ablaufenden technischen Erzeugungsverfahren in Angriff zu nehmen, trat bei diesen Forschungen mit aller Deutlichkeit hervor.

Die *Entfernung des Sauerstoffes* aus dem flüssigen Stahl *mit Hilfe von Desoxydationsmitteln* ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Güte des Stahles. Bei der Untersuchung des THOMAS-Verfahrens wurde der Einfluß der Art des zur Desoxydation verwendeten Ferromangans (kalt, heiß oder flüssig) geprüft und nachgewiesen, daß der Sauerstoffgehalt im Fertigstahl bei Benutzung von heißem oder flüssigem Ferromangan geringer ist als bei Anwendung von kaltem. Der Zusammenhang zwischen Wattverlust und Sauerstoffgehalt bei Transformatorenstählen wurde in einer Arbeit über den Desoxydationsverlauf bei der Herstellung von Transformatorenstahl nachgewiesen. Aber auch in der Pfanne treten noch Änderungen der Zusammensetzung des Stahles durch die Reaktion mit der aufgebrachtten flüssigen Schlacke ein, die die Güteeigenschaften des Werkstoffes in manchen Fällen beeinflussen können, wie eine Untersuchung über die *Änderungen der Zusammensetzung* des auf basischem Futter erschmolzenen Stahles *in der Gießpfanne* zeigt.

Neben diesen für die Desoxydation und den Ablauf der metallurgischen Verfahren so wichtigen Untersuchungen wurden auch das *Verhalten des Schwefels während des Schmelzens* und die Frage der *Entschwefelung von Gußeisen und Stahl* geprüft und die Reaktionen und ihr Ablauf, die für diesen Vorgang maßgebend sind, festgelegt. Es sei namentlich auf die Feststellung hingewiesen, daß bei der Entschwefelung des Stahles durch basische Schlacken die Wirkung des Kalkes erheblich stärker ist als die des Mangans.

Die planmäßige Untersuchung, die zur *Aufklärung des metallurgischen Verhaltens* weiterer technisch wichtiger Legierungselemente des Stahles unter saurer und basischer Schlacke in Angriff genommen ist, hat zunächst für *Chrom* und *Vanadin* neue Erkenntnisse ergeben, die sich für ersteres auch für die Fragen der wirksamsten und sparsamsten Verwendung dieses in Deutschland fehlenden Rohstoffes, für letzteres auch für seine Gewinnung aus den niedrigen Gehalten der deutschen Eisenerze und für seine möglichst ausgedehnte Nutzbarmachung für hochwertige legierte Stähle von besonderer Wichtigkeit erweisen. Hervorzuheben ist dabei die Erkenntnis, daß das Chrom in Gegenwart der reduzierend wirkenden Eisenschmelze nicht allein in der allgemein bekannten höchsten Wertigkeitsstufe, sondern zu einem erheblichen Teil als Chromoxyd in der Schlacke enthalten ist.

Einen besonderen Platz nehmen die Arbeiten des Instituts ein, die sich mit der Entwicklung des *kernlosen Induktionsofens* befaßt haben. Der Beginn dieser Arbeiten fällt in das Jahr 1924. An Stelle der bei den ursprünglichen Anlagen dieser Art benutzten unwirtschaftlichen und unzuverlässigen Erzeugung des Hochfrequenzstromes mittels Funkenstrecke gelang es, den aus den Bedürfnissen der drahtlosen Telegraphie heraus entwickelten Mittelfrequenz-Maschinengenerator zu setzen und die für den Bau derartiger Anlagen erforderlichen elektrischen und konstruktiven

Unterlagen zu schaffen. Damit wurde der wissenschaftlichen Laboratoriumsforschung ein heute unentbehrliches Hilfsmittel gegeben, indem es mit den geschaffenen Einrichtungen erstmalig möglich wurde, mit einfachster Handhabung und größter Sicherheit Metallschmelzen in beliebigen Mengen, von kleinsten Tiegelschmelzen mit wenigen Gramm Metall bis zu Schmelzen von 50 kg — mit Hilfe der soeben im neuen Institut aufgestellten Anlage sogar bis zu der schon betriebliche Ausmaße erreichenden 300 kg-Schmelze —, durchzuführen. Darüber hinaus gestattet dieser Ofen unter Ausnutzung seiner besonderen Eigenarten auch metallurgische Reaktionen zwischen Metall und Schlacke durchzuführen und somit dieses Arbeitsgebiet einer Bearbeitung im Laboratorium zu erschließen. Gleichzeitig hat sich in der Folgezeit der kernlose Induktionsofen in großem Ausmaße in die Industrie einzuführen vermocht, und die auf den Erkenntnissen der ersten Institutsanlage ruhenden Voraussagen haben sich im vollsten Umfange erfüllt. Als wesentlichstes Merkmal des kernlosen Induktionsofens erkannte man bald die starke Bewegung des Metallbades, und damit erwuchs die Aufgabe, die Eignung dieser Schmelzanlage für die Stahlerzeugung einer planmäßigen Untersuchung zu unterziehen. So wurden in der Folgezeit die Frischvorgänge und die Bedingungen für die Entfernung unerwünschter Begleitelemente im Stahl wie Phosphor und Schwefel sowohl im Laboratorium als auch im Betriebsofen unter den verschiedensten Bedingungen untersucht.

Nach Klärung dieser Frage wurde die eigentliche Hauptaufgabe in Angriff genommen: die dem kernlosen Induktionsofen eigenen besonderen Vorteile dem praktischen Stahlwerksbetrieb zu erschließen. Insbesondere kam es darauf an, die Bedingungen zu untersuchen, unter denen sich Stähle und Legierungen in diesem Ofen erzeugen lassen, die höchsten Anforderungen genügen. Bisher wurden erfolgreiche Untersuchungen über die *Erzeugung von Dynamo- und Transformatorenwerkstoffen* sowie über *Werkzeug- und Schnelldrehstähle* teils im Laboratorium, teils im Stahlwerk durchgeführt. Es gelang, durch Beachtung metallurgisch günstiger Arbeitsbedingungen Schnelldrehstähle mit besonders guten Eigenschaften zu erschmelzen. Neben der Fortführung derartiger Arbeiten wurden auch die Erweiterungsmöglichkeiten des Schmelzens mittels hochfrequenter Ströme verfolgt, z. B. für das Schmelzen im Vakuum, und geeignete Öfen hierfür entwickelt.

Größtes Gewicht wurde bei allen diesen Arbeiten darauf gelegt, die Untersuchungsergebnisse nicht auf den kernlosen Induktionsofen allein zu beschränken, sondern allgemein gültige Richtlinien zur Erzeugung von Stählen mit besonders guten Eigenschaften aufzustellen, die auch für andere Ofenarten Gültigkeit besitzen. Die Richtigkeit dieses eingeschlagenen Weges konnte wiederholt durch Ergebnisse der Praxis bestätigt werden.

Seit langem wird die Frage nach dem *Einfluß des Erzeugungsverfahrens auf die Güteeigenschaften des Werkstoffes* erörtert. *Vergleichende Untersuchungen an saurem und basischem Stahl* gleicher Zusammensetzung zeigten, daß mit Hilfe der üblichen mechanischen Prüfverfahren ein Unterschied zwischen saurem und basischem Stahl nicht nachweisbar ist.

Von ähnlicher Bedeutung ist die Frage der Verwendbarkeit von beruhigtem und unberuhigtem Stahl für besondere Zwecke. Eine ausführliche Arbeit, die den *Einfluß des Beruhigens auf die Verarbeitbarkeit des Stahles* untersucht, stellte fest, daß die Art und Weise, in der das Beruhigen erfolgt, von ausschlaggebender Bedeutung für die Verarbeitbarkeit des Werkstoffes ist. Außer dem Herstellungsverfahren und dem Beruhigen ist auch die Art der *Abkühlung des fertigen Werkstoffes in der Kokille* für die Eigenschaften von Bedeutung, wie unter anderem aus den Untersuchungen über die Verwendung wassergekühlter Kokillen hervorgeht.

Der fertig gegossene Block weist niemals eine völlig homogene Zusammensetzung auf. Es ist daher von Bedeutung, die Unterschiede, die in den Konzentrationen der einzelnen Elemente auftreten, festzustellen. Untersuchungen über das Verhalten der Begleitelemente des Eisens, insbesondere des Sauerstoffes, bei der *Seigerung* des Stahles und Untersuchungen über die Seigerung in beruhigten und nicht beruhigten Flußstahlblöcken gaben einen Beitrag zu dieser Frage.

Als Beispiel für Untersuchungen über den Einfluß der Schmelzföhrung auf die Eigenschaften des fertigen Werkstoffes sei hier nur die so wichtige Frage der *Flockenbildung* in Nickel-Chromstählen erwähnt, deren Ursachen aufgedeckt wurden, so daß Mittel zur Vermeidung dieses Fehlers angegeben werden konnten. Diesem für die Gütesteigerung der Stahlerzeugnisse entscheidend wichtigen Aufgabenkreise wird das Institut unter Ausnutzung der bei den grundlegenden metallurgischen Forschungen gewonnenen Erkenntnisse seine besondere Aufmerksamkeit schenken.

Mechanisch-technologische Abteilung (Abteilungsvorsteher: A. POMP).

Einen breiten Raum unter den Arbeiten des Instituts nehmen die Untersuchungen ein, die sich mit der *Weiterverarbeitung des Stahles* befassen. Außerordentlich mannigfaltig sind die Arbeitsmöglichkeiten, aus dem gegossenen Block das gewünschte Fertigerzeugnis herzustellen, und dementsprechend sind die in der eisenverarbeitenden Industrie angewandten Warm- und Kaltformgebungsverfahren recht vielgestaltig.

Eine Gruppe von Arbeiten der technologischen Abteilung hat den Vorgang der *spanlosen Verformung metallischer Werkstoffe*, wie er sich in den technischen Verarbeitungsvorgängen vollzieht, zum Gegenstand ausgedehnter Untersuchungen gemacht mit dem letzten Ziel, Beiträge zur Entwicklung einer *technologischen Mechanik des plastischen Zustandes* zu schaffen, die eine rechnerische Behandlung der Probleme der bildsamen Verformung in ähnlicher Weise gestatten soll, wie dies für das elastische Gebiet durch die hochentwickelte Elastizitätslehre bereits möglich ist.

Um eine zusammenfassende und einheitliche Behandlung der verschiedenen Formgebungsverfahren zu ermöglichen, mußten zunächst die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten dargelegt werden, die bei einer Formgebung im bildsamen Zustand maßgebend sind. Mit der Klärung des grundsätzlichen Ablaufes der Formgebungsverfahren und den dabei auftretenden Spannungen befaßten sich Untersuchungen über die *Beanspruchungsverhältnisse beim Schmieden und Walzen*, bei denen ein Einblick

in die Spannungsverhältnisse beim Schmieden, Walzen und Friemeln bei elastischer und bildsamer Formgebung gewonnen werden konnte.

Weitere Untersuchungen, die sich mit der Ermittlung des *Formänderungswiderstandes* und des *Formänderungswirkungsgrades* der *Formgebungsverfahren* befassen, sind für das Warm- und Kaltwalzen, das Ziehen, Strangpressen, Lochen und Tiefziehen durchgeführt worden. Aus ihren Ergebnissen lassen sich wertvolle Unterlagen für die zweckmäßige Werkzeuggestaltung und Leitung des Formgebungsverfahrens gewinnen. Weiterhin gingen die Bestrebungen dahin, die bei der Formgebung auftretenden Verluste im einzelnen zu erfassen und nicht nur die äußeren Kraftwirkungen zu ermitteln, sondern die gesamten Beanspruchungsverhältnisse während der Formgebung einzeln zu erforschen. Auf diese Weise war es beispielsweise möglich, den Arbeitsbedarf beim Ziehen zu gliedern in den Nutzanteil, den durch die Düsenreibung verbrauchten Anteil und in einen Restanteil, der zusätzlichen Verformungen, also den inneren Verlusten entspricht. Es zeigte sich, daß bei steigendem Düsenwinkel die äußeren Verluste beim Ziehen fallen, die inneren Verluste dagegen zunehmen, so daß für jeden Werkstoff und jede Querschnittsabnahme eine bestimmte Düsenform besteht, bei der die Formgebungsverluste einen Mindestwert erreichen.

Für die genaue *Verfolgung des Umformungsmechanismus* beim Ziehen von Drähten und Rohren sowie beim Strangpressen, Walzen und Lochen wurde mit gutem Erfolg ein Verfahren angewendet, bei dem die Probekörper in der Längsrichtung in der Mitte geteilt und auf der einen Schnittebene mit einem eingeritzten Koordinatennetz versehen werden. Schließlich ist es auch gelungen, die *Spannungsverteilung* an der Berührungsfläche zwischen Werkstoff und Walze unmittelbar durch Messung festzulegen. Die *im Walzspalt* wirksamen, senkrecht zur Walzenachse auf das Walzgut ausgeübten Druckkräfte wurden mit Hilfe einer piezoelektrischen Druckmeßdose gemessen, die in die Versuchswalze eingelassen war. In einer anderen Arbeit wurden die Einflüsse ermittelt, die die verschiedenen Stellungen von Lochscheiben und Führungen sowie die Lage der Stopfspitze im Kaliber auf die Werkstoffverdrängung beim *Lochvorgang im Stiefelschen Scheibenlochapparat* ausüben. Ferner wurde die Haltbarkeit der Lochstopfen in Abhängigkeit von ihrer Werkstoffzusammensetzung und den Betriebsbedingungen untersucht. Bei anderen Untersuchungen konnte der *Einfluß der Reibung auf den Werkstofffluß* beim Bandwalzen sowie beim Kaliberwalzen und Schmieden deutlich nachgewiesen werden. Der Einfluß der Walztemperatur auf die Reibung und damit auf die Breitung zeigte sich ebenfalls sehr deutlich bei Warmwalzversuchen auf einer Drahtstraße und beim Bandwalzen bei erhöhten Temperaturen. Beim Walzen von Stahl in Kalibern wurde der Formänderungswiderstand einiger Universal- und Trägerkalibrierungen durch Messung des Walzdruckes im Betrieb bestimmt, wozu eine neue Druckmeßvorrichtung mit Erfolg benutzt werden konnte. Andere Untersuchungen gaben Einblick in die *Vorgänge und Spannungsverhältnisse beim Einwalzen von Rohren* und Aufklärung über die Verformungsverhältnisse bei einem neuartigen

*Querwalzverfahren zum Aufweiten großer nahtloser Rohre.* Auch für den *Tiefziehvorgang* wurden die Spannungsverhältnisse und der Kraftbedarf festgestellt.

Eine weitere Gruppe von Arbeiten, die zugleich in den Aufgabenkreis der Abteilung für mechanische Werkstoffprüfung hineingreifen, befaßt sich mit den *Änderungen der Werkstoffeigenschaften, die bei den bildsamen Verformungsverfahren* eintreten. So wurde bei Grobblechen der Einfluß des Walzgrades, der Walzendtemperatur und der Wärmebehandlung auf die mechanischen Eigenschaften, die Alterungsempfindlichkeit und das Gefüge eingehend untersucht. Ähnliche Untersuchungen beziehen sich auf das Kratzen (Warmziehen) von nahtlosen Stahlrohren. Eine sehr eingehende Behandlung haben auch die bei der *Kaltverformung* eintretenden Eigenschaftsänderungen erfahren. Derartige breit angelegte Untersuchungen sind durchgeführt worden für das Drahtziehen, das Rohrziehen, das Kaltwalzen von Bandeisen, Bandstahl und Feinblechen. Im Zusammenhang mit der Kaltverformung ist die *Wärmebehandlung* des Werkstoffes von besonderer Bedeutung. Auch auf diesem Gebiete haben die Arbeiten des Instituts wertvolle Beiträge erbracht. Erwähnt seien nur Untersuchungen über die grobkörnige Rekristallisation von kohlenstoffarmem und kohlenstoffreichem Flußstahl, über den Einfluß der thermischen Vorbehandlung auf die Eigenschaften kaltgezogener nahtloser Stahlrohre, über das Patentieren von Stahldraht und das Glühen von Transformatorenblechen. Hier sind auch noch die breit angelegten Untersuchungen über die *Wärmebehandlung von Sonderstählen* und die dadurch bedingten Änderungen der mechanischen Eigenschaften zu erwähnen. Auch über die im Zusammenhang mit der Kaltverformung häufig zu beobachtende *Alterung* liegen wertvolle Untersuchungen vor, die teils als Beiträge zur Erforschung dieser Vorgänge zu werten sind, teils die dadurch im technischen Verarbeitungsgang bedingten Eigenschaftsänderungen zum Gegenstand haben. Hier sind auch die planmäßigen Untersuchungen über die eigenartigen *Eigenschaftsänderungen walzener Schienen beim Lagern und Anlassen* auf mäßige Temperaturen zu erwähnen, die sich in einem starken Anstieg der Verformbarkeit ohne Änderung der Festigkeitswerte kundtun.

Chemische Abteilung (Abteilungsvorsteher: P. BARDENHEUER).

Ein bei der Kaltverformung wichtiger Arbeitsgang ist das *Beizen*. An Hand von einfachen Versuchen konnte gezeigt werden, daß der Wasserstoff beim Beizen in den Werkstoff eindringt, um sich in der molekularen Form, in der er bei Raumtemperatur praktisch nicht durch Eisen diffundiert, in Hohlräumen oder an Einschlüssen unter außerordentlich hohen Drücken anzusammeln. Durch eine besondere Untersuchung wurden die Bedingungen für die *Aufnahme des Wasserstoffes im Eisen* bei Säurebeizung bzw. bei kathodischer Wasserstoffentwicklung klargestellt und dabei festgestellt, daß diese nur bei Anwesenheit solcher Elemente im Stahl oder im Beizbad erfolgt, die in der Lage sind, gasförmige Hydride zu bilden. Der in dem Werkstoff sich örtlich unter hohem Druck ansammelnde Wasserstoff gibt Anlaß zu den als *Beizblasen* bekannten

blasenförmigen Auftreibungen der Oberfläche, die bei sehr starkem Beizen oder beim nachträglichen Erwärmen stark gebeizter Metalle, besonders von Bandeisen und Feinblechen, auftreten.

Durch weitere Arbeiten wurde gezeigt, daß auf die gleiche Ursache die *Wasserstoffbrüchigkeit* des Stahles zurückzuführen ist. Der Wasserstoff, der beim Beizen oder auch beim Glühen in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre in das Eisen eindringt, kann sich an nichtmetallischen Einschlüssen sowie in kleinen Hohlräumen, z. B. an den Korngrenzen, unter derartig hohen Drucken ansammeln, daß im Gefüge des Werkstoffes bleibende Schäden, wie z. B. interkristalline Risse entstehen, wodurch die mechanischen Eigenschaften ganz erheblich beeinträchtigt werden können. Diese Untersuchungen gaben unter anderem auch Aufschluß über die *Lötbrüchigkeit* des Stahles, die bei der Verbindung von dünnwandigen Rohren, z. B. zu Rahmen von Fahrrädern, Motorrädern und Flugzeugen, durch Tauchlöten in Messing in Erscheinung tritt, und deren Ursachen bisher noch nicht erkannt waren. Nach Erkenntnis der Ursache dieses Fehlers konnte zugleich ein Weg zur Behebung seiner schädlichen Wirkungen gezeigt werden, indem selbst nach starkem Überbeizen des Werkstoffes vor dem Löten die Störungen im interkristallinen Zusammenhang durch geeignete Wärmebehandlung wieder vollständig beseitigt werden können. Die große Bedeutung, die hiernach einer Aufnahme von Wasserstoff durch den Stahl zuzumessen ist, ist in letzter Zeit durch entsprechende Beobachtungen anderer Forscher nachdrücklich bestätigt worden.

Die Entwicklung der Stahlerzeugungsverfahren in der letzten Zeit zwang die *analytische Chemie* zu immer größeren Anstrengungen, um den Anforderungen, die an sie gestellt werden, entsprechen zu können. Bei der Herstellung der Qualitätsstähle ist eine dauernde Überwachung der Schmelzung durch die chemische Analyse notwendig, um die erforderlichen Zusätze in der für die Endzusammensetzung der Schmelze notwendigen Menge geben zu können. Daraus geht schon hervor, daß die Bestimmung der verschiedenen Elemente in kurzer Zeit durchgeführt werden muß; längere Zeit beanspruchende Verfahren sind für die Schmelzüberwachung wertlos, da sie erst das Ergebnis liefern können, wenn die Schmelzung schon längst beendet ist. Neben der Schnelligkeit werden vor allem große Genauigkeit und allgemeine Anwendbarkeit von den analytischen Verfahren verlangt, denn die für den Fertigstahl geforderte Zusammensetzung läßt nur geringe Schwankungen zu, auch darf das Bestimmungsverfahren eines Elementes durch die anderen im Stahl vorhandenen nicht beeinflußt werden.

Die Möglichkeit, einzelne Elemente schnell und sicher zu bestimmen, wobei der Einfluß der anderen Begleitelemente in weitem Maße ausgeschaltet wird, schien in der Anwendung physikalischer und physikalisch-chemischer Methoden im Eisenhüttenlaboratorium zu liegen. Im *analytischen Laboratorium des Instituts* (Leiter: G. THANHEISER) wurde diesen Fragen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In einer Reihe von Arbeiten wurden die Vorteile der *potentiometrischen Maßanalyse* für die Unter-

suchung des Stahles geprüft. Diese bestehen hauptsächlich in der Ausschaltung der subjektiven Fehler bei der Endpunktbestimmung der chemischen Reaktion sowie in der Möglichkeit, mehrere Elemente in einer Lösung bestimmen zu können. Es konnte gezeigt werden, daß sich die Bestimmung des Mangans, Chroms und Vanadins in einem Arbeitsgang vereinigen läßt, der in kurzer Zeit ohne Trennungen die genaue Bestimmung dieser drei Elemente durch potentiometrische Maßanalyse ermöglicht. Weiterhin wurden auf dieser Grundlage Verfahren zur Bestimmung von Molybdän, Kobalt und Schwefel im Stahl sowie des Eisens und Chroms im Ferrochrom und des Eisens und Vanadins im Ferrovandin ausgearbeitet. Für die Bestimmung des Vanadins in Eisen und Schlacken wurde ein Schnellverfahren entwickelt, das eine große Zeitersparnis gegenüber den bisherigen Verfahren ermöglicht. Die gleichen Vorteile weist ein neues Verfahren zur Bestimmung des Schwefels in Erzen, Schlacken und Zuschlägen auf. Die Vorteile, die bei diesen Verfahren nachgewiesen wurden, haben dazu geführt, daß sich die Laboratorien der Eisenhüttenwerke in immer stärkerem Maße der potentiometrischen Maßanalyse bedienen.

Um auch bei den gewichtsanalytischen Verfahren eine schnellere Durchführbarkeit zu ermöglichen, wurden Untersuchungen über den *Einfluß des Schüttelns auf einige Fällungsreaktionen* durchgeführt und dadurch der Weg gewiesen, diese Verfahren zu beschleunigen.

Besondere Schwierigkeiten macht die *Bestimmung von sehr kleinen Gehalten* der Begleitelemente des Eisens. Die Bestimmung des Kohlenstoffs im kohlenstoffarmen Werkstoff soll in vielen Fällen eine Genauigkeit von wenigen Zehntausendstel Prozenten besitzen, die bei den gebräuchlichen Verfahren nicht erreicht werden kann. Durch Ausarbeitung des *Barytverfahrens zur Bestimmung des Kohlenstoffs* konnten diese Ansprüche erfüllt werden. Durch die Anwendung anderer physikalischer Methoden, wie z. B. der *spektral-analytischen Verfahren*, über die ebenfalls im Institut gearbeitet wird, ist die Möglichkeit gegeben, kleine Mengen eines Stoffes im Eisen einwandfrei nachzuweisen und genau zu bestimmen.

Die letzten Jahre der Forschung im Eisenhüttenlaboratorium stehen im Zeichen der Entwicklung der Verfahren zur *Bestimmung der Gase*, des Sauerstoffs, Wasserstoffs und Stickstoffs, *im Stahl*. Dies ist nicht verwunderlich, kommen doch bei den metallurgischen Verfahren in allen Fällen diese Gase mit dem flüssigen Eisen in Berührung, so daß die Frage, wieviel Gas, insbesondere Sauerstoff, das Eisen aufnimmt, und wie dadurch die Eigenschaften desselben beeinflußt werden, von grundsätzlicher Bedeutung ist. Die Entwicklung der Verfahren zur *Gesamtsauerstoffbestimmung im Eisen*, an der das Institut lebhaften Anteil genommen hat, schuf die Möglichkeit, diesen unter Berücksichtigung aller Umstände mit Sicherheit bestimmen zu können. Der Sauerstoff ist aber im Eisen an verschiedene Elemente, wie z. B. Eisen, Mangan, Silizium, Aluminium usw., gebunden, so daß nicht nur die Bestimmung des Gesamtsauerstoffgehaltes, sondern auch die Ermittlung der einzelnen Oxyde für die Beurteilung der Wirkung des Sauerstoffs im Eisen von Wichtigkeit ist. Durch eingehende Untersuchung des *Chlorrückstandsverfahrens* wurde festgestellt,

daß dieses die einwandfreie Bestimmung der *Kieselsäure* und *Tonerde* möglich macht. Durch diese Entwicklung der Sauerstoffsbestimmungsverfahren wurde dem praktischen Betrieb und der metallurgischen Forschung ein wichtiges Hilfsmittel an die Hand gegeben. Auch über die *Bestimmung des Wasserstoffs und Stickstoffs* wurde im Institut gearbeitet, und es wurden Verfahren angegeben, die die zuverlässige Ermittlung dieser Elemente erlauben.

#### Mechanische Abteilung (Abteilungsvorsteher: A. POMP).

Die Arbeiten des Instituts auf dem Gebiete der *mechanischen Werkstoffprüfung* befassen sich teils mit einer kritischen Nachprüfung der bekannten Werkstoffprüfverfahren, teils mit der Entwicklung neuer Sonderprüfungen für bestimmte Zwecke. So wurden die beim Zugversuch sich abspielenden Vorgänge, insbesondere die *Erscheinungen an der Streckgrenze* und die *Verfestigung durch Kaltreckung*, eingehend untersucht. Für den Druckversuch wurde das *Kegelstauchverfahren* entwickelt, bei dem die Druckwirkung zwischen kegelig ausgebildeten Preßbahnen erfolgt, wodurch ein Ausbauchen der Proben vermieden und damit eine gleichmäßige Spannungsverteilung gesichert wird. Für die Härteprüfung wurden ein *Fallhärteprüfgerät* entwickelt, das sich besonders für die Ermittlung der Härte bei erhöhten Temperaturen eignet. Bei der *Kerbschlagprüfung* wurde der Einfluß der Probenform, der Prüftemperatur und der Vorbehandlung des Werkstoffes eingehend untersucht. Für die Prüfung von Feiblechen wurde ein neues Verfahren, der *Tiefziehweitungsversuch*, ausgearbeitet.

Zwei Arbeitsgebiete der mechanischen Werkstoffprüfung sind in den letzten Jahren vom Institut besonders gepflegt worden, nämlich das *Verhalten des Stahles in der Kälte und Wärme und gegenüber Schwingungsbeanspruchung*.

Eingehende Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit der Kerbschlagzähigkeit für Stahlguß und geschmiedete Stähle in verschiedenen Gefügeständen erbrachten wichtige Aufschlüsse zu den Fragen der *Blaubruchigkeit und der Kaltsprödigkeit des Stahles*, aus denen technische Nutzanwendungen gezogen werden konnten. Von diesen seien das Verfahren der *Vergütung geschweißter Flußstahlketten* mit besonders guter Zähigkeit bei hohen Kältegraden und die *Erzeugung zähblankgezogener Stahlrohre* angeführt.

Für die *Verwendung des Stahles bei hohen Temperaturen*, beispielsweise im Dampfkesselbau sowie in der chemischen Apparateindustrie, fehlt es noch vielfach an den nötigen Unterlagen über die Höhe der zulässigen Belastungen. Das hat seinen Grund darin, daß diese Unterlagen sich nicht durch einfache Warmzerreißversuche gewinnen lassen, da die Ergebnisse von Warmzugversuchen in einschneidendem Maße von der Versuchszeit abhängig sind. Man ist daher gezwungen, Belastungsversuche längerer Dauer auszuführen, um sich über das hierbei eintretende langsame Dehnen, auch Kriechen genannt, ein Bild machen zu können. Das Institut hat für

die Prüfung metallischer Werkstoffe in der Wärme eine Versuchsapparatur entwickelt, die es gestattet, die bei statischen Belastungen auftretenden Dehnungen in stark vergrößertem Maßstab mit Hilfe eines optischen Meßgerätes selbsttätig in Abhängigkeit von der Versuchszeit aufzunehmen. Mit Hilfe dieser Einrichtungen ist für Temperaturen bis zu 500° an zahlreichen Werkstoffen die *Dauerstandfestigkeit* ermittelt worden, d. h. diejenige Belastung, die der Werkstoff dauernd zu ertragen vermag, ohne daß unzulässig große Formänderungen eintreten. Die Untersuchungen sind in letzter Zeit auch auf oberhalb 500° gelegene Temperaturen ausgedehnt worden, die im Hinblick auf den Bau von Gasturbinen sowie hochbeanspruchten Ventilen u. dgl. erhöhte Bedeutung gewinnen. Die hierbei auftretenden apparativen Schwierigkeiten sind derart groß, und die Prüfung der für die Verwendung bei so hohen Temperaturen geeigneten Werkstoffe nimmt derartig lange Zeit in Anspruch, daß dieses Arbeitsgebiet noch für eine längere Reihe von Jahren das Institut beschäftigen wird.

Ähnlich liegen die Verhältnisse auf dem Gebiete der *Schwingungsprüfung*. Im Maschinen- und Hochbau ist der Fall einer rein statischen Beanspruchung äußerst selten: In den meisten Fällen treten Schwingungsbeanspruchungen auf, die bei unrichtiger Bemessung des Bauteiles zu Dauerbrüchen Veranlassung geben. Seit einer Reihe von Jahren hat daher das Institut die Prüfung der Werkstoffe bei schwingender Beanspruchung aufgenommen. Im Vordergrund stehen hierbei Versuche unter reiner Schwingungsbeanspruchung wie Zug, Druck, Biegung und Verdrehung sowie Wechselbeanspruchungen mit überlagerter Vorspannung. Die bisher durchgeführten Untersuchungen erstrecken sich auf verschiedene Fragen der Prüfmethodik sowie auf das Verhalten des Stahles bei der Schwingungsbeanspruchung unter verschiedenartigen Versuchsbedingungen. Besondere Bedeutung wurde auch der Ermittlung der *Dämpfungsfähigkeit* bei schwingender Beanspruchung beigelegt. Auch diese Untersuchungen werden das Institut noch für längere Zeit in Anspruch nehmen.

Wenn auch im Arbeitsplane des Instituts grundsätzlich die Klärung werkstoffkundlicher Fragen im Vordergrund steht, so lassen sich gerade bei den schwingungstechnischen Problemen die für das Verhalten von Bauteilen entscheidenden Gesichtspunkte der Gestaltung nicht ausschalten. Das Institut hat daher in einigen größeren Versuchsreihen der Bestimmung der *Spannungsverteilung und Beanspruchung in Bauelementen*, in erster Linie in Kesselböden mit und ohne Mannloch, in Abhängigkeit von der Form besondere Beachtung zugewendet und Vorschläge für die zweckmäßigere und vor allem sichere Gestaltung derselben machen können.

Physikalische Abteilung (Abteilungsvorsteher: F. WEVER).

Bei Aufnahme der Arbeiten in der *physikalischen Abteilung* war der *Stand der Metallphysik* folgender:

Die *Entwicklung der thermischen Analyse* durch TAMMANN bald nach 1900 hatte die experimentelle Untersuchung der metallischen Zwei- und Mehrstoffsysteme auf das stärkste angeregt, so daß bis zum Jahre 1920

die technisch wichtigeren Zweistoffsysteme mehr oder weniger vollständig vorlagen. Auf dem Gebiete der Eisenlegierungen hatten sich aus dieser Stoffsammlung für die Weiterführung der Forschung zwei wesentliche Gesichtspunkte ergeben: Aufklärung der *Polymorphie des Eisens* und Zusammenfassung der Teiluntersuchungen an Zweistoffsystemen des Eisens zu einer *Systematik der Eisenlegierungen* auf der Grundlage des Einflusses der Zusatzelemente auf die polymorphen Umwandlungen und Zusammenfassung der Teilansätze zu *Stahlhärtungstheorien* zu einer geschlossenen Erklärung des Einflusses der Abkühlungsgeschwindigkeit auf die Umwandlung und damit auf die Eigenschaften der Eisen-Kohlenstofflegierungen.

Für die genannten Aufgaben standen die experimentellen Hilfsmittel nur in einem durchaus unbefriedigenden Entwicklungszustand zur Verfügung. Die an anderen Stellen entstandenen Verfahren waren wenig erprobt und in ihren Ergebnissen nicht genügend gesichert. Insbesondere fehlte auch jede Erfahrung darüber, wie weit die kurz vorher entstandene Röntgenfeinstrukturanalyse geeignet war, neue Erkenntnisse für die Konstitutionsforschung zu vermitteln.

Aus dieser Sachlage heraus folgte für das *thermische Laboratorium* als erste Aufgabe eine Nachprüfung der Frage, wie weit die kritischen Punkte der nach den verschiedenen Verfahren aufgenommenen thermischen Kurven untereinander und mit den wirklichen Gleichgewichtstemperaturen übereinstimmten. Die dabei gewonnenen Erfahrungen wurden in der Folge für die Untersuchung einer großen Anzahl von Zweistoffsystemen des Eisens eingesetzt. So konnten Beiträge zur Kenntnis der Systeme *Eisen-Silizium* und *Eisen-Zinn* veröffentlicht werden. Ihnen folgten später Untersuchungen über die Mischungslücke bei den flüssigen *Eisen-Kupferlegierungen*, die durch die damals aufkommende Verwendung des Kupfers als Legierungsbestandteil des technischen Eisens nahegelegt wurden. In das gleiche Gebiet fallen Untersuchungen über die Zweistoffsysteme *Eisen-Bor*, *Eisen-Beryllium* und *Eisen-Aluminium* sowie eine ausgedehnte Arbeit über das System *Kobalt-Chrom*. Den Abschluß dieser Forschungsreihe bilden Untersuchungen zur Kenntnis der Zweistoffsysteme *Eisen-Vanadin* und *Eisen-Chrom* sowie des Dreistoffsystems *Eisen-Chrom-Nickel*.

Den Ausgangspunkt für die Untersuchungen des Instituts auf dem Gebiete der *Stahlhärtung* bildete eine Arbeit über das  $\beta$ -Eisen und über Härtungstheorien, in der die experimentellen Untersuchungen zur Stahlhärtung bis zum Jahre 1920 und die aus ihnen abgeleiteten theoretischen Vorstellungen vollständig und kritisch geordnet zusammengefaßt sind. In der Folgezeit lag das Schwergewicht zunächst auf der Entwicklung thermischer Verfahren für die Aufnahme schnell ablaufender Abkühlungsvorgänge. Nachdem diese Entwicklung mit der *Ausbildung eines Differentialverfahrens* ihren Abschluß gefunden hatte, konnte eine breit angelegte Untersuchung über den *Einfluß der Abkühlungsgeschwindigkeit auf die Umwandlungen, das Gefüge und den Feinbau der Eisen-Kohlenstofflegierungen* durchgeführt werden. Es gelang zu zeigen, daß die Tempe-

ratur des eutektoiden Zerfalls des Austenits mit zunehmender Abkühlungsgeschwindigkeit anfänglich stärker und dann langsamer gesenkt wird. Beim Überschreiten einer kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit wird die Perlitumwandlung vollständig unterdrückt. Der Austenit bleibt dann bis zu tiefen Temperaturen unzersetzt erhalten und geht erst am Martensitpunkt spontan in Martensit über. Für die Technik der Stahlhärtung ergaben sich aus dieser Arbeit wesentlich neue Gesichtspunkte. Es konnte gezeigt werden, daß sich durch eine *gestufte Härtung*, bei der der Austenit zunächst auf tiefe Temperaturen unterkühlt und erst nach Ausgleich der Temperaturunterschiede in Martensit umgewandelt wird, bemerkenswerte Fortschritte bei der Härtung besonders von verwickelt gestalteten Werkstücken erzielen lassen.

Diese Arbeiten standen noch voll unter der Auffassung, daß die Vorgänge bei der Stahlhärtung von den Gleichgewichten des Eisen-Kohlenstoffsystems aus erklärt werden müßten. Die Anwendung der jetzt gewonnenen neuen Erkenntnis führte jedoch dazu, daß die Kennzeichnung der Härtungsvorgänge wesentlich besser als durch die Gleichgewichte durch die *Kinetik des Umwandlungsablaufes* möglich ist. Daher schlossen sich eine Reihe von Untersuchungen an, die sich die Aufklärung der *Umwandlungskinetik des Austenits* zur Aufgabe machten. Diese Arbeitsgruppe wurde durch magnetometrische Untersuchungen an selbsthärtenden Chrom-Nickelstählen eingeleitet. Es wurde gezeigt, daß die Umwandlung des Austenits je nach der Abkühlungsgeschwindigkeit in drei Temperaturgebieten nach eigenen Gesetzen abläuft. Durch dilatometrische Untersuchungen an einem Chrom-Nickelstahl konnten diese Ergebnisse bestätigt werden. Es gelang nachzuweisen, daß sich bei diesen Stählen je nach der Umwandlungstemperatur verschiedene Karbidformen bilden. Bei höheren Umwandlungstemperaturen wird ein mit dem Zementit isomorphes Karbid gebildet, das nahezu das gesamte Chrom des Stahles enthält. Bei tieferen Temperaturen entsteht dagegen ein Karbid mit wesentlich niedrigeren Chromgehalten, dessen Kohlenstoffgehalt bis auf 15% ansteigen kann. Später gelang dann durch Verbesserung der Versuchseinrichtungen die seit längerer Zeit angestrebte Ausdehnung der bis dahin nur an legierten Stählen möglichen kinetischen Untersuchungen auf reine Kohlenstoffstähle. Es wurde festgestellt, daß die Umwandlung bei diesen nach den bereits ermittelten Gesetzen abläuft, jedoch gehen die erste und die zweite Umwandlungsstufe stetig ineinander über. Bei Umwandlungstemperaturen unterhalb etwa 400° erfolgt die Bildung des Zementits über eine Reihe von Zwischenstufen mit verschiedenen Kohlenstoffgehalten.

Die damit berührte Frage nach der Konstitution des bei tiefen Temperaturen aus dem Austenit gebildeten Kohlenstoffs steht in enger Verbindung mit den Vorgängen beim Anlassen. Durch eine *kalorimetrische Untersuchung der Anlaßvorgänge gehärteter Kohlenstoffstähle* konnte gezeigt werden, daß der Zerfall des Martensits und des Restaustenits im Gegensatz zu anderen Umwandlungen in metallischen Systemen nicht durch Kernzahl und Umwandlungsgeschwindigkeit geregelt wird. Er folgt

vielmehr einem einfachen Gesetz, nach dem die in der Zeiteinheit umgewandelte Menge dem noch vorhandenen Restanteil verhältnismäßig ist. Gleichzeitig konnte bestätigt werden, daß der beim Martensitzerfall ausgeschiedene Kohlenstoff erst bei höheren Temperaturen zu Zementit gebunden wird. Eine Rückstandsanalyse angelassener Kohlenstoffstähle führte zu dem gleichen Ergebnis: Die Kohlenstoffgehalte der Rückstände gehen mit steigender Anlaßtemperatur von sehr hohen Werten allmählich auf den Gehalt des Zementits zurück und häufen sich merklich um die Karbide  $\text{FeC}$  und  $\text{Fe}_2\text{C}$ .

Im gleichen Zusammenhang wurde später noch die *Bildungswärme des Eisenkarbides* durch Lösungsversuche im Kalorimeter bestimmt. Die Bildungswärme hängt beträchtlich vom Zustande des gebildeten Kohlenstoffs ab und sinkt von 8 kcal/Mol. mit zunehmender Graphitierung des Kohlenstoffs auf 4 kcal/Mol.

Die besprochenen Arbeiten über die Umwandlungskinetik des Austenits wurden später durch eine Untersuchung des *Einflusses der technisch wichtigeren Legierungszusätze auf die Umwandlungen der Kohlenstoffstähle* ergänzt. Durch dilatometrische Versuche an *Chromstählen* konnte gezeigt werden, daß die Umwandlungen in diesen ebenso wie bei den Chrom-Nickelstählen ablaufen. Je nach der Umwandlungstemperatur entstehen Karbide mit verschiedenen Kohlenstoff- und Chromgehalten. Der *Einfluß des Mangans* auf den Umwandlungsablauf wurde an einer Reihe von Stählen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 0,9% und Mangangehalten bis zu 1,5% in Abhängigkeit von der Abkühlungsgeschwindigkeit untersucht. Die Geschwindigkeit der Perlitbildung wird durch Manganzusatz erheblich vermindert. Die Martensitbildung setzt ebenso wie bei unlegierten Stählen mit hoher Geschwindigkeit ein und kann auch durch höchste Abkühlungsgeschwindigkeiten nicht unterdrückt werden. Eine mittlere Umwandlungsstufe wie bei den Chromstählen ist bei den Manganstählen nicht vorhanden.

Den vorläufigen Abschluß der kinetischen Arbeiten zur Frage der Stahlhärtung stellt eine Untersuchung dar, die die Beobachtung der Austenitumwandlung mittels des Dilatometers und des elektrischen Widerstandes zum Gegenstand hat. Dabei wurden erhebliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf des Umwandlungsvorganges festgestellt. Es ist danach anzunehmen, daß die Gitterumklappung des Austenits in die Martensitstruktur durch Umordnungsvorgänge vorbereitet wird.

Die *Feinstrukturuntersuchungen mit Hilfe von Röntgenstrahlen* nahmen in den Arbeiten der physikalischen Abteilung von jeher einen breiten Raum ein. Die Reihe dieser Arbeiten wurde mit einer Untersuchung der *Atomanordnung des Eisens in austenitischen Stählen* eröffnet. Es konnte gezeigt werden, daß die Austenitstähle in der kubisch-flächenzentrierten Form des  $\gamma$ -Eisens kristallisieren und bei der Umwandlung durch Abkühlen in flüssiger Luft in das kubisch-raumzentrierte Gitter des  $\alpha$ -Eisens übergehen. Eine folgende Arbeit befaßt sich mit der *Atomanordnung des Nickels* in magnetischem und unmagnetischem Zustande. Die Gleichartigkeit der magnetischen Umwandlung des Nickels mit der-

jenigen des Eisens wurde damit erwiesen und im Anschluß daran nahegelegt, daß das  $\beta$ -Nickel ebenso wenig wie das  $\beta$ -Eisen als allotrope Form angesehen werden kann.

Die erste Anwendung der Feinstrukturanalyse auf eine besondere Stahlfrage stellt eine Arbeit über das *Eisenkarbid* dar. Es wurde nachgewiesen, daß die im technischen Eisen auftretenden Karbidformen sich in ihrer Kristallstruktur nicht voneinander unterscheiden. In unmittelbarem Anschluß an diese Arbeit wurde eine Untersuchung über die *Natur des Kohlenstoffs im Gußeisen* durchgeführt. Es wurde gezeigt, daß die Kohlenstoffarten der stabilen Eisen-Kohlenstofflegierungen nur ihrem Dispersitätsgrade nach vom Graphit verschieden sind.

Mit der *Natur des Mischkristalles  $\gamma$ -Eisen-Kohlenstoff* beschäftigt sich eine Untersuchung, in der auf Grund genauer Gitterkonstantenbestimmungen nachgewiesen werden konnte, daß der Kohlenstoff mit dem  $\gamma$ -Eisen einen Einlagerungsmischkristall bildet, bei dem die Kohlenstoffatome in die Lücken des  $\gamma$ -Eisengitters eingebaut sind.

Weiterhin wurde die Frage nach der *thermodynamischen Natur der polymorphen Umwandlungen des Eisens* behandelt. Die  $A_3$ - und  $A_4$ -Umwandlung des Eisens sind eindeutig als polymorphe Umwandlungen gekennzeichnet und gleichzeitig als Phasenumwandlungen im Sinne der klassischen Thermodynamik bestätigt. Bei der magnetischen Umwandlung des Eisens ändert sich weder die Kristallsymmetrie, das Kristallgefüge noch die Gitterorientierung. Damit ist sichergestellt, daß die magnetische Umwandlung nicht unter den Begriff der polymorphen Umwandlungen fällt. Das für die Erklärung der  $A_2$ -Umwandlung bis dahin erbrachte Beweismaterial wird als nicht ausreichend bezeichnet, um diese als Phasenumwandlung im thermodynamischen Sinne sicherzustellen.

Die neuen Erkenntnisse über den Polymorphismus des Eisens lieferten zusammen mit den schon besprochenen thermischen Untersuchungen die Grundlage für eine *systematische Einteilung der Zweistoffsysteme des Eisens*. Die Legierungselemente des Eisens können nach ihrem Einfluß auf dessen polymorphe Umwandlungen in zwei Gruppen gegliedert werden, von denen die erstere die Beständigkeit des  $\gamma$ -Eisens erhöht, während die letztere im entgegengesetzten Sinne wirkt. Eine Erklärung für dieses Verhalten auf Grund kristallographischer Verwandtschaften erwies sich als undurchführbar, dagegen wurden eindeutige Beziehungen zu den Atomradien festgestellt.

Die Bearbeitung der wichtigen Frage der *Eigenschaftsänderung der Metalle durch Kaltbearbeitung* wurde schon frühzeitig aufgenommen. Durch eine Untersuchung der *Walztextur kubisch kristallisierender Metalle* konnten wertvolle Aufschlüsse über die Änderung der Kristallitanordnung durch den Walzvorgang erbracht werden. Es folgten eine Reihe weiterer Arbeiten über die *Texturausbildung nach verschiedenen Verformungsvorgängen*, aus denen als Grundgesetz für den Formänderungsvorgang abgeleitet werden konnte, daß das Kristallgitter bei der Kaltverformung durch Biegleitung in solche Lagen übergeht, bei denen der Schubwiderstand auf

den Gleitfäden einen Höchstwert annimmt. Den Abschluß dieser Untersuchungsreihe stellt eine Arbeit dar, die sich mit der Ausbildung von *Gitterstörungen bei der Kaltverformung und ihrer Rückbildung bei der Kristall-erholung und Rekristallisation* beschäftigt.

In den letzten Jahren nahm das Röntgenlaboratorium Untersuchungen über den *Nachweis innerer Spannungen mit Hilfe von Röntgenstrahlen* auf. Nach einer eingehenden Untersuchung des DEBYE-SCHERRER-Verfahrens auf seine Eignung für Präzisionsmessungen konnte gezeigt werden, daß dieses Verfahren in der Form der Rückstrahlaufnahme Präzisionsbestimmungen von höchster Genauigkeit gestattet und daher für die Messung innerer Spannungen geeignet ist. In der Folge schließen sich eine Reihe von Arbeiten an, in denen Beispiele für die Messung innerer Spannungen besprochen werden.

Die vielseitige Verwendung von *Stählen mit besonderen magnetischen Eigenschaften* gab frühzeitig Veranlassung, ein Laboratorium für die Untersuchung der magnetischen Eigenschaften einzurichten. Als erste Aufgabe wurde diesem Laboratorium eine *Prüfung der in der Technik verwandten Meßgeräte* übertragen. Eine Untersuchung beschäftigt sich mit der Untersuchung des Differentialeisenprüfers von Siemens und dessen Genauigkeit bei der Bestimmung der Verlustziffer von Transformatorblechen. Daran schloß sich eine Untersuchung über die Eignung des Kegelstabes für ballistische Messungen an Magnetstählen an. Einen weiteren Beitrag zur Technik der Magnetprüfung lieferte eine Arbeit über die Probenherstellung für den Differentialeisenprüfer. In den letzten Jahren wurden die neuen Geräte für die Blechprüfung der AEG und der Firma Siemens & Halske einer eingehenden Untersuchung unterzogen.

Weiterhin wurden im magnetischen Laboratorium Versuche aufgenommen, deren Ziel die Entwicklung eines *Verfahrens für die magnetische Abnahmeprüfung von Kesselrohren* war. Es gelang, ein Gerät mit ausreichender Empfindlichkeit zusammenzustellen, die Frage der Anwendbarkeit im Betriebe konnte jedoch nicht eindeutig beantwortet werden. Erfolgreicher war ein Verfahren für die *magnetische Prüfung von Förderseilen*, mit dessen Hilfe Drahtbrüche im Innern von Seilen mit Sicherheit nachgewiesen werden konnten.

Im Jahre 1925 wurde ein *optisches Laboratorium* mit dem Ausbau der *theoretischen Grundlagen für die optische Temperaturmessung* und mit der Entwicklung von Geräten für deren betriebsmäßige Anwendung beauftragt. Die Arbeiten dieses Laboratoriums führten zu der Erkenntnis, daß die bis dahin gebräuchliche Intensitätspyrometrie wenig entwicklungsfähig ist, da das Emissionsvermögen nicht genügend bekannt ist. Das Schwergewicht der Arbeiten rückte daher sehr bald auf die Entwicklung von *Verfahren für die Farbtemperaturmessung*. Die theoretischen Grundlagen der Farbpyrometrie wurden in einer Reihe von Veröffentlichungen eingehend erörtert. Nach einer kritischen Prüfung der praktisch möglichen Verfahren für die Messung von Farbtemperaturen wurden einige besonders aussichtsreich erscheinende ausgewählt und ihre Arbeits-

bedingungen durch Versuche festgelegt. Durch Entwicklung eines *Keilpyrometers*, das in einfachster Weise die Bestimmung der Farbtemperatur ermöglicht, wurde eine vorläufige Lösung der Aufgabe erzielt. Der diesem Instrument noch anhaftende Nachteil der Abhängigkeit von der Meßperson wurde in der Folge durch Entwicklung eines *Farbpyrometers mit Vergleichslichtquelle* überwunden und damit der Praxis ein Gerät geliefert, das die optische Bestimmung der Temperatur mit hoher Genauigkeit ermöglicht.

Schließlich soll hier noch eine Sonderarbeitsgruppe erwähnt werden, die im Rahmen der physikalischen Abteilung des Instituts in den letzten Jahren durchgeführt worden ist. Aus dem dringenden Bedürfnis der Praxis erwachsen, wurde im Jahre 1928 eine Untersuchung über die *Konstitution der technischen Phosphatschlacken* (Thomasschlacken) in Angriff genommen, um die Ursachen für die vielfach sehr ungleichmäßige Löslichkeit der Phosphorsäure in diesen, die für die Beurteilung der Düngewirkung dieser Schlacken maßgebend ist, aufzuklären.

Aus einer zunächst durchgeführten eingehenden mineralogischen Untersuchung der Bestandteile der beim Thomas- und basischen Siemens-Martin-Verfahren anfallenden phosphathaltigen Schlacken hatte sich als wichtigste Aufgabe auf dem Wege zur Klärung ihres Aufbaues und ihrer Eigenschaften ergeben, das *Grundsystem Kalk-Phosphorsäure-Kieselsäure* planmäßig zu untersuchen. Nur auf diesem Wege konnte Klarheit geschaffen werden über die überhaupt möglichen Kalziumphosphate und Kalziumsilikophosphate sowie über ihre Bildungsbedingungen und Eigenschaften. Mit der Durchführung der Versuchsschmelzung im Rhodiumtiegel, der mittels eines Hochfrequenzröhrengenerators auf die erforderlichen hohen Temperaturen erhitzt werden konnte, wurde eine Arbeitsweise von allgemeiner Anwendbarkeit für derartige Untersuchungen an hochschmelzenden nichtmetallischen Gemischen entwickelt. Als erster Schritt wurde das *System Kalk-Phosphorsäure* festgelegt. Dabei wurden aus dem Verlauf der Schmelzkurve vier Kalziumphosphate sichergestellt, von denen das Tetraphosphat mit dem höchsten Kalkgehalt mit dem aus den mikroskopischen Schlackenuntersuchungen bekannten „Hilgenstockit“ übereinstimmt. Es wurde erkannt, daß diese Verbindung und die sie enthaltenden Schlacken bei etwa 1100° in Kalk und Hydroxylapatit zerfallen, sofern Feuchtigkeit zugegen ist. Durch diesen Vorgang wird die für die Verwendung als Düngemittel maßgebende Löslichkeit der Phosphatverbindungen entscheidend beeinflusst, da die Apatitverbindungen nur sehr wenig löslich sind. Im ternären System wurde als wichtigstes Ergebnis neben einer Verbindung, die mit dem bekannten Silikokarnotit der gekieselten Thomasschlacke übereinstimmt, eine weitere Verbindung mit höherem Kieselsäuregehalt festgestellt, die ebenfalls durch gute Löslichkeit und Beständigkeit gegen Zerfall unter Apatitbildung ausgezeichnet ist.

Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse über die Kalziumphosphate und Kalziumsilikophosphate sind außer für die Frage des Aufbaues der technischen Schlacken von großer Bedeutung für die *Erzeugung von*

*thomasmehlartigen Düngemitteln aus Rohphosphaten* unabhängig von der Stahlerzeugung und ebenso für die Erhöhung der Thomasmehlerzeugung über das durch die Stahlerzeugung bedingte Maß hinaus durch Zusatz von Rohphosphaten zu den technischen Schlacken. Eingehende Versuche in dieser Richtung, die zum Teil als Betriebsversuche durchgeführt wurden, eröffneten wohl begründete Aussichten darauf, diese für die Versorgung unseres Bodens mit den dringend erfordernten phosphorhaltigen Düngemitteln wichtige Aufgabe einer Lösung zuzuführen.

F. KÖRBER.

### 9. Kaiser Wilhelm-Institut für Faserstoffchemie in Berlin.

Das Institut stand von seiner Gründung bis zur Auflösung unter Leitung von Prof. Dr. R. O. HERZOG. Die Eigenart und besondere Leistung dieses leider viel zu früh dahingegangenen Forschers war es, stets neue experimentelle Wege beim Studium der hochmolekularen Stoffe auffindig zu machen. Eine Reihe von experimentellen Methoden, die heute aus der Faserstoffchemie gar nicht mehr wegzudenken sind, gehen in ihrer ersten erfolgreichen Anwendung auf die Anregung HERZOGs zurück: Diffusionsmessungen, Röntgenuntersuchungen, Ultraviolett- und Ultrarotuntersuchungen, Depolarisation des Tyndallichtes sind die markantesten Punkte auf dem Weg, den dieser Forscher gegangen ist. Darüber hinaus wurden aber auch auf zahlreichen anderen Gebieten wertvolle Beiträge geliefert. Durch seinen arbeitsfreudigen Optimismus und seinen Ideenreichtum wirkte HERZOG auf die im Institut Arbeitenden stets ungemein anregend und fördernd, ohne dabei im mindesten Selbständigkeit und Eigenart seiner Mitarbeiter zu beeinträchtigen.

Wir gliedern die Untersuchung des Institutes im wesentlichen nach den Arbeitsmethoden.

#### 1. Anwendung der Röntgenmethode.

Bald nach Gründung des Institutes war HERZOG und JANCKE gleichzeitig mit SCHERRER der Nachweis gelungen, daß Zellulose ein Kristalldiagramm gibt. Das war der Anstoß zu einer großen Reihe von Untersuchungen über biologische Strukturen: Zellulosefasern aller Art, Seiden, tierische Sehnen, Bänder und Häute, Gerüstsubstanzen wie Knochen, Chitin u. a. m. Sie haben viel Licht in den mizellaren Feinbau dieser Stoffe gebracht und überhaupt erst die Mizellartheorie bewiesen. Von entscheidender Wichtigkeit für die Deutung der Röntgenbilder war die in systematischer Form durchgeführte gedankliche Analyse der Faserdiagramme durch POLANYI und WEISSENBERG. Später hat WEISSENBERG in seiner systematischen Untersuchung der Wachstums- und Deformationsstrukturen einen Rahmen aller möglichen mizellaren Ordnungen — Texturen — gegeben.

Die Experimente wurden in den meisten Fällen auf die Feststellung der Textur und der chemischen Natur beschränkt. Frucht dieser Unter-

suchungen war z. B. die Erkenntnis, daß alle Zellulosefasern das gleiche Diagramm besitzen, mithin chemisch identisch sind. Einzelne besonders wichtige Substanzen wurden zum Gegenstand eingehender Untersuchungen der Kristallstruktur gemacht. Die klassischen Arbeiten über Zellulose (POLANYI) und Seidenfibroin (BRILL) wurden in der Zeit der lebhaften Diskussion für und wider die Hauptvalenzkettentheorie (MARK-MEYER) zwecks Verfeinerung neuerlich aufgenommen. Die auf Anregung von WEISSENBERG angewendete Deformationsmethode (Herstellung von Filmen, in welchen die Kriställchen geordnet waren wie die Ziegelsteine einer Mauer, zum Unterschied von der Faserstruktur, die einem Bündel runder Stäbe entspricht) brachte den gewünschten Erfolg bei Hydratzellulose (BURGENI und KRATKY) sowie Seidenfibroin (KRATKY und KURJAMA). Erwähnt seien ferner die Untersuchungen über Kautschuk (MARK und v. SUSICH) sowie über Nitrozellulose (G. v. SUSICH und v. NARAY-SZABO).

Doch auch das Gebiet der Röntgenstrukturanalyse an niedermolekularen Kristallen wurde entscheidend gefördert. Zunächst methodische Fortschritte: das Drehkristallverfahren stammt zu einem sehr wesentlichen Teil aus dem Faserstoffinstitut. Die POLANYISCHE Schichtlinienbeziehung hat im hohen Maße das Eindringen in die Strukturanalyse erleichtert (MARK und *Mitarbeiter*), das WEISSENBERGSCHES Röntgen-goniometer schließlich erlaubt, die einzelnen Schichtlinien in besonders klarer Weise aufzulösen. Beide Methoden sind unentbehrliche Hilfsmittel jedes Röntgenforschers geworden. Die MARKSCHE Universalkamera hat die POLANYISCHE Drehkristallmethode, die Faserkamera und das Reflexionsgoniometer in einer Form vereinigt, die den praktischen Bedürfnissen der meisten Röntgeninstitute entspricht. In den letzten Jahren seines Bestehens gelang im Institut die Erweiterung der Röntgenmethode auf mikroskopisch kleine Einkristalle (KRATKY), die dort von Wichtigkeit ist, wo es der Kunst des Chemikers nicht gelingt, makroskopische Kristalle zu züchten.

Von den untersuchten Substanzen seien nur einige Beispiele genannt. So ist die Strukturanalyse von Harnstoff und Urotropin bis zur Festlegung der einzelnen Atomlagen durchgeführt worden (GONELL, MARK und WEISSENBERG), eine der ersten wohl im Bereich der organischen Chemie. Auch Metaldehyd (MARK) konnte vollständig bestimmt werden. Die Strukturanalyse von festem Kohlendioxyd, von Tetramethylmethan und Graphit (HASSEL und MARK) stellen Beispiele für das mit experimentellen Schwierigkeiten verbundene Arbeiten bei tiefen Temperaturen und mit kleinen Kristallen dar. Die Problemstellungen aller dieser Untersuchungen waren verschiedenartig. Zum Teil kamen sie von der Stereochemie (Untersuchungen von  $C\alpha_4$ -Verbindungen, Fumar- und Maleinsäure: zum Teil aus der Koordinationschemie (Untersuchungen der Choleinsäuren, Go und KRATKY), zum Teil aus der Faserstoffchemie (Untersuchungen von Grundbausteinen der Zellulose, Stärke und Seide: JANCKE). Dann sind die Studien über die Mosaikstruktur der Realkristalle zu erwähnen (MARK und EHRENBERG) sowie eine Reihe von röntgenoptischen Arbeiten, die aber als weniger in den Rahmen des Institutes gehörend nur kurz

gestreift seien: der Comptoneffekt im Röntgenbild (KALLMANN und MARK), Linienbreitenmessungen (MARK und v. SUSICH), der Einfluß der Fluoreszenzstrahlung auf die Intensität der Röntgeninterferenzen (MARK und SZILARD) u. a. m.

## 2. Studien über die Deformationsvorgänge bei Metallen, Fasern und Filmen.

Die Vorgänge der Gittergleitung und Verfestigung wurden systematisch an Metalleinkristallen erforscht (POLANYI, MARK, SCHMID) und dadurch die notwendigen Voraussetzungen für ein Verständnis der komplizierten Vorgänge bei den Metallpolykristallen geschaffen. Untersuchungsmethode war in erster Linie die rein mechanische. POLANYI hat dazu einen Apparat konstruiert, der auch auf dem Gebiet der Faserstoffe Anwendung fand und findet.

Die Untersuchung der Vorgänge bei der mechanischen Deformation von Zellulosefäden, Wolle, Kunstseide usw. waren sehr wertvoll für technische Fragen. Auch in wissenschaftlicher Hinsicht wurden interessante Erkenntnisse über das Zusammenwirken von Plastizität und Elastizität erbracht (E. SCHMID, SMITH).

Zur Erforschung des Deformationsmechanismus, d. h. der mizellaren Vorgänge bei der Dehnung von Faserstoffen, waren gequollene Filme geeigneter. Untersuchungen dieser Art knüpften an die von HERZOG gemachte Beobachtung an, wonach die plastische Deformation eines Films unter Verfestigung zu einer Parallelrichtung der Mizellen führt. Aus der völligen Reversibilität konnte gefolgert werden, daß es sich dabei — im Gegensatz zu den Metallen — nicht um Gittergleitungen handelt, sondern die Mizellen bei der Drehung unverändert bleiben (MARK). Später konnte auch ein quantitativer Zusammenhang zwischen der Größe der Dehnung und dem Grad der Ordnung abgeleitet sowie röntgenographisch und optisch verifiziert werden (KRATKY).

## 3. Optische Untersuchungen.

Wie erwähnt, sind drei optische Methoden erstmals auf HERZOGs Vorschlag im Bereich der hochmolekularen Verbindungen angewendet worden.

a) Ultraviolettabsorptionsspektrum. Ein Erfolg war der Methode bei Anwendung auf das Ligninproblem beschieden. Gemeinsam mit HILLMER wurde der von den Chemikern erarbeitete strukturelle Aufbau dieses Körpers durch eine vergleichende Untersuchung von gelöstem Lignin und den Lösungen der Bausteine überprüft und gefestigt. Es zeigte sich, daß typische, in den Bausteinen vorhandene Absorptionsbanden auch im Lignin selbst auftraten. Der Existenzbereich dieser Banden wurde durch Variieren der Vergleichssubstanzen festgelegt und so ein wichtiger Beitrag zur Chemie des Lignins geliefert.

b) Depolarisation des Tyndallichtes. Gemeinsam mit B. LANGE wurde der Alterungsvorgang an Azetylzelluloselösungen untersucht, gemeinsam mit KRATKY und PETERTIL der Einfluß des Schüttelns auf solche Lösungen.

c) Ultrarotforschungen. Die von G. LASKI durchgeführten Untersuchungen erwiesen den Wert auch dieser Methode bei Zellulose und Eiweiß. Leider hat der frühe Tod dieser Forscherin den Versuchen ein vorzeitiges Ende gesetzt.

#### 4. Organisch-chemische Untersuchungen.

In den ersten Jahren wirkte M. BERGMANN am Institut. Von seinen zahlreichen Untersuchungen seien genannt: Darstellung und Umwandlung der gesättigten Reduktionsprodukte von Zuckerarten, der oxydative Abbau von Schleimsäuren und Zuckersäure, Studien an Zellobiose, ferner an Oxyaldehyden (Analogiebetrachtungen mit polymeren Kohlehydraten). Begonnen wurden im Faserstoffinstitut die bekannten Versuche über die Umsetzung von Aminosäurederivaten zu anderen Körperklassen, Ketsäuren), die auch in biologischer Hinsicht (Umsetzungen der Eiweißkörper im Organismus) wichtig sind. Später war v. WACEK am Institut tätig. Seine Untersuchungen über Lignin nahmen dort ihren Ausgang. Erwähnt seien noch seine Studien an Jute. WESSELY hat Polymerisationsfragen von Eiweißbausteinen studiert: Es wurden die  $\alpha$ -Amino-N-Karbonsäureanhydride untersucht, die bei einfachen Umsetzungen zur Bildung relativ hochmolekularer Substanzen vom Peptid- bzw. Anhydridtypus führten. Ferner wurden fermentative Spaltversuche an Seidenfibroin durchgeführt. Von den Untersuchungen von G. v. FRANK sei besonders die Synthese einiger Zellulosederivate hervorgehoben. Er stellte den Zimtsäureester sowie einige Halboxalsäureester dar. Die interessanten mechanischen Eigenschaften der letzteren Substanzgruppe führten zur Verwendung beim Studium des Deformationsmechanismus.

#### 5. Kolloidchemische Arbeiten.

*Osmotische Messungen.* An fraktionierten Azetyl-Zellulosen wurden Messungen durchgeführt, welche im großen und ganzen die näherungsweise Gültigkeit der STAUDINGERSchen Formel bestätigten. Im Laufe dieser Arbeiten (gemeinsam mit SPURLIN) wurde ein ausgezeichnetes Osmometer entwickelt, das die Verwendung organischer Lösungsmittel gestattet und sehr geringe Steighöhen noch recht genau abzulesen ermöglicht.

*Viskositätsuntersuchungen.* Die Messungen an den erwähnten Azetylzellulosefraktionen (gemeinsam mit DERPASKA) seien hervorgehoben. Sie ergaben Molekulargewichte von der gleichen Größenordnung wie die osmotischen Messungen.

Hierher gehört auch die Auffindung des Effektes, daß sich bei Anlegen eines starken elektrostatischen Feldes die Viskosität merklich ändert (HERZOG, PAERSCH). Auch Ansätze einer zugehörigen Theorie wurden entwickelt (HERZOG und KUDAR).

*Diffusionsmessungen.* Die ebenfalls auf HERZOG zurückgehende Anwendung auf die hochmolekularen Stoffe führte zu einer Reihe von Untersuchungen, besonders an Zellulosederivaten (HERZOG und KRÜGER).

Die Abweichung vom normalen Diffusionsverlauf erschwerte wohl einerseits eine sichere Bestimmung der Teilchengröße, lieferte aber andererseits interessantes phänomenologisches Material, das den Unterschied dieser Faserstoffe gegenüber den niedermolekularen Substanzen so recht demonstrierte. Die Diskussion über die Deutung der Diffusionsmessungen ist auch heute noch nicht abgeschlossen. Eine theoretische Untersuchung von HERZOG und KUDAR über die Diffusion stäbchenförmiger Kolloide ist hier zu nennen.

#### 6. Untersuchungen über die Struktur der Flüssigkeiten.

HERZOG hat sich in den letzten Jahren viel mit der Flüssigkeitsstruktur beschäftigt. Es entstanden Beiträge zur Theorie der Viskosität und ihrer Temperaturabhängigkeit (HERZOG und KUDAR). Damit im Zusammenhang steht der erwähnte elektrostatische Viskositätseffekt und die Rechnungen über die Diffusion stäbchenförmiger Teilchen.

Schon älteren Datums sind vergleichende Untersuchungen über das Röntgenbild von kristallisierten und geschmolzenen organischen Substanzen (HERZOG und JANCKE).

Diese Aufzählung stellt einen Ausschnitt der überaus regen wissenschaftlichen Tätigkeit des Institutes dar. Es soll noch ganz kurz auf die technischen Arbeiten eingegangen werden.

#### 7. Technische Untersuchungen.

Da im Laboratorium meist nur die Vorarbeit für die Entwicklung brauchbarer Verfahren geleistet werden kann und der weitere Ausbau im Werk selbst erfolgt, läßt sich nicht ohne weiteres die Bedeutung der Laboratoriumsarbeit für die Technik angeben. Daß die Leistung des Institutes für die Industrie aber doch von großer Wichtigkeit war, ergibt sich wohl aus dem Umstand, daß dem Institut von seiten der Unternehmungen in den ersten Jahren seines Bestandes sehr reiche, später immerhin beträchtliche Geldmittel zuflossen. Vielfach war es auch die Anregung, welche von den wissenschaftlichen Untersuchungen, den zusammenfassenden Berichten und Vorträgen ausging, welche der Industrie dieses Institut wertvoll machte.

Es ist nicht möglich, über die technischen Arbeiten — die in etwa 200 Patentanmeldungen ihren Niederschlag fanden — im einzelnen zu berichten. Einige seien herausgegriffen.

*Wolle.* Auf dem Gebiet der Wolle wurden zahlreiche Arbeiten durchgeführt (GEIGER und Mitarbeiter); sie fanden ihre Zusammenfassung in der Wollmonographie (MARK und Mitarbeiter). Das experimentelle Material, welches in diesem Buch zusammengestellt ist, verknüpft die technischen Eigenschaften mit dem chemischen und physikalischen Aufbau dieser Fasern.

*Viskoseide.* Mit H. HOFFMANN gemeinsam konnte ein Verfahren zur Herstellung von Viskoseide ausgearbeitet werden, bei welchem die chemische Fällung des Fadens durch Temperatursteigerung ersetzt wird.

Die Bedeutung eines solchen Verfahrens ergibt sich aus der Bemerkung, daß der Chemikalienverbrauch — der nun weitgehend wegfällt — einen großen Teil der Herstellungskosten ausmacht.

Auch Untersuchungen über die Alterung von Viskose sind zu erwähnen.

*Azetat- und Kupferseide.* Von G. v. FRANK wurden Beiträge zu diversen Spinnverfahren gegeben. Ebenso nahmen die Versuche WEISSENBERGS über eine Nachverstreckung des bereits fertigen Fadens im Institut ihren Ausgang.

*Holz.* Ein gemeinsam mit A. BURGENT ausgearbeitetes Verfahren ermöglicht es, dünne Holzplatten und Furniere biegsam zu machen. Zum Unterschied von den bekannten Verfahren, Holz im gedämpften Zustand zu biegen, bleibt beim Verfahren HERZOG-BURGENT das Holz dauernd biegsam. Das Produkt versprach zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten.

MARK.

## 10. Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung in Berlin-Dahlem.

Als im Jahre 1926 das Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung seine Pforten öffnete, war seine Arbeit auf die großen Ziele der physikalisch-chemischen Petrologie und der technischen Silikatforschung eingestellt worden. Demgemäß wurde das Institut zunächst einmal provisorisch in frei gewordene Räume des Instituts für Faserstoffchemie aufgenommen, in welchem es im Vorderhause vor allem die notwendigen physikalisch-chemischen Laboratorien vorfand, während im Mittelbau die notwendigen Maschinen untergebracht waren. Die besondere Note der Einstellung der Forschungsaufgaben auf synthetische Ziele prägte sich in dem Neubau eines besonderen Maschinenhauses für Hochdruckapparaturen aus, in welchem sich eine von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellte große Anlage für Synthesen unter sehr hohen Gasdrucken befand. Vor allem aber wurde auch das Röntgenlaboratorium des Instituts für Faserstoffchemie zu wesentlichen Teilen an das neugegründete Institut für Silikatforschung angeschlossen. Es begann eine emsige Arbeit vor allem auf dem Gebiet der Konstitutionsforschung von Gläsern und Silikatkrystallarten. Bezeichnend wurde es, daß sogleich die schwierige Frage des Gefüges der Mineralien der Sillimanitgruppe in Angriff genommen wurde, und zwar in einmütiger Zusammenarbeit der Analytiker, der Mikroskopiker und der Röntgenographen. Diese Gemeinschaftsuntersuchungen brachten alsbald eine klare Erkenntnis über das Vorkommen komplizierter Einlagerungen von Tonerde in silikatische Krystallarten, ein Gesichtspunkt, der auch heute noch als ein wesentliches Leitprinzip auf diesem schwierigen Gebiete erscheint.

Mit frischer Kraft ging das Institut ferner an die Erforschung der molekularen Struktur der Silikate. Es ist das bleibende Verdienst des ersten wissenschaftlichen Mitgliedes des Instituts, F. WEIDERT, daß er die optischen Eigenschaften, besonders die Absorption, als Kriterium für die Konstitution einfacher Gläser erkannte und in sorgfältigster Arbeit im

einzelnen untersuchte. Als färbende Prinzipien verwandte WEIDERT dabei die seltenen Erden, und die Feinstruktur der Absorption wurde in Abhängigkeit von der Variation der Alkaliionen im Glase bestimmt. Diese sehr gründliche Arbeit hat sich als eine fruchtbare Anregung für die gesamte Konstitutionsforschung der Gläser erwiesen. Zudem ergab sich als schönes Nebenresultat die Herstellung herrlich gefärbter kunstgewerblicher Gläser, die unter den verschiedensten Markenbezeichnungen berechtigtes Aufsehen erregt haben und auch heute noch gesuchte Schmuckgegenstände darstellen. Von großem Nutzen wurde auch die Anwendung der seltenen Erdgläser zur Herstellung von Kontrastfiltern, wie sie z. B. heute im Verkehrswesen und besonders für den Flugdienst und die Seefahrt allgemein benötigt werden.

Das junge Institut übernahm in besonderem Maße alsdann die Arbeit über die thermochemischen Konstanten der Silikate, welche vordem in der Literatur nur wenig systematisch gesammelt worden war. Noch bis heute hat sich das thermochemische Laboratorium mit der Ausbildung möglichst vervollkommener Methoden zur Bestimmung spezifischer Wärmen bis zu hohen Temperaturen und dann vor allem für die Lösungswärmen beschäftigt. Eine reiche Fülle von Erfahrungen enthalten die diesbezüglichen Arbeiten besonders über die Bildungswärme der Aluminiumsilikate, der Kalzium- und Magnesiumsilikate. In mehreren umfangreichen Untersuchungen wurden mit Hilfe des NERNSTschen Wärmethorems und unter Bestimmung spezifischer Wärmen von extrem tiefen bis zu hohen Temperaturen die vollständigen Affinitätsdiagramme einfacher Silikate aufgenommen, wobei insbesondere auch die polymorphen Verhältnisse eine wichtige Rolle spielten.

Bei dieser schnell fortschreitenden Ausbildung ganz spezieller Forschungsgebiete des Instituts zeigte sich in zunehmendem Maße als ein Gebot der Stunde, den Anforderungen der deutschen Silikatindustrie Rechnung zu tragen. Schon bei Begründung des Instituts hatten führende technische wissenschaftliche Gesellschaften, vor allem die Deutsche Glas-technische Gesellschaft unter Führung von MAX VON VOPELIUS, sich für die Arbeit des Instituts interessiert und eingesetzt, ebenso war ein enges Verhältnis mit der Deutschen Keramischen Gesellschaft begründet worden. Das Institut suchte aber auch von sich aus die notwendige Fühlung mit weiteren wichtigen Industriekreisen, vor allem mit der deutschen Zementindustrie und dem Eisenhüttenwesen. Besonders die thermochemischen Arbeiten und mannigfache Untersuchungen über Reaktionen im festen Zustande, Schlackensilikate u. dgl. führten ja von selbst dazu, auf jene Industriezweige hin zu wirken. So kam es, daß zunächst nach eingehender Fühlungnahme mit P. OBERHOFFER eine nahe Beziehung zur Technischen Hochschule Aachen und dem daselbst neugegründeten Institut für Gesteinshüttenkunde geschaffen wurde. Der Leiter des genannten Instituts, H. SALMANG, wurde als wissenschaftliches Mitglied des Instituts aufgenommen. Entsprechende Bestrebungen auf dem Gebiet der Zementforschung ergaben wertvolle Beziehungen zu der deutschen Zementindustrie, vertreten vor allem durch den Verein Deutscher Portland-

zementfabrikanten und die Forschungsinstitute der Hüttenzementindustrie. Auch mit der Chemisch-Technischen Versuchsanstalt bei der Staatlichen Porzellanmanufaktur Berlin bestehen freundschaftliche Beziehungen.

Bei diesem Stand der Dinge zeigte es sich bald, daß der 1926 entworfene Rahmen für die Arbeit des Instituts zu enge werden mußte. Nicht nur erwiesen sich die provisorischen Räumlichkeiten als zu klein, sondern auch die Arbeit des Instituts selber mußte in zunehmendem Maße auf die technologischen Probleme umgestellt werden.

Auf diese mehr technisch-wissenschaftlich gerichteten Ziele hin wurde in den Jahren 1928—1931 manche wichtige Vorarbeit geleistet. Methodisch wurde insbesondere die genaue Messung der Ausdehnungseigenschaften bis zu hohen Temperaturen ausgebaut. Durch neue photoelektrische Vorrichtungen entwickelte B. LANGE eine wesentliche Verfeinerung der spektralphotometrischen Messungen sowie der Photometrie der Röntgenaufnahmen.

Vor allem wurde in Zusammenarbeit mit K. SCHEEL und M. PIRANI sowie zahlreichen Mitarbeitern aus der Industrie und den Laboratorien großer Glaswerke ein außerordentlich umfangreiches Datenmaterial über die physikalisch-chemischen Konstanten der Gläser gesammelt, welches alsdann in den „Glastechnischen Tabellen“ in Buchform herausgegeben wurde.

Den Anfang der ausgesprochen technologischen Einstellung der neueren Arbeiten des Instituts bedeuten wohl Arbeiten über die Strömungsvorgänge in vollautomatischen Glasverarbeitungsverfahren, von J. LÖFFLER über die Glasentfärbung sowie eine größere Gemeinschaftsuntersuchung über eine moderne Drehofenanlage, die wärmetechnisch durchgemessen und berechnet wurde. Mit dieser Entwicklung ging Hand in Hand auch eine Bearbeitung wichtiger Probleme der Industrie feuerfester Steine, unter denen die Untersuchungen von I. H. CHESTERS und W. WEYL über die Magnesitsteine besondere Erwähnung verdienen. So erfreulich vor allem auf dem Gebiet der technischen Glasforschung und der Zementforschung diese Fortschritte sich anbahnten, so verblieb dennoch eine empfindliche Lücke in dem Mangel guter Einrichtungen für keramische Forschung. Trotz aller Bemühungen war bei der Enge der Raumverhältnisse zunächst keine keramische Forschung in technologischem Maßstabe möglich; der Mangel an geeigneten Ofenanlagen machte sich um so empfindlicher bemerkbar, als alle Entwürfe zur Erweiterung derselben zunächst beiseite gelegt werden mußten. Trotzdem hat das Institut auf einigen Spezialgebieten, z. B. der keramischen Massen für die moderne Hochfrequenztechnik, schöne Erfolge erzielen können, vor allem aus der Arbeit von C. SCHUSTERIUS über die dielektrischen Eigenschaften und den Durchschlag keramischer Massen.

Diese Entwicklung zur technologischen Arbeitsweise, die eine durchgreifende organisatorische Umgestaltung notwendig machte, ist vor allem in den Jahren 1932 bis 1934 geleistet worden; sie führte zu einer grundlegenden Erneuerung sowohl des Institutsgebäudes als auch zu einer strafferen Gliederung der Organisation der eigentlichen wissenschaftlichen

Arbeiten. Es bildeten sich mit großer Deutlichkeit vier Hauptrichtungen der Forschungsziele heraus, von welchen aus der ersten Periode die Probleme der chemischen Konstitutionsforschung der Gläser weiter verfolgt wurden; in gleicher Weise konnte auch die röntgenographische Strukturforchung und die thermochemische Methodik ausgebaut werden. Als neue wesentliche Gesichtspunkte ergaben sich die wissenschaftliche und technische Zementforschung und die Chemische Technologie der Gläser, der keramischen Massen und der Emailen. Das Fehlen einer eigentlichen glastechnischen, keramischen und emailtechnischen Arbeitsstätte im Institut führte in neuester Zeit alsdann zu einer Einbeziehung der bisherigen Abteilung für Silikat- und Bauchemie der Technischen Hochschule Karlsruhe unter Leitung von A. DIETZEL.

Über die heute bestehenden vier Abteilungen des Instituts sei im einzelnen folgendes bezüglich ihrer Aufgaben und Arbeitsrichtungen ausgeführt.

1. In der *Abteilung für Glasforschung* (Vorstand W. WEYL) wurden in der Hauptsache zwei Richtlinien verfolgt, einmal die Untersuchung der Einschmelzvorgänge von Gläsern, insbesondere die hierbei auftretenden Gleichgewichte mit der Gasphase, und zum anderen die Erforschung der Konstitution des Glases.

Die Wichtigkeit der Reaktionen und Gleichgewichte zwischen Silikatschmelzen und Gasphasen für die Läuterung des Glases sowie die Vergütung seiner Oberfläche durch Kühlgase machte es notwendig, diese Verhältnisse näher zu untersuchen. Wegen der geringen Gasmengen, die eine Glasschmelze unter normalen Bedingungen zu lösen vermag, und die sich in ihren Änderungen kaum messend verfolgen lassen, wurden die Silikatgasgleichgewichte unter erhöhten Drucken studiert. Es konnten auf diese Weise die Gleichgewichte zwischen Alkalisilikaten und Kohlensäure sowie zwischen verschiedenen Farbgläsern und Sauerstoff bis zu 1400° und über 1000 at untersucht werden. Diese Versuche entsprechen anderen Arbeiten von H. SALMANG über den Gasgehalt der Gläser unter verringerten Drucken. Es ergab sich in beiden Fällen, daß bei jeder Temperatur des Glasbades sich ein bestimmtes Gleichgewicht bzw. ein Pseudogleichgewicht einstellt.

Die rasch fortschreitende Entwicklung der Glasforschung im In- und Auslande stellte die Abteilung vor die Aufgabe, den Fragenkomplex zu bearbeiten, den man ganz allgemein als die Konstitution des Glases zu bezeichnen pflegt. In einer theoretischen Arbeit wurde gezeigt, daß man durch Annahme von Dissoziationsvorgängen nicht nur sämtliche Glasanomalien erklären konnte, sondern daß es möglich ist, darüber hinaus auch die Wirkung der Mineralisatoren in Silikatschmelzen sowie die auffällige Abhängigkeit der Farbe von der Zusammensetzung des Grundglases zu deuten. Zur Vorbereitung dieser Arbeiten mußte zunächst untersucht werden, in welcher Weise Assoziations- und Solvatationsvorgänge in wässrigen und nichtwässrigen Lösungen die spektrale Absorption verändern. So ergaben sich Arbeiten über die Farbe des gelösten Jods sowie über den Farbwechsel der Kobaltsalze. Auf Grund dieser Ergebnisse konnten alsdann spezielle Glasfärbungsprobleme bearbeitet werden. Es

seien hier vor allem Arbeiten über Chromgläser, Urangläser und Eisenmangangläser erwähnt. Zusammenfassend geben diese Untersuchungen nunmehr ein abgerundetes Bild über die Ionenfärbung in Gläsern.

2. Das Forschungsziel der *Röntgenabteilung* (Vorstand W. BÜSSEM) ist die Aufklärung der Konstitution und Struktur der kristallinen Silikate und der übrigen kristallinen Stoffe, soweit sie für die wissenschaftliche Silikatforschung oder für die Praxis der Silikatindustrien von Bedeutung sind. Unter den älteren Arbeiten allgemeiner Natur sind hier insbesondere zu nennen die Arbeiten von H. MARK über die Kristallarten der Sillimanitgruppe sowie die von C. GOTTFRIED gemeinsam mit W. L. BRAGG und H. WEST ausgeführte Strukturaufklärung des  $\beta$ -Korunds.

Eine spezielle Arbeitsrichtung entstand später in der Untersuchung der hydraulischen Bindemittel, insbesondere des Portlandzements. In einer Reihe von Arbeiten wurde, parallel mit entsprechenden physiko-chemischen Messungen, der Entwässerungsvorgang von Bruzit, Gips und der Kalkaluminathydrate nach topochemischen Gesichtspunkten verfolgt; daraus ergaben sich wichtige Anhaltspunkte für die Reaktionskinetik der Umwandlungen und die Stabilität der Hydrate. Von besonderem Interesse war hierbei die Strukturaufklärung des Gipshalbhydrats (Stuckgips), das beim Entwässern seine Struktur beibehält und so den wichtigsten Repräsentanten einer Pseudostruktur, den löslichen Anhydrit, bildet.

Aus der genaueren röntgenographischen Analyse solcher Abbauprodukte ergaben sich von selbst weitere Problemstellungen. Z. B. gelang es in gemeinsamer Arbeit mit C. F. HÜTTIG, einen quantitativen Zusammenhang zwischen den katalytischen Eigenschaften aktiver Zinkoxyde und dem Röntgenstreuvermögen herzustellen.

Eine andere Arbeitsrichtung der Röntgenabteilung, die quantitative DEBYE-SCHERRER-Analyse, entstand aus einer unmittelbaren Anforderung der Praxis. Zum Mengennachweis von Kristallarten in Gemengen ist diese röntgenographische Methode in den meisten Fällen die einzig mögliche. Es wurden für die wichtigsten Kristallarten der Zementklinker, der keramischen Massen und der Trübgeläser die spezifischen Streukonstanten bestimmt, die für die Empfindlichkeit und Genauigkeit des Nachweises maßgebend sind.

Das Anwendungsgebiet der Röntgenstrahlen wurde in letzter Zeit auch auf tiefe und hohe Temperaturen erweitert. In speziellen Rückstrahl-Heiz- bzw. Kühlkammern wurden genaue Gittermessungen ausgeführt und damit für einige wichtige Kristallarten die Gitterausdehnungskurven bis zu Temperaturen von 1400° C festgelegt.

3. Die *Zementtechnische* Abteilung (Vorstand H. E. SCHWIETE) hat mit besonderem Erfolg an die seit Begründung des Instituts verfolgten Untersuchungen über die Thermochemie der Silikate angeknüpft. In einer Reihe mühevoller und zeitraubender Untersuchungen gelang es, auf Grund der Bestimmungen von spezifischen Wärmen und von Lösungswärmen die Bildung der im Zementklinker vorhandenen Kristallarten thermochemisch genau zu erfassen. Die bis dahin nur näherungsweise angesetzten Wärmebilanzen des technischen Klinkerbrandes konnten nun auf eine theoretisch

einwandfreie Grundlage von genau bestimmten thermischen Größen gebracht werden. Bei der Aufstellung von Beurteilungen der Wirtschaftlichkeit technischer Großprozesse sind solche Berechnungen von entscheidender Bedeutung.

Eine weitere wesentliche Aufgabe dieser thermochemischen Arbeiten bildet nunmehr die Bestimmung der Bildungswärmen der bei der Hydratation der Zemente entstehenden Kalksilikate und -Aluminate. Diese Daten sind grundlegend bei der Beurteilung der Zementarten in Abhängigkeit von ihrer mineralischen Ausbildung im Klinker, welche ihrerseits auf die Wärmetönung des Zementes beim Abbinden von maßgebendem Einfluß ist. Die Höhe dieser Abbindewärme, die entweder lösungskalorimetrisch oder adiabatisch bestimmt werden kann, ist entscheidend für die Anwendung der Zemente im Beton der Staumauern von Talsperren und anderen großen Massengebäuden.

Die Zementtechnische Abteilung erhielt im Jahre 1933 eine starke Anregung durch die Förderung der öffentlichen Arbeiten im neuzzeitlichen Straßenbau. Das Institut wurde von dem Herrn Generalinspektor für das deutsche Straßenwesen zur Mitarbeit an der Aufgabe herangezogen, bestgeeignete Zemente für den Straßenbau systematisch zu entwickeln. In der alsdann 1935 begründeten Forschungsgesellschaft für das deutsche Straßenwesen e. V. ist die Abteilung auf dem Gebiete des Betonstraßenbaues eingesetzt, besonders auch bei den Forschungsarbeiten für den Bau der Reichsautobahnen beteiligt.

Alle diese Aufgaben erforderten naturgemäß die Aufstellung eines umfangreichen Prüfungsgerätes und eine Ergänzung der Ofenanlagen und Laboratorien. Durch die verständnisvolle finanzielle Förderung von seiten der maßgebenden Industriekreise war es möglich, diese Erweiterungen in kurzer Zeit durchzuführen. Darüber hinaus wurde der Abteilung in dankenswerter Weise die Möglichkeit gegeben, Versuche in größeren Ausmaßen in den Werken der Industrie durchzuführen. Es ist zu begrüßen, daß sich die Zusammengehörigkeit des Instituts mit den betreffenden Industriekreisen immer mehr zu einer naturgemäßen Gemeinschaftsarbeit vertieft. Auf diese Weise ist die Gewähr gegeben, daß die theoretischen Ergebnisse zu einem praktischen Erfolg der Arbeiten führen.

4. Die neu eingerichtete *Technologische Abteilung* (Vorstand A. DIETZEL) für die Gebiete Glastechnik, Keramik und Emailtechnik hat sich die Pflege technologisch-wissenschaftlicher Forschung und die Beratung von Hütten zur Aufgabe gestellt.

Die genannten Industriezweige benötigen mehr denn je exakte wissenschaftliche Grundlagen und eine genaue Kenntnis über die Vorgänge beim Schmelzen und Verarbeiten, beim Brennen, Glasieren usw., um neue Fortschritte zu erzielen, Verfahren zu verbessern oder Fabrikationsfehler zu verringern.

Die künftigen Arbeiten werden unmittelbar auf den in Karlsruhe in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen aufbauen. Diese erstrecken sich im wesentlichen auf folgende Gebiete: Entglasung und chemische Widerstandsfähigkeit von Gläsern verschiedener Zusammen-

setzung, Färbung von Gläsern mit Kupfer bzw. Kupferoxyd, ferner mit Selen, Entfärbung mit Selen, Diffusion von Gasen im Glas; Verhalten von feuerfesten Steinen gegen den Angriff von schmelzendem Glasgemenge. Reaktionen zwischen Glas und feuerfesten Steinen; Ausdehnungsverhalten von Blechgrundemails, Reaktionen zwischen Email und Eisen beim Aufbrennen, Haften von Grundemails auf Eisenblech. Darüber hinaus sind Arbeiten auf feinkeramischem Gebiet (z. B. Blasenbildung und Rauchigwerden von Porzellan) und auf feuerfestem Gebiet (Wärmeleitfähigkeit bei höheren Temperaturen) vorgesehen.

Infolge dieser Forschungstätigkeit verfügt die Abteilung über Kenntnisse, zu denen die Industrie im allgemeinen nur auf dem Wege über die Veröffentlichungen in der Fachliteratur gelangt. Insbesondere die kleineren Hütten, die es ja bei unseren Industrien in großer Zahl gibt, können aber diese wissenschaftlichen Ergebnisse vielfach für ihre Betriebe nicht auswerten. Sie sind auch nicht in der Lage, etwa auftretende Schwierigkeiten, mangels eines Versuchslaboratoriums, selbst zu beheben. Die technologische Abteilung übernimmt in solchen Fällen die Untersuchung der Fehlererscheinungen und die Beratung der Hütten. Häufig ist diese Tätigkeit verbunden mit einer Besichtigung der Betriebe, wodurch der für eine technologische Abteilung unbedingt notwendige Kontakt mit der Praxis stets aufrechterhalten bleibt.

W. EITEL.

## 11. Kaiser Wilhelm-Institut für Kohlenforschung in Mülheim-Ruhr.

Die Aufgaben des Instituts wurden vor seiner Gründung im Jahre 1912 von EMIL FISCHER klar und weitblickend gekennzeichnet, und wenn man heute rückschauend die wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts betrachtet, findet man, daß er nicht nur die Probleme damals schon hervorgehoben hat, die sich im Laufe der Jahre als besonders wichtig erwiesen, sondern daß er auch die Richtung, in der die technisch brauchbare Lösung lag, in einzelnen Fällen mit bewundernswerter Sicherheit angedeutet hat. Die Persönlichkeit EMIL FISCHERS kann bei einer Schilderung der wissenschaftlichen Arbeiten des Instituts nicht übergangen werden, denn er hat, ausgehend von seinen Erfahrungen auf anderen Gebieten der Chemie, die überreichen Möglichkeiten erkannt, die sich auf dem Gebiet der Kohle der Forschung boten und gewissermaßen den ersten Spatenstich zur Erschließung dieses fruchtbaren Neulandes der Wissenschaft getan. FRANZ FISCHER wurde von ihm als Direktor des Instituts ausersehen, der seither in 11 Bänden „Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle“ die mit zahlreichen Mitarbeitern gewonnenen Forschungsergebnisse niedergelegt hat, über die hier ein kurzer Überblick gegeben werden soll.

Mit der Aufnahme des Institutsbetriebes wurde von FRANZ FISCHER neben anderen Aufgaben sogleich die Bearbeitung des Kernproblems der Kohlenforschung in Angriff genommen, der Frage nach der Konstitution

der Kohle. Die Druckoxydation von Kohlen mit Luft in schwach alkalischem Medium, die mit SCHRADER gemeinsam durchgeführt wurde, hat hier bald unerwartete Aufklärung gebracht und darüber hinaus eine Reihe methodisch ähnlich angelegter, erfolgreicher Untersuchungen mit rezentem und fossilem Material angeregt. Es hatte sich gezeigt, daß unter den Oxydationsprodukten der Steinkohlen, Braunkohlen, des Torfes, natürlicher Huminsäuren und des Lignins Benzolkarbonsäuren eine hervorragende Stellung einnehmen. Zellulose verhielt sich völlig anders, und man kam deshalb im Gegensatz zu früheren Auffassungen zu dem Schluß, daß der Zellulose als Kohlenmuttersubstanz gegenüber dem Lignin nur eine untergeordnete Rolle zuzuschreiben ist. Diese Lignintheorie der Kohlebildung von FRANZ FISCHER und SCHRADER hat damals dem Traum, man könnte aus Kohlen auf chemischen Wege zelluloseähnliche Produkte regenerieren, ein Ende gemacht, sie hat aber auch inner- und außerhalb des Instituts zahlreiche weitere Arbeiten und eine lebhafte Diskussion angeregt. Im Laufe dieses Kampfes um die Lignintheorie hat sich im wesentlichen die Auffassung durchgesetzt, daß die Kohlebildung durch einen biologischen Zersetzungsprozeß eingeleitet worden ist, bei dem die Zellulose weitgehend abgebaut worden ist, während das Lignin mit seiner zyklischen Struktur als biologisch resistenterer Bestandteil und die daraus entstehenden Huminsäuren als eigentliche Kohlenbildner übrigblieben. Dazu ist in den letzten Jahren besonders durch die Arbeiten FRANZ FISCHERs mit LIESKE in der biologischen Abteilung des Instituts und durch organisch-chemische Arbeiten mit FUCHS und anderen Mitarbeitern viel neues Material erbracht worden. Braunkohlenlignite, die man früher als fossiles Holz angesprochen hat, erwiesen sich z. B. frei von Zellulose, obwohl die Holzstruktur in allen mikroskopischen Feinheiten noch erhalten ist. Gegenstand weiterer Untersuchungen waren in diesem Zusammenhang die chemischen Änderungen, denen Pflanzenmaterial bei der Vertorfung unterliegt, der Abbau von Hölzern durch die Lebenstätigkeit von Pilzen und Bakterien und die Ausarbeitung einer Reihe neuer Methoden zur analytischen Charakterisierung der Kohlen. Die Ligninbestimmung mit Methylglykolsalzsäure nach FUCHS ist hier hervorzuheben. Versuche über den Basenaustausch bei Braunkohlen haben bewiesen, daß sie salzartigen Charakter haben, und daß die sog. Braunkohlenhumine sich wie wahre Säuren verhalten. Neben weitgehenden Einblicken, die diese Arbeiten in die chemische Struktur der Braunkohlen, insbesondere ihres Humusanteiles, ergaben, konnten diese Erkenntnisse auf Grund eines erweiterten Untersuchungsmaterials von FRANZ FISCHER und TH. BAHR auch zur Deutung gewisser Vorgänge in natürlichen Braunkohlenlagerstätten herangezogen werden, bei denen die Bildung wasserlöslicher Kohlen infolge der Einwirkung wässriger Alkalisalzlösung vorübergehend das geologische Geschehen bestimmen. Hinweise auf die Beziehungen zwischen Braunkohlen und Steinkohlen wurden durch Oxydation der alkaliunlöslichen Steinkohlenhumine mit Salpetersäure gewonnen, die dabei in Substanzen umgewandelt werden, welche große Ähnlichkeit mit den Braunkohlenhuminen haben.

Auf physikalisch-chemischer Grundlage von FRANZ FISCHER, K. PETERS und Mitarbeitern durchgeführte Arbeiten haben neuerdings methodisch neue Wege zur Erschließung der Konstitution der Kohle gewiesen. Es hat sich gezeigt, daß Steinkohlen durch weitgehenden mechanischen Aufschluß bis zu einer Teilchengröße von durchschnittlich etwa  $1\ \mu$  der chemischen Weiterverarbeitung wesentlich geringeren Widerstand entgegengesetzten als Feinkohlen im bisher üblichen Sinne. Ausgangspunkt für diese Arbeiten war die Beobachtung, daß die in den Steinkohlen eingeschlossenen Gase im Gegensatz zu den Verhältnissen bei Braunkohlen physikalisch so außerordentlich fest gebunden sind, daß eine Zerkleinerung bis auf  $\mu$ -Feinheit erforderlich ist, um das Flözgas daraus in kurzer Zeit restlos zu entbinden. Ausgehend von dieser Erkenntnis wurden Laboratoriumsmethoden zur analytischen Bestimmung von Flözgasen entwickelt, die sich für die Beurteilung der Schlagwettergefährlichkeit von Steinkohlenflözen bzw. Abbaubetrieben nützlich erwiesen haben. In anthrazitischen und Magerkohlen, bei denen man früher einen besonders geringen Methangehalt angenommen hatte, wurden besonders große Mengen an eingeschlossenen Gasen gefunden, woraus sich ein klarer Zusammenhang zwischen Flözgasmenge und geologischem Alter ergab. Die geringe Durchlässigkeit der Kohlen für Gase ließ nunmehr auch die schon früher festgestellte große Widerstandsfähigkeit der Steinkohlen gegenüber Lösungsmitteln verständlich erscheinen. Um erhebliche Mengen Bitumen aus Kohlen mit Benzol in Lösung zu bringen, haben FRANZ FISCHER und GLUUD vor etwa 20 Jahren die Druckextraktion eingeführt, die erlaubte, mit leichtflüchtigen Lösungsmitteln wie Benzol oder flüssiger schwefliger Säure bei höheren Temperaturen zu extrahieren. Das Bitumen konnte in eine ölige, in Petroläther lösliche und eine feste, in Petroläther unlösliche Stoffgruppe zerlegt werden, von denen von BROCHE und STRAUß dann nachgewiesen wurde, daß sie die backenden Eigenschaften bzw. das Blähvermögen beim Verkokungsprozeß bedingen. Aus  $\mu$ -fein gemahlene Kohlen konnten bei den späteren Arbeiten schon bei gewöhnlichem Druck und niedriger Temperatur mit Benzol usw. die gleichen Extraktstoffe und Mengen gewonnen werden wie früher bei der Druckextraktion. Ein eingehendes Studium des Extraktionsvorganges gewährt dabei weitere Einblicke in die physikalische Struktur der Steinkohle, die sich wesentlich verschieden von der der Braunkohle erwies, bei der die Vermahlung zu äußerster Feinheit die Löslichkeitsverhältnisse kaum beeinflusst. Bei der Braunkohle hatten FISCHER und SCHNEIDER durch Extraktion außer Montanwachs, dessen chemische Zusammensetzung von TROPSCH aufgeklärt wurde, typische Harze gefunden, und die Forschung nach der Konstitution der Kohlen hatte durch die verschiedensten oxydativen Abbauverfahren manche Förderung erfahren, bei denen es gelungen ist, Braunkohlen ziemlich restlos in lösliche Körper überzuführen. Bei Steinkohlen ist das ohne Substanzverlust weit schwieriger zu erreichen. Nun bietet aber die schonende Hydrierung neue Möglichkeiten. Nach FRANZ FISCHER, PETERS und CREMER können auch geologisch ältere Kohlen, wenn sie  $\mu$ -fein gemahlen und in Benzol suspendiert sind, bei Temperaturen unter-

halb der beginnenden Zersetzung mit Wasserstoff unter Druck in benzol-lösliche Stoffe überführt werden, die sich genau so verhalten wie natürliches Steinkohlenbitumen. Dieses Pseudobitumen konnte ebenso wie normaler Steinkohlenextrakt durch Oxydation in alkalilösliche humin-säureartige Stoffe überführt werden, so daß es auf diesem Wege möglich ist, Steinkohlen einer restlosen chemischen Aufarbeitung ohne Zerstörung der Strukturelemente zugänglich zu machen.

Im Zusammenhang mit dem Studium des biologischen Abbaues von rezentem Pflanzenmaterial und im Anschluß an die von FISCHER und FUCHS gemachte Beobachtung, daß Braunkohlen unter Umständen einen guten Nährboden für Schimmelpilze abgeben, wurden von FRANZ FISCHER Untersuchungen über die Düngewirkung von Kohlen angeregt, die von LIESKE und WINZER auf breiter Basis ausgebaut, zur Ausarbeitung von teils wasserlöslichen, teils unlöslichen Braunkohlenpräparaten führten, mit denen hervorragende Düngewirkungen erzielt worden sind. Die Arbeiten der biologischen Abteilung des Instituts erstreckten sich auch auf die in den natürlichen Kohlenvorkommen lebenden Mikroorganismen, wobei besonders die Beobachtung von Interesse war, daß in der Steinkohle Bakterien leben, die nicht mit den Bakterien der Grubenluft identisch sind, die aber selbst in Tiefen über 1000 m bei Gesteinstemperaturen von über 40° C in der Steinkohle eingeschlossen lebend existieren. Auf welche Weise sich der Stoffwechsel dieser Bakterien in den Flözen vollzieht, und ob er mit dem Methangehalt oder dem Inkohlungsvorgang in Zusammenhang steht, ist eine der vielen noch unbeantworteten Fragen der Kohlenforschung. Diese Beobachtung war aber der Anlaß zum Studium biologischer Gasreaktionen durch FRANZ FISCHER, LIESKE, HOFMANN und WINZER, die zu interessanten Ergebnissen führten. Aus Faulschlamm konnten Bakterienkulturen isoliert werden, die die Fähigkeit haben, Kohlenoxyd-Wasserstoffgemische in Methan umzusetzen. Aus dieser Beobachtung wurde dann später eine Methode zur biologischen Leuchtgasentgiftung entwickelt, bei der eine restlose Umwandlung des Kohlenoxyds aus dem Leuchtgas in Methan erfolgt. Auch die Umwandlung von Wassergas in kohlenoxydfreies Leuchtgas gelang auf biologischem Wege, wobei es sich als zweckmäßig erwies, das Kohlenoxyd zuerst katalytisch mit Wasserdampf zu Kohlensäure umzusetzen, da die Umwandlung des Kohlendioxyds in Methan durch Bakterien wesentlich schneller erfolgt als die Umwandlung des Kohlenoxyds.

Eine besondere Stellung hat im Rahmen der Institutsarbeiten seit jeher das Problem der Gewinnung flüssiger Motorentreibstoffe aus Kohle eingenommen, in den Kriegsjahren zunächst die Versuche über die Tieftemperaturverkokung. Mit GLUUD gemeinsam hat FRANZ FISCHER systematisch sämtliche Typen der deutschen Kohlenvorkommen auf ihr Verhalten bei der Verschwelung untersucht. Die Laboratoriumsdrehtrommel, die das Vorbild für technische Drehrohrschwelöfen wurde, ist damals entwickelt worden. Auch der inzwischen allgemein eingeführte Aluminiumschwelapparat nach FISCHER und SCHRADER, der zur schnellen analytischen Bestimmung der Urteerausbeute von Kohlen dient, ist in

diesem Zusammenhang zu nennen. Es wurde festgestellt, daß nicht nur bei der Verschmelzung von Braunkohlen Paraffin, Petroleum und Benzin gewonnen werden kann, sondern daß auch die Steinkohlenschwelerei solche Produkte liefert. Im ganzen gesehen kann man sagen, daß durch die damaligen Arbeiten die wissenschaftlichen Grundlagen der Tieftemperaturverkokung geschaffen wurden. Im Gegensatz zum Kokereiteer sind im Urteer nur verschwindend kleine Mengen Naphthalin nachgewiesen worden, dagegen gelang es, aromatischen Hochtemperaturteer durch nachträgliches Überhitzen von Urteer zu erzeugen. Zum Zweck der Gewinnung größerer Mengen leichtflüchtiger Produkte wurde von FRANZ FISCHER gemeinsam mit SCHNEIDER und SCHRADER auch das Kracken der bei der Tieftemperaturdestillation von Braunkohlen und Steinkohlen erhältlichen Urteere näher untersucht. Weitere Arbeiten mit GLUUD und SCHRADER waren der Umwandlung von Teerphenolen in Benzolkohlenwasserstoffe gewidmet, die sich bei 750° in verzintten und geschwefelten Eisenrohren glatt durchführen ließ. Später sind diese Reaktionen von TH. BAHR und PETRICK auf Anregung von FRANZ FISCHER auf katalytischem Wege weiter untersucht worden, wobei die Teerphenole an Molybdänkatalysatoren schon bei 320° und gewöhnlichem Druck zu den entsprechenden Kohlenwasserstoffen reduziert werden konnten, während bei erhöhtem Druck auch Hydroaromaten erhalten wurden. FISCHER, BAHR und WIEDEKING zeigten ferner, daß aus Phenolen durch katalytische Umwandlung mit Ammoniak auch Anilin und die Homologen in guten Ausbeuten gewinnbar sind. Versuche von TH. BAHR zur elektrochemischen Reduktion von Phenolen verliefen insofern negativ, als nicht das als Motortreibstoff erwünschte Benzol, sondern hydroaromatische Alkohole dabei entstanden.

Als das Schwelproblem von der chemischen Seite geklärt war, blieben noch zwei Aufgaben zu lösen. Eine rein technische, nämlich die Konstruktion geeigneter Schwelapparaturen für die Großtechnik, die nicht zum Aufgabenkreis des Instituts gehörte, und eine zweite, die Verbesserung der Halbkoksqualität und die Suche nach geeigneten Verwendungszwecken für dieses Produkt. Diese Aufgabe ist von FRANZ FISCHER verschiedentlich in das Arbeitsprogramm eingegliedert worden. So ist z. B. mit BROCHE, PRANSCHKE und SUSTMANN gezeigt worden, daß auch aus nichtbackenden Kohlen ein fester Halbkoks erhältlich ist, wenn man die Kohle vor der Verschmelzung mit geeigneten Mengen ihres eigenen Urteers versetzt. Ein harter, fest verbackener und glänzender Halbkoks ist aus nichtbackenden Steinkohlen und selbst aus Braunkohlen erhältlich, wenn man nach FISCHER, BAHR und SUSTMANN die Verschmelzung unter hohem Gasdruck in einer Druckapparatur vornimmt. Man verhindert auf diese Weise ein frühzeitiges Entweichen der verbackend wirkenden Destillationsprodukte. Diese Arbeiten sind auch für das Verständnis des Verkokungsvorganges wichtig. Besondere Aufmerksamkeit ist in letzter Zeit der Verwendbarkeit von Schwelkoks für den Betrieb von Kleingeneratoren für Kraftfahrzeuge gewidmet worden. Durch genaue Einhaltung von Schwelbedingungen, die SUSTMANN ermittelt hat, lassen sich aus Preßbraunkohlen feste geformte Halbkoksbricketts herstellen, die gut statt Holzkohle in Fahrzeug-

generatoren zu verwenden sind. Da der Automobilbetrieb mit Generatorgas Ersparnisse an Brennstoffkosten mit sich bringt, die um so höher sind, je billiger der angewandte Brennstoff ist, wurden in letzter Zeit von FRANZ FISCHER, DEHN und besonders SEBERICH neue Generatortypen entwickelt, die, mit Braunkohlenbriketts bzw. mit mageren Steinkohlen betrieben, ein teerfreies Treibgas liefern. Die mit zwei Lastkraftwagen seit vielen Monaten ausgeführten Versuchsfahrten haben sehr befriedigende Resultate gehabt, besonders hinsichtlich der Betriebskosten, die weniger als ein Fünftel der Kosten betragen, die bei Benzinbetrieb aufzuwenden sind.

Der Gedanke, von der Kohle ausgehend zu flüssigen Motortreibstoffen zu gelangen, indem man bei hoher Temperatur eventuell unter Anwendung von Druck Wasserstoff an sie anlagert, ist 1912 schon von EMIL FISCHER in seiner eingangs erwähnten Rede ausgesprochen worden. Für das Institut bzw. für die Ruhrkohlenindustrie konnte der damit angedeutete Weg der Hochdruckhydrierung aber infolge von Patenten aus dem Jahre 1913, die in anderen Händen lagen, nicht mehr ungehindert beschritten werden, weshalb FRANZ FISCHER mit besonderer Intensität die Suche nach neuen unabhängigen Verfahren aufnahm. Wohl sind von FRANZ FISCHER besonders mit SCHRADER und FREY umfangreiche Untersuchungen über die relative Hydrierbarkeit der verschiedenen Kohlenarten und über den Ersatz des für die Hochdruckhydrierung nötigen Wasserstoffes durch andere Hydrierungsmittel ausgeführt worden, die erfolgreiche Lösung des Problems wurde aber schließlich in ganz anderer Richtung gefunden, nämlich in der Synthese flüssiger Kohlenwasserstoffe auf dem Weg über die Gase.

Dieses Arbeitsgebiet nimmt seit etwa 10 Jahren den weitaus größten Teil des Arbeitsplanes im Mülheimer Institut ein.

Ausgehend von Versuchen über die Gewinnung von Formiaten mit Kohlenoxyd unter Druck und ihrer nachträglichen thermischen Zersetzung unter Bildung flüssiger brennbarer Stoffe, gelangten FRANZ FISCHER und TROPSCH zur Hochdrucksynthese eines Gemisches von höheren Alkoholen, Kohlenwasserstoffen, Ketonen, Säuren und Estern aus Wassergas unter Verwendung von alkalisiertem Eisen als Katalysator. Dieses Synthol war als solches schon als Motortreibstoff brauchbar, konnte aber auch durch einfache Druckerhitzung in Kohlenwasserstoffe übergeführt werden. Durch systematische Erforschung der Katalysatoreigenschaften im Anschluß an das Syntholverfahren und planmäßige Erniedrigung des Arbeitsdruckes unter Heranziehung von Erfahrungen bei der bekannten Kohlenoxydhydrierung zu Methan an Nickel nach SABATIER und SENDERENS gelang es FRANZ FISCHER und TROPSCH schließlich, außer Methan auch höhere Kohlenwasserstoffe, und zwar bei gewöhnlichem Druck, frei von sauerstoffhaltigen Produkten auf katalytischem Wege aus Wassergas zu synthetisieren. In neun Jahren zäher Arbeit ist diese Beobachtung von FRANZ FISCHER mit zahlreichen Mitarbeitern, unter denen außer TROPSCH besonders K. MEYER, O. ROELEN und H. KOCH zu nennen sind, zur technisch reifen Benzinsynthese ausgebaut worden, die heute bereits in einer

größtechnischen Versuchsanlage erprobt wird und berufen sein dürfte, einmal eine volkswirtschaftlich bedeutende Rolle zu spielen.

Die Schwierigkeiten, die es beim Ausbau der Benzinsynthese zu überwinden galt, waren recht mannigfacher Art. Sie lassen sich aber um drei Gesichtspunkte gliedern, die hier kurz besprochen werden sollen, nämlich das Katalysatorproblem, die Gasbeschaffung und Gasreinigung und drittens die Wärmeabfuhr der stark exothermen Reaktion. An Katalysatoren wurden Tausende von Gemischen der verschiedensten Metalle und Metalloxyde mit aktivierenden Zusätzen und Trägersubstanzen nach verschiedenartigsten Methoden hergestellt und jeweils auf ihre Eignung unter verschiedenen Bedingungen der Gaszusammensetzung, der Gasströmungsgeschwindigkeit und Temperatur im monatelangen Dauerbetrieb geprüft. Allmählich gelang es so, die optimale Reaktionstemperatur bis unter 200° C zu senken und Mehrstoffkatalysatoren zu entwickeln, die auch den technischen Anforderungen an bestimmte Körnungen von genügender Festigkeit und geringem Abrieb, an leichte Reduzierbarkeit und Regenerierbarkeit usw. entsprachen. Nach den anfänglich benutzten Eisen-Kupfer-Alkalikontakten traten immer mehr die Katalysatoren mit Kobalt als Grundmetall in den Vordergrund, bei denen sich besonders Thoriumoxyd und Manganoxyd als aktivierende Zusätze bewährt haben. Auch Nickelkatalysatoren erwiesen sich später als geeignet, nachdem es gelungen war, ihre Aktivität so weit zu steigern, daß sie weit unterhalb jener Temperaturen arbeiten, bei denen infolge der stark hydrierenden Eigenschaften dieses Metalls nur Methan entsteht. In den Legierungsskeletten, die durch Zusammenschmelzen von z. B. Nickel und Silizium im elektrischen Ofen und nachträgliches Herauslösen des Siliziums mit Lauge dargestellt wurden, fand man übrigens auch wirksame Einstoffkatalysatoren für die Benzinsynthese. Zur Theorie des Prozesses wurden die experimentellen Grundlagen durch das Studium der intermediär gebildeten Karbide beigebracht. Alle aktiven Katalysatoren erwiesen sich bald als wenig giftfest, so daß eine sorgfältige Befreiung des Synthesegases von Schwefelverbindungen erforderlich war. Nach vielen Versuchen wurde auch dieses Problem einwandfrei gelöst durch katalytische Umwandlung der organischen Schwefelverbindungen in Schwefelwasserstoff und Absorption dieser Verunreinigung. Als Ausgangsgas wurde anfänglich Wassergas benutzt, bis sich Gemische von einem Teil Kohlenoxyd und zwei Teilen Wasserstoff als geeigneter erwiesen. Wasserstoffreiche Gasgemische können beispielsweise durch katalytische Umsetzung von Koksofengas mit Wasserdampf bei 800° gewonnen werden, die mit Wassergas gemischt leicht auf jedes gewünschte Mischungsverhältnis von Kohlenoxyd zu Wasserstoff eingestellt werden können. Über die Gasbeschaffung für die Benzinsynthese sind von FRANZ FISCHER, besonders gemeinsam mit PICHLER, umfangreiche Untersuchungen ausgeführt worden, von denen nur die partielle Verbrennung von Methan mit Luft und Sauerstoff erwähnt sein möge.

Bei der Übertragung der Synthese in den halbtechnischen Maßstab, die in der Versuchsanlage des Instituts von FRANZ FISCHER, TROPSCH und ROELEN vorgenommen wurde, sah man sich vor der Aufgabe, Kontakt-

apparate zu konstruieren, die eine einwandfreie Abführung der Reaktionswärme gestatten. Die katalytische Reduktion bzw. Hydrierung des Kohlenoxyds zu höheren Kohlenwasserstoffen ist so stark exotherm, daß die Reaktionswärme im thermisch isolierten Raum hinreichend wäre, um das Reaktionsgas um etwa  $1000^{\circ}$  zu erhitzen. Die katalytische Reaktion selbst erfordert aber, um optimale Ausbeuten an Benzin zu liefern, die Einhaltung einer Reaktionstemperatur in der Nähe von  $200^{\circ}$ , die nur um sehr geringe Beträge schwanken darf, wenn nicht der ganze Prozeß in Frage gestellt sein soll. Bei niedrigeren Temperaturen sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit schnell unter ein erträgliches Maß, und bei höheren Temperaturen wird zunächst die Bildung gasförmiger Produkte zuungunsten der flüssigen begünstigt, bis schließlich vorwiegend Methan entsteht und Kohlenstoffabscheidung den Katalysator unwirksam macht.

Diese wenigen Angaben mögen genügen, um die ungeheure Arbeitsleistung zu kennzeichnen, die in diesem einen Falle nötig war, um aus der grundlegenden Beobachtung das technisch brauchbare Verfahren zu machen, wie es heute in der Benzinsynthese von FRANZ FISCHER und TROPSCHE vorliegt.

Ein besonderes Arbeitsgebiet eröffnete die Analyse der synthetischen Produkte und die Frage nach ihrer zweckmäßigsten Verwertung. An sich werden die gebildeten Stoffe, Gasol, Benzin, Schweröl und Paraffin, sofort so rein erhalten, daß sie zur Weiterverwendung keiner besonderen Raffination mehr bedürfen. Die Zusammensetzung des Kogasins, wie man die Produkte nach ihrem Werdegang (Koks, Gas, Benzin) nannte, wurde von TROPSCHE und KOCH untersucht. Es ergab sich, daß vorwiegend aliphatische Kohlenwasserstoffe mit geraden Ketten vorhanden sind, wobei, je nach der Art des angewandten Katalysators, die gesättigten Kohlenwasserstoffe oder die Olefine und die höheren oder niedrigeren Glieder dieser Körperklassen überwiegen. Unter den hochsiedenden Produkten sind besonders jene hervorzuheben, die sich im Laufe des Betriebes im Katalysator anreichern, und aus denen bisher unbekannte Hartparaffine mit Schmelzpunkten von über  $100^{\circ}$  C isoliert werden können. Eine Prüfung des Kogasins im Motor, die FRANZ FISCHER mit KOCH, HORN und SEBERICH vorgenommen hat, ergab ein gutes motorisches Verhalten, wenn die an sich geringe Klopfestigkeit dieses Benzins durch Antiklopfmittel wie Bleitetraäthyl verbessert wird.

Produkte von Schmierölcharakter entstehen bei der Benzinsynthese primär nicht. Schmieröle können aber, wie FRANZ FISCHER in Gemeinschaft mit KOCH gezeigt hat, aus den hochsiedenden Anteilen des Kogasins leicht und in hervorragender Qualität nach verschiedenen Methoden dargestellt werden. Es handelt sich hier um ein Arbeitsgebiet, das gegenwärtig besonders intensiv bearbeitet wird und noch manche wertvollen Ergebnisse erhoffen läßt.

Da die Benzinsynthese sich nicht willkürlich so leiten läßt, daß ausschließlich das besonders begehrte Leichtbenzin entsteht, sind in der letzten Zeit auch die Möglichkeiten, das Schweröl durch Kracken in Leicht-

benzin umzuwandeln, einer näheren experimentellen Prüfung unterzogen worden.

Neben der katalytischen Umwandlung des Kohlenoxyds in flüssige Produkte wurde im Rahmen der Arbeiten über die Verwertung der Kohle auf dem Weg über die Gase besonders dem Methan größte Aufmerksamkeit geschenkt, weil es bei der Koksgewinnung zwangsläufig mit entsteht und im Koksofengas, das etwa 25 % davon enthält, in größten Mengen billig zur Verfügung steht. Hier ist in erster Linie die Benzolsynthese von FRANZ FISCHER und FICHLER zu nennen. Durch Erhitzen von Methan auf Temperaturen in der Nähe von 1000° gelingt es, diesen Kohlenwasserstoff durch Einhaltung genau definierter Erhitzungszeiten in der Größenordnung von Bruchteilen einer Sekunde zum Teil in Benzol umzuwandeln. Durch Anwendung wesentlicher höherer Temperaturen und entsprechend größerer Strömungsgeschwindigkeiten des Gases wird die Benzolbildung zurückgedrängt, und es entsteht vorwiegend Azetylen. Diese letzte Umwandlung kann nach FRANZ FISCHER und K. PETERS besonders vorteilhaft auch mit Hilfe elektrischer Entladungen bei vermindertem Druck vorgenommen werden, wobei man zweckmäßigerweise verdünntes Methan anwendet, wie es im Koksofengas verliegt. Die thermischen und elektrischen Methoden zur Umwandlung von technischen Gasen in wertvollere Produkte waren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, bei denen neben den technischen Fragen auch die theoretische Seite besonders eingehend berücksichtigt wurde.

Die Möglichkeit, vom Methan ausgehend auf relativ einfache Weise zum Azetylen zu gelangen, veranlaßte auch eine Reihe von Untersuchungen, die sich mit der katalytischen Umwandlung des Azetylens in Benzin und Benzol befaßte, wobei die Ausbeuten an flüssigen Produkten bis zu 70 % des angewandten Azetylens betragen.

Von den vielen Untersuchungen, die FRANZ FISCHER außerhalb der speziellen, unmittelbar mit der Kohle zusammenhängenden Fragen und außerhalb der Aufgaben, die die Umwandlung der Kohle in Öle betrafen, ausgeführt hat, mögen zum Schluß noch zwei herausgegriffen werden, die allgemeineres Interesse beanspruchen können. Mit DEHN und SUSTMANN wurde erfolgreich versucht, eine Steigerung der Thermokräfte bei Metalloxyden durch Verwendung von Mehrstoffsystemen zu erzielen. Für die Verwertung von ligninhaltigem Material, insbesondere von Braunkohlen, wurde schließlich von FRANZ FISCHER, HORN und KÜSTER ein Verfahren ermittelt, bei dem durch Kupplung mit Phenolen usw. und Verpressen billige Kunststoffmassen für Gebrauchsgegenstände mit guten Festigkeitseigenschaften hergestellt werden können.

Wenn in vorstehendem Bericht die wissenschaftlichen Leistungen des Kaiser Wilhelm-Instituts für Kohlenforschung geschildert worden sind, so konnte naturgemäß nur das Wesentlichste herausgegriffen werden, und viele an sich wichtige Einzelheiten der erwähnten Arbeiten wie auch viele Einzeluntersuchungen und die Namen mancher Mitarbeiter FRANZ FISCHERS, die sie ausgeführt haben, mußten übergangen werden, um den zur Verfügung stehenden Raum nicht zu überschreiten. FRANZ FISCHER

hat von Anfang an dafür gesorgt, daß die Veröffentlichungen des Instituts vollständig an einer Stelle zu finden sind. Es sei deshalb hier noch einmal auf die „Gesammelten Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle“<sup>1</sup> verwiesen, die einen lückenlosen Bericht über die wissenschaftliche Entwicklung des Mülheimer Instituts verkörpern.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß viele Probleme der Kohlenforschung durch die Arbeiten des Instituts gelöst worden sind. Neben der Tatsache, daß aus den Arbeiten FRANZ FISCHERS und seiner Mitarbeiter in der Benzinsynthese ein technisches Verfahren von großer Tragweite hervorgegangen ist, ist aber der Umstand nicht weniger hoch zu bewerten, daß seit Bestehen des Instituts zahllose Wege geebnet worden sind für eine künftige nutzbringende Verwertung der Kohle, des einzigen Bodenschatzes, den wir in Deutschland in reichlichen Mengen zur Verfügung haben.

KURT PETERS.

## 12. Schlesisches Kohlenforschungsinstitut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Breslau.

Das Schlesische Kohlenforschungsinstitut hat es sich in den 18 Jahren seines Bestehens zur Aufgabe gemacht, den Chemismus der Kohle und ihrer Destillationsprodukte aufzuklären, die bekannten Verfahren zur Veredelung der Kohle zu verbessern und neue Wege zur Hebung der in der Kohle verborgenen Schätze zu suchen.

Eine der ersten Arbeiten des Institutes wurde von der Absicht geleitet, die Kohle und insbesondere die schlesische Kohle als chemischen Stoff kennen zu lernen. Zu diesem Zwecke wurde eine oberschlesische Steinkohle mit Pyridin extrahiert. Bei der außerordentlichen Schwierigkeit des Problems darf man es schon als Fortschritt ansprechen, wenn in den Extrakten der Kohle chemische Individuen in größerer Zahl aufgefunden und in ihrer Konstitution aufgeklärt wurden. In den letzten Jahren wurden Kohlen im Erweichungszustand extrahiert, wobei bis zu 70% der eingesetzten Kohle in den Extrakt übergingen. Aus diesem Extrakt ließ sich ein fester, praktisch aschefreier und billiger Brennstoff gewinnen, der vielleicht für besondere Zwecke von Wert sein kann.

Die wissenschaftlich und technisch interessante Verteilung des in der Kohle und dem Koks enthaltenen Schwefels bei deren Verbrennung wurde untersucht. Es wurde das Verhalten der einzelnen Schwefelbindungsformen und der Einfluß der Asche-Basizität, des Kalk- und Magnesia-gehaltes und der vorangegangenen Verkokung aufgeklärt.

Der große Anteil von Staubkohle an der schlesischen Kohlenförderung gab die Veranlassung, daß sich das Institut um eine nutzbringende Verwertung dieser Staubkohle bemühte. In jahrelanger Arbeit ist es gelungen, die Staubkohle ohne Bindemittel durch Heißpressung in Formlinge überzuführen und damit zugleich das Sortenproblem der Kohleförderung der Lösung näher zu bringen. Eine vor einigen Jahren gegründete Versuchs-

<sup>1</sup> Verlag von Gebrüder Bornträger, Berlin W 35, Schöneberger Ufer 12 a.

gesellschaft hat die laboratoriumsmäßigen Versuche des Institutes in größerem technischen Maßstabe fortgesetzt. Wie immer beim Übergang von Laboratoriumsversuchen auf den technischen Betrieb haben sich Schwierigkeiten eingestellt, deren Behebung die Mitarbeit des Institutes erfordert hat und voraussichtlich für einige Zeit auch noch weiterhin erfordern wird.

Die bindemittellose Verpressung der Staubkohle erfolgt bei einer Temperatur, die innerhalb der Erweichungszone liegt, in der die Kohle sich in einer Art plastischen Zustandes befindet. Das Erweichen der Kohle beim Erhitzen wurde mikroskopisch untersucht, und zur meßbaren Prüfung des Erweichungsvorganges wurden Verfahren entwickelt, die zugleich in der Kokerei zur Feststellung der dort wichtigen Schmelzbarkeit der Kohle benützt werden sollen. Den Bedürfnissen der Kokerei diene auch eine Reihe weiterer Arbeiten, die dem Ziel zustrebten, den Koks zu verbessern und laboratoriumsmäßig die Eignung einer Kohle zur Verkokung festzustellen; so z. B. wurden eine Reihe von aufbereitungstechnischen und petrographischen Arbeiten ausgeführt, die eine möglichst einfache und genaue Ermittlung der Gefügebestandteile der Kohle anstrebten. Aus oberschlesischen und niederschlesischen Flözen wurden Profile herausgeschnitten, angeschliffen und auf ihre Gefügezusammensetzung untersucht. Es gelang die Gewinnung von Hüttenkoks aus schlesischen Kohlen, die sonst wenig für Kokereizwecke geeignet sind, und die Herstellung eines tragfähigen, zur Verhüttung von Erzen möglicherweise geeigneten Halbkokes. Die sehr zeitraubenden petrographischen Arbeiten wurden wie einige andere des letzten Jahres von mehreren Herren unterstützt, die durch Vermittlung der wertschaffenden Arbeitslosenfürsorge im Institut arbeiteten.

Schon vielfach ist darauf hingewiesen worden, daß bei der Entstehung der Kohlen Polymerisationsvorgänge eine wichtige Rolle gespielt haben können. Einen großen Raum im Rahmen der Institutsarbeiten nahm deshalb das Studium der Polymerisationsvorgänge ein, und zwar — da die Verhältnisse bei der Kohle besonders kompliziert liegen — zunächst dasjenige einfacher konstituierter Stoffe. So wurden die Polymerisate der Mukonsäureester, des Dihydrobenzols und später die des Zyklohexens, des Zyklopentens und des Zyklopentadiens untersucht. Diese zunächst aus wissenschaftlichen Gründen begonnenen Arbeiten führten im weiteren Verlauf zu einem neuen Verfahren zur Reinigung von Rohbenzol durch Polymerisation und Oxydation der darin enthaltenen Verunreinigungen. Das Benzol wird bei Atmosphärendruck oder höheren Drucken mit Luft kurze Zeit erhitzt, dadurch wird Polymerisation und Kondensation der ungesättigten Verunreinigungen erzwungen, Schwefelkohlenstoff und Blausäure zerstört. Von den ungesättigten Teilen werden nur die Thiophene schwieriger angegriffen, jedoch sind diese Verbindungen licht- und luftbeständig und verharzen nicht.

Durch Gegenwart von Wasser, Metallen, Säuren oder Alkalien kann man die Art der Polymerisate weitgehend verändern. Von den Polymerisationsrückständen läßt sich durch Destillation ein Teil in flüssiger

Form gewinnen, der Rest ist ein neutrales, stets verwertbares Pech. Durch dieses Verfahren lassen sich die Waschverluste um 4—6% vermindern, was volkswirtschaftlich einer ebenso starken Vermehrung des Deutschland zur Verfügung stehenden Motorenbenzols gleichkommt. Weitere Arbeiten auf dem Gebiete der Benzolreinigung führten zur Anwendung von Flußsäure und anderen Polymerisationsmitteln.

Es gelang durch Polymerisation des Äthylens und seiner Homologen mit Hilfe von Borfluorid als Katalysator die Gewinnung viskoser Öle (Schmier- und Transformatorenöle). Diese Öle sind besten amerikanischen Schmierölen gleichwertig und haben zum Teil eine erstaunlich hohe Durchschlagsfestigkeit gegenüber elektrischen Spannungen. — Das weitere Studium des Verhaltens des Borfluorids führte zu der Erkenntnis, daß sich mit Borfluorid und den anderen Borhalogeniden fast alle FRIEDEL-CRAFTSSchen Reaktionen durchführen lassen. Daraufhin wurden mit Hilfe des Borfluorids Naphthalin, substituierte Naphthaline und schließlich allgemein Teeröle mittels Olefinen zu hochviskosen Ölen alkyliert.

Mit Hilfe des Borfluorids als Katalysator gelang es auch, alle gasförmigen und flüssigen Olefine, besonders aber das Äthylen, das sich wesentlich schwerer als seine höheren Homologen polymerisieren und mit Kohlenwasserstoffen kondensieren läßt, zur O- oder C-Alkylierung von Phenolen oder Phenolgemischen zu verwenden.

Die Bemühungen des Instituts, auch auf dem Gebiete der Motorentreiböle die ausländischen Öle durch deutsche zu ersetzen, bewegten sich in der Hauptsache in zwei Richtungen. Einmal wurde danach gestrebt, das Benzol ausbringen bei der Steinkohlendestillation zu erhöhen und weiter dem heimischen Steinkohlenteeröl auf Kosten des einzuführenden Gasöls einen größeren Absatz zu verschaffen. Wie bereits erwähnt, hatten die Bemühungen hinsichtlich des ersten Zieles dadurch einen Erfolg, daß durch neue Verfahren bei der Benzolwäsche ein 4—6%iges Mehrausbringen an Motorenbenzol erreicht werden konnte. Das zweite Ziel, das man auch von der Seite des Motorenbaues her in Angriff genommen hat, versuchte das Institut auf chemischem Wege zu lösen. Der Hauptnachteil des Steinkohlenteeröls bei der Verbrennung im Dieselmotor liegt darin, daß es im Gegensatz zum Gasöl und Braunkohlenteeröl weniger selbstentzündlich ist. Es wurde deshalb zunächst untersucht, bei welchen Drucken, Temperaturen und innerhalb welcher Zeiten die Zündung von guten Dieselölen und von Steinkohlenteerölen einsetzte, um dann weiter durch geringen Zusatz geeigneter Substanzen die Selbstentzündung der Steinkohlenteeröle dem der Dieselöle anzugleichen. Dazu mußten zuerst Prüfmethoden ausgearbeitet werden, die den Verhältnissen bei der Zündung im Dieselmotor möglichst entsprachen. Dann wurden die verschiedensten Substanzen, unter anderem nitrierte Kohlenwasserstoffe und Eisenpentakarbonyl, die als 2—3%iger Zusatz zum Teeröl dessen Selbstentzündlichkeit verbessern, systematisch untersucht. Mit diesen verbesserten Steinkohlenteerölen wurde auf dem Prüfstand einer Motorenfabrik ein Dieselmotor betrieben, wobei sich aber zeigte, daß der Zündverzögerung noch zu groß war, so daß weder ein Anlassen noch ein Leerlauf möglich war; erst bei Viertel-

bis voller Belastung war die Verbrennung dieser präparierten Steinkohlenteeröle einwandfrei. Ähnliche Ergebnisse brachten die Versuche mit einem schnell laufenden Fahrzeugdieselmotor. Wohl war eine deutliche Verbesserung des Teeröles zu bemerken, doch reichte sie nicht aus, um den Motor auch bei niedrigster Belastung zu betreiben. Versuche, das Gasöl wenigstens teilweise durch Steinkohlenteeröl zu ersetzen, indem statt des reinen Gasöles Mischungen aus beiden benutzt wurden, scheiterten zunächst daran, daß sich — wie bekannt — bei der Mischung Abfallstoffe ausschieden, die bei längerem Betrieb die Brennstoffzuleitungen verstopften. Es wurde ein einfaches Verfahren gefunden, diese Abscheidungen der Asphaltstoffe zu verhindern, und so Gasöl-Teerölmischungen herzustellen, die sich dann in jeder Beziehung durchaus brauchbar erwiesen haben sowohl für den stationären Dieselmotor als auch für den schnell laufenden kompressorlosen Fahrzeugdiesel, der besonders hohe Anforderungen an den Treibstoff stellt.

Der Aufklärung der Beziehungen zwischen Klopfestigkeit im Benzinmotor und Konstitution von Kohlenwasserstoffen war eine größere Arbeit gewidmet, die zusammen mit dem Laboratorium für flüssige Brennstoffe der Technischen Hochschule Breslau ausgeführt wurde. Grundbedingung für die Durchführung der geplanten Versuche war die Verwendung einer großen Zahl wirklich reiner Kohlenwasserstoffe, die deshalb synthetisch im Institut dargestellt wurden, während ihre motorische Prüfung im Brennstofflaboratorium der Technischen Hochschule vorgenommen wurde. Die Arbeit lieferte interessante Ergebnisse, Anhaltspunkte für die Eignung der diese Kohlenwasserstoffe enthaltenden Benzine als Motortreibstoffe.

Auf dem Gebiet der Hydrierung der Kohle zu Leichtölen hat das Institut verhältnismäßig wenig aus eigenem gearbeitet. Es hielt die Frage der Kohlehydrierung durch BERGIUS im Prinzip für gelöst und setzte sich schon zeitig, als das BERGIUS-Verfahren noch heftig umstritten war, dafür ein. Das Urteil über das Verfahren gründete sich auf eine Reihe von Arbeiten über die Hydrierung von schlesischen Kohlen nach BERGIUS. Aus den Rückständen der Kohleverflüssigung wurden Öle extrahiert, und zum Chemismus des Berginprozesses wurden durch Druckhydrierung reiner organischer Verbindungen Beiträge geliefert. In der Reihe der Arbeiten, die sich mit der Natur des Peches befaßten, wurden Peche ohne Katalysatoren hydriert. 35% des eingesetzten Peches ließen sich bisher in Leichtöle umwandeln. Es wurde gefunden, daß die Borhalogenide, die sich bei den Polymerisationsversuchen als aufbauende Katalysatoren erwiesen hatten, bei höheren Temperaturen auch die thermische Zersetzung von Kohlenwasserstoffen beschleunigen.

Versuche, Methan durch Wärmebehandlung in Azetylen überzuführen, dessen Umwandlung in Benzolkohlenwasserstoffe ebenfalls im Institut untersucht worden war, wurden zunächst zurückgestellt, weil in der für diesen Zweck konstruierten neuartigen Brennerapparat eine praktisch brauchbare Konvertierung des Methans gelang. Es ist als technisch wichtig hervorzuheben, daß diese Konvertierung des Methans ohne Rußabscheidung vor sich geht.

Die Arbeiten des Institutes auf dem Gebiete des Teers waren von dem Wunsch getragen, das Verwendungsgebiet des Teers in der Form von Straßenteer zu erweitern. Es wurde über den sog. freien Kohlenstoff des Straßenteers, über Teeremulsionen und Kaltteer gearbeitet. Um Anhaltspunkte für die Eignung der im Institut hergestellten veränderten Teere zu gewinnen, wurde nach laboratoriumsmäßigen Prüfungsmethoden gesucht, die der Beanspruchung des Teers auf der Straße möglichst nahe kommen. Es konnte ein billiger asphaltähnlicher Stoff hergestellt werden, der vielleicht als Ersatz des Asphalts in Frage kommt.

Auf dem Gebiet des Peches wurde versucht, die in ihm enthaltenen chemischen Stoffe zu erkennen und zu gewinnen, um so vielleicht die Grundlagen für eine ebenso industrielle chemische Verwertung dieser Pechanteile zu liefern, wie sie die Teerölverwertung darstellt. Durch Extraktion und schonende Destillation des Peches im Hochvakuum konnte eine Reihe chemischer Stoffe isoliert werden, von denen besonders die der Pyren- und der sehr reichen Chrysenfraktion Interesse erregten. Die bei der industriellen Pechverkokung anfallenden Destillate wurden untersucht und eine große Zahl chemischer Individuen daraus isoliert. Leider konnten diese Arbeiten wegen der Einschränkung des Institutsbetriebes nicht weitergeführt werden.

Die Phenole, die bei der Kokerei und besonders bei der Braunkohlenschwelerei in großen Mengen anfallen, haben stets das Interesse der Chemiker erregt. Da das Phenol selbst und die Kresole bereits zum großen Teil technische Verwertung gefunden haben, lag von jeher das Bestreben vor, durch Umwandlung der höheren Phenole technisch verwertbare Produkte zu erhalten. Aus diesem Grunde war eine größere Arbeit des Institutes dem Studium der Phenole gewidmet. Es wurde festgestellt, welche Gruppen von Phenolen unter wechselnden Bedingungen aus verschiedenen Kohlen anfielen. Das thermische Verhalten von wässrigen Phenolatlösungen wurde untersucht, Arbeiten über Phenolnatriumschmelzen ausgeführt. Ein Verfahren zur Herstellung von Karbolsäure, von Kresolen und von Benzolkohlenwasserstoffen aus Urteerphenolen wurde ausgearbeitet, nachdem die Gewinnung von Phenolen aus Steinkohlenurteeren und Braunkohlenteeren mit Hilfe von verflüssigtem Ammoniak auf billige Weise ermöglicht worden war.

Außer den die Kohle und ihre Destillationsprodukte betreffenden Arbeiten wurden andere, etwas abseits liegende ausgeführt. Sie wurden durch Fragen veranlaßt, die bei den Arbeiten über die Kohle auftraten. Hervorzuheben sind hierbei Studien über Verwandlungen von Mesithyloxyd und Phoron in die Enolform, über die Oxydation von Dihydrobenzol, das zum erstenmal in größerer Menge rein dargestellt wurde, über thermische Zersetzung von  $\alpha$ - und  $\beta$ -Naphthol und Resorzin.

Leider konnten mehrere Arbeiten der letzten Jahre durch die schlechte finanzielle Lage des Institutes nicht zu Ende geführt werden. Es wären hier vor allem die Arbeiten über Fließkohle, über eine aufgefundene Gruppe neuer Stockpunktserniedriger und über den Treibdruck von Kohlen zu erwähnen. Durch den Übergang von wissenschaftlichen Mitarbeitern des

Instituts in die Industrie mußten begonnene Arbeiten unvollendet abgebrochen werden, bei anderen mußte man sich mit einem Wahrscheinlich begnügen, wo ein viertel bis ein halbes Jahr weiterer Arbeit zu einem klaren Ja oder Nein als Antwort auf die Fragestellung geführt hätte.

W. TIETZE.

### 13. Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung in Dresden.

Wenn man die wissenschaftliche und technische Leistung des Instituts in den 13 Jahren seines Bestehens auf Grund seiner in zahlreichen Fachzeitschriften erschienenen und in den „Gesammelten Abhandlungen des Kaiser Wilhelm-Instituts für Lederforschung“<sup>1</sup> wiedergegebenen Veröffentlichungen rückschauend betrachtet, dann fällt eine einheitliche Entwicklungslinie klar in die Augen: Bei einer etwa gleichbleibenden, lediglich durch besondere Verhältnisse in den letzten Jahren vorübergehend verminderten wissenschaftlichen

Produktion sind im Laufe der Jahre zusätzlich und in zunehmendem Maße rein technische Fragen bearbeitet worden, so daß der Anteil der Veröffentlichungen vorwiegend

technischen Inhalts von 3 % in den Jahren 1922—24 auf rund 50 % in der Zeitspanne von 1930 bis heute angestiegen ist.

Tatsächlich haben sich die Arbeitsziele des Instituts seit seiner Gründung erheblich verschoben. „Bei der Gründung hat man sich unsere Tätigkeit als eine ziemlich akademische vorgestellt. Wir sollten über die allgemeinen wissenschaftlichen Grundlagen der Gerberei arbeiten, unbeeinflusst durch Strömungen und Interessen der praktischen Gegenwart. Man hat vermutlich an das Vorbild der deutschen chemischen Industrie gedacht, deren Entwicklung und Vormachtstellung in der Welt auf der unabhängigen Arbeit rein akademisch-wissenschaftlicher Hochschulinstitute beruht. Und vielleicht hat man weiter daran gedacht, daß die Chromgerbung, die unsere Industrie so weitgehend revolutioniert hat, auch in unabhängiger wissenschaftlicher Arbeit hier in Deutschland erfunden worden ist. So dachte man bei der Gründung des Instituts weniger an die Gegenwart als an eine ferne Zukunft. Dem Institutsleiter wurde jede Zusammenarbeit mit der Industrie untersagt und, um ihn nicht in Versuchung zu führen, das Institut absichtlich weit weg von den großen und zahlreichen westdeutschen Gerbereien etabliert“<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Erschienen bei Julius Springer, Berlin.

<sup>2</sup> Band V erscheint im Laufe des Jahres 1936.

<sup>3</sup> BERGMANN, M.: Vortrag vor dem Ausschuß des Zentralvereins der Deutschen Lederindustrie am 6. Juni 1931. Vgl. Ledertechn. Rdsch. 74, Nr 6 (1931). — Ges. Abh. IV, S. VII.

Band und Jahr	Anzahl der Veröffentlichungen			Anteil der technischen Arbeiten in %
	mit wissenschaftlichem Inhalt	mit technischem Inhalt	Gesamt	
I 1922/24	29	1	30	3
II 1925/26	30	4	34	12
III 1927/29	32	16	48	33
IV 1930/32	38	38	76	50
V 1933 .. <sup>2</sup>	20	20	40	50

Daß die bei der Gründung des Instituts gedachte Aufgabenstellung im Laufe der Zeit verlassen worden ist, liegt zum Teil an Notwendigkeiten, die durch die Entwicklung der *äußeren* Verhältnisse gegeben waren. Denn nur in Zeiten wirtschaftlichen Aufstieges und hoher wirtschaftlicher Blüte konnte sich die von einem reichen Staat beschirmte Wissenschaft den Luxus einer rein akademischen, von allen Tagesfragen, ja sogar von allen unmittelbar technisch-wissenschaftlichen Zielen losgelösten Forschungsarbeit erlauben. Wirtschaftliche Krisenzeiten dagegen haben stets ein viel engeres und unmittelbareres Zusammenarbeiten zwischen der an die Hilfe der Wissenschaft appellierenden Technik und den um ihre materielle Grundlagen ringenden Forschungsinstituten *erzwungen*. Die geschilderte Entwicklung hat sich im Falle unseres Instituts aber auch aus einer *inneren* Notwendigkeit heraus ergeben. Das Institut ist im Laufe der Jahre, von wissenschaftlichen Arbeitszielen ausgehend, voll in seinen technischen Arbeitskreis hineingewachsen, es hat erkannt, daß im Bereiche der Lederherstellung Fragen vorliegen, die den vollen Einsatz wert sind, und deren Bearbeitung nicht nur technisch lohnend, sondern auch für den Forscher selbst reizvoll und förderlich ist.

Wir glauben, daß das Verhältnis zwischen wissenschaftlicher und technischer Arbeitsrichtung, so wie es heute in Erscheinung tritt, ungefähr richtig ist. Gerade heute muß sich ein Forschungsinstitut vor der Gefahr hüten, seine Arbeiten an mehr oder weniger wichtige Tagesfragen zu zersplittern und darüber den Anschluß an die in der reinen Forschung des In- und Auslandes sich vorbereitenden Entwicklungsmöglichkeiten von morgen und übermorgen zu verpassen, ja sogar die Möglichkeit einer ruhigen und stetigen Weiterarbeit an *grundsätzlichen* wissenschaftlich-technischen Aufgaben aufs Spiel zu setzen.

Der angedeuteten Entwicklung entsprechend soll in der folgenden Darstellung zunächst auf die vorwiegend wissenschaftliche und im Anschluß daran auf die technisch orientierte Arbeit des Instituts eingegangen werden.

Das Fundament für den Lederhersteller, auf das er seine Arbeit aufbaut, ist die tierische Haut. Sie besteht fast ausschließlich aus *Eiweißstoffen*, und zwar im wesentlichen aus den eng verflochtenen feinen und zähen *Kollagen-Fasern* des Koriums und aus dem mengenmäßig stark zurücktretenden *Keratin* der Epidermis und der Haare. Andere Eiweißkörper, das Elastin der elastischen Fasern, Albumine, Globuline und die Phosphorproteine der Zellkerne dürfen daneben als praktisch kaum bedeutungsvolle Beimengungen angesehen werden. Eine möglichst genaue Kenntnis der chemischen Konstitution dieser Eiweißstoffe und ihres kolloid-chemischen Verhaltens ist für das Verständnis der Gerbvorgänge unerläßlich. Für das Institut, das diese Fragen grundsätzlich bearbeiten will, ergibt sich damit die Notwendigkeit, sich auf breiter Basis mit der Chemie und Physik der Eiweißkörper, insbesondere des Kollagens und des Keratins, zu befassen.

Mit dem Abschluß der Arbeiten EMIL FISCHERS, also etwa um die Zeit, in der die Gründung des Instituts erfolgte, war zwar das Aufbauprinzip der Eiweißkörper in wesentlichen Zügen klargelegt; aber das Bild war für jeden, der die physiologische Funktion, das chemische, kolloidchemische und physikalische Verhalten der Proteine selbst beachtete, doch ein wenig befriedigendes. Das stabile, wenig reaktionsfähige System des durch Synthese zugänglichen, aus einfachen Aminosäuren aufgebauten Polypeptids entsprach in sehr wesentlichen Punkten dem Verhalten der natürlichen Eiweißkörper durchaus nicht.

Diese Tatsache mag in erster Linie M. BERGMANN vor Augen gestanden haben, als er, selbst ein Schüler E. FISCHERS, kurze Zeit nach der Gründung des Instituts eine umfassende Untersuchungsreihe über „Umlagerungen peptidähnlicher Stoffe“ in Angriff nahm. In insgesamt 29 Abhandlungen, die sich bis zum Jahre 1929 fortsetzten, ist an einer großen Zahl bemerkenswerter Modellreaktionen der Nachweis geführt worden, daß die geringe Reaktionsfähigkeit, wie wir sie etwa an Peptiden vom Typus des Glyzyl-glyzins kennen, keineswegs ein Merkmal der Peptidstruktur überhaupt ist, sondern daß es oft nur der Einführung anderer Aminosäuren, wie z. B. von Serin oder Zystin, oder anderer geringfügig erscheinender Abänderungen oder Substitutionen bedarf, um ein hohes Reaktionsvermögen und die Fähigkeit zu zahlreichen und eigenartigen Umwandlungen unter zum Teil überraschend gelinden Bedingungen zu erzielen.

Im Laufe dieser Untersuchungen sind auch einige Ergebnisse erzielt worden, die im Zusammenhang mit speziellen gerberisch-technischen Fragen Beachtung verdienen. Es sei hingewiesen auf die Untersuchung der Verbindungen aus Aminosäuren bzw. deren Derivaten und *Formaldehyd*, die für das Verständnis der Formaldehydgerbung wichtig sind. Im Hinblick auf den Mechanismus des Enthaarungsvorganges (ÄSCHER und SCHWÖDE) waren systematische Untersuchungen von Peptiden und Diketopiperazinen des *Zystins* bedeutsam. Sie zeigten, daß die SS-Bindung der Zystingruppe von Alkalien gelöst wird, und daß die Alkaliempfindlichkeit dieser Gruppierung bei geeigneter Verknüpfungsweise des Zystinrestes außerordentlich gesteigert werden kann. Da die Zystingruppierung für das Keratin der Haare und der Epidermis charakteristisch ist, ist als sicher anzusehen, daß der Angriff der Äscherchemikalien besonders an den Schwefelbrücken erfolgt.

Die breit aufgebauten Studien über Reaktions- und Verknüpfungsmöglichkeiten von Aminosäuren schienen noch aus einem anderen Grunde besondere Bedeutung zu erlangen: Unter dem Eindruck der großen Unterschiede, die zwischen dem hochmolekularen Naturstoff selbst und seinen synthetisch zugänglichen Modellen bestehen, begann man in jenen Jahren Zweifel zu setzen in die Berechtigung der Grundvorstellung EMIL FISCHERS vom polypeptidartigen Aufbau der Eiweißkörper, ja sogar in die Berechtigung der Prinzipien der klassischen organischen Chemie auf dem Gebiet der hochmolekularen Naturstoffe überhaupt. Die Vorstellung, daß die Eiweißkörper in Wirklichkeit nicht den Polypeptiden, sondern den *Dipeptidanhydriden* (Diketopiperazinen) nahe stünden, und daß sie durch *Assoziation*

aus diesen relativ einfachen Grundkörpern hervorgingen, hat in den genannten Modellversuchen Stützen gefunden. Tatsächlich gelang es durch die bloße Verknüpfung zweier einfacher Aminosäuren, z. B. des Serins und des Glykokolls, und durch einige einfache weitere Umwandlungen, zu Derivaten von Diketopiperazinen zu gelangen, die anscheinend hochmolekularer Natur waren und sich im Gegensatz zu den einfachen Peptiden zur Aufnahme von Gerbstoffen und Farbstoffen befähigt zeigten. Ausgedehnte Parallelversuche auf dem Gebiete der *Kohlenhydrate* ergaben manche Analogien und damit eine Bestätigung der gezogenen Schlußfolgerungen.

Eine Fülle entgegenstehender Befunde, die teils von der Chemie und Enzymchemie, teils von der Röntgen-Strukturanalyse herkamen, haben aber schließlich sowohl für die Eiweißkörper wie für die hochmolekularen Kohlenhydrate die Berechtigung der ursprünglichen, vor allem auf EMIL FISCHER zurückgehenden Vorstellung erwiesen, wonach diese Stoffe durch peptidartige bzw. glukosidische Verknüpfung ihrer einfachsten Bausteine zu außerordentlich langen Kettenmolekülen aufgebaut sind.

Die Voraussetzung teils und teils die Folge all dieser Untersuchungen war die Schaffung neuer und besserer *synthetischer Methoden zum Aufbau von Polypeptiden*. Die Aufgabe, beliebige natürliche Aminosäuren in beliebiger Reihenfolge und Anordnung zu polypeptidartigen Systemen zu verknüpfen, war ja durch die Arbeit EMIL FISCHERS keineswegs gelöst. Nachdem schon vorausgehende Arbeiten bemerkenswerte neue Möglichkeiten aufgezeigt hatten, gelang hier ein entscheidender Schritt mit der Auffindung des sog. *Karbobenzoxyverfahrens* durch M. BERGMANN und L. ZERVAS. Bestimmend für den eingeschlagenen Weg war die im Prinzip schon auf TH. CURTIUS (1882)<sup>1</sup> zurückgehende Erkenntnis, daß Aminosäuren sehr viel leichter und glatter in kupplungsfähige Derivate, z. B. in Chloride oder Azide, überführt werden können, wenn man ihre freie Aminogruppe durch Einführung eines Säurerestes schützt. Auf diesem Wege hatte ja schon CURTIUS längere Zeit vor EMIL FISCHER benzoyleerte Peptide erhalten. Aber es ist meist unmöglich, den eingeführten Rest aus dem fertigen Peptid wieder abzuspalten, ohne dieses selbst zu zerstören. Ein scheinbar kleiner Kunstgriff war hier entscheidend, die Einführung des Benzylkohlenäurerestes, der durch katalytische Hydrierung unter milden Bedingungen abspaltbar ist. Das Karbobenzoxyverfahren hat der Peptidsynthese reiches Neuland erschlossen und den Aufbau von komplizierten Polypeptiden des Arginins, Lysins, Histidins, der Glutaminsäure und Asparaginsäure, des Prolins, Oxyprolins, Zystins und Tyrosins zu einer sicheren und relativ einfachen Sache gemacht.

Im Wesen konstitutionschemischer Forschungen liegt es, daß die Methoden des *Aufbaues* und des *Abbaues* ineinandergreifer müssen. Nachdem bekanntlich der rein chemische Abbau der Eiweißkörper mit Säuren und Alkalien im allgemeinen nur einen sehr unvollkommenen Einblick

<sup>1</sup> J. prakt. Chem. **26**, 167 (1882). — Ber. dtsch. chem. Ges. **35**, 3226 (1902).

in die Anordnung und Reihenfolge der Aminosäurebausteine gewährt, waren hier die von der Natur selbst gelieferten Abbaueagenzien, die *eivweißspaltenden Enzyme* heranzuziehen. Die Kenntnis gerade dieser Enzymgruppe war seit 1923 durch Arbeiten der Münchner Schule<sup>1</sup> weitgehend gefördert, die Aufteilung der natürlichen Proteasengemische in Einzelkomponenten von überraschend strenger spezifischer Wirkung, vor allem im Bereiche der Peptidasen, durchgeführt worden. Das durch das Karbobenzoxyverfahren erschlossene neue und reichhaltige Material synthetischer Polypeptide bot Gelegenheit, die an relativ einfachen Peptiden gewonnenen Feststellungen und Regeln über die Spezifität der Peptidasen zu sichern und zu vertiefen.

Im Zuge dieser Untersuchungen sind u. a. auch Peptide der wichtigen Iminosäure mit zyklisch gebundenem Stickstoff, des *Prolins*, auf ihr Verhalten Enzymen gegenüber geprüft worden<sup>2, 3</sup>. Die dabei gewonnenen Ergebnisse führten dazu, der Bindungsart dieser vom normalen Bautypus abweichenden Aminosäure in Eiweiß nachzugehen. Es hat sich erwiesen, daß auch das Prolin, das gerade im Kollagen in erheblicher Menge vorhanden ist, in diesem Eiweißkörper mit dem Iminostickstoff peptidartig gebunden sein muß, ein Befund, der bei allen Betrachtungen über den atomaren Bau der Kollagenfasern zu beachten ist.

Dieser zunächst vereinzelt stehenden und vielleicht wenig wichtig erscheinenden Aussage über die Bindungsweise einer bestimmten Aminosäure im Kollagenmolekül reihen sich einige bestimmtere Aussagen über die Verknüpfung der basischen Aminosäuren *Arginin* und *Lysin* im gleichen Eiweißkörper an. Von M. SIEGFRIED<sup>4</sup> sind schon vor längerer Zeit die sog. Kyrine beschrieben worden, amorphe, aber verhältnismäßig einfach und einheitlich zusammengesetzte basische Abbauprodukte der Gelatine, die durch einen milden Säureabbau des Eiweißkörpers und nachfolgende Fällung mit Phosphorwolframsäure gewonnen werden. Die Untersuchung dieser Körper, die ich vor einigen Jahren gemeinsam mit O. LANG in Angriff genommen hatte<sup>5</sup>, ergab, zum Teil in Bestätigung früherer Angaben, daß es sich um ein Gemisch aus einem Dipeptid und einem Tripeptid handelte, an deren Aufbau in äquimolekularer Menge Arginin, Lysin, Prolin und zwei Monoaminosäuren beteiligt sind. Die Trennung der beiden Peptide konnte inzwischen unter Anlehnung an frühere Versuche von P. A. LEVENE<sup>6</sup>, durchgeführt werden. Man erhält ein Tripeptid aus Glykokoll, Prolin und Lysin und ein Dipeptid oder Dipeptidgemisch aus Arginin und einer (bzw. mehreren) Monoaminosäuren. Die Anordnung

<sup>1</sup> WILLSTÄTTER, R.: Untersuchungen über Enzyme, Bd. 2. 1928. — WALDSCHMIDT-LEITZ, E.: Die Enzyme, 1926. — GRASSMANN, W.: Proteolytische Enzyme des Tier- und Pflanzenreiches. Ergebnisse der Enzymforschung, Bd. 1. 1932.

<sup>2</sup> BERGMANN, M., L. ZERVAS, H. SCHLEICH (und F. LEINERT): Z. physiol. Chem. **212**, 72 (1932). — Ber. dtsh. chem. Ges. **65**, 1747 (1932).

<sup>3</sup> GRASSMANN, W. und Mitarbeiter: Ber. dtsh. chem. Ges. **62**, 1307 (1929). — Z. physiol. Chem. **210**, 1 (1932).

<sup>4</sup> Z. physiol. Chem. **43**, 46 (1904); **48**, 54 (1906); **50**, 163 (1906).

<sup>5</sup> GRASSMANN, W. u. O. LANG: Biochem. Z. **269**, 211 (1934).

<sup>6</sup> J. of biol. Chem. **13**, 277 (1912); **22**, 425 (1915).

der einzelnen Bausteine in diesen Abbauprodukten kann festgelegt werden. Da die Kyrine, in üblicher Ausbeute isoliert, noch mehr als 50 % des im ursprünglichen Eiweißkörper vorhandenen Arginins und Lysins enthalten, sind diese Ergebnisse für die Bindungsart der beiden Aminosäuren im Eiweißmolekül beweisend.

Noch ein dritter und recht überraschender Befund hat uns der Konstitution des Kollagenmoleküls näher gebracht. Wir verdanken ihn der Beschäftigung mit einem wichtigen enzymatischen Prozeß der Gerbereichemie, der sog. *Beize*. Nach der Entfernung der Haare und der Epidermis, aber vor dem eigentlichen Gerbvorgang, unterwirft der Gerber in den meisten Fällen die Haut einem kurzen und wenig tiefgreifenden enzymatischen Abbauprozeß, beispielsweise mit Pankreasenzymen. Dabei wird eine kleine Menge von Eiweiß aus der Haut herausgelöst, die Hautfaser gewissermaßen gesäubert und für die Gerbstoffaufnahme vorbereitet. Man kennt die große Bedeutung dieses Prozesses für die Qualität des Fertigleders; aber niemand weiß bis heute exakt, welcher Art die Eiweißsubstanzen sind, deren Entfernung auf enzymatischem Weg angestrebt wird. Wir dachten an Muzine, kohlenhydrathaltige Eiweißkörper, die als Schleimsubstanzen im gesamten Tierreich weit verbreitet sind. Unsere Erwartung hat sich nicht bestätigt. Aber das Studium der *Kohlenhydrate in der Haut* führte uns zu dem Ergebnis, daß die Hautfaser selbst und, wie wir glauben, das Kollagenmolekül Kohlenhydrat in ziemlich beträchtlicher und konstanter Menge enthält, und zwar handelt es sich, wie wir mit Hilfe der schönen stufenphotometrischen Methode von M. SØRENSEN und HAUGAARD<sup>1</sup> zeigen konnten, um ein Disaccharid aus Glukose und Galaktose, also wahrscheinlich wohl um Milchzucker<sup>2</sup>. Wir sind damit beschäftigt, die Bindungsart dieses Zuckers, dessen Menge etwa 1 Mol Disaccharid auf ein Eiweißmolekül von 35000 entspricht, näher festzulegen.

Hier reiht sich langsam ein Einzelbefund an den anderen. Wir glauben, daß die Zeit nicht mehr allzu ferne ist, wo die Ergebnisse des Abbaues und der Synthese unmittelbar ineinandergreifen, und wo es möglich sein wird, ein gesichertes Bild vom Bau des Kollagenmoleküls und der Kollagenfaser zu entwerfen.

Im Zusammenhang mit den erwähnten Studien zum Beizprozeß sind wir dazu gelangt, das Verhalten der Kollagenfaser selbst proteolytischen Enzymen gegenüber messend zu untersuchen. Das war bisher nicht oder doch nur ganz ungenügend geschehen. Obwohl nämlich die Hautsubstanz zum großen Teile aus Kollagenfasern besteht, ist das Herauspräparieren einheitlicher Fasern doch eine mühsame und wenig ertragreiche Aufgabe. Für Enzymstudien an *Einzelfasern* haben wir eine Methode ausgebildet, die bei einer Einwaage von nur etwa 0,1 mg den enzymatischen Abbau mit einer Fehlerbreite von wenigen Prozenten zu messen erlaubt. Das wichtigste Ergebnis dieser Studien war, daß die intakte und unverletzte

<sup>1</sup> Biochem. Z. 260, 247 (1933).

<sup>2</sup> GRASSMANN, W. u. H. SCHLEICH: Biochem. Z. 277, 320 (1935).

Faser enzymatisch unangreifbar ist, daß aber bei der Hitzeschrumpfung (64°) zugleich mit dem Zusammenbruch der Faserstruktur schlagartig die enzymatische Spaltbarkeit einsetzt<sup>1</sup>. Wir kennen analoge Erscheinungen bei der Hitzedenaturierung anderer Eiweißkörper; aber wohl in keinem Falle wird die Erscheinung so eindrucksvoll und exakt verfolgbar sein wie hier. — Zahlreiche und zum Teil wichtige Beobachtungen über die Quellungs- und Schrumpfungsercheinungen der Kollagenfaser stehen in engem Zusammenhang mit diesen Untersuchungen.

Hier führt unsere rein wissenschaftliche Fragestellung unmittelbar hinein in grundsätzliche Probleme der Gerbereiwissenschaft. Sie sind nicht lösbar mit dem Rüstzeug der organischen Chemie allein; es bedarf hier der feinsten Hilfsmittel von seiten der Physik, der physikalischen und Kolloidchemie und der Histologie. Dieses *Zusammenwirken* mit allen *Hilfswissenschaften*, zu denen sich im Falle der Gerbereiwissenschaft noch als wichtigste die *Mikrobiologie* gesellt, halten wir für unerlässlich, wenn wirklich grundsätzliche Ergebnisse auf diesem schwierigen, für das Gefühl des Chemikers durchaus unsicheren Boden erzielt werden sollen.

Die Anwendung bakteriologischer und mikrobiologischer Methoden ist wichtig für das Verständnis fast aller Vorgänge in den *Gerbbrühen*, deren Inhalt ja einer ständigen Gärung unterliegt, sie ist notwendig für unsere Untersuchungen zur Bekämpfung des *Milzbrandes*, der eine heute zwar schon recht seltene, aber immer noch mit Recht sehr gefürchtete Berufskrankheit des Gerbers darstellt, und sie ist unerlässlich für eine andere, volkswirtschaftlich außerordentlich wichtige Arbeitsrichtung, die seit langen Jahren ein besonderes Spezialgebiet des Instituts geworden ist, für den Kampf gegen die *Rohhaut- und Konservierungsschäden*. Durch Erkrankungen und Verletzungen am lebenden Tier, durch unsachgemäße Behandlung der Haut beim Abziehen und durch unzureichende Konservierung bei der Lagerung und beim Transport der Häute entstehen alljährlich Schäden, die allein innerhalb Deutschlands hoch in die Millionen gehen. Das Institut hat sich daher schon bald nach seiner Gründung der Bearbeitung dieser Fragen zugewandt und sich mit Erfolg bemüht, von der wissenschaftlichen und praktischen Seite her Abhilfe zu schaffen. In zahlreichen Arbeiten wurden sowohl an der ungegerbten Haut wie auch am fertigen Leder die verschiedenen vorkommenden Beschädigungen histologisch, mikroskopisch und bakteriologisch untersucht und die Ursachen ihrer Entstehung festgestellt. Dabei ergibt sich, daß ein großer Teil der Häuteschäden schon am lebenden Tier durch tierische Parasiten, wie z. B. Läuse, Milben, Zecken oder durch Haut- und Haarerkrankungen hervorgerufen werden. Andere entstehen auf der mangelhaft konservierten Haut infolge der Tätigkeit bestimmter, näher gekennzeichneter Bakterienarten. Zur Bekämpfung dieser mannigfaltigen Häuteschäden wurden verschiedene Wege beschritten. Einmal wurde durch ausgedehnte *Aufklärungsarbeit* in landwirtschaftlichen Kreisen auf eine sorgfältigere Tierhaltung

<sup>1</sup> GRASSMANN, W.: Collegium 1934, 549 und unveröffentlichte Versuche mit H. RINKE.

hingearbeitet, und zum anderen wurden die bestehenden Konservierungsmethoden verbessert. Gemeinsam mit den deutschen Häuteverwertungen wurden in großangelegten *Konservierungsversuchen*, die sich zur Zeit alljährlich auf etwa 4000 Kalbfelle erstrecken, die verschiedenen Konservierungsverfahren verglichen und Zusätze zum Häutesalz ausprobiert. Als Ergebnis kann festgestellt werden, daß das deutsche Häutematerial sich hinsichtlich der Konservierungsschäden in den letzten Jahren ganz erheblich verbessert hat.

Diese Arbeiten sind gerade im Hinblick auf unsere *Rohstofflage* von großer Bedeutung, und zwar besonders auch deshalb, weil es unserer Überzeugung nach vorerst nicht möglich ist, die tierische Haut, die zu einem erheblichen Teil eingeführt werden muß, durch irgendeinen anderen Stoff in praktisch bedeutsamem Umfange zu ersetzen. Mit sehr viel mehr Aussicht auf Erfolg kann die Forschungsarbeit in dieser Richtung auf dem Gebiete der *Gerbstoffe* vorgehen. Die wichtigsten und der weitaus größte Teil der pflanzlichen Gerbstoffe müssen gegenwärtig von auswärts bezogen werden. Auch die immer mehr an Bedeutung gewinnende Herstellung von Chromleder verlangt die Einfuhr ausländischer Chromerze. Die Versorgung der deutschen Lederindustrie mit heimischen Gerbmitteln hat daher das Forschungsinstitut seit Beginn seiner Tätigkeit als eine vordringliche Aufgabe angesehen.

Kein Material wäre geeigneter, die deutsche Lederwirtschaft vom Ausland unabhängig zu machen, als das *Eisen* und seine Salze, mit denen man, wie schon KNAPP vor 70 Jahren festgestellt hat, Haut in Leder verwandeln kann. Leider haben jedoch die älteren Eisengerbverfahren große Mängel. Die Leder sind hart, brüchig und leer und vor allem nicht lagerbeständig. Man hat sich mit Erfolg bemüht, die Eigenschaften des Eisenleders zu verbessern und auszugestalten, und vor einigen Jahren gelang es, im Lederforschungsinstitut einen Eisengerbstoff herzustellen und ein Gerbverfahren zu entwickeln, mit dem sehr günstige Resultate erzielt werden konnten. Mit Hilfe dieses Verfahrens ist es heute ohne größere Schwierigkeit möglich, die verschiedensten Ledersorten in einer Qualität herzustellen, die sich durchaus mit pflanzlich oder chromgegerbten Ledern vergleichen läßt. Die Eisenleder, die in ihrem Aussehen den mit pflanzlichen Gerbstoffen gegerbten entsprechen, sind widerstandsfähig beim Tragen und zeichnen sich durch eine sehr gute Lagerbeständigkeit aus. Der weitere Ausbau dieses Verfahrens berechtigt daher zu der Hoffnung, daß die Eisengerbung eine ähnliche Entwicklung haben wird wie die Chromgerbung.

Eine zweite Quelle zur Gerbstoffgewinnung aus einheimischen Materialien sind die in unbeschränktem Maße anfallenden *Sulfitablaugen* unserer Zellstoffabriken. Diese Abflaugen enthalten als gerbenden Bestandteil im wesentlichen die Ligninsulfosäuren und finden schon heute in unseren Gerbereien in Kombination mit natürlichen Gerbstoffen Verwendung. Die gründliche Durchforschung ihrer gerberischen Eigenschaften und die

notwendige Verbesserung ihrer Gerbwirkung gehört zu den gegenwärtigen und zukünftigen Aufgaben des Instituts.

Für die *Gewinnung pflanzlicher Gerbstoffe in Deutschland* kommen nicht nur Eiche und Fichte, sondern in größerem Umfange als bisher wohl auch Weide, Erle, Birke und die Badanpflanze (*Bergenia*) in Frage. Die wichtige, aber voraussichtlich langwierige Aufgabe, den vorerst ungenügenden Gerbstoffgehalt dieser Pflanzen durch Züchtung zu steigern, wird vom Institut in Zusammenarbeit mit dem Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung bearbeitet.

Gerade für die zuletzt genannten Arbeiten brauchen wir Methoden, welche eine über das Ergebnis der üblichen Gerbstoffanalyse hinausgehende *Qualitätsbeurteilung* von Gerbmaterialeien im Laboratorium, unabhängig vom praktischen Gerbversuch, ermöglichen. Aber auch das Ergebnis der Gerbversuche selbst muß durch exakte Prüfungen der Lederqualität ständig überwacht werden. Daher sind Methoden zur Beurteilung der Luft- und Wasserdurchlässigkeit, der Wasseraufnahme, der Wasser- und Säurebeständigkeit und der Lagerbeständigkeit von Leder im Institut ausgearbeitet worden oder in Bearbeitung. Eine systematische Untersuchung über das Verhalten von Leder gegenüber Luftsauerstoff<sup>1</sup>, bei der mit Erfolg die Atmungsapparatur nach BARCROFT-WARBURG herangezogen wurde, steht in engem Zusammenhang mit den Fragen der Lagerbeständigkeit und der Bearbeitung der Eisengerbung.

Die seit langem angewandte Fluoreszenzprüfung pflanzlicher Gerbstoffe im ultravioletten Licht haben wir durch Kombination mit dem Prinzip der chromatographischen Adsorptionsanalyse wesentlich verbessern und verfeinern können<sup>2</sup>. Die Trennung der einzelnen fluoreszierenden Anteile der natürlichen Gerbstoffgemische, die damit erreicht wird, führt zu der Aufgabe, die verschiedenen Fluoreszenzträger zu isolieren und zu identifizieren. Hier führen unsere Untersuchungen, die noch in den Anfängen stehen, zur Chemie der Gerbstoffe hin und damit wieder zurück zum eigentlichen Arbeitsbereich der organischen Chemie.

W. GRASSMANN.

<sup>1</sup> GRASSMANN, W. u. F. FÖHR: Collegium 1935, 379.

<sup>2</sup> GRASSMANN, W. u. O. LANG: Collegium 1935, 114, 401.

## II. Biologisch-medizinische Institute.

### 14. Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie in Berlin-Dahlem.

Das Institut umfaßt verschiedene Abteilungen, die in ihrer vollen Selbständigkeit und Größe eigentlich mehreren Instituten entsprechen. Die Zahl der Abteilungen schwankt je nach den Bedürfnissen nach verschiedenen Arbeitsrichtungen der Biologie.

Das Institut war mit 5 selbständigen Abteilungen eröffnet worden. Die Abteilung für Biologie der Pflanzen übernahm CORRENS zugleich mit der Leitung des ganzen Institutes. Eine Abteilung für Entwicklungsmechanik der Tiere wurde Geheimrat SPERMANN, jetzt Freiburg im Breisgau, übertragen. Sein Nachfolger bis zum Jahre 1932 war Professor O. MANGOLD, jetzt Erlangen. Eine dritte Abteilung ist der Vererbungs-forschung der Tiere gewidmet, sie untersteht Professor R. GOLDSCHMIDT. Der Erforschung der pflanzlichen und tierischen Protisten im weitesten Sinne ist eine Abteilung gewidmet, die Professor M. HARTMANN leitet. Als 5. Abteilung übernahm Professor O. WARBURG bei der Gründung des Institutes eine Abteilung für allgemeine Physiologie.

Die letztere wuchs bald über den Rahmen der ihr im Institut für Biologie gegebenen Möglichkeiten hinaus. Die großen Arbeiten über Atmung, Assimilation u. a., die mit so besonderem Erfolge von O. WARBURG in seiner Abteilung vorwärts getrieben wurden, erforderten bald die Errichtung eines neuen selbständigen Institutes für Zellphysiologie, das Ende des Jahres 1930 in der Nähe des Institutes für Biologie eröffnet wurde. In den Jahren 1924—1929 war vorübergehend in einigen Räumen des Institutes eine weitere Abteilung für Physiologie für Professor O. MEYERHOF eingerichtet. Im Jahre 1929 wurde diese an das neugegründete Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung nach Heidelberg verlegt.

So sind derzeit 3 Abteilungen, eine botanische und zwei zoologische, eingerichtet. Sie sind im Laufe der letzten 20 Jahre zu großen Forschungsstätten erwachsen.

#### Abteilung C. CORRENS (1914—1933).

Als C. CORRENS die Leitung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biologie übernahm, hatte er die Grundlagen für die Entwicklung der experimentellen Vererbungs-forschung schon gelegt. Die grundlegenden Arbeiten über die Tatsachen und die Reichweite der MENDELSchen Gesetze, die Grundlagen der Geschlechtsvererbung waren in Tübingen, Leipzig und Münster durchgeführt worden. Die Behandlung dieser Probleme erlebten aber einen neuen Aufschwung, als, von Verwaltungs- und Lehrtätigkeit befreit, mit großen Hilfsmitteln ausgerüstet, CORRENS an dem neuen Forschungsinstitut an die Arbeit ging.

Es waren vor allem drei Problemgruppen, denen sich CORRENS in der Folgezeit immer wieder gewidmet hat. Er wollte einen Einblick erreichen in die Reichweite der Genwirkungen für alle biologischen Prozesse an den Pflanzen und so die universelle Bedeutung der Genvererbung sicherstellen. Er wollte einen Überblick gewinnen über die Vielgestaltigkeit eines Ausschnittes aus diesem Gesamtproblem, einen Überblick über all die Erscheinungsformen, die man als Buntblättrigkeit bezeichnet. Und er wollte schließlich eindringen in die ganze Vielförmigkeit der Geschlechtsdifferenzierungen, wie sie gerade bei Pflanzen so mannigfaltig sind, und die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten finden, die dieser Vielförmigkeit zugrunde liegen.

So finden wir CORRENS seit seinen ersten Tübinger Untersuchungen immer wieder beschäftigt, die verschiedenartigsten Vorgänge der Pflanzen auf ihre Vererbung hin zu untersuchen. Beginnend mit der Analyse von Farb- und Formfaktoren der Maiskörner oder der Erbsensamen, von Farb- und Zeichnungsmerkmalen bei *Mirabilis* und vielen anderen Blütentypen, analysiert er unermüdlich Keimungsvorgänge und Wachstumsprozesse, Blattbildung und Chlorophyllgehalt, Blütenentwicklung wie Kleistogamie, Füllungserscheinungen, Vergrünungen, Heterostylie und vor allem die vielen Sterilitätserscheinungen, von der Selbststerilität in verschiedenen Formen bis zur komplizierten Kreuzungssterilität und Lethalfaktoren. Einfache Monohybridfälle interessieren ihn ebenso wie komplizierte Spaltungen und Koppelungen, relativ einfache Genwirkungen fesseln ihn gleich wie die Anlagen für komplizierte physiologische Prozesse der Ein- und Zweijährigkeit, der Chlorophyllbildung, der Anlagen für bestimmte Blattkrankheiten oder für begrenztes Lebensalter und so vieles andere.

So eröffnet sich CORRENS bald das Bild des großen Zusammenwirkens dieser Vererbungsgesetzmäßigkeiten. Er begann hineinzuschauen wie kein anderer vor ihm in die Vielförmigkeit des Vererbungsgeschehens. Er schließt die Genotypen seiner Studienpflanzen immer wieder von neuem auf und sieht wie dieser Mechanismus fein geregelt in immer neuer Kombinationskraft zur ungeheuren Vielförmigkeit des organischen Lebens führen muß. Und bis in seine letzten Lebenswochen prüft er unermüdlich nach allen Seiten hin mit wohl bedachter Auswahl, bis er zu einem souveränen Überblick gelangt. Das Gesetz der Vererbung wird ihm so, wo andere beim formalen Chromosomenmechanismus stehen bleiben, zum feinen Spiel der Kräfte der Verteilung und zum Erfolg der Wirkung des Verteilten in feinsten, oft unglaublich komplizierter und doch durchschaubarer Form, bis dann der lebende Organismus selbst mit all den Möglichkeiten seines ganzen Lebensschicksales als Enderfolg dieser Verteilung und dieser Wirkungsweise gegeben ist.

Ein besonders wichtiger und vielförmiger Vererbungsvorgang bei den Pflanzen ist die Vererbung der Chlorophyllbildung, überhaupt der Farbstoffbildung in den Blättern. CORRENS hat seit seiner Tübinger Zeit sich diesen Fragen gewidmet. Die Ausbildung des Chlorophylls und anderer Blattfarbstoffe wird vielfach durch ganz normal mendelnde Faktoren

geregelt. Doch sind offenbar sehr viele Gene an diesen Vorgängen beteiligt. Sie bedingen die Chlorophyllbildung in sehr verschiedenem Grade von normaler grüner Blattausbildung bis zu mehr oder weniger hellgrünen, gelbgrünen und schließlich gelben oder weißen Pflanzen. Letztere sind chlorophyllos und daher nicht lebensfähig. Der Ausfall dieser Typen führt bei Aufspaltungsversuchen zu scheinbar abgeänderten Mendelzahlen. Gerade diese Fälle scheinbarer Ausnahmen konnten von CORRENS frühzeitig als nur vorgetäuschte Ausnahmen gekennzeichnet und die allgemeine Gültigkeit der Vererbungsgesetze auch hier nachgewiesen werden. Die chlorophylllosen Pflanzen sind infolge eines bestimmten Gens nicht lebensfähig. Es handelt sich also um einen Faktor, wie man sie gewöhnlich als Lethalfaktoren bezeichnet. Es war von Interesse, daß hier einem Lethalfaktor auch eine bestimmte physiologische Wirkung zugeordnet werden konnte.

Die durch Gene bedingten Blattfärbungen können gleichartig sein, oder die Blätter erscheinen in Form sogenannter Panachüre, weißfleckig, mit grober oder feiner Zeichnung in allen Abstufungen. Schließlich gibt es chimärenhafte Ausbildung, Blätter mit weißer Haut und grünem Gewebekern oder umgekehrt mit grüner Außenschicht oder schließlich noch andere Kombinationen. Viele dieser Erscheinungen werden durch mendelnde Gene bewirkt. Dabei scheinen diese Gene relativ leicht zu mutieren, und darum gehören Mutationen im Chlorophyllfaktor bei Pflanzen zu den häufigsten Erscheinungen. CORRENS fand darunter Fälle, wo die betreffenden Anlagen immer wieder sich verändern, sogenannte labile Gene, die zu den interessantesten Beobachtungen der neueren Genetik gehören. Neben normal mendelnder Vererbung sind für manche Fälle von Weißbuntheit auch eine Vererbung nur durch die Mutter bekannt geworden. Und gerade an diese Beobachtungen knüpfen in neuerer Zeit viele Untersuchungen über Vererbung durch das Plasma und durch die Plastiden an.

Nachdem CORRENS schon in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts die Aufklärung der Grundlagen der Geschlechtsbestimmung im sogenannten Homo-Heterozygotieschema einer Rückkreuzung eines Heterozygoten mit dem Rezessiv-Homozygoten gefunden hatte, ist er den Problemen der Geschlechtsvererbung immer treu geblieben. Gerade hier waren seine Dahlemer Jahre besonders fruchtbar. Es lockten ihn besonders die verschiedenen Abwandlungen der Geschlechtsbestimmung, wie sie uns bei höheren Pflanzen entgegentreten. So wurden die wichtigen Versuche an Distelarten durchgeführt zum Studium subdiözischer (androdiozischer und gynodiozischer) Arten, die Untersuchungen über polygame Blütenpflanzen und manches andere.

Von besonderer Bedeutung wurden gerade in Dahlem die Untersuchungen an der Lichtnelke *Melandrium*. Es handelt sich zunächst hier um eine normal diözische Pflanze, die nach dem Normalvorgang vererbend ungefähr die Hälfte männliche und weibliche Nachkommen gibt. Das Männchen ist das heterogamete Geschlecht und bildet zweierlei Fortpflanzungszellen. CORRENS konnte zeigen, daß die Geschlechtszellen verschiedene Eigenschaften besitzen, welche die männlich- und weiblichbestimmenden

Fortpflanzungszellen unterscheiden. Die einen bilden schneller wachsende Pollenschläuche, oder die eine Sorte ist empfindlicher gegen Alternlassen, gegen Gifte wie Alkohol und anderes. Durch einseitige Einwirkung solcher Schädigungen, durch Konkurrenz zugunsten der schneller wachsenden Pollenschläuche gelingt es, das Geschlechtsverhältnis willkürlich zugunsten der Männchen oder Weibchen zu verschieben. So konnte das alte Problem der Beeinflussung des Zahlenverhältnisses der Geschlechter der Nachkommenschaft an dieser Pflanze gelöst werden, und darüber hinaus wurde auch eine Methode ausgebaut, um bei Pflanzen mit Hilfe des Konkurrenzenerfolges zu entscheiden, welches Geschlecht das heterogamete überhaupt ist. Die Versuche führten aber noch weiter. Gerade beim Alternlassen der Keimzellen wurden Veränderungen der Anlagen für die Geschlechtsausbildung beobachtet und damit der erste Fall einer willkürlichen Abänderung einer Erbanlage erzielt. Außerdem fanden sich bei *Melandrium* Rassen, die in ihrer Nachkommenschaft nur Männchen oder nur Weibchen ergaben, und damit konnte auch von dieser Seite wieder ein wichtiger Angriff auf die allgemeinen Sexualitätsprobleme geführt werden, die ja gerade am Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie durch die Bemühungen von CORRENS, GOLDSCHMIDT und HARTMANN in einer Weise gefördert wurden, daß sie zu den bestaufgeklärten der allgemeinen Biologie überhaupt gehören.

Es ist wohl selbstverständlich, daß bei einem so vielseitig umfassenden Geist, wie CORRENS es war, neben diesen großen Arbeiten viele kleine Untersuchungen durchgeführt wurden, die hier aber unberücksichtigt bleiben mögen. Die Arbeiten über die Geschlechtsvererbung bei Pflanzen hat CORRENS in einer meisterhaften monographischen Bearbeitung im Handbuch der Vererbungswissenschaften zusammengefaßt. Eine nachgelassene ähnliche Zusammenfassung über nichtmendelnde Vererbung wird in Kürze herausgegeben werden.

Es war eine besonders glückliche Zeit des Schaffens, die CORRENS in seiner Dahlemer Zeit gefunden hat. Unermüdlich in Gewächshäusern und Versuchsfeldern tätig war er ein unerreichtes Vorbild für alle die, welche ihm helfen durften. So haben die technischen Hilfskräfte, Fräulein LAU, ZIMMERMANN und FASSHAUER ihr Bestes dazu gegeben, wenn sie unermüdlich die oft so langweiligen Arbeiten des Messens und Zählens in treuer Hilfe geleistet haben. Und nicht zuletzt muß hier des treuesten Mitarbeiters von CORRENS gedacht werden, der vor wenigen Wochen seinem Meister gefolgt ist, des Garteninspektors JENKE, dessen sorgsamere Pflege durch zwei Jahrzehnte alle die Hunderttausende von Versuchspflanzen anvertraut waren.

Als Assistenten waren an der Abteilung H. KAPPERT (jetzt Professor in Berlin), F. LILIENFELD (jetzt in Tokyo), F. VON WETTSTEIN, CORRENS späterer Nachfolger, E. SCHRATZ (jetzt in Münster), E. KUHN (Berlin-Dahlem) und E. KNAPP (Berlin-Dahlem) tätig. Sie bearbeiteten meist auch genetische Fragen. So studierte KAPPERT in der damaligen Zeit verschiedene Vererbungsfragen bei *Pisum*, LILIENFELD bearbeitete *Dianthus* und *Malva*, SCHRATZ studierte vor allem Wasserbewegungsfragen, während

KUHN wieder verschiedenen Problemen der Geschlechtsbestimmung an *Thalictrum*, *Mercurialis* und *Clematis* sowie der Aufklärung der immer-spaltenden Bastarde bei *Matthiola* sich zuwandte. KNAPP untersuchte Vererbungsfragen bei dem Lebermoos *Sphaerocarpus*, insbesondere Mutationsauslösung durch Röntgenstrahlen, Tetradenaufspaltung und Geschlechtsbestimmung.

Eine ganze Reihe von Gästen des In- und Auslandes haben in der Abteilung kürzer oder länger gearbeitet. Alle führte der Wunsch zusammen, von dem großen Altmeister der Vererbungsforschung zu lernen, seine meisterhafte Experimentierkunst aufzunehmen und in andere Arbeitsstätten zu verpflanzen, und alle gingen mit dem tiefen Eindruck dieser Persönlichkeit, in dem sich der ganz große wissenschaftliche Geist mit einem ganz seltenen großen Menschen vereinigt hatte.

F. v. WETTSTEIN.

#### Abteilung FRITZ VON WETTSTEIN (seit 1934).

Die Arbeiten, welche jetzt die Abteilung besonders beschäftigen, knüpfen an solche an, die der Abteilungsleiter seinerzeit in den Jahren 1919—1925 als Assistent von CORRENS am Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie durchgeführt hatte. Damals wurde mit Experimenten an Laubmoosen begonnen, die wegen ihrer Generationswechselverhältnisse besonders günstig für einige Frage der Vererbungsforschung waren. Es konnten damals Beiträge zur Analyse der Haplontenaufspaltung und damit der allgemeinen Verteilung der Anlagen durch die Reduktionsteilung gegeben werden. Durch besonders günstige Verhältnisse an denselben Objekten wurden dann die Fragen bearbeitet, wie eine Chromosomenmassenvermehrung genetisch wirkt, und damit wurde dann überhaupt umfangreiches Versuchsmaterial zum Fragenkomplex der Heteroploidie zusammengetragen. Schließlich konnte aus Kreuzungsversuchen mit Art- und Gattungsbastarden Neues zur Frage der plasmatischen Vererbung gefunden werden, und so wurde der ganze Fragenkomplex des Zusammenwirkens von Kern und Zytoplasma bei der Vererbung aufgerollt. Einige andere Arbeiten betrafen die Sexualitätsverhältnisse niederer pflanzlicher Organismen.

Die Fragengruppen der Heteroploidie und der plasmatischen Vererbung wurden auch in Göttingen und in München in den Jahren 1925 bis 1934 weiter bearbeitet. Sie sind auch der Ausgangspunkt für alle die Arbeiten, die jetzt in dieser Abteilung seit Übernahme der Leitung durch den neuen Abteilungsleiter in Angriff genommen sind. Sie betreffen vor allem das Studium des Zusammenwirkens der Gene mit dem Plasma und damit überhaupt die Fragen nach der Wirkungsweise der Anlagen. Nachdem die Spaltungsweise der Anlagen, das Verteilungs- und Lokalisationsproblem für die Anlagen weitgehend geklärt ist, handelt es sich jetzt vor allem darum, die Wirkungsweise der Anlagen bei der Entwicklung der Organismen klarzulegen. Diese Verknüpfung von Vererbung und Entwicklungsphysiologie ist die wichtigste Aufgabe der nächsten Zukunft.

Aus den Moosversuchen der früheren Jahre entwickelten sich dann verschiedene Versuchsgruppen mit Fragestellungen zum Artbildungsproblem, an denen in der Abteilung fleißig gearbeitet wird. Es handelt sich vor allem um die Neuentstehung zweckmäßig angepaßter Formen, die einer Erklärung heute noch Schwierigkeiten bietet. Hierzu sind Analysen an Xerophyten, also Trockenstandorte bewohnender Formen im Gange, während Dr. MELCHERS seit Jahren genetisch-stoffwechselphysiologische Untersuchungen vorwärts treibt, die den Pflanzenformen gelten, die an Kalk- und Urgebirgsstandorte angepaßt sind. Ähnlichen Arbeiten der Verknüpfung genetischer und stoffwechselphysiologischer Probleme hat sich auch Dr. PIRSCHLE zugewandt, während Dr. KUHN und Dr. KNAPP die schon früher genannten Arbeiten weiter fortführen.

Mit frischen Kräften sind wir eingezogen, befreit von übermäßiger Verwaltungs- und Lehrtätigkeit haben wir unsere Arbeiten mit neuer Begeisterung aufgenommen. Mögen sie bald solche Früchte tragen, daß die große Tradition, die CORRENS der Abteilung gegeben hat, nicht unwürdig fortgesetzt erscheint.

F. v. WETTSTEIN.

#### Abteilung RICHARD GOLDSCHMIDT (seit 1914).

Aus den zur Zeit der Gründung des Instituts (1913) im Gang befindlichen Untersuchungen des Abteilungsleiters ergaben sich drei Hauptgebiete der Vererbungswissenschaft, deren Erforschung sich die Abteilung zunächst widmen wollte, nämlich das Problem der Geschlechtsbestimmung, das Problem der geographischen Variation in seiner Beziehung zum Artbildungsproblem und das Problem des Eingreifens der Erbmasse in den Entwicklungsgang des Individuums. Diese Probleme blieben denn auch 20 Jahre lang im Zentrum der Arbeiten der Abteilung, wenn auch teils im Zusammenhang damit, teils auch nur als Seitenpfade viele andere Arbeitsrichtungen gelegentlich beschritten wurden.

#### 1.

Bei der Erforschung des Geschlechtsproblems konnten die in Angriff genommenen Arbeiten so weit gefördert werden, daß sie vor zwei Jahren nach 25jähriger Arbeit, deren Ausmaß nur durch die Arbeitsbedingungen eines Kaiser Wilhelm-Instituts ermöglicht wurde, als abgeschlossen gelten konnten. Bei Beginn der Arbeiten war bekannt der Mechanismus der Verteilung der beiden Geschlechter auf die Nachkommenschaft mittels des Geschlechtschromosomenmechanismus. Es war zu erforschen, wie es kommt, daß ein X-Chromosom ein Geschlecht, zwei das andere hervorrufen, d. h. der entwicklungsphysiologische Vorgang der geschlechtlichen Differenzierung auf die genetische Grundlage zu beziehen. Die Möglichkeit dazu eröffnete sich durch folgende Entdeckungen: Es war gelungen, durch Kreuzungen geographischer Rassen von *Lymantria dispar* abnorme Sexualitätsverhältnisse in der Nachkommenschaft hervorzurufen, die sich bei genauerer Analyse als ein neues biologisches Phänomen erwiesen, das

Intersexualität genannt wurde. Dieses Phänomen wurde in Zuchten von Hunderttausenden von Individuen erbwissenschaftlich analysiert und gleichzeitig morphologisch und entwicklungsgeschichtlich durchgearbeitet, so daß es schließlich gelang, es völlig in die Hände des Experimentators zu bekommen. In Bestätigung einer frühzeitig aus den Arbeiten abgeleiteten Vermutung zeigte es sich, daß verschiedene geographische Rassen dieses Spinners, besonders im ostasiatischen Verbreitungsgebiet, sich durch besondere Zustände ihrer geschlechtsbestimmenden Erbräger unterscheiden, deren Zusammenbringung im Kreuzungsexperiment in geordneter Weise das Geschlecht beeinflußt. Nach durchgeführter Analyse ist es nunmehr möglich, durch geeignete Kreuzungen nach Belieben und ausnahmslos zu erzeugen a) normale Geschlechter, b) nur Weibchen, von denen die Hälfte aus Männchen in Weibchen umgewandelt sind, c) nur Männchen, von denen die Hälfte aus Weibchen in Männchen umgewandelt sind, d) intersexuelle Weibchen, d. h. sexuelle Zwischenstufen, die ihre Entwicklung als Weibchen beginnen und als Männchen vollenden; und diese in allen Abstufungen, die zwischen einem Weibchen und Männchen denkbar sind, e) intersexuelle Männchen, die ihre Entwicklung als Männchen beginnen und als Weibchen vollenden, und auch diese wieder in allen Abstufungen. Die so erzielte experimentelle Beherrschung des Geschlechtsbestimmungsvorganges erlaubte nun Schritt für Schritt nicht nur die Ursachen und das Wesen der Intersexualität zu verstehen und durch eine Kombination genetischer und entwicklungsphysiologischer Gedankengänge zu erklären, sondern auch das normale Geschlechtsbestimmungsgeschehen zu analysieren. Dem durch die Entdeckung der Geschlechtschromosomen (HENKING, MC CLUNG, WILSON) und des Hetero-Homogametieschema der Geschlechtsvererbung (CORRENS) längst feststehenden Mechanismus der Verteilung der Geschlechter auf die Nachkommenschaft wurde nunmehr ein physiologischer Sinn gegeben und dabei die erste Brücke von der Vererbungslehre zur Entwicklungsphysiologie geschlagen. Schon 1920 konnten die gefundenen Gesetzmäßigkeiten in einem zusammenfassenden Buch auf das ganze Tierreich ausgedehnt und eine Neuordnung des ganzen Gebiets durchgeführt werden. Später wurde auch eine Ausdehnung auf das Pflanzenreich versucht, und noch später, als alle Einzelheiten ausgearbeitet und geklärt waren, wurden die Ergebnisse benutzt, das ganze Gebiet unter einheitlichem Gesichtspunkt monographisch darzustellen, wobei es auch gelang, das verworrene Gebiet des sogenannten Zwitterturns bei Säugetier und Mensch der allgemeinen Ordnung einzugliedern. Die Quintessenz der Lösung des Problems, die für die ganze belebte Welt sich als gültig erwiesen hat, kann kurz so ausgedrückt werden: Über die geschlechtliche Differenzierung entscheidet eine quantitative Beziehung (Gleichgewicht bzw. Störung des Gleichgewichts) zwischen in beiden Geschlechtern vorhandenen Geschlechtsbestimmungsgenen für Weiblichkeit und Männlichkeit. Der Geschlechtschromosomenmechanismus sorgt für die Verschiebung des Gleichgewichts zugunsten des einen oder anderen Bestimmers, z. B.  $F > M < MM$ . Die größere Quantität der Bestimmer eines Geschlechts am Ausgangspunkt

kontrolliert die geschlechtliche Determination durch größere Reaktionsgeschwindigkeit des von ihnen katalysierten Vorgangs der Bildung der geschlechtlichen Differenzierungsstoffe (Hormone im erweiterten Sinn). An den vielen Einzeluntersuchungen morphologischer und entwicklungsgeschichtlicher Art, die den experimentellen Arbeiten parallel gingen, waren als Mitarbeiter zeitweise beteiligt I. SEILER (jetzt Professor in Zürich), A.-M. DUBOIS (jetzt Basel), S. SAGUCHI (jetzt Professor in Kanazawa), S. MINAMI (jetzt Professor in Kyoto), I. MACHIDA (jetzt Professor in Tokyo), H. SATO (jetzt Professor in Ueda), G. PINCUS (jetzt Professor in Boston).

Teils im Anschluß an diese Untersuchungen wurden auch einige andere Kapitel aus der Sphäre der Geschlechtsbestimmung bearbeitet. Schon die ersten Untersuchungen hatten es ermöglicht, die Erscheinung des Gynandromorphismus (sexuelle Mosaiks) von der Intersexualität zu scheiden, nämlich als Störung des Mechanismus der Geschlechtsverteilung gegenüber einer Störung der Physiologie der Geschlechtsdifferenzierung. Nach einigen vorausgehenden kleineren Untersuchungen war es in den letzten Jahren möglich, gemeinsam mit K. KATSUKI (Nakano) zum erstenmal einen Fall von erblichem Gynandromorphismus beim Seidenspinner vollständig zu analysieren, und zwar genetisch, morphologisch und zytologisch, und dabei auch Licht auf andere Erbprobleme (Prä- und Postreduktion der Chromosomen, mütterliche Vererbung) zu werfen. Auch ein Versuch, den Gynandromorphismus der Vögel in bezug auf die Beteiligung von Geschlechtshormonen zu klären, den unser Mitarbeiter K. MASUI (jetzt Professor in Tokyo) ausführte, gehört hierher. Sonst wurde nur selten eine Exkursion auf das Gebiet der Geschlechtshormone vorgenommen, nämlich in den Arbeiten von K. TAKAKUSU (jetzt Professor in Keijo) über Parabiose und L. MARX (jetzt Kopenhagen) über das Problem von Nebennierentumor und Geschlecht. Schließlich wurde noch ein besonderer Typus von Intersexualität, die triploide Intersexualität auf der Basis abnormer Chromosomenverhältnisse mit K. PARISER (jetzt Madrid) untersucht und interpretiert.

## 2.

Die zweite Problemgruppe, die zumeist parallel mit der vorhergehenden bearbeitet wurde, bezieht sich auf das Artbildungsproblem im Licht der neueren Erblichkeitslehre. Es waren zunächst ein paar Untersuchungen begonnen worden, die sich auf einen sichtbaren evolutionistischen Vorgang, die neuzeitliche Ausbreitung melanistischer Schmetterlingsformen, bezogen. Die genetische Analyse wurde auch an mehreren Formen durchgeführt und veröffentlicht, die begonnene weitere Bearbeitung der selektionistischen Seite des Problems aber zugunsten der Hauptarbeiten aufgegeben. Diese entwickelten sich im engsten Anschluß an die Intersexualitätsarbeiten mit dem gleichen Material, den geographischen Rassen von *Lymantria dispar*. Von der herrschenden Annahme ausgehend, daß die Bildung geographischer Rassen eine typische Vorstufe der Artbildung darstellt, und in der Überzeugung, daß nur eine Erbanalyse der

Rassenbildung in der Natur eine sichere Basis für Schlußfolgerungen auf das Evolutionsgeschehen liefern könne, wurde der Plan aufgestellt, eine möglichst vollständige Bestandsaufnahme der geographischen Rassen einer geeigneten Art und ihre Erbanalyse auszuführen. Die Vermutung des Vorhandenseins von geographischen Geschlechtsrassen bei *L. dispar* im ostasiatischen Verbreitungsgebiet und die darauffolgende Entdeckung dieser Rassen bei einer ersten Ostasienreise (1914) wies auf das richtige Material und auf das günstige Areal seiner Verbreitung. Dank der Unterstützung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, des Preußischen Kultusministeriums, der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der Kahnstiftung, der A. von Gwinner-Stiftung und der Japanischen Regierung war es möglich, auf drei Reisen ins Gelände (1914, 1924, 1929) eine sehr vollständige Übersicht zu gewinnen und das Material für die Erbanalyse teils an Ort und Stelle zu züchten, teils zum Zweck der Weiterzucht heimzubringen. So gelang es wiederum im Lauf von fast 25 Jahren, den Plan soweit durchzuführen, wie es das Material erlaubte, und die außerordentlich umfangreichen Arbeiten genetischer, morphologischer, statistischer, entwicklungsphysiologischer Natur im vergangenen Jahr zu Ende zu führen. Daß dies technisch möglich war, ist der treuen und oft auch opferbereiten Mitarbeit der technischen Hilfskräfte der Abteilung, vor allem M. AIGNER, K. THAMM, H. STEINMETZLER zu verdanken. Auch der anstrengenden Tabellenarbeit der Sekretärinnen A. KAISER-BRIEGER, D. HEIMANN, E. ROETHE soll hier dankbar gedacht werden. Es zeigte sich, daß an den genetischen Differenzen geographischer Rassen nahezu alle bekannten Erbtypen beteiligt sind, und daß die einzelne Form durch eine spezifische Kombination zahlreicher Merkmale charakterisiert wird. Die meisten Merkmale bilden innerhalb des Areals typische Ketten, deren Anordnung und Richtung aber für die einzelnen Merkmale unabhängig variiert. Für eine Reihe dieser Merkmale physiologischer Natur konnte bewiesen werden, daß sie Anpassungscharaktere an den Jahreszeitenzyklus darstellen, und somit zum erstenmal auch das Problem der Anpassung auf eine genetische Basis gestellt werden. Im Gegensatz zu den physiologischen Anpassungseigenschaften erwiesen sich die typischen äußeren Merkmale (Farbe) als wenig bedeutungsvoll für das Problem der Rassenbildung. Die Fülle der Einzelheiten der Analyse brachte aber keinen Anhaltspunkt dafür, daß die geographischen Rassen typische Vorstufen der Artbildung seien, wenn sie dazu auch im Spezialfall (z. B. Zerfall eines Areals in Inseln) werden können. Sie stellen vielmehr genetische, durch Einwanderung präadaptierter Varianten in ein neues Habitat entstandene Anpassungsformen an lokale Bedingungen innerhalb der Gesamtart dar. Eine vollständige theoretische Auswertung der Ergebnisse in einer zusammenfassenden Monographie steht noch aus, dagegen ist das Tatsachenmaterial vollständig veröffentlicht.

### 3.

Schon frühzeitig zeigten die Untersuchungen über Intersexualität, daß die Analyse dieses absonderlichen Phänomens dazu führen konnte, das

größte Problem der Vererbungslehre anzugreifen: wie kontrolliert die Erbmasse das Entwicklungsgeschehen zur Hervorbringung des artspezifischen Resultats? Es winkte die Möglichkeit, das zu begründen, was man seitdem auch physiologische Genetik genannt hat. Der entscheidende Schritt wurde getan, als es vor fast 20 Jahren klar wurde, daß für die Erzeugung der Intersexualität maßgebend war eine Beziehung zwischen bestimmten quantitativen Zuständen der zugrunde liegenden Gene und den Geschwindigkeiten von Reaktionsketten, die bei Erreichung eines bestimmten Schwellenwertes ihrer Reaktionsprodukte einen embryonalen Determinationsvorgang bedingen. Es wurde sogleich die Frage aufgeworfen, ob nicht alle Gene ihre Wirkung ausüben durch Kontrolle der Geschwindigkeiten von Reaktionsketten, deren Endprodukte Determinationsstoffe darstellen. Die Berechtigung dieser Verallgemeinerung zeigte sich bald, als für die sogenannten multiplen Allele (d. h. verschiedene Zustände [Quantitäten?] des gleichen Gens, die die gleiche Eigenschaft quantitativ verschieden beeinflussen), experimentell gezeigt werden konnte, daß ihren verschiedenen Stufen tatsächliche Reaktionen von verschiedener Geschwindigkeit zugeordnet sind. Bei diesen Versuchen wurde übrigens auch die erste genetische Analyse eines Falles echt plasmatischen Einflusses auf die Wirkung mendelnder Gene ausgeführt. Dies war der Ausgangspunkt für die zunächst theoretische Durcharbeitung des Gegenstandes, deren erster kürzerer Darstellung (1920) später eine vollständig ausgearbeitete Vererbungstheorie folgte, die als Theorie der abgestimmten Reaktionsgeschwindigkeiten oder als physiologische Theorie der Vererbung eingeführt wurde. Sie versuchte, in der Annäherung, die das vorhandene Material erlaubte, das Zusammenspiel der Erbmasse mit dem entwicklungsmechanischen Substrat zum Zweck des zeitlich und räumlich geordneten Ablaufs der Entwicklungsvorgänge dynamisch zu begreifen und so einerseits eine Brücke zwischen Vererbungslehre und Entwicklungsphysiologie zu schlagen, andererseits die Vererbungstheorie von der klassischen statischen Vorstellung des reinen Mendelismus zu einer dynamischen Stufe mit physiologischer Basis zu erheben. Die seitherige Entwicklung hat den Grundgedanken recht gegeben, und es wird heute überall in diesem Sinn weitergearbeitet.

Schon bei Beginn der theoretischen Arbeiten wurde nach weiterem Experimentalmaterial Umschau gehalten. Als günstiges Objekt erschien der Vorgang der Musterbildung, da letzten Endes jede Entwicklung die Bildung eines Musters darstellt, und es wurde als typisches Modell hierfür das Muster der Flügelzeichnung der Schmetterlinge ausgesucht, weil dieses sowohl die genetische wie die entwicklungsphysiologische Analyse erlaubt und durch zweidimensionale Anordnung erleichtert. Bereits die ersten 1917 ausgeführten Versuche zeigten, daß auch bei dieser Musterbildung Differenzierungsgeschwindigkeiten ausschlaggebend beteiligt sind, ja, es gelang sogar in einem Falle ein ererbtes Muster experimentell zu verschieben. Die Versuche wurden dann von dem damaligen Assistenten F. SÜFFERT (jetzt Freiburg i. Br.) in neue Richtungen weitergeführt und vor allem mit der Schaffung der notwendigen morphologischen Vorarbeiten

begonnen. Sie wurden aber in der Abteilung dann nicht weiter verfolgt, bis 1933 K. HENKE in die Abteilung eintrat, der inzwischen in der KÜHNSCHEN Schule sich schon intensiv auf diesem Gebiet betätigt hatte und nunmehr seine Untersuchungen über die Musterbildung des Schmetterlingsflügels erfolgreich weiterführt, und zwar genetisch, morphologisch und entwicklungsphysiologisch (unter Mitarbeit von E. VON GIERKE).

Auf einem anderen Gebiet waren vor einiger Zeit experimentelle Untersuchungen zur Prüfung bestimmter Teile der physiologischen Theorie von dem damaligen Assistenten C. STERN (jetzt Professor in Rochester N. Y.) vorgenommen worden, der mittels der eleganten Methoden der Drosophila-forschung die Wirkung verschiedener Genquantitäten auf die Ausprägung eines Merkmals studierte. Nach Abschluß der anderen Arbeiten hat sich der Abteilungsleiter und mit ihm die Assistenten G. GOTTSCHESKI und E. HÖNER wie auch zeitweilig als Mitarbeiter L. CSIK (Tihany) wieder diesem bedeutungsvollen Forschungsgebiet zugewandt, und die schon vorliegenden ersten Resultate eröffnen weite Ausblicke und deuten in neue bemerkenswerte Richtungen der Erbforschung.

#### 4.

Mit der Entwicklung der Vererbungsforschung der letzten Jahrzehnte ging Hand in Hand die Entwicklung der Zytologie, speziell der Chromosomenforschung. Wenn auch dieser Forschungszweig nicht im Vordergrund der Abteilungsarbeiten stand, so wurden doch ständig auch zu diesem Gebiet Beiträge geliefert, darunter so wichtige wie die Arbeiten des früheren Assistenten I. SEILER (jetzt Professor in Zürich) zum Nachweis der der Theorie entsprechenden Verhältnisse der Geschlechtschromosomen bei weiblicher Digametie. Selbstverständlich wurden auch bei den *Lymantria*-arbeiten die Chromosomenverhältnisse mitgeklärt, und ebenso wurde bei den erwähnten Untersuchungen über den Gynandromorphismus von *Bombyx mori* die zytologische Grundlage des Phänomens klagestellt. Interessante Untersuchungen an den Chromosomen von Speziesbastarden von *Bombyx mori* stellte K. KAWAGUCHI (jetzt Professor in Sapporo) an, und K. PARISER klärte die Subtriploidie der Chromosomen bei Speziesbastardrückkreuzungen in der Gattung *Saturnia* auf. Bei gelegentlichen Ausflügen in Nachbargebiete konnte der Abteilungsleiter zeigen, daß bei parthenogenetischen Fröschen die Chromosomenanzahl aufreguliert wird und ebenso bei fakultativ parthenogenetischen *Lymantria*. Ferner konnten die merkwürdigen Chromosomenverhältnisse bei Krebsgeschwülsten gemeinsam mit A. FISCHER (jetzt Kopenhagen) bearbeitet werden, gefolgt von einer Untersuchung von C. ANDRES (Moskau) über die Chromosomen beim menschlichen Krebs. F. KRALLINGER (jetzt Breslau) bearbeitete die Chromosomen der Säugetiere. Eine Reihe weiterer Chromosomenstudien an verschiedenen Objekten sind in jüngster Zeit von O. MINOUCHI und B. SHIBATA ausgeführt worden und haben interessante Ergebnisse gezeitigt. Die bekannte Zytologin B. McCLINTOCK (Ithaka) arbeitete als Gast der Abteilung über Chromosomen von *Zea Mays*.

In diesem Zusammenhang sollte auch ein kurzer Ausflug in das Gebiet der Gewebezüchtung erwähnt werden, bei dem es zum erstenmal gelang, die Methode auf Wirbellose auszudehnen und die ganze Spermatogenese *in vitro* zu verfolgen. Einige dabei ausgeführte Experimente konnten auch Licht auf die merkwürdige Erscheinung der chromatinarmen bzw. -freien Spermien der Insekten und Mollusken werfen.

## 5.

Ein großer Teil der Vererbungsforscher, besonders Amerikas, beschäftigte sich in den letzten Jahrzehnten mit dem Ausbau der Chromosomenlehre der Vererbung durch Analyse der Lage der Gene in den Chromosomen und der damit zusammenhängenden Phänomene, Versuche, die hauptsächlich an der Fliege *Drosophila* ausgeführt wurden und zur restlosen Klärung des Mechanismus der Vererbung führten. Schon früh hatte der damalige Assistent G. JUST (jetzt Professor in Greifswald) einen Beitrag zur Zahlenkritik der Grundversuche des Faktorenaustauschs ausgeführt. In den Jahren 1926—33 konnte dann die Abteilung wesentliche Beiträge zu diesem Arbeitsgebiet liefern in den bekannten Arbeiten des damaligen Assistenten C. STERN (jetzt Professor in Rochester N. Y.), der durch eine Reihe wichtiger Entdeckungen schnell in die vorderste Linie der Vererbungsforscher rückte. Seine Arbeiten beziehen sich auf das Gesamtgebiet der *Drosophila*-forschung, Mutation, Faktorenaustausch, Translokation, Theorie des Faktorenaustausches, zu denen allen zahlreiche wichtige Beiträge geliefert wurden. Eine Reihe monographischer Darstellungen von Teilgebieten der Vererbungslehre gehören ebenfalls zu den Früchten dieser Arbeiten. Besonders bekannt ist sein eleganter Beweis für die Identität von Faktorenaustausch und Chromosomensegmentaustausch mittels Experiment und zytologischer Kontrolle. Als Mitarbeiter waren zeitweise S. OGURA (Tokyo), A. BURKART (Buenos Aires), L. CSIK (Tihany), U. PHILLIP (London), T. H. SHEN (Kanton), J. AGOL (Moskau) beteiligt. Der Abteilungsleiter selbst ist auf diesem Arbeitsgebiet nur mit der Entdeckung der Erzeugung von Mutanten durch Einwirkung von Hitze während einer sensibeln Periode hervorgetreten und durch einige kritisch-theoretische Arbeiten.

## 6.

Aus der Vielseitigkeit der Methodik, die bei der Durchführung der erwähnten Hauptarbeiten angewandt werden mußte, ergab es sich, daß innerhalb der eigentlichen Vererbungsarbeiten eine Fülle von Nebenuntersuchungen ausgeführt werden mußten, die interessantes Material auf anderen Gebieten der Biologie zutage förderten, das vielfach in den Hauptarbeiten sich versteckt findet. Es seien nur erwähnt innerhalb der Intersexualitätsuntersuchungen die Untersuchungen über die Entwicklung der Gonaden, Antennen und Kopulationsapparate der Schmetterlinge, über die Bedeutung der VERNONschen Zellen, über Homologien; bei den Arbeiten über geographische Variation Untersuchungen über die Physiologie der Überwinterung, über Unterschiede im Wachstum und den Häutungen beider Geschlechter, über die Entwicklung der rassenbedingten Größe,

über Beziehungen von Chromatinmenge zum Wachstum, über das Größtenwachstum der Gonaden und manches andere. Als weitere Gäste der Abteilung, die länger oder kürzer an den verschiedenartigsten, nicht direkt mit den Hauptarbeiten zusammenhängenden Problemen arbeiteten, seien in diesem Zusammenhang genannt die Professoren Y. TANAKA (Fukuoka), K. TAKECHI (Tokyo), L. C. DUNN (New York), M. SAKURAI (Kyoto), A. WLADIMIRSKY (Leningrad), S. INOMATA (Tottori), T. KUGOTA (Morioka), H. B. GOODRICH (Middeltown), K. SEKIGUCHI (Kagoshima), T. UCHIDA (Sapporo), G. KOLLER (Shanghai), L. GIANFERRARI (Mailand) sowie M. L. ROONWAL (Indien), G. STROESCU (Bukarest).

## 7.

Ein ganz andersartiges Arbeitsgebiet im Rahmen der Abteilung pflegt seit 1927 M. HERTZ. Ihre Arbeiten beschäftigen sich mit den optischen Wahrnehmungen der Tiere, insbesondere mit der Formunterscheidung. Ihre Versuche mit Vögeln (Eichelhähern) waren insofern methodisch neu, als hier zum erstenmal versucht wurde, Aufschluß über die optischen Leistungen der Versuchstiere zu bekommen, ohne zu dressieren. Die Methode bestand darin, den Häher für einen Gegenstand (Kappe über Futter) zu interessieren, der sich nur durch seine besondere, von Versuch zu Versuch wechselnde Lage innerhalb einer Konfiguration von identischen Gegenständen auszeichnete. Die Versuche brachten den Nachweis einer primären figuralen Gliederung des Gesichtsfeldes. Als weitere primäre optische Leistungen ergab sich die Unterscheidung von Konkav- und Konkavformen und die von bunten und farblosen Gegenständen. Andere Versuche, die damals methodisch neu waren, behandeln die Frage, inwieweit und in welcher Richtung die Eigenschaften von positiven und negativen Dressurobjekten abgewandelt werden können, ohne das Lernergebnis wesentlich zu stören. Da nach diesen Untersuchungen die Rabenvögel in ihren optischen Funktionen nicht hinter den Anthropoiden zurückstehen, ging M. HERTZ in der Absicht, primitivere Verhältnisse aufzusuchen, zu Versuchen an Bienen über. Versuche mit flächenhaften Schwarz-Weiß-Mustern und Schattenkonfigurationen ergaben auch hier eine primäre Gliederung des Gesichtsfeldes mit starker Auszeichnung optisch gegliederter und kräftig abgehobener Bereiche, die zu der Folgerung einer blütenökologisch bevorzugten Stellung reich gegliederter Blütenkronen führten. Da die figurale Gliederung eines optischen Bereichs einerseits von dem Ausmaß der dort auftretenden Kontur, andererseits von ihrer Verteilung abhängt, wurde versucht, diese beiden Faktoren gegeneinander auszuspielen mit dem Ergebnis, daß der höhere Konturreichtum sich nur so lange als ausschlaggebend für die Reaktionen der Bienen erwies, als er nicht durch eine günstigere Verteilung der Kontur kompensiert wurde. Unter bestimmten Bedingungen kann die konträrmerer Figur eines Paares die den Beflug bei weitem stärker richtende sein. Daß nicht ein einfacher quantitativer Faktor das unterscheidende Verhalten bestimmt, läßt sich an der Durchführbarkeit reziproker Dressuren nachweisen, in denen einmal der Konturreichtum, das andere Mal die Konturverteilung den Ausschlag

gibt. Danach kann an einer qualitativen Formunterscheidung bei der Biene nicht gezweifelt werden, wenn auch die gedächtnismäßige Bindung an bestimmte Formen ungeheuer viel geringer ist als bei den höheren Tieren und die Fähigkeit, figurale Unterscheidungen zu vollziehen, an sich sehr eingeschränkt ist. Versuche an Fliegen, deren optomotorische Reaktionen im Drehzylinder sich ebenfalls in hohem Maße nicht nur von dem Ausmaß der bewegten Kontur, sondern ebenso sehr von der Konturverteilung abhängig zeigten, sind geeignet, diese Ergebnisse zu stützen. Bei einem Aufenthalt in Palma hat M. HERTZ Versuche über die taktil kinästhetischen Unterscheidungen und das Gedächtnis von Einsiedlerkrebse ausgeführt, deren Ergebnis sich gleichfalls in einen grundsätzlichen Zusammenhang mit den Ergebnissen der optischen Versuche bringen läßt. Unter der Leitung von M. HERTZ arbeitete J. SEGALL über die Lichtreaktionen beim Regenwurm und M. GAFFRON über das Bewegungssehen von Wirbellosen und Fischen.

## 8.

Prof. Dr. T. PÉTERFI, seit 1. November 1921 ständiger Gast der Abteilung, hat sich während seiner Tätigkeit mit Fragen der allgemeinen Zellenlehre experimentell beschäftigt. Zu diesem Zweck hat er eine Methodik ausgearbeitet, mit deren Hilfe man an den Zellen operieren kann. So ist der Mikromanipulator der Firma C. Zeiß endgültig fertiggestellt und mit seinen Nebenapparaten (feuchte Kammer, elektrisch-heizbare Pipette, Mikroauter usw.) ausgerüstet worden. Diese Methodik wurde im Laufe der Jahre in den verschiedensten Richtungen der mikroskopischen Wissenschaften angewandt, vornehmlich in der Histophysiologie, physikalischen Chemie und Bakteriologie.

Für histophysiologische Zwecke war es notwendig, an Gewebekulturen zu arbeiten, und so wurde in Zusammenarbeit mit A. FISCHER das Verfahren ausgearbeitet, mit welchem man an Gewebekulturen operieren kann (heizbare feuchte Kammer, besondere Kulturgefäße und optische Vorrichtungen).

Für physikalisch-chemische Zwecke wurde in Zusammenarbeit mit G. ERTSCH ein Verfahren ausgearbeitet, um elektrostatische Potentiale an Zellen und Geweben messen zu können (Mikroelektroden zu Meßzwecken, Verwendung des Mikromanipulators mit Elektrometern). Ferner wurde mit A. SZEGVÁRI eine Methode geschaffen, mit der man an den ultramikroskopischen Strukturen der Kolloide Versuche anstellen konnte.

Für bakteriologische Zwecke wurde mit L. WAMOSCHER die Technik ausgearbeitet, welche gestattet, bei Dunkelfeldbeleuchtung einzelne Bakterien zu isolieren, an ihnen Operationen auszuführen, sie einzeln zu kultivieren oder Impfversuche mit ihnen durchzuführen.

Der mannigfaltigen Anwendbarkeit dieser Verfahren entsprechend hat eine große Anzahl von Anatomen, Zoologen, Botanikern, Physiologen, Pathologen, Bakteriologen und Physiko-Chemikern das Laboratorium aufgesucht (ungefähr 200), um eine Einführung in die Methodik zu erhalten und sie dann auf eine wissenschaftliche Frage anzuwenden.

Auf physikalisch-chemischem Gebiet wurde mit M. SCHMIDTMANN die Wasserstoffionkonzentration in verschiedenen Geweben bestimmt. Mit G. ETTISCH wurden elektrostatische Potentiale in Amöben und Pflanzenzellen gemessen.

Auf histiophysiologischem Gebiet wurde die Struktur und Funktion der einzelnen Muskelfasern untersucht, mit M. SCHMIDTMANN, R. BERGMAN, C. G. HERINGA, M. IWANOFF, M. SUZUKI und F. BUCHTHAL. Die allgemeine Reaktion der Zellen auf mechanische Einwirkungen (Wirkung des Plasmastiches und des Kernstiches) wurde festgestellt in Zusammenarbeit mit O. OLIVO, O. KAPEL, A. NAVILLE, I. YAMAHA und H. KOJIMA. Die Wirkung der elektrischen Reizung auf verschiedene lebende Gewebe wurde mit einer dafür ausgearbeiteten Technik (Reiz-Mikroelektroden) untersucht, mit O. KAPEL, ST. C. WILLIAMS, I. YAMAHA (Pflanzenzellen), A. L. COCHRANE (Amöben) und H. MORTIMER (Amöben). Die Wirkung mechanischer Eingriffe auf die Zilien und Flagellen war der Gegenstand von Untersuchungen mit A. W. WOERDEMAN und MOSCHKOWSKI.

Auf bakteriologischem Gebiet wurden Ein-Zellkulturen angelegt und beobachtet mit L. WAMOSCHER, M. BERGONZINI, A. RUTSCHKO, FR. HODER, F. SÜLMANN, A. TIZZANO, G. BAUMGARTEN und VANDERWALLE.

Bei all diesen und ähnlichen Arbeiten war das Grundproblem, dessen Klärung angestrebt wurde, der Zusammenhang zwischen der physikalisch-chemischen Beschaffenheit der lebenden Zellsubstanz und der mikroskopisch sichtbaren Organisation der Zelle. Angeregt durch die Forschungsergebnisse von H. FREUNDLICH und seinen Mitarbeiter wurde eine umkehrbare Zustandsänderung, eine auf rein mechanische, elektrische oder thermische Einflüsse auslösbare Sol-Gelumwandlung, die Thixotropie, als eine spezifische kolloide Eigenschaft des Protoplasma festgestellt. Ihre Erscheinungsformen wurden verfolgt und beschrieben bei der mechanischen Schädigung der Zellen, bei der Befruchtung von Seeigeleiern und bei der elektrischen Reizung. Die letztere Frage, nämlich inwiefern die Reizung sichtbare Strukturen in den Zellen im allgemeinen und im Nervengewebe im speziellen zu beeinflussen vermag — ob im Nervengewebe organisierte leitende Elemente (Neurofibrillen) vorhanden sind oder nicht — war der Gegenstand einer langen Reihe von Untersuchungen. Dabei ist es zum erstenmal gelungen, lebende Nervenzellen im Zusammenhang mit den Muskelfasern während der elektrischen Reizung zu beobachten und die Bildung einer ultramikroskopisch sichtbaren Fibrillenstruktur in lebenden Froschnerven durch galvanische Ströme hervorzurufen.

## 9.

Zum Schluß des Berichts über die wissenschaftliche Tätigkeit der Abteilung seit Gründung des Instituts sei schließlich dankbar der zahlreichen Universitäten, Gelehrten, Gesellschaften und Kollegen gedacht, deren Einladungen es ermöglichten, die Ergebnisse der berichteten Arbeiten den Fachgenossen in fast 20 Ländern dreier Weltteile persönlich vorzutragen.

RICH. GOLDSCHMIDT.

**Abteilung MAX HARTMANN (seit 1914).**

In der Abteilung wurden drei Hauptgruppen von biologischen Problemen bearbeitet: 1. Fragen der Physiologie der Fortpflanzung, Befruchtung und Sexualität von pflanzlichen und tierischen Protisten sowie niederen wirbellosen Tieren, 2. die zytologischen Grundlagen der Fortpflanzungs- und Befruchtungsvorgänge, 3. Fragen der Vererbung und Artbildung sowie damit zusammenhängende entwicklungsphysiologische Probleme bei Protisten und niederen Tieren.

**1.**

Die grundlegende Vorbedingung für die experimentelle Prüfung fortpflanzungsphysiologischer Fragen bei Protisten war die Ausarbeitung exakter Kulturmethoden. Das wurde zunächst für Protisten mit pflanzlichem Stoffwechsel durchgeführt, die in synthetischen Nährlösungen kultiviert werden konnten, und weiterhin auch für tierische Protisten durch Verwendung von pflanzlichen Protisten als Futter. Mittels dieser Methoden konnte die seit WEISMANN so viel diskutierte und bearbeitete Frage der sog. potentiellen Unsterblichkeit der Einzelligen, d. h. die Frage, ob einzellige Lebewesen sich nur durch Wachstum und Zellteilung, also rein ungeschlechtlich unter Ausschaltung von Befruchtungsvorgängen dauernd am Leben erhalten lassen, exakt gelöst werden. Zunächst ließ sich *Eudorina*, ein pflanzlicher Protist, unter gleichen Außenbedingungen (in künstlicher Nährlösung, künstlicher Sonne) bis heute über 8000 Generationen ohne Befruchtung züchten. Prinzipiell das gleiche ließ sich für tierische Protisten feststellen, so von BELAR für die Sonnentierchen *Actinophrys* und *Actinosphaerium*, von JOLLOS und später von WEYER und von RÜHEKORF für Infusorien. Auch für wirbellose Tiere mit ungeschlechtlicher Fortpflanzung gelten die gleichen Ergebnisse, wie HÄMMERLING und HARTMANN für Würmer, J. GROSS für Hydren nachweisen konnten. Für Diatomeen hat dagegen GEITLER zeigen können, daß normalerweise fortgesetzte Teilung bei Ausschalten der Sexualität zum Absterben der Kulturen führt, weil mit jeder Teilung ein Kleinerwerden der Schale und der Zelle verbunden ist, so daß schließlich die Zellen zu klein werden, um leben zu können. Nur Arten, bei denen im Zusammenhang mit der Zellteilung eine Regulation der Schalengröße erfolgt, sind auch bei dieser Organismengruppe potentiell unsterblich.

Das Todproblem war jedoch hierdurch nicht gelöst, denn die potentielle Unsterblichkeit gilt ja nur für Zellgenerationen, nicht für Zellindividuen. Vergleichende Beobachtungen an Einzelligen ließen vermuten, daß auch bei den Einzellern mit dem Wachstum ein Altern verbunden sei und Tod und Fortpflanzung gewissermaßen zusammenfallen. Dafür sprachen auch experimentelle Ergebnisse, durch die gezeigt werden konnte, daß unter gewissen Bedingungen das Wachstum über das normale Teilungswachstum hinaus gesteigert werden kann und Riesenzellen von vierfacher Größe sich züchten lassen, die jedoch plötzlich alle zugrunde gehen. Wenn das übermäßige Wachstum über die normale Größe hinaus, also ein Altern die Ursache des Individualtodes dieser Einzeller sein sollte, dann mußte

sich ein dauerndes Leben eines einzelligen Individuums erzielen lassen, wenn man dafür sorgte, daß das Wachstum nicht das normale Teilungswachstum überschreitet. Durch dauernde tägliche Amputation eines Teiles des Zelleibes von Amöben konnte diese Voraussetzung bestätigt werden und so experimentell potentiell unsterbliche Zellindividuen erzeugt werden. Noch auf einem anderen Wege, nämlich dem der Herbeiführung eines Gleichgewichtes zwischen Assimilation und Dissimilation durch Abstimmung der Beleuchtung, ließ sich für einen pflanzlichen Protisten (*Eudorina*) die individuelle potentielle Unsterblichkeit erzielen (STERN).

Durch den Nachweis der potentiellen Unsterblichkeit der Einzelligen im Sinne WEISMANNs war gezeigt, daß die Befruchtung und Sexualität für das dauernde Leben dieser Organismen nicht notwendig ist; die bis dahin sich großer Beliebtheit erfreuende Verjüngungstheorie der Befruchtung konnte somit nicht zutreffen. Da die Amphymixislehre WEISMANNs überhaupt keine Befruchtungs-, sondern eine Vererbungstheorie darstellt, so blieb nur eine Sexualitätstheorie der Befruchtung übrig. Die weiteren Bemühungen galten daher dem Nachweis einer allgemeinen Gültigkeit einer bipolaren Zweigeschlechtlichkeit bei allen Befruchtungsvorgängen niederer Organismen, auch solchen, die isogam sind, d. h. bei denen die Geschlechtszellen oder Gameten äußerlich gleich sind. Dieser Nachweis konnte im Laufe der Jahre für immer weitere Gruppen von Organismen erbracht werden, und schließlich gelang es, durch die Aufzeigung zweier verschiedener geschlechtsspezifischer Stoffe auch bei isogamen Formen diese bipolare Zweigeschlechtlichkeit vollkommen sicherzustellen (Versuche von HARTMANN, JOLLOS, HÄMMERLING, MOEWUS). Die Grundvoraussetzung für die Gültigkeit einer allgemeinen Sexualitätstheorie der Befruchtung und zugleich einer allgemeinen Theorie der Sexualität überhaupt war damit gegeben.

Vergleichende Beobachtungen der Sexualitätsverhältnisse der niederen Organismen hatten sehr früh zu der Auffassung geführt, daß jedem Organismus und jeder Zelle eine bisexuelle Potenz zukommt und daß der bipolare Geschlechtsunterschied zwischen männlich und weiblich nicht ein absoluter, sondern ein relativer sein müsse. Alle Bemühungen, diese Auffassung experimentell sicherzustellen, schlugen zunächst fehl, wenn auch gewisse Anzeichen immer wieder in diesen Versuchen zugunsten der Auffassung sprachen. Erst 1925 gelang dann der Nachweis der relativen Sexualität bei der marinen Braunalge *Ectocarpus siliculosus*, in dem hier quantitative Unterschiede in der Stärke von männlichen und weiblichen Geschlechtszellen und die ausnahmsweise Befruchtung von schwachen und starken Geschlechtszellen desselben Geschlechtes festgestellt werden konnte.

Die Sexualitätsuntersuchungen wurden dann in großem Maßstabe auch auf andere marine Algen ausgedehnt und dabei die weite Verbreitung erblicher Getrenntgeschlechtlichkeit auch bei isogamen Algen festgestellt, daneben aber auch das Vorkommen nichterblicher Getrenntgeschlechtlichkeit sowie von Gemischtgeschlechtlichkeit. Grundlegend war für die Erzielung dieser Ergebnisse die Ausarbeitung einer Kulturmethode für marine Algen von FÖYN. Die Untersuchungen brachten als Nebenresultat die Auf-

findung eines Generationswechsels bei verschiedenen marinen Algengruppen (HARTMANN u. FÖYN). Alle diese vielfältigen neuen Erfahrungen konnten in Weiterführung des theoretischen Ausgangspunktes, der relativen Sexualität, und unter Berücksichtigung der anderweitig bekannt gewordenen Sexualverhältnisse von Protisten, Algen und Pilzen zu einer allgemeinen Theorie der Sexualität zusammengefaßt werden, die in voller Übereinstimmung stand mit den Vorstellungen, die CORRENS aus seinen Versuchen über die Sexualität bei höheren Pflanzen abgeleitet hat. Nachdem es dem Mitarbeiter MOEWUS endlich gelungen war, Bastardierungen bei Einzelligen und Algen durchzuführen, konnten von ihm die theoretischen Vorstellungen in ausgedehnten Vererbungsversuchen sichergestellt werden. Besonders ließ sich hierbei auch der exakte Nachweis einer quantitativ verschieden starken Wirkung der Geschlechtsfaktoren bei verschiedenen Rassen erbringen, die GOLDSCHMIDT schon aus ganz anderen Versuchen am Schwammspinner erschlossen hatte. Auch die genaue Lokalisation dieser Sexualfaktoren in dem bestimmten Chromosom ließ sich nun mit Hilfe von Faktorenaustausch nachweisen. Die Prinzipien der Sexualität, zu denen GOLDSCHMIDT durch seine Versuche an höheren Tieren geführt worden ist, gelten somit ganz allgemein, nur muß man die spezielle GOLDSCHMIDTSche Formulierung als einen Sonderfall dieser allgemeinen Prinzipien ansehen. An diesen Sexualitätsuntersuchungen an Algen, Pilzen und niederen wirbellosen Tieren sind außer den schon genannten Herren JOLLOS, FÖYN, HÄMMERLING und MOEWUS noch die Herren HUTH (Würmer) und HÜTTIG (Pilze) sowie Fräulein ROSENBERG und Fräulein LERCHE (Algen) beteiligt.

Im Zusammenhang mit den experimentellen Untersuchungen über die sog. potentielle Unsterblichkeit waren noch erfolgreiche Versuche durchgeführt worden, nicht nur die sexuelle Fortpflanzung auszuschalten, sondern umgekehrt auch jederzeit dieselbe auszulösen, wie das KLEBS schon für Algen angegeben hatte. Auch dies konnte nicht nur für Algen, sondern auch für tierische Protisten erreicht werden, so von BELAR für *Actinophrys*, *Actinosphaerium* und Myxomyceten. Der Generationswechsel erwies sich also überall als von Außenbedingungen abhängig, nicht innerlich bedingt, wie man meist angenommen hatte. Durch die Anwendung der exakten Kulturmethoden auf wirbellose Süßwassertiere (Fütterung mit pflanzlichen Flagellaten in synthetischer Nährlösung) konnte LUNTZ die Abhängigkeit des Generationswechsels von Außenbedingungen für Rotatorien, MORTIMER für Kladozeren nachweisen und die Widersprüche in den vielen früheren Versuchen aufklären.

## 2.

Die schon vor Errichtung des Institutes unternommenen Versuche des Abteilungsleiters, in die verwirrende Mannigfaltigkeit der Kernteilungsvorgänge der Protisten Ordnung und Gesetzmäßigkeit zu bringen, wurden auch im neuen Institut fortgesetzt, wenn auch zunächst neben den experimentellen Arbeiten in vermindertem Maße. Die zytologischen Untersuchungen beschränkten sich meist nur auf die Formen, die zu den fortpflanzungsphysiologischen Versuchen dienten, und zu deren richtiger

Beurteilung die Kenntnis der Vorgänge des Kernwechsels notwendig war. Nach dem Eintritt von Herrn BELAR in das Institut (1919) übernahm dieser die Bearbeitung zytologischer Fragen fast ausschließlich. Unter Ausdehnung der Untersuchungen auf alle Gruppen der Protisten und später auch auf die verschiedensten Tiere und Pflanzen, suchte er vor allem über die bisher bei den Einzelligen vernachlässigten generativen Kernbestandteile, die Chromosomen, nähere Aufschlüsse zu erhalten und es gelang ihm, bei dem Sontentierchen *Actinophrys* der Nachweis der völligen Übereinstimmung der feinen Vorgänge an den Chromosomen bei den Reduktionsteilungen mit den Verhältnissen, wie sie für die höheren Tiere und Pflanzen bereits bekannt waren. Das gesamte in der Literatur vorliegende Beobachtungsmaterial faßte er sodann in kritischer Weise einheitlich zusammen, wobei er viele der strittigen Punkte durch eigene Untersuchungen geklärt hat. Bei der immer größer werdenden Bedeutung der Chromosomen für die Vererbungsfragen wurden seine Untersuchungen immer mehr auf Metazoen und Pflanzen ausgedehnt und er schuf dann in einem zusammenfassenden Werk über die zytologischen Grundlagen der Vererbung die beste und kritischste Darstellung dieses Forschungszweiges. Schließlich gelang ihm durch Anwendung sehr einfacher experimenteller Eingriffe auch das schwierige Problem des Mechanismus der Kernteilung einer neuen Lösung entgegenzuführen. Neuerdings hat auch Herr F. GROSS im Institut einen wichtigen Beitrag dazu gebracht.

Die durch den frühzeitigen Tod von BELAR zunächst etwas unterbrochenen zytologischen Untersuchungen wurden in den letzten Jahren im Institut wieder neu aufgenommen durch die Herren FÖYN (Algen), HUTH (Würmer) und vor allen Dingen BAUER, zu denen neuerdings noch Herr PÄTAU und Herr MORTIMER hinzukamen. Die Untersuchungen über die Speicheldrüsenkerne der Dipteren von HEITZ und BAUER haben den Ausgang gebildet für die neuen wichtigen Untersuchungen auf diesem Gebiet, auf dem besonders durch Untersuchungen des Amerikaners PAINTER die Identifizierung einzelner Erbanlagen mit bestimmten Strukturen der Chromosomen gelungen ist. Die neuesten Arbeiten von BAUER brachten dabei an für die Untersuchung besonders günstigen anderen Dipteren die volle Aufklärung der Feinstruktur dieser Chromosomen. — Auch alle tierischen und pflanzlichen Organismen, an denen Versuche über die Physiologie der Fortpflanzung und Sexualität ausgeführt wurden, wurden stets auch zytologisch untersucht (HARTMANN, FÖYN, MOEWUS, ROSENBERG, LERCHE [verschiedene Algen], GEITLER [Diatomeen], HÜTTIG [Pilze], GROSS [*Artemia*], BAUER [Ostrakoden], HUTH [Würmer], PÄTAU [Milben], MORTIMER [Kladozere]).

### 3.

Seit Eröffnung des Instituts hat Herr JOLLOS seine schon Jahre vorher begonnenen Untersuchungen über die Variabilität und Vererbung einzelliger Organismen und besonders von Infusorien in größerem Umfang weitergeführt. Der schon früher von ihm aufgestellte Typ einer Veränderlichkeit in reinen Linien (neben den erblichen Mutationen und den nichterblichen Modifikationen), der von ihm als Dauermodifikation be-

zeichnet wurde, konnte durch ausgedehnte Versuche, die sich über viele Jahre erstreckten, völlig sichergestellt und auf andere Protisten, wie Actinophrys usw. und wirbellose Tiere ausgedehnt werden. Die in seinen Dauermodifikationen erzielten gerichteten, sich steigernden Veränderungen, die dann im Plasma festgehalten werden und so eine echte Vererbung vor-täuschen können, brachten ihn dazu, die Frage experimentell zu prüfen, ob nicht auch echte erbliche Veränderungen, Mutationen, im Laufe der Generationen gesteigert werden können. Die im Anschluß an Wärmemutationen von GOLDSCHMIDT an *Drosophila* durchgeführten Versuche konnten in der Tat den Nachweis solcher gerichteter Mutationen erbringen. Auch ergaben dieselben merkwürdige Parallelen zu den normalen nicht-erblichen Modifikationen. Durch solche Versuche ergibt sich die Möglichkeit, durch experimentelle Methoden das Artbildungsproblem anpacken zu können, und schon heute lassen die gewonnenen Ergebnisse anerkennen, daß die bisher so vielfach hervorgehobenen Widersprüche zwischen den Ergebnissen der modernen Vererbungsforschung und den Erfahrungen der Pflanzen- und Tiergeographen sowie der Paläontologen in Wirklichkeit nicht bestehen, sondern nur durch eine falsche lamareckistische Deutung der Erfahrungen der letzteren vorgetäuscht werden.

Der Abteilungsleiter hatte schon früher begonnene Versuche, durch die Prüfung von Bastardierung bei haploiden Organismen die Chromosomentheorie der Vererbung experimentell zu beweisen, zunächst durch Bastardierungsversuche an Bienen, deren Männchen, die Drohnen, haploid sind, durchzuführen versucht, da die Bastardierungen bei Einzelligen nicht gelangen. In der Tat konnte hier die haploide Aufspaltung nachgewiesen werden, doch wurden die Versuche, da die Bienen ein sehr ungünstiges Objekt darboten, später wieder aufgegeben. Die jahrzehntelang vergeblich versuchte Kreuzung einzelliger pflanzlicher Protisten ist erst in den letzten Jahren Herrn MOEWUS im Institut gelungen. Die Ergebnisse dieser Kreuzungsversuche an Einzellern sind außer für die Frage der haploiden Vererbung besonders für das Sexualitätsproblem besonders wichtig geworden, worauf oben schon hingewiesen worden ist. Nachdem die Kultur mariner Algen keine Schwierigkeiten mehr macht, sind jetzt Versuche im Gange, Fragen der haploiden Vererbung, vor allen Dingen aber auch Artbildungsprobleme auf vererbungswissenschaftlicher experimenteller Grundlage an Rotalgen zu bearbeiten.

Schon früher begonnene Versuche des Abteilungsleiters über die auffällige Abhängigkeit der Variabilität der Form des Salinenkrebsehen *Artemia salina* hat Herr F. GROSS in ausgedehntem Maße weitergeführt und dabei zugleich eine Abhängigkeit der Variabilität von der Zahl der Chromosomengarnituren (2, 4, 8) nachgewiesen. Weiter gelang ihm die experimentelle Erzeugung von sog. polyploiden Rassen mit 4 und 8 Chromosomengarnituren, die entsprechend größere Zellen und größere Maße aufwiesen.

Anläßlich der Sexualitätsversuche an marinen Algen war von HÄMMERLING bei der Schirmalge *Acetabularia* festgestellt worden, daß dieselbe dauernd nur einen großen Kern im Rhizoid besitzt, also trotz ihrer Größe keine siphonee Form mit Tausenden von Kernen darstellt. Bei der Größe

dieser einkernigen Zellen konnten leicht kernlose Plasmastücke durch Amputation erhalten werden, und die kernlosen Plasmastücke ergaben das unerwartete Resultat, daß sie nicht nur ohne Kern am Leben blieben und wuchsen, sondern auch die ganze typische Formbildung, den sog. Hut, vollbrachten, da formbildende Stoffe vom Kern ins Plasma übergegangen waren. Durch die geglückte Verbindung von kernlosen Plasmastielen einer Art mit dem kernhaltigen Rhizoid einer anderen Art konnte auch das berühmte Merogonieexperiment BOVERI's zum ersten Male exakt durchgeführt werden. Solche Zellen mit dem Plasma einer Art und dem Kern einer anderen ergaben zunächst plasmagemäße Wirtel, aber schließlich, da der vom ursprünglichen Kern stammende formbildende Stoff im Plasma erschöpft war, kerngemäße Hüte, ein experimentelles Ergebnis, das Licht auf die Art der entwicklungsphysiologischen Wirkung der Erbfaktoren wirft.

M. HARTMANN.

#### Abteilung für Entwicklungsphysiologie.

HANS SPEMANN (1914—1919); OTTO MANGOLD (1923—1933).

Mit dem Ende des 19. Jahrhunderts hatte die entwicklungsgeschichtliche Forschung die Beschreibung des formalen Ablaufs der Entwicklung vom Ei bis zum ausgebildeten Tier einigermaßen abgeschlossen und ging zur experimentellen Untersuchung der Entwicklungsvorgänge über. Damit entstand unter Führung von W. ROUX und H. DRIESCH der jüngste Zweig der entwicklungsgeschichtlichen Forschung: die Entwicklungsphysiologie oder Entwicklungsmechanik. Diese sucht die Ursachen zu ermitteln, welche den Entwicklungsvorgängen zugrunde liegen. Sie fragt nicht mehr: wie läuft ein bestimmter Entwicklungsvorgang ab, sondern: was sind die Ursachen dafür, daß gerade dieser Vorgang an dieser Stelle und in diesem Stadium vor sich geht?

Die Entwicklungsmechanik arbeitet experimentell mit den verschiedensten Objekten und Stadien unter Verwendung der verschiedensten Methoden. Jedes Objekt, jedes Entwicklungsstadium und jede Fragestellung verlangt bestimmte Methoden.

Die Wahl des *Untersuchungsmaterials* ist von großem Einfluß auf den Erfolg. Den experimentellen Anforderungen entsprechen am besten die Keime unserer Frösche und Molche, an denen auch die Hauptarbeiten ausgeführt wurden. Das Arbeitsfeld der Abteilung wurde ferner durch die Untersuchung der Insektenentwicklung und durch Arbeiten über die Regeneration an Molchen erweitert. Zusammenfassende Darstellungen von MANGOLD über die Methoden der Entwicklungsmechanik und über das Determinationsproblem förderten die Arbeiten der Abteilung in methodischer und gedanklicher Hinsicht.

Der Fortschritt der experimentellen Forschung ist auch in hohem Maße an den Fortschritt der *Methoden* gebunden. Unter den Methoden der Entwicklungsmechanik sind der Defektversuch, bei dem bestimmte Teile des Keimes ausgeschaltet werden, der Isolationsversuch, bei dem bestimmte

Teile isoliert gezüchtet werden, und der Transplantationsversuch, bei dem bestimmte Teile des Keims an andere Stellen verpflanzt werden, von besonderer Bedeutung. Diese 3 Versuchsarten geben Einblick in die entwicklungsphysiologischen Leistungen der Teile des Keimes. Der wissenschaftliche Erfolg der Abteilung für Entwicklungsmechanik baut sich hauptsächlich auf der Transplantationsmethode am Amphibienkeim auf, die von SPEMANN in Würzburg und Dahlem ausgearbeitet und von SPEMANN und MANGOLD in Freiburg erweitert wurde. Sie wurde schließlich wesentlich erleichtert und durch das Isolationsexperiment ergänzt von HOLTFRETER, der zwecks Einführung der Erfahrungen der Explantationsforschung in die Abteilung zu einem Lehrgang in die Abteilung von ALB. FISCHER abgeordnet worden war.

Im folgenden seien zuerst die *Arbeiten am Amphibienkeim* skizziert, die heute das Fundament unserer entwicklungsmechanischen Kenntnisse darstellen. Dabei werden einige Arbeiten von SPEMANN und seinen Schülern, die in Freiburg ausgeführt wurden, mit einbezogen.

Ältere Arbeiten von SPEMANN u. a. hatten gezeigt, daß ein Molchkeim, mit einem Kinderhaar in zwei Hälften zerschnürt, zwei vollständige Embryonen bilden kann. Diese Feststellung schloß die Annahme aus, daß das Ei ein Mosaik unsichtbarer, aber in ihrem Schicksal bestimmter Anlagen sei (Evolutions- oder Präformationstheorie). Sie wies vielmehr darauf hin, daß der junge Keim eine verhältnismäßig einfache Organisationsstufe besitze, die eine weitgehende gegenseitige Vertretung der Teile des Eies ermögliche, und daß er erst während der Entwicklung seine Mannigfaltigkeit an Form und Differenzierung gewinne (Theorie der Epigenese).

Die systematische *Untersuchung der Organisationsstufe des jungen Keims* wurde von SPEMANN in Dahlem begonnen und zusammen mit seinen Schülern in Freiburg durchgeführt. Zwei Fragen standen dabei im Vordergrund: 1. Was ist die Gesamtheit der Entwicklungsmöglichkeiten der verschiedenen Keimbezirke (prospektive Potenz)? und 2. Wer bestimmt das Schicksal der verschiedenen Keimbezirke? Planmäßig ausgeführte Transplantationsexperimente, die später durch Isolationsexperimente ergänzt wurden, führten zum Ziel. In dem etwa  $1\frac{1}{2}$  mm großen kugeligen Amphibienei besitzen die Bezirke der oberen (animalen) Eihälfte, welche die präsumptive Epidermis und das präsumptive Gehirn und Rückenmark darstellen, einen Potenzenschatz, der weit über ihre normalen Leistungen hinausgeht. Sie können nahezu alle Gewebe und Organe liefern, wenn sie an eine entsprechende Stelle des Keims verpflanzt werden. Unklarer liegen die Potenzverhältnisse der untersten (vegetativen) Kalotte des Eies, des präsumptiven Darms. Die subäquatorialen und äquatorialen Bezirke, welche das präsumptive Mesoderm (Skelet, Muskulatur, Bindegewebe u. a.) darstellen, zeigen ein besonderes Verhalten. An eine andere Stelle des Keims verpflanzt, wandern sie wie normal ins Innere des Keimes und bilden die Organe und Gewebe, die sie auch sonst gebildet hätten. Die Teile der späteren Rückenhälfte des Embryo veranlassen außerdem das benachbarte Wirtsmaterial, sie zu einem vollständigen Achsensystem (Gehirn mit Rückenmark, Chorda dorsalis, dorsale Muskulatur u. a.) zu

ergänzen. In günstigen Fällen erhält man hier in der Implantatregion, d. h. meist auf der Bauchseite des Wirtskeims, sekundäre Embryonen, die den normalen an Ausbildung kaum nachstehen, und an deren Bildung das Transplantat materiell nur verhältnismäßig wenig beteiligt ist (SPEMANN und HILDE MANGOLD). Mit SPEMANN nennen wir solche Keimteile mit determinativen Fähigkeiten „Organisatoren“ und den Bereich des Keims, der solche Fähigkeiten besitzt, das „Organisationszentrum des Keims“. Das Schicksal der einzelnen Bezirke des Keims ist also in den ersten zwei Tagen der Entwicklung noch nicht endgültig festgelegt. Die Determination erfolgt unter dem Einfluß des besonders befähigten Organisationsbereichs, der im Amphibienkeim etwa die Hälfte der Äquatorzone einnimmt (BAUTZMANN). Organisationswirkungen sind im letzten Jahrzehnt in der Entwicklung anderer Tiere und in der Regeneration häufig nachgewiesen worden.

Nach der Entdeckung der Organisatoren wandten sich die Forschungen SPEMANNs in Freiburg und MANGOLDs in Dahlem der *Untersuchung der Organisationswirkung* am frühen Amphibienkeim zu. Als Kriterium diente stets die Bildung der Anlage eines Zentralnervensystems (Medullarplatte) durch die beeinflusste präsumptive Rumpfepidermis. Endziel war, das Mittel zu erfassen, mit dem das Organismaterial wirkt. Überraschung folgte auf Überraschung. GEINITZ in Freiburg entdeckte, daß das Mittel nicht artspezifisch ist; denn im Molchei wirkte auch Organisationsmittel vom Froschei. O. MANGOLD und SPEMANN fanden, daß es nicht organspezifisch ist, d. h. daß es nicht nur dem Organisationsbezirk zukommt, sondern daß es auch in der Medullarplatte enthalten ist, und MANGOLD fand, daß es nicht auf ein bestimmtes Entwicklungsstadium beschränkt ist, da auch funktionstüchtiges Gehirn Induktionsfähigkeit zeigte. Schließlich brachten SPEMANN, BAUTZMANN, HOLTFRETER und MANGOLD ziemlich gleichzeitig die Feststellung, daß das Induktionsmittel nicht an das Leben gebunden ist. Die Untersuchungen von HOLTFRETER über die Wirkung verschiedenartiger Gewebe auf die präsumptive Rumpfepidermis des jungen Keimes bestätigten schließlich die obigen Sätze in kaum vorauszusehender Weise. Embryonale und fertige Gewebe verschiedenster Art und verschiedenster Herkunft (Mensch bis wirbellose Tiere), lebendig oder tot, zeigten die Fähigkeit zur Induktion. Der physikalische Zustand war dabei bedeutungslos. Auch Extrakte wirkten, der Embryonalextrakt vom Hühnerembryo sogar besonders gut. Nur relativ wenig Gewebe zeigten keine Wirkung, nämlich bestimmte embryonale Keimbezirke in lebendem Zustand und alle pflanzlichen Gewebe.

Diese Untersuchungen zeigen, daß das Organisationsmittel weite Verbreitung im Organismenreich besitzt und offensichtlich ein chemischer Stoff ist. Es ist unspezifisch und nicht durch die genetische Konstitution des Keims begrenzt. Es erinnert an die „äußeren Faktoren“, die bei biologischen Vorgängen, z. B. der Geschlechtsbestimmung, der künstlichen Befruchtung u. a., oft beobachtet wurden und von auslösender Wirkung auf bestimmte Lebensprozesse sind. Fraglich, ja beinahe unwahrscheinlich ist, daß das Organisationsmittel in allen positiven Experimenten dasselbe ist.

Der Nachweis, daß große und leicht zu beschaffende Gewebe ausgebildeter Tiere wie z. B. Kalbsleber induzieren können, eröffnet die Möglichkeit, das Organisationsmittel chemisch zu analysieren. In der Dahlemer Abteilung für Entwicklungsmechanik sind entsprechende Versuche von den beiden Cambridger Gästen NEEDHAM und WADDINGTON begonnen worden. Auch bei SPEMANN in Freiburg werden von FISCHER entsprechende Experimente ausgeführt.

Der allgemeine Charakter der Determinationsmittel läßt uns ahnen, daß die Natur, wie so oft festzustellen, auch bei dem so intimen Prozeß der Determination in der Entwicklung mit einfachen Mitteln arbeitet. Die Erkenntnis des unspezifischen Charakters der Determinationsmittel verschiebt freilich den Schwerpunkt unserer Forschung, indem er zeigt, daß die Präzision der Entwicklung nicht durch die Determinationsmittel, sondern durch die Reaktionsfähigkeit des embryonalen Materials gesichert sein muß.

Die *Untersuchungen über die Reaktionsfähigkeit* des Materials lehnen sich an die oben schon erwähnten allgemeinen Potenzprüfungen der Bezirke der frühen Gastrula an, die die Determinations- und Reaktionsfähigkeit zugleich ermittelten. Besondere Beachtung finden aber nunmehr die „Reaktionspotenzen“ des embryonalen Materials, die sich durch folgende drei allgemeine Sätze charakterisieren lassen. — 1. Die Reaktionsfähigkeit ist begrenzt durch die genetische Konstitution des Materials. Ein embryonales Material kann auf bestimmte Determinationsreize nur mit Organen reagieren, die seiner erblichen Konstitution entsprechen (SPEMANN und SCHOTTÉ, MANGOLD, HOLTFRETER, ROTTMANN u. a.). Pflanzte man z. B. präsumptive Bauchepidermis eines Molchkeims in das Gesicht eines gleichaltrigen Keims vom Frosch, so entwickelt sie dort, der Situation entsprechend, Gesichtsorgane, aber nur solche ihrer eigenen Art, also Haftfäden anstatt Haftnäpfen, und umgekehrt präsumptive Bauchepidermis vom Frosch im Gesicht vom Molch Haftnäpfe anstatt Haftfäden, Hornzähne anstatt echter Zähne. — 2. Die Reaktionsfähigkeit des embryonalen Materials ist begrenzt durch das Alter des Materials; jedem Alter kommen bestimmte Entwicklungsprozesse zu (MANGOLD, HOLTFRETER). Dasselbe Material in verschiedenem Alter denselben Induktionsfaktoren ausgesetzt reagiert verschieden. So bildet z. B. präsumptive Bauchepidermis des 2 Tage alten Keims (Gastrula) ins Gesicht des 4 Tage alten (Neurula) gesetzt „regionsgemäß“ Gehirn, Augen, Nasen u. a., solche der Neurula jedoch „ortsgemäß“ Linsen, Mundbucht, Kiemen u. a. Das Material reagiert vor allem mit den Potenzen, die gerade reaktionsbereit sind. — 3. Die Reaktionsfähigkeit ist beschränkt durch die vorausgegangenen Determinationsschritte. Die obere animale Hälfte, im 2 Tage alten Molchkeim noch gleichartig in ihren Potenzen, wird während des 3. und 4. Tags der Entwicklung ungefähr je zur Hälfte zu Epidermis und zu Medullarplatte determiniert, die beide nicht mehr ausgetauscht werden können (SPEMANN). Doch besitzen sie, besonders die Epidermis, in allen ihren Bezirken noch einen ausgedehnten Potenzenschatz. Die fortschreitende Determination bewirkt eine fortschreitende Verarmung der Entwicklungsfähigkeit.

Im Zusammenhang mit den bis jetzt erwähnten Grundproblemen, der Aufklärung der Determinationsmittel und der Analyse der Reaktionsfähigkeit des Materials, fand die Frage nach der *regionalen Differenzierung* eingehende Bearbeitung. Im Verlauf der Entwicklung entstehen ja am Embryo verschiedene Bezirke wie Kopf, Rumpf und Schwanz, die selbst wieder durch den Besitz verschiedener Organe wie Augen, Nasen, Nieren, Leber usw. ausgezeichnet sind. Aufgabe war, die Ursache dieser verschiedenartigen Bildungen zu erforschen. Diese können offenbar in der verschiedenen Wirkung der Determinationsfaktoren oder in der verschiedenen Reaktionsfähigkeit der beeinflussten Materialien gegeben sein. — Die verschiedene Wirkung der Determinationsfaktoren ist von mehreren Seiten (SPEMANN, BAUTZMANN, MANGOLD, HOLTFRETER) einwandfrei nachgewiesen worden. Organisator- oder Medullarplattenstücke, die den zukünftigen vorderen Regionen des Embryo entstammen, veranlassen die präsumptive Bauchhaut, Köpfe zu bilden, und solche der hinteren Regionen bewirken Rumpfe mit Schwänzen. Unsicherer sind die Befunde hinsichtlich der Reaktionsfähigkeit der verschiedenen animalen Bezirke. Die Spezifität der Leistung der verschiedenen Organisatoren ist also gesichert. Worauf sie beruht, ist aber noch zweifelhaft. Zu denken ist an eine quantitative oder qualitative Verschiedenheit der Induktionsmittel.

Die Untersuchung der Frage, wo und in welchen Materialien die Ursachen für die Bildung der einzelnen Organe, z. B. der Augen, Haftfäden, Gehörorgane u. a. liegen, zeigt weiterhin, daß die Determinationsfaktoren nicht genau lokalisiert sind. Sie liegen vielmehr in „Determinationsfeldern“ von beträchtlicher Ausdehnung, die sich überschneiden, und die erst in ihrer Zusammenarbeit das genaue Organmosaik des ausgebildeten Organismus bestimmen (SPEMANN, MANGOLD, HOLTFRETER).

Die Determinationsfelder sind, ähnlich wie wir es von dem reagierenden Material kennen, weitgehend regulationsfähig. Dies zeigt eine besondere Gruppe von Arbeiten, die sich mit der *Ganzheit des Keims* befaßt. Planmäßige Zusammensetzungen von bestimmten Hälften 2 Tage alter Keime (SPEMANN) und ganzer Keime (MANGOLD und SEIDEL) beweisen, daß 2 ganze Organisatoren zum einfachen reguliert, halbe Organisatoren zum Ganzen ergänzt und ebenso 2 unvollständige Hälften zum Ganzen sich umstellen können. Die Regulation erfolgt hier besonders in lateraler, weniger in zephal-kaudaler Richtung. Sie ist in hohem Maße von der Form des Reaktions- und Determinationsmaterials abhängig.

Die bis jetzt geschilderten Probleme und Arbeiten betreffen den jungen Embryo. Die gegenseitige oder einseitige Beeinflussung der Teile erfolgt in diesem durch direkte Berührung. Bald werden jedoch im Embryo das Zentralnervensystem und das Blutgefäßsystem entwickelt, die neue Möglichkeiten der Beeinflussung bestimmter Körperregionen erschließen. Die Probleme der Bedeutung des Nervensystems für die Entwicklung und der inneren Sekretion treten dann auf. Von diesen beiden wurde der *Einfluß des Nervensystems auf die Entwicklung* von Organen und Geweben von HAMBURGER bearbeitet. In sehr zahlreichen Experimenten wurden an Froschlarven nervenlose Hinterextremitäten hergestellt, indem entweder

das embryonale Rückenmark, von dem die Nerven auswachsen, in der betreffenden Region entfernt oder die Nerven am Einwachsen in die Extremität durch Einschieben eines Glimmerplättchens verhindert wurden. In beiden Versuchen entstanden wohlgeformte, vollständig durchdifferenzierte Extremitäten. Sie waren nur etwas kleiner und schwächer als die normalen. Für die embryonale Entwicklung ist das Nervensystem offenbar nicht notwendig.

Für die kausalanalytische Untersuchung der *Insektenentwicklung* von FR. SEIDEL fand das Ei einer Libelle Verwendung. Dieses bildet einen länglich-ellipsoiden Körper von etwa 1 mm Länge und 0,2 mm Dicke. Seine Entwicklung ist sehr verschieden von der des Amphibieneis. Es ist nur Defektversuchen zugänglich, die durch Schnürung mit einem Kinderhaar oder mit der heißen Nadel oder mit fein lokalisiertem ultravioletter Licht durchgeführt wurden. Ein genauer Lageplan der Organanlagen wurde ermittelt. Experimentell erzeugte Zwerglarven, Doppel- und Dreifachbildungen zeigten, daß auch das Insektenei kein Mosaik festbestimmter Organanlagen darstellt, sondern noch in hohem Maße regulationsfähig ist. Diese Regulationsfähigkeit konnte durch planmäßige Abtötung von bestimmten Furchungskernen noch besonders nachgewiesen werden. Die Bildung der Keimanlage, die nur einen begrenzten Teil der Eioberfläche einnimmt, ist abhängig von einem „Bildungszentrum“ am hinteren Pol des Eis. Abschnürung oder Abtötung des Bildungszentrums hat das Ausbleiben der Keimanlage zur Folge. Seine Wirkung ist stofflicher Art, wird nach der Versorgung durch Furchungskerne tätig und schreitet von hinten nach vorn fort. Außer dem Bildungszentrum ist ein „morphologisches Differenzierungszentrum“ vorhanden. Es liegt etwa  $\frac{1}{3}$  Eilänge vor dem hinteren Pol. An ihm beginnen alle Entwicklungsprozesse. Seine physiologische Wirkung wird durch die vom Bildungszentrum her kommenden Stoffe in Tätigkeit gesetzt und besteht in der Inangangsetzung der Kontraktion des zentral angehäuften Dotters. Diese ermöglicht weiterhin die Verdickung der oberflächlichen Zellschicht zur Keimanlage. Die Lage des morphologischen Differenzierungszentrums ist abhängig von der Größe und Form des Eis. Sie verschiebt sich, wenn das Ei experimentell verkleinert wird. — Durchwanderung der Eimasse durch die Furchungskerne, Aktivierung des Bildungszentrums am hinteren Pol durch die Furchungskerne, Stoffabgabe von diesem nach vorn, Aktivierung des Differenzierungszentrums am Ende des zweiten Keimdrittels, Kontraktion des Dotters und Zusammenscharen der Zellen der Oberfläche um und in der Nachbarschaft des Differenzierungszentrums: das sind die wesentlichen Vorgänge, die zur Bildung der Keimanlage führen. Sie bilden eine Reihe von Bewegungsvorgängen, in welche die Aktivierung der beiden Zentren eingeschaltet ist. Wenn der Ablauf dieser Bewegungen nicht verhindert wird, sind Regulationen möglich.

In das Gebiet der *Regeneration*, die mit der Entwicklung viele gemeinsame Probleme besitzt, wurde nur ein kurzer Vorstoß unternommen (DAVID). Es ist bekannt, daß die Molche verloren gegangene Extremitäten neu bilden können. Eine der hierbei auftauchenden Fragen betrifft die

Herkunft des Regenerationsblastems, d. h. die Herkunft der Zellen, die die neue Extremität entwickeln; sind es Zellen, die in der Nachbarschaft der Schnittfläche liegen, oder Zellen des Körpers, die von der Ferne evtl. mit dem Blutstrom in die Schnittregion einwandern? Im Experiment wurden Regenerationsknospen der Extremität vom weißen, pigmentlosen Axolotl in die Rumpfseite oder auf einen Extremitätenstumpf des schwarzen pigmentreichen Axolotl verpflanzt und umgekehrt. Nachdem das Transplantat sich zur Extremität entwickelt hatte, wurde so abgeschnitten, daß nur ein kleiner, etwa 1 mm hoher Sockel von ihm auf dem anders gefärbten Wirt stehen blieb. Dies wurde bis achtmal wiederholt, und stets hatte die regenerierende Extremität den Charakter des schmalen Sockels. Das Bildungsmaterial des Extremitätenregenerats entsteht also in der Schnittfläche.

OTTO MANGOLD, Erlangen.

#### Gast-Abteilung AGNES BLUHM (seit 1919).

Dr. med. AGNES BLUHM hat sich seit ihrem Eintritt in die Mitarbeiterschaft des Institutes im Jahre 1919 wesentlich mit den Fragen der Beeinflussung des Zahlenverhältnisses der Geschlechter und der Wirkung chemischer Gifte auf die Nachkommenschaft beschäftigt. Als Versuchsmaterial dienten ihr weiße Mäuse, die als Säugetiere in den *grundlegenden* Lebensäußerungen mit dem Menschen übereinstimmen, so daß sich die an ihnen gewonnenen Ergebnisse unter bestimmten Voraussetzungen auf ihn übertragen lassen.

Nachdem CORRENS den Mechanismus der Geschlechtsbestimmung bei höheren Pflanzen aufgedeckt hatte und es ihm auf Grund dieser Erkenntnis gelungen war, das Zahlenverhältnis der Geschlechter in gewissem Umfang willkürlich zu beeinflussen, lag es nahe, *mutatis mutandis* zu prüfen, ob bei höheren Tieren der gleiche Mechanismus und die gleichen Beeinflussungsmöglichkeiten vorliegen. Daß dies tatsächlich der Fall ist, konnte bewiesen werden durch Behandlung des Männchens der Maus mit solchen chemischen Stoffen (Alkohol, Yohimbin, Koffein), welche die Beweglichkeit des Spermas zu beeinflussen vermögen. Die Männchenziffer des betreffenden Tierstammes erhöhte sich dadurch um 10%.

Die sog. Keimgiftversuche dienten dem Problem der willkürlichen Erzeugung von Erbänderungen. Auch hier wurden aus naheliegenden biologischen Gründen zunächst nur die Männchen behandelt. Bei einem fünfjährigen, durch 7 Generationen fortgeführten, rund 32 000 Tiere umfassenden Versuch mit Alkohol ergab sich bei der Nachkommenschaft außer einer deutlich vermehrten vorgeburtlichen Sterblichkeit und einer starken Steigerung der Zahl der unfruchtbaren Tiere in sämtlichen 7 Generationen eine geringe Wachstumshemmung und Verzögerung der Entwicklung einiger sichtbarer Organe (Ohrmuschelentfaltung, Nagezahndurchbruch, Lidöffnung). Die Säuglingssterblichkeit zeigte eine Vermehrung nur bei den Kindern der Alkoholiker; bei den Enkeln sank sie fast auf die Norm, und bei den Urenkeln usw. war sie zunehmend

geringer als bei den normalen Kontrollen. Das *schien* für eine ausgleichbare (modifikatorische) und gegen eine erbliche Schädigung durch väterlichen Alkoholismus zu sprechen. Andererseits zeigte das Ergebnis wechselseitiger Kreuzungen von Alkoholikernachkommen aus den höheren Generationen, in denen die vorväterliche Schädigung anscheinend nicht mehr wirksam war, mit normalen Kontrolltieren, daß sie tatsächlich noch fortbestand und nur durch irgendein Moment gehindert wurde, in die Erscheinung zu treten. Aus der Immunitätslehre bekannte Phänomene legten die Vermutung nahe, daß dieses Moment darin bestehen könnte, daß eine in ihrer Erbmasse chemisch geschädigte Samenzelle bei der Befruchtung die Bildung von Abwehrstoffen anregt, welche die Schädigung zu paralysieren vermögen. Zur weiteren Prüfung dieser Hypothese wurde ein vor etlichen Jahrzehnten von PAUL EHRLICH angestellter, aber dem damaligen Stande der Wissenschaft entsprechend nur sehr unvollkommen durchgeführter Immunisierungsversuch mit dem Pflanzengift Rizin wieder aufgenommen, zunächst nur an den Männchen, später auch an den Weibchen (letzterer ist zur Zeit noch im Gange). Das bisherige Ergebnis geht dahin, daß starke Immunisierung des Männchens gegen dieses Gift bei den Nachkommen keine Immunität, wohl aber eine spezifische, nur gegen das Ricin gerichtete Giftüberempfindlichkeit hervorruft. Dieselbe klingt im Laufe der Generationen ab, aber wie die Schädigung beim vorväterlichen Alkoholismus nur *scheinbar*. Die Nachkommen aus den wechselseitigen Kreuzungen zeigen das gleiche für eine Dauerschädigung sprechende Verhalten wie bei jenem. Bei Immunisierung lediglich des Weibchens erwies sich die erste Kindergeneration als absolut immun. Das mütterliche Blut und die mütterliche Milch hatten ihr sog. Antikörper zugeführt. Aber bereits in der zweiten Kindergeneration trat eine deutliche Giftempfindlichkeit zutage. Sie war in der ersten vorhanden, aber durch jene Abwehrstoffe verhindert worden, sich zu manifestieren. Das bisherige Ergebnis des Rizinversuches stützt in gewisser Hinsicht die oben erwähnte Hypothese.

Neben den erbbiologischen wurden noch einige sozialbiologische Untersuchungen angestellt. So über die, das Geburtsgewicht der Säugetiere beeinflussenden Faktoren und über die Bedeutung des Geburtsgewichtes für die körperliche Entwicklung des Individuums. Dabei zeigte sich, daß neben der erblichen Bedingtheit für dieses Gewicht der jeweilige, im Körpergewicht sich ausdrückende Ernährungszustand der Mutter und für die Entwicklung bis ins Kleinkindalter hinein das Geburtsgewicht von beachtlicher Bedeutung ist. Eine medizinalstatistische Untersuchung galt der rassenhygienisch bedeutungsvollen Entwicklung der Gebärfähigkeit der deutschen Frauen. Bisher haben die Fortschritte der ärztlichen Geburtshilfe noch nicht zu einer Verschlechterung derselben geführt. Es sind aber vereinzelte Anzeichen für eine drohende Verschlechterung vorhanden, der indessen durch eine energische Bekämpfung der Rachitis, die zwar erbbedingt, aber stark umweltbeeinflussbar ist, vorgebeugt werden kann. Eine kleine Studie befaßte sich mit der Vererbung geistig-seelischer Anlagen.

A. BLUHM.

**Gastabteilung ALBERT FISCHER aus Kopenhagen (1926—1932).**

Durch die ehrenvolle und großzügige Einladung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft wurde mir eine Gastabteilung während der Jahre 1926—1932 zur Verfügung gestellt, wobei in den letzten 2 Jahren der laufende Etat von der Carlsbergstiftung-Kopenhagen getragen wurde. An den Arbeiten, über die hier berichtet wird, waren mehrere ständige und eine große Anzahl von wechselnden Mitarbeitern und wissenschaftlichen Gästen beteiligt.

Die Arbeiten der Abteilung galten zunächst der normalen und pathologischen Entwicklungsphysiologie von Warmblütergewebe mit besonderer Berücksichtigung der Probleme, die mit den bösartigen Geschwülsten zusammenhängen. Morphologie und Stoffwechselphysiologie kamen dabei in gleicher Weise zur Geltung. Die Untersuchungen stützten sich größtenteils, aber nicht ausschließlich auf *in vitro* gezüchtete Gewebe. Die einzelnen Fragen der normalen Entwicklungsphysiologie, die behandelt wurden, waren folgende: Allgemeine Wachstumsgesetze, topographische Verteilung der Mitosen beim Wachstum, die Rolle der mechanischen Faktoren, Beziehung zwischen Regeneration und Wachstum, Differenzierung und Potenzenprüfung, die Reaktionsnorm von mesenchymalen Zellen im Verbands. Als Spezialfragen seien genannt das Verhältnis der Fibroblasten zu den Makrophagen, die Züchtung verschiedener Gewebe des Auges, Methoden der Epithelzüchtung und die Ausarbeitung einer Methode zur Züchtung ohne Wachstumsbeschleunigung. Aufgaben der allgemeinen Zytologie wurden u. a. mit mikrurgischen Verfahren behandelt.

Die Eigenschaften der wachstumsfördernden Stoffe und die Bedingungen der Lösung des Fibrins wurden untersucht, ferner der Eiweiß- und Kohlehydratstoffwechsel der Gewebe *in vitro*. Die WARBURGSche Stoffwechselmethodik wurde auf Gewebekulturen angewandt; außerdem wurde ein Verfahren ausgearbeitet, nach dem Prinzip der Änderung der Wärmeleitfähigkeit von Drähten in Gasen den Stoffwechsel von Gewebekulturen zu messen.

Die Probleme der bösartigen Geschwülste wurden von verschiedenen Seiten her in Angriff genommen. Die Charakteristika der malignen Zellen, ihre Ansprüche an Nahrung und  $p_H$  wurden studiert, ferner auch die Chromosomenverhältnisse untersucht. *In vitro*-Kulturen des Mäuseadenokarzinoms von EHRlich wurden zum ersten Male angelegt. Dieser Stamm wird noch immer *in vitro* fortgezüchtet und hat bis auf den heutigen Tag — über 8 Jahre — die Eigenschaft behalten, bei Einimpfung in Mäuse als bösartige Geschwulst zu wachsen. Fragen der Geschwulstimmunität wurden ebenfalls bearbeitet. Endlich wurde versucht, eine Gaschemotherapie der bösartigen Geschwülste auszuarbeiten, andererseits die normalen Gewebe durch chemische Einwirkungen *in vitro* in bösartige Gewebe zu verwandeln.

Den Strahlenwirkungen des Radiums und Mesothoriums auf normale und maligne Gewebe *in vitro* wurde eine Reihe von Untersuchungen gewidmet.

Einige Fragen der Infektion und Immunität wurden *in vitro* studiert, insbesondere die Zytotoxine, die Hühnerleukämie und die Hühnerpest.

Außer der „zellulären Seite“ wurde auch die „humorale Seite“ der Probleme ausgiebig behandelt. Die entscheidende Rolle des Blutplasmas bei den Gewebekulturen *in vitro* führte uns auf die Probleme des Blutplasmas überhaupt, also einerseits auf die Gerinnungsfragen, andererseits auf die Beziehungen zwischen Blutplasma, Gewebssäften und Zellen. So rückte in den letzten Jahren das Studium der Gerinnung und der angrenzenden eiweißchemischen Fragen mehr und mehr in den Vordergrund der Arbeiten, denen sich die Gastabteilung widmete.

ALBERT FISCHER.

### 15. Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung, Müncheberg, Mark.

Die Pflanzenzüchtung in Deutschland lag bis vor wenigen Jahren ausschließlich in Händen von Privatbetrieben. Je mehr aber die Pflanzenzüchtung angewandte Genetik wurde und ihre Methoden sich komplizierter gestalteten, um so mehr machte sich das Bedürfnis nach einem wissenschaftlichen Institut bemerkbar, welches die hierzu notwendigen Vorarbeiten leisten sollte. So gründete die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften unter Mitwirkung der deutschen Pflanzenzüchter das Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung in Müncheberg, welches, nachdem im Herbst 1927 der Grundstein gelegt worden war, im September 1928 eingeweiht wurde. ERWIN BAUR leitete es seit der Gründung bis zu seinem Tode am 2. Dezember 1933. In seiner Ansprache anlässlich der Einweihungsfeier am 29. September 1928 umriß damals Professor BAUR mit folgenden Worten kurz die Aufgaben seines Institutes: „Zwischen der reinen Vererbungswissenschaft und der züchterischen Praxis klafft heute bei uns noch eine Lücke, und diese Lücke nach Möglichkeit auszufüllen, ist die einzige Aufgabe dieses neuen Institutes. Es soll also nicht etwa den heutigen Saatzuchtbetrieben Konkurrenz machen, es soll auch grundsätzlich keinerlei Saatgut verkaufen, sondern es soll Pionierarbeit tun und neue Methoden der Züchtung ausfindig machen.“ Mit diesen beiden Sätzen war die Arbeitsrichtung klar und eindeutig festgelegt. Getreu dieser Grundrichtung wird theoretisch-wissenschaftlich über genetische Fragen bei Pflanzen gearbeitet. Ferner werden neue Methoden und neue Wege für die Pflanzenzüchtung ausfindig gemacht und diese Erfahrungen den deutschen Privatzüchtern zur Verfügung gestellt. Weiter werden praktische Züchtungsprobleme selbst in Angriff genommen, soweit sie von den privaten Zuchtbetrieben nicht gelöst werden können, weil sie für diese zu schwierig, zu kostspielig oder zu unsicher sind.

Über den organisatorischen Aufbau ist zu sagen, daß die Arbeiten im wesentlichen in den Abteilungen ausgeführt werden, die einer zentralen Leitung unterstehen. Diese ist seit dem Tode von Professor BAUR

B. HUSFELD kommissarisch übertragen worden. In Verbindung mit dem Institut werden von B. HUSFELD folgende wissenschaftliche Zeitschriften herausgegeben: „Der Züchter“, „Die Zeitschrift für Züchtung, Reihe A Pflanzenzüchtung“ und „Die Gartenbauwissenschaft“. Ferner arbeiten H. KUCKUCK, E. OEHLER und R. SCHICK an der Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre mit.

Einzelheiten gehen aus den nachfolgenden Abteilungsberichten hervor, die über die wissenschaftliche Entwicklung der im Institut laufenden Arbeiten Auskunft geben.

#### *Abteilung H. STUBBE.*

In dieser Abteilung werden in erster Linie die von ERWIN BAUR im Jahre 1927 erneut aufgegriffenen Mutationsversuche am Gartenlöwenmaul, *Antirrhinum majus*, in vergrößertem Maßstabe und mit vielfacher Erweiterung der Fragestellung durchgeführt. Neben dem Löwenmaul werden auch *Oenothera*, *Epilobium* und *Matthiola* bearbeitet. Neuerdings laufen im Rahmen des akademischen Arbeitsdienstes (DÖHRING) auch Mutationsversuche an niederen Organismen. Die Untersuchungen der Abteilung umfassen eine Reihe von Fragen, die in systematisch angelegten Spezialversuchen angegriffen werden. Im Vordergrund stehen:

##### *1. Die Frage nach der experimentellen Erzeugung von Genmutationen.*

Ebenso wie bei der Taufliege *Drosophila* war bei *Antirrhinum* zu prüfen, ob durch kurzweilige Strahlen Mutationen erzeugt werden können, und welchen Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Qualität und Quantität der Strahlung der Mutationsvorgang folgt. In gemeinsamer Arbeit mit W. NOETHLING vom Institut für Strahlenforschung, Berlin, konnte ferner erstmalig der Nachweis erbracht werden, daß durch Pollenbestrahlung mit monochromatischem Licht ebenfalls Genmutationen in großer Zahl ausgelöst werden können. Ferner haben bestimmte Vorversuche ergeben, daß durch sehr hohe, in großer Konzentration gegebene Dosen ein höherer Prozentsatz neuartiger Mutationen auftritt als nach schwächeren Dosen oder unter natürlichen Bedingungen, und schließlich liegen Hinweise dafür vor, daß sehr harte Strahlen quantitativ stärker wirken als mittelharte und weiche Strahlenbereiche. Beide Fragen, die auch ein praktisches (medizinisches) Interesse haben, werden zusammen mit anderen physikalisch-medizinischen Instituten bearbeitet. Die Arbeiten mit rein physikalischer Fragestellung haben zur Erzielung statistisch reeller Resultate eine Umstellung der Mutationsversuche notwendig gemacht, bei der lediglich die im Keimlingsstadium erkennbaren Mutanten ausgewertet werden.

Neben den genannten, erst zum Teil durchgeführten Versuchen laufen andere über die Wirkung hoher Temperaturen auf die Mutationsrate im Pollen und die Wirkung sehr starker Dosen des als wirksam befundenen monochromatischen Lichtes für die Auslösung spezifischer Genmutationen. Die Frage nach der Beziehung zwischen Samenalter und Genmutabilität ist im wesentlichen abgeschlossen, die Versuche sind inzwischen in anderer Richtung weitergeführt worden. So wird jetzt die Beziehung zwischen

Pollenalter und Genmutabilität geprüft, und ferner laufen ernährungsphysiologische Versuche, um den Einfluß veränderter Genumwelt innerhalb der Zelle auf die Konstanz der Gene zu prüfen. Dem gleichen Zweck diente ein soeben abgeschlossener Versuch, in dem bei *Epilobium* die Wirkung artfremden Plasmas auf die Mutationsbereitschaft ermittelt wurde. Neuerdings sind auch Versuche mit Ultrakurzwellenbestrahlung von Pollen gemeinsam mit dem Institut für Strahlenforschung, Berlin, in Angriff genommen worden.

Die seit einigen Jahren bekannten heteroploiden (trisomen) Formen von *Antirrhinum*, von denen 6 bisher gefunden wurden, werden genetisch analysiert, um mit Hilfe der bekannten Koppelungsgruppen das jeweils überzählige Chromosom zu identifizieren.

### 2. Die Frage nach der Genstruktur.

Die meisten der unter 1. genannten Versuche dienen der Frage nach dem Wesen der Genstruktur und der Natur des Mutationsvorganges. Ferner bieten die bei *Antirrhinum* besonders zahlreichen labilen und mutablen Gene ein günstiges Material zum Studium gehäufter Mutationsprozesse. Einige der hochmutablen Gene werden genauer untersucht. Über eine andere labile und willkürlich zu erzeugende Mutation sind die Arbeiten in ihren Grundlagen abgeschlossen.

### 3. Die Frage nach der Bedeutung der Mutationen für die Herausbildung größerer Formenunterschiede innerhalb einer Gattung.

Die Bedeutung der Genmutationen für diese Fragestellung soll durch Analyse einiger Wildspezies der Gattung *Antirrhinum* geklärt werden. Gleichzeitig wird dabei systematisch die Frage, ob Speziesbastardierung eine Erhöhung der Genmutationsrate bewirkt, geprüft. Die Bedeutung chromosomaler, besonders intrachromosomaler Änderungen bei der Herausbildung einer bestimmten Form wird durch Auslösung von Parallelmutationen bei *Antirrhinum glutinosum* und durch den Versuch, experimentell bei *Oenothera* neue Chromosomenkonfigurationen zu erzeugen, bearbeitet.

### 4. Experimentelle Auslösung von Mutationen an Kulturpflanzen.

Die bisherigen theoretischen Versuche haben einen klaren Einblick in die durch einzelne Mutationsschritte mögliche Formenmannigfaltigkeit einer Spezies gegeben. Neben zahlreichen pathologischen Mutationen sind verschiedentlich auch solche beobachtet worden, die vom Standpunkt der Verwertung her günstiger erscheinen als die Ausgangsform. Diese Erfahrung legt den Gedanken nahe, besonders erwünschte Erbeigenschaften an Kulturpflanzen, die bisher noch nicht vorhanden sind, experimentell mit Hilfe der unter 1. skizzierten Methoden zu erzeugen. Derartige Versuche laufen in Zusammenarbeit mit H. KUCKUCK und E. OEHLER an Getreide und in Zusammenarbeit mit R. VON SENGBUSCH an Lupinen.

### Abteilung E. OEHLER.

Die Arbeiten an Art- und Gattungsbastarden bei Getreide wurden bereits im Sommer 1928, damals noch im Dahlemer Institut, in Angriff genommen. Schon früher waren gelegentlich in Professor BAURs Praktikum einige Art- und Gattungskreuzungen zur Durchführung gekommen.

Im Laufe der Jahre konnten im Kaiser Wilhelm-Institut die Versuche immer mehr ausgedehnt und vergrößert werden.

Gearbeitet wird heute mit Vertretern der Gattungen *Triticum*, *Aegilops*, *Secale* und *Haynaldia*. Als neues soll nun noch mit der Gattung *Agropyrum* gearbeitet werden. Als Ausgangsmaterial dient ein großes Sortiment, das heute 4500 Weizen-, 300 *Aegilops*- und 200 Roggennummern aus allen Teilen der Welt umfaßt.

Untersucht werden die Kreuzungsmöglichkeiten der einzelnen Arten einer Gattung untereinander und mit solchen anderen Gattungen, die Morphologie, Fertilität und Zytologie der  $F_1$ -Bastarde und deren Rückkreuzungsnachkommenschaften sowie die Ausnutzung solcher Bastarde für die praktische Züchtung. Im Laufe der Jahre konnten von den theoretisch möglichen Art- und Gattungsverbindungen der größte Teil meist erfolgreich durchgeführt werden. Einige aus dem bei einzelnen Arten verschiedenen Ansatz sich ergebende Gesetzmäßigkeiten wurden festgelegt. Die Morphologie der Bastarde wurde genau verfolgt und die Vererbung einzelner Merkmale untersucht. Besonderes Augenmerk wurde der Fertilität der Bastarde gewidmet. Dabei konnten die von anderen Autoren festgelegten Erfolge bestätigt und erweitert werden. Bis heute wurden etwa 10 000 Pflanzen einzeln auf ihre Fertilität geprüft. Die zytologischen Untersuchungen, die in den ersten Jahren etwas zurückgestellt werden mußten, konnten in diesem Jahre in Angriff genommen werden. Es laufen augenblicklich Versuche über die zytologischen Verhältnisse der *Aegilops*-Artbastarde, verbunden mit einer Genomanalyse der einzelnen Arten. Ferner werden alle wichtigen  $F_1$ -Bastarde und deren Rückkreuzungsprodukte auf ihre Chromosomenzahl untersucht. Dabei konnten schon einige bemerkenswerte Ergebnisse gezeitigt werden. Als theoretisch wichtigstes Ergebnis konnten 4 neue, konstant intermediäre, additive *Aegilops*-Weizenbastarde erhalten werden.

Auf breiter Basis wird die praktische Ausnutzung solcher Nachkommen geprüft. Dabei muß vorerst die Frage geprüft werden, ob es möglich ist, in der Nachkommenschaft solcher Art- und Gattungsbastarde Typen zu erhalten, die Merkmale beider Eltern in sich vereinigen, konstant und voll fertil sind. Zur Prüfung dieser Fragen laufen große Untersuchungen über die Beziehungen von Morphologie, Fertilität und Zytologie. Dieses Jahr allein standen über 2000 Nachkommenschaften von Weizen-Roggenbastarden, die Merkmale beider Eltern besitzen, in Prüfung. Es konnten daraus schon einige Stämme gefunden werden, die den theoretischen Forderungen entsprechen. Ein großer Teil von Nachkommenschaften solcher Bastarde in höheren Generationen konnte schon in großem angebau und feldmäßig geprüft werden.

Gemeinsam mit STUBBE werden schon seit einigen Jahren Versuche über die künstliche Mutationsauslösung bei Getreide angestellt. Es wurde mit eingenomigen *Aegilops-Triticum*- und *Secale*-Arten wie mit mehrgenomigen Weizenarten gearbeitet. Zur Durchführung kamen Samen- und Keimlingsbehandlungen mit Chemikalien, ferner Röntgenbestrahlungen junger Ähren zur Zeit der Reduktionsteilung und des reifen Pollens.

*Abteilung K. v. ROSENSTIEL.*

Der Beginn der Müncheberger Weizenzüchtung liegt schon weit zurück. Lange vor der Gründung des Instituts begann Professor BAUR in Briggittenhof mit Weizen züchterisch zu arbeiten. Nach Eröffnung des Kaiser Wilhelm-Instituts leitete er die Weizenarbeiten selbst, bis sie dann von Professor BAUR 1932 K. v. ROSENSTIEL übertragen wurden.

Das wichtigste Ziel der Weizenzüchtung ist die Schaffung eines ertragreichen Weizens für leichte Böden. Da die vorhandenen guten deutschen Kulturweizen auf den leichten Böden der Ostmark keine befriedigenden Erträge lieferten, begann Professor BAUR mit der Einkreuzung anspruchsloser Sorten ostmärkischen wie kleinasiatischen Ursprungs. Daneben wurden auch Kreuzungen mit anderen Weizenarten wie *Triticum Spelta*, *Triticum durum*, *Triticum Turgitan* und *dicoccum* durchgeführt.

Professor BAUR arbeitete ausschließlich mit der von ihm eingeführten Ramsch- und Selektionsmethode, die auch heute noch in gleicher Weise angewendet wird. Heute besteht das Zuchtmaterial aus etwa 150 Weizen-Großramschen in  $F_5$  und  $F_{10}$ . Die Nachkommenschaften der Weizenartbastarde und Weizen-Roggenbastarde wurden von E. OEHLER übernommen. Jährlich wurden daraus 4—6000 Stämme ausgewählt, aus denen dann jährlich 300—400 B- und ungefähr 100 C-Stämme herangezogen werden können. Professor BAUR konnte als Erfolg seiner Zucharbeiten die Weizensorte „Ostmärker“ züchten, die nicht im Handel ist. Sie entstammt einer Kreuzung eines ostmärkischen Landweizens mit einem ungarischen Weizen und gibt auf dem leichten Müncheberger Boden gute Erträge, sie verhielt sich auch im letzten Jahre gut.

Neben der Ertragszüchtung spielt die Qualitätszüchtung eine große Rolle. Die Kleber-Quellprüfung von BERLINER wurde von K. v. ROSENSTIEL so umgearbeitet, daß mit kleinen Schrot- und Klebermengen gearbeitet werden kann, die es ermöglichen, sogar Einzelpflanzen auf ihre Qualität zu untersuchen. Mit Hilfe dieser sehr raschen Arbeitsmethode, bei der täglich 100—150 Proben untersucht werden können, werden nun jährlich alle guten Zuchtstämme sowie auch das gesamte Sortiment untersucht. Daneben laufen auch theoretische Untersuchungen über die Vererbung des Klebergehaltes bei Weizen.

Durch Mittel des Forschungsdienstes ist es möglich geworden, auch die Immunitätszüchtung bei Getreide in Angriff zu nehmen. Gemeinsam mit den Abteilungen E. OEHLER und H. P. OSSENT werden Weizenstämme, Nachkommen von Weizen-Roggenbastarden, sowie das gesamte Weizensortiment auf ihr Verhalten gegenüber Weizengelb- und -braunrost geprüft. Die selbstfertilen Roggenstämme werden auf ihr Verhalten gegenüber Roggenbraunrost geprüft.

Als theoretisches Arbeitsgebiet wurden von K. v. ROSENSTIEL auf Wunsch von Professor BAUR Untersuchungen über die Abänderungsmöglichkeiten bei niederen Organismen, besonders bei Pilzen, aufgenommen, die für die Entstehung der Biotypen pflanzlicher Organismen von Bedeutung sind. Die Untersuchungen sind an Pilzen verschiedener systematischer Gruppen im Gange, wobei das Augenmerk besonders auf die

Auslösung von Dauermodifikationen und Mutationen physiologischer Art gelenkt werden soll.

*Abteilung H. P. OSSENT.*

Bei der Züchtung selbstfertiler Roggenstämme handelt es sich darum, zwangsweise vorgenommene Inzucht als Züchtungsmethode anzuwenden, denn der Roggen ist zum Unterschied von den übrigen zwitterigen Kulturgräsern Fremdbefruchter geblieben, und es konnten nur ganz vereinzelt einmal selbstfertile Mutanten beobachtet werden. Bei dem Auftreten dieser Selbstfertilität handelt es sich um ein einfach rezessives Merkmal. Die Bedeutung der künstlichen Anwendung von Inzucht liegt in der Vergrößerung der Variabilität, denn zweifellos müssen in einem sich fremdbefruchtenden Roggenbestande vor allem die dominanten Merkmale äußerlich in Erscheinung treten.

In den ersten Jahren wurde durch die vorgenommene Inzucht an Petkuser Roggen eine sehr große Variabilität erhalten. Diese stellte ein derartiges Typengemisch dar, daß man den unbedingten Eindruck einer komplizierten, aufspaltenden Kreuzungsnachkommenschaft haben mußte. Es galt nun, aus diesem Material die brauchbarsten Typen zum Zwecke weiterer Isolierung auszulesen, alle inzuchtgeschädigten Pflanzen aber von der weiteren Züchtung auszuschließen. Es mußte darauf ankommen, bei diesen Züchtungsarbeiten alljährlich bereits während der Vegetationszeit alle die Pflanzen auszumerzen, die irgendwelche vegetativen Degenerationserscheinungen aufwiesen. Derartige Pflanzen wurden von der Isolierung und damit von der Ernte ausgeschlossen. Das selbstfertile Material wurde auf Bestockung, gleichmäßige Halmausbildung, Halmfestigkeit, Stärke des Halmes, Ährenlänge, Ährendichte und Widerstandsfähigkeit gegen Rost und andere Krankheiten selektiert. Von größter Wichtigkeit aber mußte vor allem die Feststellung über den Kornansatz bei zwangsweiser Selbstbestäubung sein. Deshalb stand im Vordergrund dieser Züchtungsarbeiten das Erfassen aller der Stämme, die nach Ausschaltung jeglicher Inzuchtschwäche mindestens 100 %igen Kornansatz im Vergleich zu den besten Handelssorten aufwiesen.

Während in den ersten Jahren der Kornansatz infolge der Inzucht außerordentlich gering war, wies die Ernte 1931 schon 5,87 % vollbesetzter Ähren nach Zwangsisolierung auf. Die Ernte 1932 erbrachte dann 9,95 %, während 1933 bereits 18,16 % aller geernteten Ähren mit vollem Kornansatz festgestellt werden konnten. Nur derartig inzuchtimmune Pflanzen fanden zur Weiterzucht Verwendung, und es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß diese Zahlen in Zukunft noch eine weitgehende Steigerung erfahren werden. Die Bedeutung der Inzucht liegt in dem Erfassen der vollselbstfertilen Linien, die allein naturgemäß für fortgesetzte Selbstung in Betracht kommen, und zwar aus dem Grunde, um möglichst alle reinvererbenden, wertvollen Varianten züchterisch zu fixieren, und um dadurch eine Einengung der Variabilität auf leistungsfähige Zuchten zum Zwecke weiterer Vermehrung zu erreichen.

Die Zuchtziele beim Roggen sind im wesentlichen ganz analog wie bei den anderen Getreidearten und nur insofern vorläufig noch etwas vereinfacht, als der Qualitätsprüfung des Kornes nicht die eminente Bedeutung zukommt wie beim Weizen oder bei der Gerste. Dies aber hat seinen Grund darin, daß wir noch weit davon entfernt sind, Roggensorten mit wesentlichen Qualitätsunterschieden zu besitzen. Hätten wir aber solche Sorten, und wir werden auf dem Wege der Inzucht allmählich dahin kommen, so wäre das Interesse daran nicht geringer, wie z. B. an den Qualitätsunterschieden des Weizens.

Ein zweites Problem in der Roggenzüchtung ist die Schaffung eines perennierenden Roggens, der aus Kreuzungen zwischen *Secale montanum anatolicum* (Wildroggen) mit *Secale cereale* (Petkuser Roggen) hervorgegangen ist. Diese Züchtung hat den Zweck, eine Kombination zwischen Ertragsfähigkeit und Perenniervermögen herzustellen, die dann vor allem als Silagepflanze für den deutschen Osten von sehr großer Bedeutung werden kann. Es besteht die Möglichkeit, einen derartigen Roggen mehrmals im Jahre zu mähen, der dann in der Milchreife einsiliert ein hochqualitatives Futter ist. Während in den ersten Nachkommenschaften dieser Kreuzung brüchige Ährenspindeln und unbrauchbare Körner dominierten, sind heute bereits eine ganze Anzahl von Stämmen vorhanden, die bei guter Kornqualität gleichzeitig hohes Perenniervermögen aufweisen. Derartige Pflanzen werden auch weiterhin züchterisch erfaßt, und es bleibt für die Zukunft noch festzustellen, wie lange die Perennierfähigkeit dieser Pflanzen anhält, ob die Erträge im Laufe der Jahre absinken, konstant bleiben oder sich durch die jährlich stärker werdende Bestockung noch erhöhen.

Außer diesen Arbeiten wurden in diesem Jahre vom Forschungsdienst des Reichsnährstandes für die Immunitätszüchtung bei Roggen Mittel zur Verfügung gestellt, die vorerst für die Erforschung der physiologischen Spezialisierung von *Puccinia dispersa* (Roggenbraunrost) verwendet werden. Anschließend sind dann Prüfungen der Roggeninzuchtstämmen mit *Puccinia dispersa* in Aussicht genommen.

#### Abteilung H. KUCKUCK.

In der Abteilung wird seit 1928 Winter- und Sommergerste züchterisch bearbeitet. 1934 sind auch züchterische Versuche mit Faserpflanzen, insbesondere mit Ramie und Hanf aufgenommen worden.

Theoretisch genetische Versuche werden mit *Antirrhinum* und Gerste durchgeführt.

##### 1. Gerste.

Bei der Züchtung der Gerste wurde das Hauptaugenmerk auf möglichst winterharte Formen gelegt, um den betriebswirtschaftlich so günstigen Wintergerstenanbau auch auf die Gebiete Ostdeutschlands ausdehnen zu können. Zur Erreichung dieses Zieles wurden ältere Ramsche aus Kreuzungen verschiedener mitteleuropäischer Sorten verarbeitet. Ferner wurden Auslesen aus osteuropäischen (rumänischen) Landsorten und Kreuzungen dieser Formen mit bestehenden Sorten vorgenommen.

Ein weiteres Zuchtziel besteht in der Schaffung möglichst eiweißreicher Futtergerste. Hierzu wurden vornehmlich Auslesen von spelzenfreien Nacktgersten, die aus einem Genzentrum der Gerste stammten, durchgeführt und zu Kreuzungen mit anderen Sorten verwandt. Die bisherigen Versuche machen es wahrscheinlich, daß der Eiweißgehalt erheblich gesteigert und somit die Eiweißerzeugung durch eigene Erzeugung beträchtlich gehoben werden kann. Seit 1935 wird auch die Züchtung meltauresistenter Formen mit Mitteln des Forschungsdienstes bearbeitet. Diese Arbeiten werden in enger Zusammenarbeit mit HONECKER von der Bayerischen Saatzüchtungsanstalt in Weihenstephan durchgeführt.

Von den theoretischen Gerstenarbeiten wurden die am Institut für Vererbungsforschung in Dahlem begonnenen Untersuchungen über den Winter- und Sommertypus und die Winterfestigkeit der Gerste zu Ende geführt. — Neu aufgenommen wurden Versuche über die Auslesewirkung in künstlich hergestellten Ramschen, die für die züchterische Praxis von Bedeutung sind. Das Ziel der Untersuchung besteht darin, einen Einblick in die Auslesevorgänge von Ramschen und in die Abhängigkeit in der natürlichen Auslese von äußeren Bedingungen zu bekommen. — Ferner wird die Frage der Artkreuzungen bei Gerste bearbeitet. Bisher gelang es lediglich, einen Bastard zwischen *Hordeum sativum* und *Hordeum bulbosum* zu erzielen. Dagegen waren Kreuzungsversuche von Kulturgerste mit anderen Wildgersten bisher ohne Erfolg.

Gemeinsam mit STUBBE laufen Gerstenmutationsversuche.

### 2. Faserpflanzen.

Bei der Ramie (*Boehmeria nivea*), die vornehmlich vegetativ vermehrt wird, soll versucht werden, durch Aufzucht und Auslese eines größeren Sämlingsmaterials Typen zu gewinnen, die an unsere klimatischen Verhältnisse angepaßt sind. Da die Ramie eine feine, hochwertige Faser liefert und eine ausdauernde Pflanze ist, kommt ihr als wirtschaftlich wertvolle Faserpflanze eine Bedeutung zu, falls die wirtschaftliche Verbesserung in der gedachten Richtung gelingt. Auch die Kreuzungsversuche der *Boehmeria* mit anderen Urtikazeen werden ausgeführt mit der Absicht, die Winterfestigkeit der *Boehmeria* zu steigern. Beim Hanf sind vornehmlich züchterische Vorarbeiten über Inzucht, Heterosis und Geschlechtsvererbung eingeleitet.

### 3. *Antirrhinum*.

Die Arbeiten mit *Antirrhinum* haben die Aufstellung einer Chromosomenkarte zum Ziel. Sie werden in enger Zusammenarbeit mit SCHICK durchgeführt. Über die Ergebnisse der Lokalisation der Gene wird laufend in der Zeitschrift für induktive Abstammungs- und Vererbungslehre berichtet. Bisher konnten etwa 22 neue Gene lokalisiert werden.

Nach dem Tode von Professor BAUR wird auch ein Teil der von ihm begonnenen Versuche über Artentstehung und Artumgrenzung in der Gattung *Antirrhinum* weitergeführt.

Seit dem Herbst 1934 arbeitet HOFFMANN an Fragen der Eiweißuntersuchung und der Meltauresistenz bei Gersten. Ferner wird von ihm das umfangreiche Gerstensortiment betreut.

#### Abteilung R. SCHICK.

In dieser Abteilung werden praktische und theoretische Versuche mit kultivierten und wilden Kartoffeln durchgeführt. Daneben laufen theoretische Versuche bei *Antirrhinum majus*.

Bei den praktischen Kartoffelversuchen handelt es sich um die Züchtung phytophthorawiderstandsfähiger Kartoffeln und um die Züchtung von Kartoffeln, deren Laub gegen Frost widerstandsfähig ist. In beiden Fällen handelt es sich um Kombinationsversuche mit südamerikanischen Wildkartoffeln, die diese gewünschte Phytophthorawiderstandsfähigkeit und Frostwiderstandsfähigkeit besitzen. Die Arbeiten zur Züchtung frostwiderstandsfähiger Kartoffeln befinden sich noch in den Anfängen. Die wesentlichste Aufgabe besteht zunächst darin, festzustellen, in welcher Weise diese Frostwiderstandsfähigkeit vererbt wird, und ob sie sich mit den wertvollen Eigenschaften der Kulturkartoffeln kombinieren läßt. Die Arbeiten zur Züchtung phytophthorawiderstandsfähiger Kartoffeln sind bereits weiter fortgeschritten. Bei der Phytophthorawiderstandsfähigkeit handelt es sich um eine dominante Eigenschaft, die sich mit den wertvollen Eigenschaften der Kulturkartoffel kombinieren läßt. Das Hauptaugenmerk bei diesen Untersuchungen liegt zur Zeit bei der Feststellung verschiedener physiologischer Rassen des Pilzes. Es ist im letzten Jahre gelungen, 4 einwandfrei unterscheidbare Rassen des Pilzes zu isolieren. Umfangreiche Versuche zur Auffindung der vorhandenen physiologischen Rassen sind eingeleitet. Daneben laufen Arbeiten über die Genetik der Phytophthorawiderstandsfähigkeit. Diese Arbeiten werden innerhalb der wilden Ausgangsspezies (*Solanum demissum*) durchgeführt, um zu möglichst klaren Ergebnissen zu kommen, die bei den Speziesbastarden zwischen wilden und Kulturkartoffeln nicht zu erwarten sind. Neben diesen Kreuzungen mit wilden Kartoffeln werden im großen Umfange Kreuzungen zwischen europäischen und südamerikanischen Kulturkartoffeln bearbeitet. Zweck dieser Untersuchungen ist es, festzustellen, ob in dem großen südamerikanischen Material aus den Genzentren der Kartoffel neue wertvolle Eigenschaften in unsere Kultursorten eingeführt werden können. Die bisherigen Untersuchungen haben zu der Auffassung geführt, daß einige wenige Klone aus dem Genzentrum als Träger wertvoller neuer Gene für die europäische Kartoffelzüchtung in Frage kommen.

Das für diese geschilderten Aufgaben zusammengebrachte Material — im Jahre 1931 wurde durch Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft gemeinsam mit Herrn Professor BAUR eine Sammelreise durch Südamerika durchgeführt — dient aber daneben theoretischen Untersuchungen zur Phylogenie der knollentragenden Solanumarten. PROPACH hat mit einer Genomanalyse verschiedener wilder, knollentragender Solanumarten begonnen.

Die bei *Antirrhinum majus* durchgeführten Versuche dienen der Aufstellung einer Chromosomenkarte. In achtjährigen Versuchen ist es gelungen, etwa 60 Gene zu lokalisieren und damit die Grundlage der Chromosomentopographie zu schaffen. Diese Versuche werden fast ausschließlich durchgeführt mit Genen, die Farbe oder Form der Laubblätter verändern, da sich bei Benutzung solcher Gene die Technik dieser Versuche außerordentlich vereinfachen läßt. Nachdem die Grundlagen der Chromosomenkarte vorliegen, sind auf Grund dieser Ergebnisse neue Versuchsreihen eingeleitet worden. Zur Zeit laufen große Versuche über die Veränderung der Austauschwerte bei Speziesbastarden innerhalb der Gattung *Antirrhinum*. Es tritt bei diesen Speziesbastarden eine Verkleinerung der Austauschwerte ein. Es soll zunächst festgestellt werden, ob irgendeine Beziehung zwischen der Veränderung der Austauschwerte und der weiteren oder näheren Verwandtschaft der benutzten Spezies bestehen.

#### Abteilung R. v. SENGBUSCH.

##### 1. Lupinenzüchtung.

Die Lupine ist die einzige hochwertige Eiweißpflanze, die in Deutschland ohne weiteres anbaufähig ist. Sie besitzt jedoch den Nachteil, daß sie wegen ihres hohen Alkaloidgehaltes als Futter nicht ohne vorherige Entbitterung zu verwenden ist. Eine Reihe von Forschern (RÜMKER, FRUWIRTH, ROEMER, PRIANISCHNIKOW, BAUR und andere) haben auf die Möglichkeiten der Züchtung alkaloidfreier Lupinen hingewiesen. Übereinstimmend wird angegeben, daß nur bei Untersuchung eines großen Pflanzenmaterials die Auffindung alkaloidfreier Formen möglich sein wird. Voraussetzung für die Auffindung der alkaloidfreien Formen ist eine Schnellbestimmungsmethode für Alkaloide.

1927 wurde im Institut für Vererbungsforschung in Berlin-Dahlem und anschließend im Kaiser Wilhelm-Institut für Züchtungsforschung in Müncheberg, Mark eine Schnellbestimmungsmethode für Alkaloide ausgearbeitet und mit dieser eine große Anzahl von Lupinen auf ihren Alkaloidgehalt geprüft. 1928 gelang die Auslese von praktisch alkaloidfreien Formen bei *Lupinus luteus*, 1929 bei *L. angustifolius*, 1930 bei *L. albus*, 1934 bei *L. mutabilis* und *L. perennis*. Die bitterstofffreien Stämme sind inzwischen vermehrt und befinden sich teilweise bereits im Handel (*L. luteus* und *L. angustifolius*). Die Ernte 1935 wird bei *L. luteus* auf etwa 150—180 000 Zentner geschätzt. Fütterungsversuche von KIRSCH, KRONACHER, MANGOLD und deren Mitarbeitern haben gezeigt, daß die alkaloidfreien Neuzüchtungen der Lupine ungiftige, hocheiweißhaltige, biologisch außerordentlich wertvolle Futtermittel darstellen.

1932 ist auf Anregung von Professor BAUR die züchterische Bearbeitung des Ölgehaltes der Lupinen in Angriff genommen worden. Mit Hilfe einer eigens für diesen Zweck geschaffenen Schnellbestimmungsmethode für Öl wurden ölreiche Typen von *L. albus* und *L. mutabilis* ausgelesen. Bei *L. albus* konnten Formen mit einem Ölgehalt bis zu 15% (normal durchschnittlich 8—10%), bei *L. mutabilis* solche mit einem Ölgehalt bis zu 17% (13—14%) aufgefunden werden.

Neben dem Öl ist das Eiweiß der wichtigste Bestandteil der Lupine. Der Steigerung des Ölgehaltes dürfte nach Möglichkeit keine Erniedrigung des Eiweißgehaltes entsprechen. Es muß angestrebt werden, daß die *Summe* der beiden wertvollen Nährstoffe Eiweiß und Öl erhöht wird. In Zusammenarbeit mit SCHWARZE gelang die Ausarbeitung einer Schnellbestimmungsmethode für Rohprotein (Stickstoff).

Ausgehend von der Erwägung, daß bei einer Nebennutzung der Lupine als Faserpflanze die Wirtschaftlichkeit des Lupinenanbaues gehoben werden könnte, ist seit 1934 mit der Züchtung der Lupine auf ihren Faserstoffgehalt hin begonnen worden. Gemeinsam mit SCHWARZE wurde eine Schnellbestimmungsmethode für Faserstoffe geschaffen.

Die weiteren Zuchtziele in der Lupinenzüchtung sind vor allem für *L. luteus* und *L. angustifolius*, Formen mit nichtplatzenden Hülsen und für *L. albus*, frühreife Formen mit weichschaligen Körnern aufzufinden. Weiter ergeben sich eine Reihe von physiologischen, chemischen und pathologischen Züchtungsproblemen. Zur Erreichung der Zuchtziele werden 4 verschiedene Wege eingeschlagen:

1. Selektionszüchtung,
2. Auslösung künstlicher Mutationen durch Röntgenbestrahlung (in Zusammenarbeit mit STUBBE),
3. Sammeln von Wildformen in dem Heimatgebiet der Lupinen,
4. Artkreuzungen.

a) *Chemie* (SCHWARZE).

Im Laufe der Jahre 1927—1935, in denen nacheinander züchterisch brauchbare Methoden zur Bestimmung von Alkaloiden, Öl, Eiweiß und Faserstoffen ausgearbeitet wurden, entstand eine chemische Abteilung, deren Leitung in den Händen von SCHWARZE liegt. In dieser chemischen Abteilung werden in Zusammenarbeit mit den anderen Abteilungen des Instituts auch eine Reihe von anderen Kulturpflanzen auf ihre chemische Zusammensetzung geprüft und züchterisch bearbeitet. Hierbei kommt es darauf an, die bisher geschaffenen chemischen Untersuchungsverfahren weiter zu vervollkommen und sie an andere Kulturpflanzen anzupassen. — Die erarbeiteten Methoden werden den privaten Zuchtbetrieben zur Verfügung gestellt.

b) *Physiologie* (SCHANDER).

Die physiologischen Probleme der Lupinenzüchtung werden seit 1933 bearbeitet. Es handelt sich hier um verschiedene ernährungsphysiologische Fragen. Die Lupine besitzt die Fähigkeit, den Boden mit Stickstoff anzureichern und über ihren eigenen Bedarf hinaus schwerlösliche Phosphor- und Kalisalze aufzuschließen. Diese Nährstoffe kommen den Pflanzen, mit denen die Lupine zusammen angepflanzt wird (z. B. Hafer), zugute. Es soll geprüft werden, ob die Möglichkeit einer Züchtung intensiverer Stickstoffabgabe und höheren Aufschließungsvermögens für schwerlösliche Phosphor- und Kalisalze besteht. Von besonderer Wichtigkeit ist die Untersuchung der Kalkempfindlichkeit der Lupine oder besser gesagt der Chlorose.

c) *Pathologie* (GOLLMICK).

Es ist eine genaue Untersuchung der Viruskrankheit und des Meltaubefalles bei der Lupine in Angriff genommen worden, damit auf Grund dieser Ergebnisse die Züchtung von virus- und meltauresistenten Formen begonnen werden kann.

d) *Artkreuzungen* (GOLLMICK).

Das Studium der Artkreuzungen ist von besonderer Bedeutung. Die wertvollen Eigenschaften der Lupinen sind auf sehr verschiedene Art verteilt, und es wäre wünschenswert, Kombinationen dieser günstigen Eigenschaften herzustellen. Es handelt sich um die Prüfung der Ursachen der Artintersterilität, die Untersuchung der Pollenkeimung, der Embryonalentwicklung, der chromosomalen Verhältnisse u. a. mehr.

e) *Sammeln von Wildformen in den Genzentren (Heimatgebieten) der Lupine* (A. FISCHER).

Beim Studium der Genzentren der Lupinen konnte in Verfolg der Arbeiten von MERKENSCHLAGER die geologische Gebundenheit der Lupine an saure Standorte (Grundgebirge) und saure vulkanische Gesteine festgestellt werden. Zur Zeit werden von FISCHER Sammelreisen ins Mittelmeergebiet, die Heimat von *L. angustifolius*, *L. luteus* und *L. albus*, eingehend vorbereitet.

2. *Tabakzüchtung.*

1929 wurde mit Hilfe derselben wie bei Lupinen verwendeten Alkaloidbestimmungsmethode ein praktisch alkaloidfreier Tabak (*Nicotiana tabacum*) ausgelesen.

3. *Tomatenzüchtung.*

Die unserer Kulturtomate *Solanum lycopersicum* nahestehende Wildform *Solanum racemigerum* besitzt eine Reihe von wertvollen Eigenschaften, deren Übertragung auf unsere Kulturformen wünschenswert erscheint. *Solanum racemigerum* ist frühreif, die Früchte platzen nicht, sie ist widerstandsfähig gegen *Cladosporium fulvum*, die Blätter rollen nicht, die Früchte sind zucker- und säurereicher als die der Kultursorten, doch ist das Fruchtgewicht gering (2 g). Durch Kreuzung von *Solanum racemigerum* mit Kulturformen gelang die Herstellung von frühreifen, *Cladosporium fulvum*-widerstandsfähigen und platzfesten Formen.

Für den Versand der Tomaten spielt die Festigkeit der Frucht eine große Rolle. ZIMMERMANN bearbeitet die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Früchten.

*Abteilung J. HACKBARTH.*

Das Eiweiß, der wichtigste Grundstoff der Tierernährung, wird zum größten Teil durch den Anbau von Gräsern und Leguminosen gewonnen, leider bisher jedoch nicht in einem für die Selbstversorgung ausreichendem Maße. Hier muß die züchterische Bearbeitung einsetzen, einesteiils durch Schaffung von anspruchslosen Kultursorten und andernteils durch züchterische Erhöhung des Eiweißgehaltes der Pflanzen an sich.

In der Abteilung für Futterpflanzen wird besonders das erstere Ziel seit 1929 zu erreichen versucht. Die hauptsächlichsten in Bearbeitung genommenen Pflanzenarten sind der Steinklee (*Melilotus*) und die Luzerne.

Der Steinklee ist von Natur aus eine sehr anspruchslose Pflanze, die auf leichten Böden hohe Erträge bringt. Der weiteren Verbreitung seines Anbaues steht aber der Gehalt an einem Bitterstoff, dem *Cumarin*, entgegen, der die Pflanze für die Verfütterung unbrauchbar macht. Ebenso wie bei den Lupinen sind mehrere hunderttausend Pflanzen mit Hilfe einer für diese Zwecke entwickelten Methode untersucht worden. Die Nachkommen der ausgelesenen Pflanzen stehen weiter in Prüfung. Als besonders wertvoll für diese Zwecke hat sich eine ausländische Art von *Melilotus* erwiesen, eine Tatsache, die beweist, daß bei all diesen Züchtungsarbeiten ein möglichst verschieden zusammengesetztes Ausgangsmaterial Verwendung finden muß.

Die Luzerne ist eine der wichtigsten Dauerfutterpflanzen. Sie liefert in 3–4 Schnitten pro Jahr große Mengen eines sehr eiweißhaltigen Futters. In Gegenden mit günstigem Klima und guten Bodenverhältnissen ist der Luzerneanbau deshalb auch stark verbreitet. Für leichte Böden und rauhere Lagen sind die bisher im Handel befindlichen Sorten jedoch wenig geeignet, so daß hier für die Züchtung ein weites Feld offen liegt. In den Jahren 1930–32 ist ein sehr umfangreiches Ausgangsmaterial aus aller Welt zusammengetragen worden. Daraus wurden in den folgenden Jahren Auslesen gemacht, deren Nachkommenschaften heute in Prüfung stehen, und von denen einige sehr erfolversprechend sind. Die Prüfung auf Eignung auf leichte und saure Böden wird auf ausgesucht schlechten Ackerstücken vorgenommen. Seit 1934 wird der Erhöhung des Eiweißgehaltes auf züchterischem Wege besondere Aufmerksamkeit zugewendet. Eine große Anzahl von Einzelpflanzen ist bereits untersucht worden, wobei starke Unterschiede im Eiweißgehalt festgestellt werden konnten.

Unter den Leguminosen gibt es noch eine große Anzahl von Arten, die eine züchterische Bearbeitung nach den oben angeführten Gesichtspunkten lohnen würden. Vorläufig sind davon in Bearbeitung genommen: Hornschotenklee (*Lotus corniculatus*), Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum*) und Serradella (*Ornithopus sativus*).

#### Abteilung B. HUSFELD.

Die Arbeiten dieser Abteilung, die in Gemeinschaft mit W. SCHERZ durchgeführt werden, und die ursprünglich nur mit der Züchtung auf plasmoparawiderstandsfähige Reben begonnen wurden, wurden durch die Aufnahme anderer Arbeitsgebiete wesentlich erweitert, so daß heute folgende drei Zuchtziele verfolgt werden:

1. Die Züchtung wurzel-reblauswiderstandsfähiger, pilzresistenter Unterlagen mit guter Bodenverträglichkeit und Affinität zum Reis („Idealunterlage“).

2. Die Züchtung von Edelreisern, die widerstandsfähig gegen die Blattreblaus und die wichtigsten pilzlichen Erreger sind und in ihrer Trauben-

qualität den besten Sorten der europäischen Rebenart *Vitis vinifera* entsprechen („Idealreis“).

3. Die Züchtung von Reben, die einer Vereinigung von Zuchtziel 1 und 2 entsprechen, also auf eigener Wurzel stehend gegen alle wichtigen Krankheitserreger widerstandsfähig sind und außerdem in ihren ökologischen Ansprüchen und ihrer Traubenqualität den besten Sorten der *Vitis vinifera* gleichen („Idealrebe“).

Die nach diesen Zuchtzielen zu selektierenden Reben sollen darüber hinaus weitgehend den deutschen klimatischen Verhältnissen angepaßt sein. Es steht nach Auffassung von Professor BAUR fest, daß durch eine sachgemäße Kombinationszüchtung aus Kreuzung widerstandsfähiger, aber qualitativ minderwertiger amerikanischer Rebenarten mit nicht widerstandsfähigen in ihrer Qualität hochwertigen Sorten der Europäerrebe die vorgenannten Zuchtziele sich voll befriedigen lassen.

Im Verfolg dieser Zuchtziele werden zur Zeit jährlich etwa 5—7 Millionen  $F_2$ -Rebensämlinge aus derartigen Kreuzungen auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen *Plasmopara viticola* mit Hilfe eines in Müncheberg ausgearbeiteten Infektionsverfahrens geprüft. Hierbei bleibt nur ein geringer Prozentsatz widerstandsfähiger Formen übrig, die weiteren Prüfungen auf Reblaus (Vorprüfung mit Typ Nr. 436 aus Naumburg) und Echten Meltau, *Uncinula necator*, unterworfen werden. Die auch gegen diese Parasiten resistenten Formen werden auf ihre Widerstandsfähigkeit gegen *Pseudopeziza tracheiphila*, den Erreger des Roten Brenner, unterzogen. Es ließen sich bereits Reben selektieren, die gegen alle vorgenannten Erreger weitgehend widerstandsfähig sind.

Ferner interessiert im Hinblick auf die Tafeltraubenzüchtung die Frage, ob es möglich ist, auch gegen *Botrytis cinerea* resistente Formen zu finden.

Durch die Übernahme dieser vielseitigen immunitätszüchterischen Aufgaben ist es notwendig geworden, in 1935 erbauten Spezialgewächshäusern die optimalen Lebensbedingungen für jeden Krankheitserreger versuchsmäßig zu erarbeiten, um sie dann bei den Großinfektionen in Anwendung zu bringen. — Der Frage, ob bei *Plasmopara viticola* physiologische Rassen auftreten, wird Bedeutung beigemessen. Einmal werden in jedem Jahr aus den bisherigen Züchtungsarbeiten der Abteilung hervorgegangene, gegen diesen Erreger widerstandsfähige Standardrebenklone auf neue Herkünfte aller deutschen Weinbaugebiete in Müncheberg geprüft, und andererseits werden die gleichen Rebenklone in stark plasmopara-gefährdeten Lagen auch der außerdeutschen Weinbaugebiete angepflanzt. Daneben laufen histologische Arbeiten, um zu erforschen, wie sich Wirt und pilzlicher Erreger bei widerstandsfähigen und anfälligen Reben verhalten. — Im letzten Jahre wurden erstmalig  $F_3$ -Sämlinge aus plasmopara-widerstandsfähigen  $F_2$ -Rebensämlingen gezogen, die zu Beginn der Arbeiten vor einer Reihe von Jahren ausgelesen worden waren. Bei der künstlichen Infektion dieser Sämlinge mit *Plasmopara viticola* ließen sich wertvolle Ergebnisse über den Erbgang der Plasmoparawiderstandsfähigkeit gewinnen und ferner an Hand der Reaktion der Nachzucht auf künstliche

Infektion mit verschiedenen Erregern solche  $F_2$ -Formen finden, die sich auch genetisch weitgehend widerstandsfähig erwiesen. Derartige Individuen sind zur Weiterzucht besonders wertvoll. (In ähnlicher Weise findet eine Analyse der Widerstandsfähigkeit auch bei allen heute als Sorten im Weinbauggebiet oder in Sortimenten vorhandenen Amerikaner- $\times$  Europäer-Hybriden statt, um die für die Züchtungsarbeiten als Ausgangsmaterial besonders geeigneten Sorten herauszufinden und sie zur möglichst weitgehenden Ausnutzung stark vegetativ zu vermehren.)

Weiter ist eine Untersuchung im Gang über die Auswertung von  $F_2$ -Sämlingsaufspaltungen, um die Frage nach der obligaten Autogamie zwittriger Reben zu klären. Die seit einer Reihe von Jahren durchgeführte ampelographische Erfassung von  $F_2$ -Aufspaltungen („Rebensämlingsbilder“) erweist sich für die Geisenheimer ampelographischen Arbeiten als ein wertvolles Hilfsmittel. Es ist oft behauptet worden, daß aus Selbstung zwittriger  $F_1$ -Formen hervorgegangene  $F_2$ -Reben durch Inzucht geschwächt würden. Müncheberger  $F_2$ -Sämlinge beweisen aber, daß sogar außerordentlich wüchsige und fruchtbare Rebensämlinge herausspalten. Es lassen sich unten ihnen Stöcke finden, die fruchtbarer sind als alle heute bekannten Rebensorten.

Die Frostwiderstandsfähigkeit der Rebe konnte durch Ausnutzung des strengen Müncheberger Klimas wesentlich gefördert werden. Es ließen sich bei gleicher Frostgefährdung große Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit von  $F_2$ -Reben aufzeigen. Professor BAUR<sup>1</sup> hat die Aussele-möglichkeiten, die dem Züchter durch klimatisch derartig ungünstige Lagen gegeben sind, klar erkannt, und das war u. a. ein Grund dafür, daß er gerade in Müncheberg die Rebenzüchtung aufnehmen ließ.

Gemeinsam mit J. HACKBARTH sind in diesem Jahr Versuche an-gesetzt worden, die feststellen sollen, ob dem Kurz-Langtag-Problem auch in der Rebenzüchtung eine Bedeutung zukommt. Die bisherigen Ergeb-nisse beweisen dies bereits.

Für die durch den Herrn Reichs- und Preußischen Minister für Er-nährung und Landwirtschaft eingerichteten Bodenverträglichkeits-Prüf-gärten wurden erstmalig im Jahre 1935 über 200 Reben Müncheberger Züchtung zur Prüfung auf Bodenverträglichkeit angemeldet.

Obstabteilung: Kommissarische Leitung B. HUSFELD.

a) Kern-, Stein- und Schalenobst: M. SCHMIDT.

Die Obstzüchtung beschäftigt sich mit Kern-, Stein- und Schalenobst. Das Ziel einer planmäßigen Obstzüchtung ist neben der Schaffung brauch-barer Unterlagenformen die Züchtung neuer Sorten mit wirtschaftlich besonders wertvollen Eigenschaften. Dieses Ziel läßt sich nur erreichen, wenn mit einem möglichst großen Sämlingsmaterial gearbeitet werden kann. Auf dem Gelände des Müncheberger Instituts sind im Laufe der letzten Jahre umfangreiche Sämlingsquartiere angelegt worden, die

<sup>1</sup> BAUR, E.: Einige Aufgaben der Rebenzüchtung im Lichte der Vererbungswissen-schaft. Beitr. Pflanzenzucht, 1922, H. 5, 104—110.

zusammen mit den Sortimenten der verschiedenen Fruchtgattungen einen Raum von etwa 100 Morgen einnehmen. Diese Sämlinge stammen teils von frei abgeblühten Edelsorten, teils von Kreuzungen zwischen Edelsorten oder von Edelsorten mit Wildarten.

An erster Stelle unter den von der Obstabteilung durchgeführten Arbeiten stehen Untersuchungen zur Züchtung von Apfelsorten, die gegen eine der größten Geißeln des Obstbaues widerstandsfähig sind, den Apfelschorf (Erreger: *Venturia inaequalis*). Alle Apfelsorten sind mehr oder weniger schorfanfällig, jedoch gibt es unter den verwandten wilden Malusarten einige widerstandsfähige Typen. Das Zuchtziel ist, die Schorfwiderstandsfähigkeit der qualitativ minderwertigen Malusarten mit der Güte des Kulturapfels zu kombinieren. Der Weg zu diesem Ziel besteht in der Selektion der widerstandsfähigen Typen aus der Nachkommenschaft von Kreuzungen anfälliger Edelsorten mit widerstandsfähigen Wildformen. Die Selektion erfolgt mit Hilfe eines Masseninfektionsverfahrens, das die Verarbeitung eines sehr großen Materials junger Sämlinge gestattet. Die als widerstandsfähig befundenen Formen werden durch nochmalige Infektion einer zweiten Prüfung unterworfen und dann später aufgeschult. Es wird sich in einigen Jahren zeigen, wieweit unter diesen Sämlingen brauchbare, d. h. wohlschmeckende, großfrüchtige Formen zu finden sind. Neben dieser rein züchterischen Arbeit laufen Untersuchungen über die Frage, ob man bei dem Erreger des Apfelschorfes mit dem Vorkommen physiologisch spezialisierter Formen zu rechnen hat. Im Zusammenhang damit werden Ursachen und Reichweite der bei dem Schorfpilz weitgehend vorhandenen morphologischen Spezialisierung auf künstlichem Substrat untersucht. Es kann heute bereits gesagt werden, daß direkte Zusammenhänge zwischen morphologischer und physiologischer Spezialisierung bei *Venturia inaequalis* nicht bestehen. — Im nächsten Jahre wird mit Arbeiten zur Züchtung von schorfwiderstandsfähigen Birnen begonnen werden.

An dem reichhaltigen Apfelsämlings-Material werden außer der Schorffestigkeit noch einige andere Zuchtziele bearbeitet, die sich auf verschiedene wertvolle Eigenschaften erstrecken, z. B. die Züchtung qualitativ hochwertiger Sommeräpfel und anderes mehr. Bei den Kirschen wird die Schaffung einer selbstfertilen Süßkirsche angestrebt. Dieses Ziel soll auf dem Wege der Kreuzung von Süßkirschensorten mit selbstfertilen Sauerkirschen erreicht werden. Es hat sich gezeigt, daß in der  $F_1$  solcher Kreuzungen genügend selbstfertile süßschmeckende Kirschen nicht herauspalten, so daß Rückkreuzungen mit Süß- und Sauerkirschensorten vorgenommen wurden. Eine dankbare züchterische Aufgabe wäre die Schaffung einer gegen die Zweig- und Stengeldürre (*Monilia*) widerstandsfähigen Schattenmorelle, da man dieser Krankheit bisher noch ziemlich machtlos gegenübersteht. Zur Einleitung entsprechender Versuche ist in diesem Jahr ein Verfahren zur künstlichen Infektion mit dem *Monilia*-pilz ausgearbeitet worden. In Verbindung mit der Biologischen Reichsanstalt werden Untersuchungen über das Verhalten von Kirschensämlingen gegenüber der Kirschfliege durchgeführt.

Besondere Beachtung wird der Züchtung von Obstsorten geschenkt, die sich durch möglichst große Widerstandsfähigkeit gegen ungünstige klimatische und Bodenverhältnisse auszeichnen. Solche Aufgaben sind in Bearbeitung genommen worden und werden in Verbindung mit der ostpreußischen Zweigstelle des Instituts durchgeführt. Hier ist zunächst die Schaffung von Pfirsichen zu nennen, deren Holz und deren Blüten gegen Frost widerstandsfähig sind. Es sind bereits Sämlinge aus Kreuzungen von Edelsorten mit rotlaubigen Pfirsichen vorhanden, deren Winterfestigkeit und deren Widerstandsfähigkeit der Blüten gegen Spätfröste erwiesen ist. Bei den Pflaumen wird auf Sorten hingearbeitet, deren Blütezeit spät liegt, die jedoch möglichst früh tragen, also Sorten, die sich besonders für die nördlichen und östlichen Gebiete eignen würden. Weiterhin wird versucht, durch Kreuzungen von Edelsorten mit Wildformen der Art *Prunus cerasifera*, die sich durch große Widerstandsfähigkeit gegen Frost, Dürre sowie anspruchslosigkeit jeder Art auszeichnen, zu besonders widerstandsfähigen Kulturformen zu gelangen. Vor zwei Jahren ist auch mit Arbeiten zur Züchtung frostwiderstandsfähiger Walnüsse begonnen worden.

Naturgemäß ist Obstzüchtung Arbeit auf weite Sicht, und wir stehen mit unseren Müncheberger Arbeiten noch am Anfang. Es ist das erste Mal, daß in Deutschland eine großzügige Obstzüchtungsarbeit eingeleitet worden ist. Das Endziel der Arbeiten auf dem Gebiete der Obstzüchtung ist nicht nur, dem schwerringenden deutschen Erwerbsgartenbau durch Schaffung wirtschaftlich wertvoller Sorten zu helfen, sondern damit auch die bäuerliche und kleingärtnerische Obsterzeugung sowie den Verbrauch eines wichtigen Volksernährungsmittels billiger zu gestalten.

b) *Beerenobst*: P. MICHAELIS.

Die heute in Müncheberg betriebenen Züchtungsarbeiten beim Beerenobst gehen größtenteils auf Kreuzungsversuche zurück, die vor 9—10 Jahren im Institut für Vererbungsforschung der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin-Dahlem von Professor BAUR begonnen wurden.

Es handelt sich dabei in erster Linie um Kreuzungen innerhalb der Gattung *Ribes*, wie sie im Jahrgang 2 des „Züchter“ durch LORENZ eingehend beschrieben wurden. Neben rein wissenschaftlich theoretischen Bastardierungsfragen stand im Vordergrund die Aufgabe der Züchtung meltauressistenter, für Markt und Konservenindustrie geeigneter, großfrüchtiger Stachelbeersorten. Zu diesem Zweck wurden in erster Linie Kreuzungen zwischen nordamerikanischen Spezies, wie *Ribes divaricatum*, *R. succirubrum*, *R. pinetorum*, *R. oxycanthoides* einerseits und europäischen, großfrüchtigen Sorten von *R. grossularia* andererseits durchgeführt. Eine größere Anzahl von F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Bastarden aus diesen ersten Kreuzungen steht noch heute in Müncheberg und dienen als Grundlage für die weiteren Züchtungsarbeiten.

Die bisherigen Untersuchungen von F. GRUBER haben gezeigt, daß die Anfälligkeit gegen Meltau dominant ist und voraussichtlich auf 2 bis 3 Erbfaktoren beruht. Für eine genauere Bestimmung fehlen noch die geeigneten Infektionsmethoden, an denen zur Zeit gearbeitet wird. Für

die praktische Züchtungsarbeit wurde die Auslese an Hand der natürlichen, stets reichlich auftretenden Meltauinfektionen vorgenommen.

Bedeutend schwieriger als die Auslese auf meltauresistente Typen ist die Kombination der Widerstandsfähigkeit mit der Großfrüchtigkeit. Offenbar ist letztere stark polymer bedingt. Es wurden deshalb Rückkreuzungen mit großfrüchtigen Sorten durchgeführt.

Neben diesen Kreuzungs- und Selektionsarbeiten wurde eine genaue Sortimentsbeobachtung begonnen, die 1934 durch den Erwerb des großen Beerenobstsortiments von E. MACHERAUCH in Legefeld eine starke Erweiterung erfuhr.

Außer den Züchtungsarbeiten auf Meltauresistenz liefen von Anfang an Versuche zur Schaffung neuer Beerenobstformen innerhalb der Gattung *Ribes*. Erwähnenswert ist hier die sog. „Jochelbeere“, eine Züchtung von Professor BAUR, die er aus einer Kreuzung zwischen der *Ribes succirubrum* und einer Kultursorte von *R. grossularia* erhielt. Der sehr starkwüchsige und sehr stark bewehrte Sämling mit seinen 2–3beerigen, kleinfrüchtigen Trauben besitzt bis jetzt trotz guter Geschmacks- und Ertragseigenschaften nur Liebhaberwert.

Kreuzungen zwischen Johannisbeeren wurden erst vor 2 Jahren begonnen. Es wird vor allem eine Verbesserung im Hinblick auf Fruchtgröße und Kernarmut der Beeren erstrebt. Ein weiteres Zuchtziel ist die Züchtung blattfallresistenter Stachel- und Johannisbeeren und die Züchtung besserer Unterlagen für die Hochstammveredelung.

Auch innerhalb der Gattung *Rubus* wurden schon im Vererbungsinstitut in Dahlem Kreuzungsarbeiten begonnen. Vor allem wurden Kreuzungen zwischen den Sektionen *Eubatus* und *Idaeobatus* versucht. Das praktische Ziel war dabei eine Kombinierung der guten Eigenschaften der Himbeeren (aufrechter Wuchs, geringe Bestachelung, Loslösen der Früchte vom Fruchtboden) mit Eigenschaften der echten Brombeeren (Widerstandsfähigkeit gegen Rutenkrankheit, Ertragssicherheit). Als Grundlage für die weitere Züchtung laufen Untersuchungen über die Biologie des Erregers der Rutenkrankheit und über geeignete Infektionsmethoden.

Die Erdbeerzüchtung wurde in größerem Umfange erst in Müncheberg begonnen. Die Dahlemer Kreuzungen dienten in erster Linie theoretischen Untersuchungen über die Geschlechtsverhältnisse. Nach Studium der Erfordernisse der Praxis wird jetzt das Hauptgewicht der Züchtung auf Erzielung festfleischiger, transportfähiger Sorten gelegt.

Theoretisch wurde bisher im Rahmen des Artentstehungsproblems an der Klärung der Selbststerilität der *Antirrhinum*-Wildsippen gearbeitet. Mit Übernahme der Arbeiten von F. GRUBER durch P. MICHAELIS wurden Untersuchungen über die Plasmavererbung in das Arbeitsprogramm aufgenommen. Weitere Untersuchungen sollen die Analyse der Plasmonunterschiede der verschiedenen Formenkreise der Gattung *Epilobium*, des Zusammenwirkens von Plasmon und Genom und der Bedeutung des Plasmons für Entwicklungsphysiologie und Phylogenie weiter vortreiben.

## Abteilung W. v. WETTSTEIN.

Seit dem Jahre 1928 wurde auf Veranlassung von Professor BAUR mit der Züchtung von *Salix* durch W. v. WETTSTEIN begonnen. Im gleichen Jahre hatte Forstmeister SEITZ mit Erlaubnis Professor BAURs im Saatkamp des Müncheberger Forstes die Nachkommenschaft von 16 Kiefern bäumen ausgesät, um seine Ansicht, die Kiefern nach der Ausbildung der Rinde in Rassen einzuteilen, nachprüfen zu können. Im folgenden Jahre, 1930, sind die ersten Versuche, auch bei *Populus* durch Kombinationszüchtung luxurierende  $F_1$ -Bastarde zu erhalten, durchgeführt worden. So wurde dieses Jahr eigentlich das Gründungsjahr der Abteilung für Forstpflanzenzüchtung.

Die Prüfung der Nachkommenschaften von Einzelkiefern, die Nutzung luxurierender  $F_1$ -Bastarde bei *Populus*, die Gewinnung von *Salix*-Pflanzen mit guter Schälbarkeit, hohem Gerbstoffgehalt der anfallenden, einjährigen Rinde waren nunmehr die Aufgabengebiete. Leider war jedoch keine Möglichkeit, im großen Maßstabe all die Fragen zu prüfen. Erst im Frühjahr 1934, als durch Generalforstmeister v. KEUDELL die Ideen und Wünsche BAURs kräftigst gefördert wurden, konnten die Arbeiten für Forstpflanzenzüchtung richtig in die Tat umgesetzt werden.

1935 wurden die Einzelauslese von Kiefern mit Prüfung der Nachkommenschaften und Schütterresistenzzüchtung, Klonvermehrung von *Populus*-Hybriden und Sämlingsanzucht, Auslesezüchtung bei *Betula* und Herkunftsfragen durchgeführt. Neu aufgenommen ist die Züchtung von *Larix*. Vom Reichsforstamt wird alljährlich ein Forstassessor der Abteilung zugeteilt, um dieser Gelegenheit zu geben, in Genetik und Züchtung sich zwei Jahre zu orientieren, so daß in wenigen Jahren Spezialisten für die einzelnen Baumarten ausgebildet sein werden.

1932 übernahm W. v. WETTSTEIN die durch WAGNER begonnene Züchtung von Topinambur, die in kleinerem Umfang weitergeführt wird.

## Abteilung A. MEYLE.

Unmittelbar nach Eröffnung des Institutes wurde die Feldversuchsarbeit damit begonnen, daß die Bodenverhältnisse des 300 ha umfassenden Versuchsgeländes näher untersucht wurden. Als vorbereitende Arbeit für die Arbeit der Züchter wurden auf fast sämtlichen Feldschlägen des Geländes zunächst Feldversuche angestellt, um zu erfahren, welche Nährstoffe dem armen glazialen Sandboden fehlen, und wie dementsprechend die Nährstoffzufuhr zu erfolgen hat. Es zeigte sich bald, daß der Boden, wie zu erwarten war, sich außerordentlich stickstoffhungrig zeigte. Durch zweckentsprechende Stickstoffdüngung des Getreides wurden beispielsweise Mehrerträge von 100 und 120% erzielt. Der Nährstoff Phosphorsäure hatte schon wesentlich geringere Wirkung. Mehrerträge von 10 bis 15% waren schon hoch zu nennen bei Zufuhr von starken Phosphorsäuregaben. Noch etwas geringer waren die Ergebnisse der Kalidüngung. Späterhin wurden dann die Untersuchungen nicht bloß mit Hilfe des Feldversuchs durchgeführt, sondern es wurde der Gefäßversuch nach

MITSCHERLICH zu Hilfe genommen. Zu diesem Zweck ist eine MITSCHERLICH-Station errichtet worden, und in 600, heute 750 Gefäßen werden jährlich Bodenuntersuchungen angestellt. Sämtliche Felder wurden und werden noch heute unter laufender Bodenkontrolle gehalten.

Besonders eingehend wurde die Frage des Kalkgehaltes und der Bodenreaktion bearbeitet. Das ganze Gelände wurde sowohl in der Krume wie im Untergrund auf Reaktion mit einem TRÉNELSchen Azidimeter untersucht und die Ergebnisse auf Karten eingetragen. Desgleichen wurde der Gehalt des Bodens an kohlensaurem Kalk festgestellt. Es konnte leicht nachgewiesen werden, daß die Reaktion der Böden für die allermeisten Kulturpflanzen, selbst für Lupinen, zu tief lag, und daß sehr starke Kalkmengen zugeführt werden mußten, um die starke Bodensäure abzustumpfen und die Reaktion zu erhöhen. Im Laufe weniger Jahre wurden die sauersten Feldstücke mit Kalkmengen bis zu 100 dz Kalk je Hektar versorgt. Gegenwärtig werden von einem Versuchsgelände von etwa 25 ha zum Zweck der Beobachtung der jahreszeitlichen Schwankung der Reaktion halbjährlich Proben genommen und untersucht. Zugleich soll damit die Wirkung der Düngungs- und Kulturmaßnahmen verfolgt werden.

Als Vorarbeit für züchterische Maßnahmen wurden in breitem Rahmen Pflanzensortenprüfungen durchgeführt. Es sollte damit den Züchtern gezeigt werden, welche Sorten unter den hiesigen ungünstigen Verhältnissen die höchsten Leistungen hinsichtlich Ertrag und Qualität aufweisen, um mit Verbesserungen dort anzufangen, wo die Erfolge der privaten Züchter aufgehört haben. Auch für die Versuchsanstellung mußten Vergleichssorten gesucht werden, die bisher Spitzenleistungen aufzuweisen haben. Es wurden alljährlich Prüfungen mit Roggen, Weizen, Gerste, Hafer, Kartoffeln, Mais, Ölfrüchten, Rüben und Topinambur durchgeführt. 200—300 Pflanzensorten sind jährlich geprüft, als die Sortenvereinheitlichung im Reich noch nicht durchgeführt war. Seit 2 Jahren wurden systematische Anbauversuche mit den in Müncheberg von R. v. SENGBUSCH gezüchteten alkaloidfreien Lupinen gemacht. Es soll damit festgestellt werden die optimale Saatzeit, Saatmenge, Düngung, allgemeine Kulturmethoden und Bodenansprüche der gelben und der blauen bitterstofffreien Lupine.

Arbeiten über Versuchstechnik wurden durchgeführt. Vor allem wurde die Frage einer guten Aussaatmethode für Sorten- und Stammprüfungen bearbeitet. Weiterhin wurde in mehrjährigen Versuchen die Umpflanz- und Vertiefungsmethode für Getreide sowie die Radiumwirkung auf Pflanzen geprüft.

Zwölf landwirtschaftliche Betriebe der Müncheberger Umgebung mit zusammen etwa 7000 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche sind der Abteilung zum Zweck der Bodennährstoffkontrolle und der Wirtschaftsberatung angeschlossen. Auf diesen Betrieben wurden neue Kulturen wie Süßlupinen erstmalig in größerem Umfang vermehrt und erprobt. Auch sollen diese Betriebe dazu dienen, die unmittelbare Verbindung des Instituts mit der landwirtschaftlichen Praxis zu halten.

## Abteilung MÄDE.

Mit dem Aufbau der agrarmeteorologischen Forschungsstelle wurde im Jahre 1934 begonnen. Es kam zunächst darauf an, einen Einblick in die thermischen Verhältnisse des Versuchsgeländes zu bekommen. Die Messung der nächtlichen Minimumtemperaturen längs eines durch das Institutsgelände gelegten Meßprofils diente diesem Zweck.

Gleichzeitig sollte an die Erprobung einwandfreier Temperaturmeßanlagen gegangen werden. Die Schwierigkeiten, die sich einer Messung der wahren Lufttemperatur in der bodennächsten Schicht entgegenstellen, sind bekannt. Strahlung und Wind fälschen die Angaben der gewöhnlichen Thermometer in unkontrollierbarer Weise. Die Anbringung eines Strahlungsschutzes an die Meßgeräte fälscht aber die thermische Struktur der zu untersuchenden Luftschichten. Die Meßgeräte sollen daher nur eine ganz kleine Masse haben. Nickelfadenthermometer nach dem ALBRECHTSCHEN Meßprinzip sind nach den bisherigen Untersuchungen geeignet, bei mikroklimatischen Messungen einwandfreie Beobachtungsergebnisse zu liefern. Die jetzt verwandten Thermometer weisen einen so geringen Strahlungsfehler auf, daß er praktisch vernachlässigt werden kann. Wie wichtig die Herabsetzung des Strahlungseinflusses vor allem bei bestandsklimatischen Untersuchungen ist, läßt sich aus Vergleichsmessungen mit strahlungsempfindlichen Geräten ermesen.

Weitere Untersuchungen über die Größe des Strahlungsfehlers bei den üblichen Minimumthermometern sind in Angriff genommen.

## Zweigstelle Ostpreußen: W. HERTZSCH.

Die Gräserzüchtung, die die Zweigstelle Klein-Blumenau des Kaiser Wilhelm-Institutes für Züchtungsforschung im Jahre 1933 von der Landesbauernschaft übernommen hat, wird auf den Erfahrungen, die hier vorliegen, weiter ausgebaut. Vor allem die Untersuchungen über den Nährstoffgehalt und den Futterwert der einzelnen Gräser haben die Züchtungen in der letzten Zeit besonders vorwärts gebracht. Es konnten auch bei den Gräsern große Unterschiede im Eiweißgehalt festgestellt werden, woraus sich die Möglichkeit einer größeren Auslesearbeit ergibt. Neben der Individualauslese wurde in den letzten Jahren und besonders im Jahre 1935 mit Kreuzungen gearbeitet, da es als sicher anzusehen ist, daß man bei systematischem Vorgehen zu neuen wertvollen Futtergräsern gelangen kann. Es werden zur Zeit 12 verschiedene Gräserarten züchterisch bearbeitet.

Die Leguminosenzüchtung erstreckt sich in der Hauptsache auf *Trifolium*, *Vicia*- und *Lathyrus*-Arten, die züchterisch so gut wie noch nicht bearbeitet worden sind. Die Bedeutung derselben, besonders für ausdauernde Futterflächen, ist außerordentlich groß. Zunächst ist es gelungen, ein reichhaltiges Sortiment zu schaffen und ein großes Einzelpflanzenmaterial von besonders wertvollen Leguminosearten heranzuziehen.

Neben der Gräser- und Leguminosenzüchtung, die hier das Hauptarbeitsgebiet darstellt, haben in den letzten beiden Jahren verschiedene

Müncheberger Abteilungen Zuchtmaterial nach Klein-Blumenau gegeben, um hier prüfen zu lassen, ob ihre Züchtungen für den deutschen Osten geeignet sind. So wurden vor allem Winterweizen und Wintergerste auf Frosthärte geprüft. Der Winter 1934/35 war so streng, daß die Auswinterungsschäden hier bei weitem größer waren als in Müncheberg. Die Auswinterungsverluste beim Obst waren nicht so stark wie beim Getreide, erfroren sind fast alle *Juglans*-Stämme, einige wenige sind übriggeblieben, von denen man annehmen kann, daß sie ziemlich winterhart sind.

Weiter befindet sich auf der Zweigstelle Zuchtmaterial von Sommergerste, Kartoffeln, Tomaten, Topinambur und Mohn zur Prüfung.

Von dem Zweigstellenleiter werden theoretische Arbeiten über die infektiösen Chlorosen im Anschluß an die Arbeiten von BAUR, HERTZSCH und VON EULER (Stockholm) in einem Gewächshaus fortgesetzt.

### 16. Deutsches Entomologisches Institut der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Berlin-Dahlem.

In den 49<sup>1/2</sup> Jahren des Bestehens des Instituts sind im ganzen über 850 wissenschaftliche Arbeiten von seinen Berliner Mitarbeitern veröffentlicht worden. Dazu kommen über 300 weitere, die von auswärtigen bzw. ausländischen Wissenschaftlern stammen und sich auf 38 Länder und alle 5 Erdteile verteilen.

Professor GUSTAV KRAATZ, der Gründer des Instituts, hat 1886—1904 über 350 Arbeiten publiziert, welche alle bis auf 4 der deskriptiven Entomologie zugehören. Die 4 Ausnahmen betreffen eine anatomische Studie über den *Carabus*-Flügel, nomenklatorische Fragen, Monstrositäten und Bastarde. Alle anderen handeln über Koleopteren; ganze Serien davon über *Cetoniden*, *Languriden*, *Paussiden*, *Clavicornia*, *Melolonthiden* und *Ruteliden* der Welt, über die Gattung *Carabus*, *Coptolabrus* und *Ceroglossus*. Kleinere Serien sind über *Staphyliniden*, *Cleriden*, *Lucaniden*, *Tenebrioniden*, *Cerambyciden*, *Hispiden* und *Curculioniden* der Welt, europäische *Cicindelen*, paläarktische *Carabini* sowie diverse paläarktische bzw. märkische Koleopteren erschienen. In Sonderbeiträgen behandelte KRAATZ die Faunen von Turkestan, Nordchina, Korea, Sumatra, Kamerun, Togo und Ostafrika.

Sein Interesse für internationale Zusammenarbeit beweist am besten die Tatsache, daß er auf dem I. Internationalen Zoologenkongreß in Paris 1889 der *einzigste deutsche Teilnehmer* war!

SIGMUND SCHENKLING (Kustos von 1904—1922) hat 34 systematische Arbeiten über *Cleriden* der Welt veröffentlicht, sodann je 1—2 Arbeiten über *Languriden*, *Endomychiden*, *Lymexyloniden* und *Cetoniden*; außerdem 2 über Nomenklatur und 1 über in ägyptischen Mumiengräbern gefundene Koleopteren. Seine größten Leistungen liegen aber auf bibliographischem Gebiet, wo er einer der ersten Autoren der Welt geworden ist. Es handelt sich dabei einerseits um den (im Jahre 1928/29 auf meine Kosten verlegten) vierbändigen „*Index Litteraturae Entomologicae*“, welcher die *gesamte* entomologische Weltliteratur vom Altertum bis zum Jahre 1863 umfaßt. Ich konnte an diesem Werk leider nur *sehr* wenig selbst mitarbeiten, so daß

es fast ganz *sein* Werk ist! Viel bedeutsamer noch ist die Redaktion des „*Coleopterorum Catalogus*“, um dessen redaktionelle Übernahme ich ihn gebeten hatte, nachdem ich den Berliner Verleger W. JUNK zu der Herausgabe dieses Riesenwerkes veranlaßt hatte. Nicht weniger als 145 Teile sind davon bis heute erschienen: 17 davon von SCHENKLING selbst verfaßt; an 3 weiteren hat er mitgearbeitet. Diese 145 Teile umfassen fast 200 000 *Insekten*-Arten, d. h. annähernd  $\frac{1}{4}$  aller bis heute beschriebenen *Tier*-Arten:  $\frac{4}{5}$  des Werkes liegt abgeschlossen vor.

Von RICHARD ZANG, Hilfsassistent von 1904—1906, stammen 12 deskriptive Arbeiten über *Passaliden* und 6 über *Lucaniden* der Welt.

ALEXANDER HEYNE, Hilfsarbeiter von 1910—1921 und 1925—1927, hat 1913 eine deskriptive Arbeit über eine *Formosa-Lepidoptere* publiziert.

HANS WAGNER, Assistent von 1911—1921, hat eine große Reihe von systematischen Arbeiten über *Apioniden* und Beiträge zur Koloepterenfauna der Mark Brandenburg veröffentlicht.

Von EMBRIK STRAND, Hilfsarbeiter von 1912—1922, stammen über 100 Arbeiten, welche fast alle die Systematik der *Lepidopteren* und *Hymenopteren* der Welt umfassen; dazu einige biologische über Nestbau der Insekten usw.

FRITZ VAN EMDEN, der nur vorübergehend im Jahre 1922 als Assistent tätig war, gab eine anatomische Arbeit über Insektenfühler heraus. — FRANZ SCHILDER, Assistent von 1922—1923, publizierte 3 systematische Arbeiten über *Rhipiphoriden* der Welt.

Von GÜNTHER SCHMIDT, welcher seit 1934 als Hilfsassistent im Institut arbeitet, stammt eine deskriptive Arbeit über *coprophage Lamellikornier*; von KARL MAYER, wissenschaftlichem Hilfsarbeiter 1934/1935, eine physiologische Arbeit über Schlupfwespen, eine systematische über *Ceratopogoniden* und eine über den Parasitismus einer deutschen *Ceratopogonide* an Florfliegen.

RICHARD KORSCHESKY, welcher seit 1927 zuerst als Präparator, jetzt als technischer Inspektor angestellt ist, hat 10 Arbeiten über die Systematik der *Coccinelliden* der Welt, darunter einen sehr umfangreichen Gesamtkatalog derselben, publiziert. Außerdem entdeckte und beschrieb er einen neuen Larventypus dieser Familie.

Regierungsrat Dr. HANS SACHTLEBEN, den die Biologische Reichsanstalt seit Anfang 1933 als meinen offiziellen Stellvertreter abkommandiert hat, veröffentlichte in dieser Zeit Arbeiten über Systematik und Lebensweise von Schildläusen sowie über Parasiten der Kirschfruchtfliege.

In über 250 Arbeiten habe ich selbst seit 1891 die Koloepterengruppe der *Cicindelinen* bearbeitet. Die Studien begannen mit einer Revision aller beschriebenen Formen, Nachprüfung der über fast alle großen Museen der Welt verteilten „Typen“, Kontrolle der Fundortsangaben und Bearbeitung des in über 40 Museen aufgestapelten unbearbeiteten Materials, um zunächst Unterschiede zwischen Arten, Rassen und sonstigen erblich fixierten bzw. individuellen Formen festzustellen. Bei der Prüfung der Rassen stellte sich sehr bald heraus, daß die Verhältnisse bei dieser Insektengruppe viel komplizierter liegt als bei den meisten anderen, indem es eine

große Anzahl von Arten gibt, welche zunächst einmal ein riesiges Verbreitungsgebiet, z. B. Marokko bis Amurmündung oder zentrales Nordamerika bis Chile, haben: Über ein Dutzend geographische Rassen haben sich da manchmal herausgebildet, von welchen manche wiederum ein so großes Areal bewohnen, daß dieses seinerseits wiederum das Zustandekommen von kleinen, geographisch scharf fixierten Unterrassen gestattet, welche zum Teil nicht mehr die allergeringsten Übergänge zu Hauptrassen aufzuweisen brauchen, aber aus vergleichend anatomischen Studien mit absoluter Sicherheit *nur* als Unterrassen auffaßbar sind. Erschwert werden alle diese Studien durch die häufig auftretenden Konvergenzerscheinungen, wodurch oft nicht leicht zu entwirrende Verwandtschaften vorgetäuscht werden. In vielen Fällen erwies sich dabei die Untersuchung der äußeren Genitalorgane als maßgebend; in anderen stellte sich aber heraus, daß (entgegen der sonst so oft herrschenden Anschauung) auch dieses letztere Merkmal sehr erheblichen *individuellen* Abweichungen unterworfen ist, so daß es genau wie andere Kennzeichen nur mit Vorsicht verwendbar ist. 1898 begann ich die erste generelle Revision der Gruppe, die aber 1906 unvollendet abgebrochen werden mußte. Trotzdem ergab sie, daß die frühere auf der Bearbeitung der Mundteile und Flügel basierende Haupteinteilung unhaltbar war, wogegen die vergleichende Anatomie der Chitintplatten des Thorax die Möglichkeit einer neuen Einteilung schuf. 1905 faßte ich in einem provisorischen „*Index*“ das Resultat meiner bisherigen systematischen Ergebnisse zusammen und konnte zum ersten Male eine phylogenetische Arbeitshypothese aufstellen, in der ich allerdings bezüglich der *Imagines* zu einem falschen Schluß kam, indem ich für sie einen einheitlich geschlossenen Stamm annahm. Vor allem warnte ich dabei vor der sinnlosen Benennung jener zahllosen geringfügigen Lokalformen, die zunächst wenigstens nur die Übersicht über die großen Rassen verhinderten; ebenso seien alle nur auf Färbung und Zeichnung begründeten Artbeschreibungen zu vermeiden. 1908—1915 folgte die erste große zusammenfassende Bearbeitung der Gruppe (487 Seiten in 4<sup>o</sup>-Format mit 23 Tafeln), in welcher ich schon fast alle Körperteile vergleichend anatomisch bearbeiten konnte. Das Hauptergebnis war zunächst, daß die ganze Gruppe nicht mehr als selbständige Familie von der Riesenfamilie der *Carabiden* trennbar sei, da der einzige konstante Unterschied nur in der *biologisch* begründeten Larvenform besteht. Gleichzeitig begann ich merkwürdigerweise an einem einheitlichen Stammbaum zu zweifeln, denn es stellte sich heraus, daß die *Imagines* zwei durch keinerlei Zwischenformen verbundene Stämme bildeten, so daß die ganze Gruppe möglicherweise eine künstliche Einheit hätte darstellen können, indem aus der Unzahl der *Carabiden*-Stämme 2 sich so konvergent weiterentwickelt hätten, daß sie schließlich eine geschlossene Einheit vortäuschten. Als dann FR. VAN EMDEN feststellte, daß die auf den ersten Blick scheinbar so einheitlichen Larvenformen der *Cicindelinen* doch bezüglich des Prothorax und des Borstenhöckers zwischen den Hauptocellen eine deutliche Divergenz zeigten, ergab sich die endgültige stammesgeschichtliche Lösung dahin, daß *Cicindelinen* und *Carabiden* zwar eine einheitliche Gruppe bilden, daß

sich aber zunächst 2 vollkommen getrennte Larventypen entwickelt haben, von denen der eine (*Cicindelinen*) an Erd- bzw. Holzgänge gebunden, der andere (*Carabiden*) frei vagabundierend sei. Durch die spätere Gabelung des Stammes der *Cicindeliden*-Larven erklären sich dann zwangsläufig die 2 scheinbar getrennten Stämme der *Cicindelinen-Imagines*.

Vergleichende Studien über die Zeichnung und „ornamentale“ Beborstung (ich führte 1908 letzteren terminus technicus im Gegensatz zu den „fixierten“, meist überspezifisch zu wertenden Haargebilden ein) ergaben einen erstaunlichen Parallelismus, dem ich zunächst völlig hilflos gegenüberstand, bis sich eine einfache Lösung dahingehend fand, daß sich beide Charaktere gleichzeitig von primitiven Urformen, die sowohl nackt wie ungezeichnet gewesen sein müssen, entwickelt haben. Eine Stützung fand diese Arbeitshypothese durch die Tatsache, daß sich noch heute einzelne Arten finden, welche eine *Zeichnung* besitzen, die durch ornamentale *Beborstung* gebildet wird! Die zum Teil sehr komplizierten Zeichnungsanlagen wurden gleichzeitig auf 4 Typen zurückgeführt, die trotz der erstaunlichen Abänderungsfähigkeit der Zeichnung klar differenzierbar sind, wenn sie auch in vielen Fällen deshalb zunächst unerkannt bleiben, weil sowohl bei geographisch fixierten Rassen wie sonstigen zum Teil nicht erblichen Formen Fälle vorkommen, wo beim selben Individuum ein Teil der Flügeldeckenzeichnung verkleinert ist, während ein anderer sich stark ausgedehnt hat. Im ersten Augenblick können z. B. schwer lösbare Kontraste durch Auftreten einer longitudinalen Mittelbinde statt 2 marginaler (1906) usw. entstehen. Ebenso überraschend war die Feststellung, daß — offenbar teils aus genetischen, teils aus entwicklungsphysiologischen Gründen — Makeln ihren Platz verändern können („Makelwanderung“). Diese Studien über „ornamentale“ Beborstung und Zeichnung erwiesen sich gerade deshalb als besonders fruchtbar, weil sie öfters die großen Schwierigkeiten erklären, welche hinsichtlich der systematischen Trennung von Arten mittelst der in der Praxis leider schwer vermeidbaren „Bestimmungstabellen“ entstehen. Ich erinnere nur an das Auftreten von Borsten an Körperteilen, welche bei Exemplaren mit normaler Entwicklungsmechanik fehlen, Erscheinungen, die im Sinne der alten Autoren zum Teil unter den Begriff „Monstrositäten“ fallen würden.

Weiter konnten jene nicht seltenen Fälle interpretiert werden, wo Abweichungen in dem obigen Parallelismus zwischen Beborstung und Zeichnung auftreten. Ein genaueres Studium erweist nämlich, daß fast jedesmal in solchen Fällen weitere (gewissermaßen aus dem Rahmen der Verwandtschaft herausfallende) Charaktere feststellbar sind, die als Beweis dafür aufgefaßt werden können, daß es sich um phylogenetische Seitensprünge bzw. rückwärts gerichtete Entwicklungen handelt. Der Fall, wo heterogene Arten wegen zahlreicher *identischer* anatomischer Charaktere eine einzige Gruppe zu bilden scheinen, ist gleichfalls auf dem Wege der obigen Gedankengänge erklärbar geworden: Vorseilen *eines* Faktors oder, was mir wahrscheinlicher erscheint, Reduktionen von früher vorausgeeilten *anderen*. Um die Annahme der Möglichkeit einer später wieder einsetzenden

Weiterentwicklung eines früher stark reduzierten Charakters kommen wir bei alledem nicht herum, wenn früher auch große Bedenken dagegen angeführt worden sind (die neueren genetischen Anschauungen können ohne weiteres dieses Wiederentstehen erklären). Merkwürdigerweise ergab sich bei diesen Studien über die Zeichnung, daß die frühere Annahme der primitiven Longitudinalzeichnung, wie sie EIMER aufgestellt hat, für *Cicindeliden* in keiner Weise haltbar ist; im Gegenteil, hier sind *alle* Längszeichnungen *Terminal*-Erscheinungen!

Von geschlossenen Faunengebieten wurden im Laufe der Jahrzehnte hauptsächlich folgende gesondert bearbeitet: Die ganze paläarktische Region (1891), Sumatra (1895 und 1927), Java (1897), Mexiko (1897 und 1903), Tonkin (1902), Ceylon (1904), Angola (zusammen mit WELLMAN-U.S.A.: 1908), Britisch-Indien (zusammen mit ANNANDALE-Kalkutta: 1909), Formosa (1912), die Insel Simalur sowie das Gebiet des oberen französischen Kongo (1913), Indochina (1924), das Gebiet der *Vaccarias* von Matto Grosso (1924/1926), der Persische Golf (1927), Katanga (1929), die Vereinigten Staaten von Nordamerika (1930), China (1930), Bolivien (1931), Madagaskar (1935).

1926 konnte ich einen II. revidierten Weltkatalog herausgeben.

Zoogeographische Studien ergaben, daß die übliche Annahme einheitlicher regionaler Grenzen für die meisten oder gar alle Tierstämme nicht einmal für die verschiedenen *Genera* der *Cicindelinen* haltbar sei, weder in der alten noch in der neuen Welt. Die einfache Erklärung für diese im ersten Augenblick vielleicht überraschende Tatsache sei, daß sich die einzelnen Gattungen der *Cicindelinen* bei ihrem zum Teil sehr hohen Alter (mindestens Mesozoikum!) zu ganz verschiedenen Erdperioden entwickelt haben, so daß manche eine bestimmte Möglichkeit der Verbreitung noch vorgefunden haben, die für später sich entwickelnde Formen nicht mehr gangbar war und umgekehrt. Am interessantesten sind die in dieser Hinsicht mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit anzunehmenden (vielleicht zu annähernd gleicher Zeit beginnenden) 2 Wanderzüge der *Megacephalen*. Wir haben da offenbar mit *einem* zu rechnen, der von Afrika direkt über den Atlantik nach Südamerika gegangen ist und dann vor Auffaltung der Anden den Pazifischen Ozean durchquert hat, indem er nordwärts von Neuseeland ziehend Australien erreichte, wo er nur noch eine Verbindungsbrücke nach Neuguinea gefunden hat. Im Gegensatz dazu hat der *andere* zwar auch von Afrika seinen Ursprung genommen, ging aber etwa zur Zeit des Miozäns (Bernsteinart vom Samland!) über Europa nach Nordamerika. Von dort schlug er dann eine südliche Richtung ein und spaltete sich in Südamerika, da die Auffaltung der Anden schon stattgefunden hatte, in einen völlig getrennten pazifischen und brasilianischen Zweig, ohne Südamerika wieder verlassen zu können.

Im Gegensatz zu diesen sich als durchaus brauchbar erweisenden Arbeitshypothesen stehen leider zwei andere zoogeographische Theorien, in denen ich ganz ersichtlich einen falschen Weg gegangen bin, obwohl ihre wissenschaftliche Stützung jahrzehntelang recht günstig gewesen zu sein schien. Es handelte sich um die von mir 1911 aufgestellte Theorie der

„Wedda-Brücke“, welche das Vorkommen von identischen Formen in Ceylon und Hinterindien durch eine eingesunkene *direkte* Landbrücke erklären sollte. Spätere Nachprüfungen ergaben, daß ich zum Teil durch falsche Fundorte irreführt worden war. — Die zweite Frage betraf die von H. VON IHERING aufgestellte Theorie des „Ameghino-Stromes“, welche den Kontrast zwischen der Faunenübereinstimmung der an der Ostküste von Brasilien mündenden Stromgebiete im Gegensatz zu der Fauna des Amazonas-La Plata-Systems erklären sollte. Drei Jahrzehnte lang hatte ich Material gesammelt: es schien 1921 restlos IHERINGs Hypothese zu stützen. Da vergingen kaum 6 Monate nach meiner Publikation, und — ich erhielt vom oberen San Francisco-Strom Formen, welche (theoretisch) *nur* in das Amazonas-La Plata-Flußgebiet gehört hätten! Und die Theorie war so schön gewesen — —

Eine weitere Frage, der ich gleichfalls Jahrzehnte näherzukommen versucht habe, betraf eine manchmal auftretende seltsame Verbreitung von von Rassen *ein und derselben* Art. Nach der Annahme der meisten Zoologen und Entomologen sollen sie sich im *selben* geographischen Gebiet ausschließen; immer wieder mußte ich aber feststellen, daß solche Fälle unleugbar vorkämen. Ja, es zeigte sich sogar vereinzelt, daß ein ganzes Gewirr von Rassen *derselben* Art sich (z. B. im tropischen und südlichen Afrika) auf weite Entfernungen kreuzten, ohne daß nennenswerte (auf Bastardierung usw. beruhende) Mischformen auffindbar seien. Weiterhin konnte festgestellt werden, daß manchmal identische Populationen ein und derselben großen geographischen Rasse ein und derselben Art in weit voneinander entfernten Gegenden vorkamen („multilokuläre Rassen“). Bei letzteren könnte man zunächst daran denken, daß es sich um einfache Parallelentwicklungen gehandelt hätte, was mit gewissen genetischen Anschauungen übereinstimmen könnte. Schwere Bedenken traten aber zunächst dadurch auf, daß eine derartige Rasse manchmal durch eine größere Zahl von anatomischen Kennzeichen ausgezeichnet war: ein derartig *kompliziertes* identisches Endresultat zu erreichen, hätte der Natur wohl schwer gehalten! Auf Grund des mir allmählich zuströmenden großen Materials glaubte ich diese Fragen in ganz anderer Weise beantworten zu können. Wir hätten zweifelsohne bei Insekten völlig andere biologische Verhältnisse zu berücksichtigen als z. B. bei Vögeln. Das Lebensareal der Insekten sei häufig (und auch in unserem Falle) so eng begrenzt und an ganz bestimmte Biotope gebunden, daß ein selbst ziemlich kleines geographisches Gebiet eine ganze Reihe von Biotopen aufweisen könne, die den sie bewohnenden Rassen durchaus gestattet, sich gesondert zu halten, ohne daß es zu nennenswerten Bastardierungen usw. käme. Für die scheinbar so *flüchtigen Cicindeliden* seien dabei die an ihre Erd- usw. Gänge gebundenen Larven der *ruhende* Pol! Zwischen der Gesamtverbreitung einer Rasse und dem Areal ihrer einzelnen, an bestimmte Biotope gebundenen Populationen bestehe durchaus nicht immer eine Analogie. Es komme letzten Endes darauf hinaus, ob die betreffende Rasse mehr oder weniger die Fähigkeit zum *Wandern* besäße. Wenn das der Fall sei, dann seien 2 Möglichkeiten gegeben: Es könne sich *ein Teil* der Populationen unter

Zurücklassen des anderen auf die Wanderschaft begeben, ein neues manchmal recht entferntes Gebiet aufsuchen und sich dort ansiedeln, wobei auf langen, bei dem Wanderzuge zurückgelegten Strecken nichts von den Populationen zurückzubleiben brauche. Als Endergebnis hätten wir dann in getrennten Gebieten identische Rassen. Ebenso gut könne sich andererseits ein umgekehrter Vorgang abspielen, indem in dem Bereiche einer geschlossenen *großen* Verbreitung durch irgendwelche erdgeschichtlichen oder sonstigen Vorgänge größere Strecken von den betreffenden Populationen entblößt würden. Für die komplizierten Durchkreuzungen von Rassen gälte dasselbe: Es längen dafür im *diminutiven* Sinne keine größeren Schwierigkeiten vor als für gemeinsame Grenzgebiete von Nachbarrassen. Streng genommen gäbe es bei Insekten kaum geschlossene Verbreitungen: Fast immer würden solche nur durch endlose, „dicht gelagerte Insularverbreitungen“ vorgetäuscht, die „geographisch“ nicht mehr erfaßbar, aber trotzdem für Insektenpopulationen nicht überbrückbar seien.

Von weiteren, für generelle Fragen der Zoologie verwendbaren Ergebnisse sei an Studien über Konvergenz hingewiesen. Es handelte sich dabei sowohl um geographisch nicht fixierte wie um regionale Erscheinungen. Bezüglich der ersteren hatte ich bereits in einer zusammen mit ROESCHKE 1891 erschienenen Arbeit bestimmte *termini technici* für Zeichnung und Behorung eingeführt, die ich 1915 erweitern konnte. 1925 habe ich dann auf eine ähnliche Konvergenzerscheinung bezüglich Körperformen hingewiesen. — Weit interessanter sind die regional begrenzten Konvergenzen, welche ich 1915 zum ersten Male zusammenhängend bearbeitete. Wir hätten da z. B. einen besonderen „Montan“- und „Palustral“-Typus zu unterscheiden, die in mehrfacher Hinsicht einander ähnelten, indem gleichzeitige Reduktionen von Zeichnung und Behorung aufträten, die mit dunklerer Färbung Hand in Hand gingen. In der Feuchtigkeit bestimmter Gebirgshöhen wie feuchter Niederungen (Sümpfe usw.) könnte die Erklärung liegen. Entgegengesetzte Charaktere zeige der „Litoraltypus“, welcher sich auf breiten, relativ feuchten, aber durchsonnten Sandflächen findet, wie sie an Meeresküsten und breiten Flußmündungen vorkommen. Wenn sich solche Fälle in manchen Gebieten häuften, könnten echte „Reduktionszentren“ (z. B. in gewissen Teilen von Formosa und Uganda) entstehen.

Über den „Speziesbegriff“ habe ich 1928 in U.S.A., über Mimikry und Selektion 1932 in Paris, über die Bewertung der Phylogenie 1929 in Gießen gesprochen.

Über die Grenzen der mathematischen Auswertung bei gewissen angewandt-experimentellen Arbeiten habe ich 1932 und 1933, über Fragen der angewandten Entomologie 1930 und 1932/33, über die für die Reichspost wichtige Frage der Bleikabelbeschädigungen durch Insekten 1933 und 1934, über die nicht genügende Zusammenarbeit zwischen der deskriptiven und angewandten Entomologie, der experimentellen Biologie und der Genetik 1932/33 publiziert.

Studien über Metamorphose (1908) und Lebensweise (1908/15 und 1923) der *Cicindelinen* ergaben gleichfalls mancherlei Neues, z. B. die Fest-

stellung, daß die Larven der Gattungen *Ctenostoma* und *Therates* ihre Gänge im Holz und nicht in der Erde anlegen; aber im Gegensatz zu den Larvengängen der *Collyrini* nicht in lebenden Zweigen, sondern in heruntergefallenen, morschen Zweigstücken bzw. in morschen Stämmen.

Die Fragen der „Monstrositäten“ habe ich 1927 angeschnitten und ihre uneinheitliche Entstehung betont; 1932 erinnerte ich dann an die Mutationsforschungen, die einen wesentlichen Teil der „Monstrositäten“ erklären könnten, nicht nur z. B. das Auftreten von Tarsen an Stelle von Fühlern usw. — Über in freier Bahn vorkommende Bastardierung zwischen Arten habe ich 1926 publiziert, über die Möglichkeit eines Dimorphismus der äußeren Kopulationsorgane 1932/33.

Über fossile Insekten liegen von mir folgende Arbeiten vor: Eine über Bernsteininklusen (1906), zwei über Kopalinklusen (1907 und 1933) und eine über ein fossiles Insekt aus dem Oligozän von Armissant (1902).

Absichtlich habe ich mich bei meinen *deskriptiven* Arbeiten fast restlos auf die Gruppe der *Cicindelinen* beschränkt; nur viermal habe ich eine Ausnahme gemacht, indem ich 1907 über *Siagonini*, 1908 über eine *Cetonide*, 1927 über einen *Carabus* und 1928 über die seltsame, bei Bienen parasitierende, blinde *Meloiden*-Gattung *Meloethyphlus* geschrieben habe.

Eine kleine ethnographische Arbeit datiert von 1908.

Über die Geschichte der Entomologie habe ich verschiedene Studien publiziert, und zwar 1906 über Prof. KRAATZ, 1927 über den Russen MOTSCHULSKY und 1932/33 über LINNÉ, insbesondere über seine in weiten Biologenkreisen völlig unbekannt, auf Bastardierung begründete Deszendenztheorie. Von zusammenhängenden Geschichtsperioden habe ich 1906 über die Zeit von 1850—1905, 1925 über die Zeit vom Altertum bis zum 8. Jahrhundert und 1926, 1928 und 1935 über die Zeit von 1750 bis 1935 gearbeitet.

Über Fragen der Museologie habe ich folgendes veröffentlicht: Reformgedanken über Entomo-Museologie (1925, 1927, 1927/29 und 1928/29), über „Typen“-Begriffe (1927/29), über Nomenklatur (1930/32) und über Zersplitterung der deskriptiven Entomologie (1928/29).

Die Gesamtzahl meiner Publikationen beträgt etwas über 300; sie sind in 31 Ländern erschienen.

Von wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeiten, die nicht von einzelnen Autoren, sondern durch den gesamten Mitarbeiterstab des Instituts (sowohl seine Berliner Angehörigen wie seine auswärtigen bzw. ausländischen Mitarbeiter) publiziert sind, kommen 4 *faunistische* Serien in Frage: Die erste behandelt die Mark Brandenburg (13 Beiträge), die zweite den Persischen Golf, wohin ich 1926 auf meine Kosten einen Sammler geschickt hatte (15 Beiträge), die dritte Formosa (197 Beiträge), die vierte Sumatra (61 Beiträge). Diese 286 Beiträge stammen von Wissenschaftlern aus 28 Ländern, die sich auf 3 Erdteile verteilen.

Seit Jahrzehnten hatte ich mich für das Zustandekommen von heimischen und internationalen Entomologenkongressen eingesetzt. Als 1909 der Engländer K. JORDAN internationale Kongresse ins Leben rufen wollte, trat ich sofort mit ihm und Vertretern von 3 anderen Ländern in das

begründende Komitee ein, dem ich noch heute als einziger deutscher Vertreter angehöre. Inzwischen ist seine Mitgliederzahl langsam von 5 auf 10 gestiegen (9 Länder). Die 1925 in Zürich abgehaltene III. Tagung war die erste internationale Zusammenkunft nach dem Weltkrieg auf dem *Gebiet der Zoologie!* Wir Deutschen waren auf ihm sehr zahlreich vertreten, während Frankreich und Belgien vollkommen fehlten (bei einem gleichzeitig in der Schweiz tagenden Internationalen Kongreß für Geschichte der Medizin waren alle Deutschen ausgeschlossen!). Die Verhandlungen dieses Schweizer Kongresses wurden mir (auf Kosten des Kongresses!) zur Publikation in Deutschland übertragen. Zu dem 1928 in Ithaka (U.S.A.) abgehaltenen IV. Kongreß wurde ich beauftragt, eine Delegation aus 14 europäischen Ländern zu führen. Wieder wurden mir die Verhandlungen zum Druck in Deutschland übergeben. Für den 1938 in Berlin abzuhaltenden VII. Internationalen Entomologenkongreß habe ich den Posten als Generalsekretär übernommen.

Heimische Kongresse gründete ich im Jahre 1926 und bin bis heute ihr ständiger Sekretär geblieben. Sie haben unter dem Namen „Wander- versammlungen Deutscher Entomologen“ bisher 5mal getagt: 1926 in Halle (102 Teilnehmer aus 5 Ländern), 1927 in Stettin (110 Teilnehmer aus 5 Ländern), 1929 in Gießen (233 Teilnehmer aus 8 Ländern), 1930 in Kiel (269 Teilnehmer aus 10 Ländern), 1934 im HARNACK-Haus in Berlin-Dahlem (210 Teilnehmer aus 6 Ländern).

Auf 3 größeren (auf eigene Kosten unternommenen) Forschungsreisen habe ich 1896 Marokko, Algier, Tunis und Tripolis, 1899 Ceylon, 1902 Süd-, Zentral- und Nordamerika sowie Ostasien besucht.

1928 hatte ich auf dem Internationalen Entomologenkongreß in U.S.A. den Vorschlag gemacht, ein „Internationales Institut für Entomologie“ zu schaffen. Die Begründung dafür sei die in der ganzen Welt immer schwieriger und hoffnungsloser werdende Lage des deskriptiven Entomologie! Schon die Übersicht über die etwa 750000 bisher *beschriebenen* Insektenarten sei unmöglich; dabei hätten wir insgesamt mit sicher 2 Millionen Arten und 2 Millionen Rassen in der Natur zu rechnen. Die etwa 4—5000 jährlich erscheinenden Publikationen verteilten sich auf etwa 2000—2500 Zeitschriften. Die große Zahl der früher vorhandenen geschulten Liebhaber, welche auf dem Gebiet der Insektenkunde sehr viel, zum Teil Vorbildliches geleistet hätten, sei seit langem in rapidem Rückgang: immer häufiger erlebten wir, daß die besten von ihnen selbst ihr engeres Gebiet, geschweige denn die Grenzgebiete nicht mehr (vor allem bibliographisch) beherrschten. Auch Berufsentomologen ginge es oft nicht viel besser. Nur ein ideeller Zusammenschluß *aller Entomologen der Welt* durch ein internationales Institut könnte helfen. Der Kongreß ernannte sofort ein Komitee, dessen Schriftführerposten mir übertragen wurde. 3 Jahre arbeitete ich Pläne aus, stellte aber bereits auf dem nächsten Internationalen Kongreß Paris 1932 selbst den Antrag auf Auflösung des Komitees, da seine Idee zwar allseitige Zustimmung gefunden hätte; aber die pekuniären Mittel nicht beschaffbar seien, und aus leidigen politischen Gründen sei auch keine Einigung über den Sitz des geplanten Instituts

erzielbar! Trotzdem waren diese Arbeiten für mich nicht vergeblich, denn sie wiesen mir den endgültigen Weg für die bereits seit 1912—1915 langsam erfolgte Umstellung des eigenen Instituts. Beschleunigt wurde diese dann durch die Schaffung der Arbeitsgemeinschaft mit der Biologischen Reichsanstalt, die uns seit 1933 zu immer häufigeren Bestimmungen von Insekten zwang, welche aus der deutschen Land- und Forstwirtschaft, dem Obst-, Garten- und Weinbau, Möbeln, Wohnungen und Haushaltsvorräten stammten. Immer häufiger stellte sich dabei heraus, daß wir und die heimischen Wissenschaftler zur Auskunft nicht genügten, so daß *ständig* die Hilfe von *ausländischen* Entomologen angerufen werden muß. *Zwangsläufig* mußten wir uns deshalb darauf einrichten, uns dafür *erkenntlich* zu zeigen, und so wurde schließlich aus unserem Institut ein kleines Abbild dessen, was mir einst als „Internationales Entomologisches Institut“ vorgeschwebt hatte! Fußend auf unserer etwa 750 laufende Meter umfassenden Fachbibliothek und den über 550 im regulären Austausch aus 71 Ländern einlaufenden Zeitschriften; fußend auf unseren, mit Kartotheken greifbaren, etwa 9000 Kästen umfassenden Sammlungen; fußend auf unseren bibliographischen Studien, die heute bereits 230 000 Titel der Weltliteratur erfassen; fußend auf unserem Bilderarchiv (dem größten der Welt), unserem Nachweis über den Verbleib der entomologischen Sammlungen der Welt (dem einzigen in der Welt) und so manchen kleinen Spezialkartotheken, sind wir für den immer größeren internationalen Ansturm von An- und Rückfragen auf allen möglichen Gebieten der Entomologie gerüstet (auf systematischem Gebiet kann es sich dabei natürlich nur um ein paar von Mitarbeitern im Institut selbst beherrschten Spezialfamilien handeln, für alle übrigen um orientierende Ratschläge). So ist längst von uns ein sich endlos überkreuzendes wissenschaftliches Korrespondenznetz über die ganze entomologische Welt gelegt worden, dessen zur Zeit angeschlossene Länder zum Schluß hier gegeben werden:

*Europa:* Alle Länder (mit Ausnahme von Andorra, Korsika, Sardinien, Monaco, San Marino, Lichtenstein, Albanien, Litauen und Island).

*Asien:* Sibirien, Anatolien, Palästina, Persien, Britisch-Indien, die Staaten der malayischen Halbinsel, Indo-China, China, Formosa, Manchukuo, Korea, Japan.

In dem Gebiet der Indo-Malayischen-Papuanischen Inseln und denen der Südsee haben wir nur Korrespondenten auf den Philippinen, auf Java, Sumatra, Borneo und Hawaii.

*Australien:* Alle Staaten; dazu Tasmanien und Neuseeland.

*Afrika:* Marokko, Algier, Tunis, Tripolis, Ägypten, Kenya-Protektorat, Tanganjika-Territorium, Mozambique, Rhodesia, Transvaal, Natal, Kapland, Südwestafrika und Angola; dazu Madagaskar.

*Amerika:* Alle Länder (mit Ausnahme von Alaska, Guatemala, Honduras, Nikaragua, Panama, Bolivien und den 3 Guyanas) dazu Korrespondenten auf Kuba, Jamaika, Haiti, Portoriko und Trinidad.

WALTHER HORN.

## 17. Hydrobiologische Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Plön.

Als die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft am 1. Juli 1917 die von OTTO ZACHARIAS 1892 gegründete Biologische Station in den Kreis ihrer Forschungsinstitute aufnahm, und mir die Leitung übertragen wurde, stellte ich als wissenschaftliche Aufgabe der Plöner Anstalt hin „das Studium der Wechselwirkung zwischen dem Lebensraum und seiner Organismenwelt in den Binnengewässern, und zwar speziell in unseren Seen“, und sah ihre wirtschaftliche Bedeutung darin, daß mit dem Ausbau einer „rein wissenschaftlichen, vergleichenden biologischen Seenkunde“ zugleich auch die Grundlagen für eine wahrhaft rationelle fischereiliche Nutzung der Binnenseen geschaffen werden.

Inzwischen hat sich die Limnologie, die Wissenschaft von den Binnengewässern, gewaltig in die Tiefe und die Breite entwickelt. Sie bedeutet heute „das zielbewußt vergleichende Studium aller Erscheinungen des Süßwassers — aber nicht nur als aus ihrem Zusammenhang isolierter Einzelfälle, sondern vielmehr in letzter Linie in ihrem Verband mit der natürlichen Ganzheit“ (E. NAUMANN). Sie erforscht ein Gewässer als Ganzheit.

In diesem Sinne gefaßt, ist die Limnologie der eine die Binnengewässer behandelnde Teil der großen Wissenschaft vom Haushalt der Natur, der allgemeinen Ökologie — die, wie ein Biologietheoretiker kürzlich betonte, „die letzte Vollendung des Systems der Physiologie und damit der gesamten biologischen Wissenschaften“ darstellt.

Die Bedeutung der Limnologie für die Kultur der Gegenwart kann nicht hoch genug veranschlagt werden<sup>1</sup>.

Ganz kurz zusammengefaßt besteht sie *in materieller Beziehung*: in der Schaffung der Grundlagen für die Ausnutzung der Produktion der Gewässer (pflanzliche und tierische Produktion, vor allem Fischproduktion; anorganische Produktion wie Seekreide-, Kalk, Kies, Sand, Travertin, See-Erze, Heilschlämme usw.); in der limnologischen Unterbauung der Wasserhygiene (Abwasserreinigung, Trinkwasserversorgung, biologische Wasseranalyse, menschliche und tierische Seuchen, die mit den Binnengewässern in Beziehung stehen, usw.); auch in alle Fragen der technischen Verwertung des Wassers und der Gewässer greifen limnologische Problemstellungen grundlegend ein.

*In ideeller Beziehung* sehen wir das Wesen und die Bedeutung der Limnologie in der bewußten Betonung der Synthese — wobei die grundlegende analytische Behandlung ihres Stoffgebietes nie vergessen wird — und in der Hervorhebung der ganzheitlichen Züge im Naturgeschehen, aus denen auch das Einzelne erst verständlich wird. Solche Betrachtung des Naturganzen ist berufen, eine immer größere Rolle in der Überwindung der geistigen und kulturellen Krise der Gegenwart zu spielen.

Die Plöner Anstalt hat seit ihrem Bestehen, soweit es die Mittel und wissenschaftlichen Hilfskräfte zuließen, an ihrem Teil tatkräftig an dem

<sup>1</sup> Kungl. Fysiografiska Sällskapet i Lund Förh. 4, Nr 19 (1934).

Ausbau der Limnologie als einer allseitigen Wissenschaft von der Ganzheit der Binnengewässer mitgewirkt.

Über die ersten 10 Jahre ihrer Arbeit (1917—1927) ist zusammenfassend schon berichtet worden<sup>1</sup>; im folgenden wird daher nur die Tätigkeit der Jahre 1928—1935 behandelt, die in rund 150 wissenschaftlichen Arbeiten ihren Niederschlag gefunden hat.

Naturgemäß waren es vor allem die norddeutschen Seen, denen die Untersuchungen galten.

Nachdem in den ersten 10 Jahren die Typenzugehörigkeit der Seen unseres Gebietes im wesentlichen festgelegt war, galt es nunmehr, die *Lebenserfüllung* unserer Seen im einzelnen zu studieren, vor allem aber auch — was vorher nicht möglich war — die *Lebensbedingungen* besonders nach der chemischen Seite hin genauer zu erforschen.

Von einzelnen Tiergruppen unserer Seen, die eingehender untersucht wurden, seien genannt die Mollusken (Verbreitung — SCHERMER; Formausbildung und äußere Faktoren — MIEGEL), die Hydrakarinen (VIETS); bei den Hydrakarinen galten umfassende Studien auch ihrer Postembryonalentwicklung und den Beziehungen ihrer Larven zu ihren Wirtstieren (Libellen, Mücken) (MÜNCHBERG). Von den Fischen wurde in Fortsetzung früherer Arbeiten den Koregonen besondere Aufmerksamkeit geschenkt; dies führte zur Entdeckung einer Tiefenform der kleinen Maräne, die als Relikt aus der frühen Postglazialzeit aufgefaßt werden muß; Morphologie und Ökologie des Schleischnäpels wurden eingehend untersucht und die Verbreitung dieser Koregonenform in Vorpommern festgestellt (THIENEMANN). Die Aufzucht von Chironomiden aus Seen und anderen Gewässern wurde planmäßig weitergeführt mit dem Ziele, in absehbarer Zeit Bestimmungstabellen für die Larven und Puppen dieser Mücken aufstellen zu können (LENZ, MAYER, THIENEMANN). Die Chironomiden sind nicht nur die artenreichste Familie unter allen Süßwassertieren, sondern haben auch die größte Bedeutung in praktischer Beziehung, als wichtigste Nahrung der meisten unserer Süßwasserfische, als Leitformen in der biologischen Wasseranalyse, als Glieder in der Kette der die sog. Selbstreinigung der Gewässer bewirkenden Organismen usw. Diese Formen kommen dem Limnologen, Fischerei- oder Abwasserbiologen aber stets als Larven oder Puppen in die Hände; es ist daher notwendig, daß nicht nur die Imaginal- sondern vor allem die Larven-Puppen-Systematik der Chironomiden ausgebaut wird. Denn es ist auf die Dauer ein unhaltbarer Zustand, daß der teichwirtschaftlich interessierte Fischereibiologe zur Bestimmung der Karpfennährtiere, der Seeuntersucher in Ostpreußen oder England, dem an genauer Bestimmung der von ihm gesammelten Bodenchironomiden liegt, zur Bearbeitung seines Materials nach Plön kommen muß, weil nur hier das nötige Vergleichsmaterial und die Spezialliteratur gesammelt vorhanden ist; oder daß der Chromosomenforscher, dem die Speicheldrüsenkerne der Chironomidenlarven ein wertvolles Untersuchungsobjekt bilden, nur von Plön aus wirklich genau bestimmte Chironomidenlarven

<sup>1</sup> Naturwiss. 15, 753—760 (1927).

bekommen kann, und daß die Chironomidenlarvenausbeute fast jeder Seenuntersuchung oder wissenschaftlichen Expedition von uns in Plön bearbeitet werden soll!

Ein interessantes Nebenergebnis der Untersuchung alpiner Chironomiden war die Entdeckung einer gesteinsformenden Chironomidenlarve (THIENEMANN).

In der Planktonforschung erfuhr die Methodik eine wesentliche Förderung durch die Konstruktion des sog. umgekehrten Mikroskops von UTERMÖHL, das vor allem auch gestattet, die echten Wasserbakterien zahlenmäßig exakt zu erfassen (UTERMÖHL); im übrigen steht der Ausbau der hydrobakteriologischen Forschung noch in den ersten Anfängen. Die Schichtungsverhältnisse des Zooplanktons wurden mit genauen Methoden untersucht und der Einfluß des Zooplanktons auf den Sauerstoffgehalt der von ihm besiedelten Schichten festgelegt (NABER). Bei der Bodenfauna wurde besonders ihre Vertikalverbreitung im Sediment untersucht (LENZ). Die höhere Pflanzenwelt der Plöner Seen wurde mit den Methoden und unter den Problemstellungen der modernen Pflanzensoziologie studiert (SAUER).

Eine besondere Note erhielten die Arbeiten unserer Anstalt in den letzten Jahren durch die hydrochemischen Untersuchungen (OHLE), auf die hier etwas genauer eingegangen sei.

Die ersten chemischen Untersuchungen, die auf dem Gebiete der Limnologie durchgeführt worden sind, bezogen sich auf den Sauerstoffgehalt. Die Ergebnisse dieser Forschungen sind von größter Bedeutung für die Kenntnis des Stoffkreislaufes der Binnengewässer geworden. Sie führten vereint mit den Resultaten der bodenfaunistischen und planktologischen Untersuchungen zur eindeutigen Klassifizierung der Seen in oligotrophe und eutrophe Gewässer, d. h. jene mit  $O_2$ -reichem und jene mit  $O_2$ -armem Hypolimnion während der Stagnationsperioden. Die weiteren limnologischen Arbeiten erstrebten im wesentlichen die Klärung zweier Fragen. Erstens galten die Untersuchungen dem Einfluß des  $O_2$ -Milieus auf die Pflanzen- und Tierwelt und zweitens der Entstehung der verschiedenen Konzentrationen des im Wasser gelösten Sauerstoffs.

Im Jahre 1930 wurde in Plön mit speziellen hydrochemischen Arbeiten begonnen. Als ihr Hauptergebnis ist zu verzeichnen, daß der gesamte autochthone Stoffkreislauf von dem Gleichgewicht zwischen Oxydation und Reduktion der organischen und anorganischen Substanzen des Wassers und der Sedimente beherrscht wird. Damit konnte also in jeder Hinsicht an die klassischen  $O_2$ -Untersuchungen angeschlossen werden, die an den Eifelmaaren, an nordamerikanischen Gewässern und an norddeutschen Seen zuerst vorgenommen worden sind. Die Bedeutung der genannten allgemeinen These ist für die einzelnen Nährstoffe herausgearbeitet worden. Der limnische Kreislauf gerade der wichtigsten Nährstoffe, des Phosphors und des Stickstoffs, ist es, der in durchaus verschiedener Richtung verläuft, je nachdem ob die oxydativen oder die reduktiven Prozesse überwiegen. Bei dieser Charakterisierung der Seen ist der bekannte Vergleich der Volumina von Epilimnion und Hypolimnion sowie ihrer  $O_2$ -Konzentrationen

von sehr großem Wert. Sinngemäß sind solche Gewässer, die viel Schwefelwasserstoff und viel Kohlendioxyd in hypolimnischen Schichten gelöst enthalten, eutropher als jene mit geringen Konzentrationen der Gase oder ihrer Verbindungen. Auf diese Weise wurden zugleich wichtige Beiträge zur Lösung der Kalk-Kohlensäureprobleme geliefert. Der autochthone limnische Kreislauf von Bikarbonaten, Karbonaten, Hydroxyden sowie freier Kohlensäure bewegt sich in flachen Gewässern in größeren Werten als in tieferen. Vermittels ihrer genauen Berechnung ist die typologische Einordnung der Seen selbst dann möglich, wenn diese durch vollkommenen Mangel an hypolimnischem  $O_2$  ausgezeichnet sind.

In allen Fällen ist die chemische und physikalische Beschaffenheit der Kontaktzone Wasser-Schlamm für die einzelnen Gewässer oder ihre einzelnen Zonen charakteristisch.

In der Erkenntnis, daß die Kontaktzone eine gewaltige Bedeutung in der Limnologie besitzt, wurde es immer mehr klar, daß die Sedimente nicht nur als Ergebnis des Stoffkreislaufs anzusehen sind, sondern weiterhin als außerordentlich aktive Massen der „nächsten Umgebung“ den wichtigsten Faktor für die Ernährung von Pflanze und Tier und damit für den Trophiegrad eines Gewässers darstellen. Besonders klar ist diese Tatsache durch die im Militsch-Trachenberger Grenzkreise von uns für rein wirtschaftliche Belange durchgeführten Teichuntersuchungen geworden. Mit der Verringerung der Wassertiefe wächst der Einfluß des Schlammes. Organische und anorganische Kolloide bestimmen schließlich den Kreislauf der gelösten Nährstoffe vollkommen.

Damit wurde das Arbeitsgebiet auf kolloidchemische Fragen erweitert. Die Konstitution der Hydrosole und -gele wird gemäß ihren isoelektrischen Punkten durch die Wasserstoffionenkonzentration beeinflusst. Die Konzentration von Karbonaten und Bikarbonaten ist daher auch hier besonders bedeutsam. Als Hauptergebnis dieser Forschungen ist hervorzuheben, daß die Phosphate bei Gegenwart von Kolloiden in neutraler und alkalischer Lösung viel weniger stark adsorbiert werden als in saurer. Darin liegt die günstige Wirkung von Kalkgaben für die Planktonproduktion in Teichen, die überragende Bedeutung eines mittleren oder hohen Kalkgehaltes für die pflanzliche Produktion überhaupt begründet. Eutrophe Gewässer s. str. können nicht arm an kohlen-sauren Verbindungen sein, sofern nicht allochthone Einflüsse überwiegen.

Kalkarme Gewässer sind einseitig charakterisiert. Anorganische, vor allem aber organische Kolloide adsorbieren in ihnen zum großen Teil die wichtigsten Nährstoffe, besonders die Phosphate, die deshalb der pflanzlichen Assimilation vorenthalten bleiben. An Stelle der Erdalkalien der bei uns häufigen karbonatreichen Gewässer treten in jenen Eisen und Mangan mit ihren organischen Adsorptionsverbindungen. In Braunwasserseen, wie sie in Mittelschweden besonders häufig sind und, von dort her zuerst bekannt geworden, als dystrophe Gewässer große limnologische Bedeutung erlangt haben, regulieren die Verbindungen der beiden Schwermetalle zusammen mit den gelösten und suspendierten organischen Stoffen den gesamten Stoffkreislauf. Das chemische und physikalische Studium solcher

allochthon extrem charakterisierter Seen hat uns ein großes Stück weiter gebracht in der Kenntnis der Gewässer als Kolloidsphäre. Wir wissen nunmehr, daß rein anorganisch-chemische Untersuchungen in der Limnologie im allgemeinen nur orientierenden Wert besitzen können. Auch kann man mit den üblichen hydrochemischen Methoden bei Gegenwart von großen Kolloidmengen kein richtiges Bild von der Konzentration der verschiedenen Substanzen entwerfen. Dasselbe gilt für die wasserchemischen Bestimmungen aller verwandter Gebiete.

In durch starke Säuren extrem charakterisierten Gewässern werden die Kolloide sehr schnell koaguliert, reißen aber die für die Ernährung des Phytoplanktons wichtigsten Anionen zum großen Teil mit sich. Außerdem wirkt die Säure selbst toxisch. Derartige Verhältnisse wurden am schwefelsauerem Tonteich bei Reinbek (Hamburg) studiert.

Die hier kurz beschriebene Arbeitsweise erstreckt sich auf das Wasser und die Sedimente und steht unter dem Leitsatz, daß der Schlamm der wichtigste aktive Faktor für den Stoffkreislauf der Gewässer ist. Fernerhin wurden die Sedimente unter dem Gesichtspunkt untersucht, daß sie das *Ergebnis* oligotropher bzw. eutropher oder dystropher Besiedelung eines Gewässers sind. Diese Forschungen bezogen sich bisher besonders auf die organischen Bestandteile. Mit dem geologischen Alter, d. h. mit der Tiefenlage der einzelnen Schlammschichten, steigt ihr prozentualer Ligningehalt an, da die Zellulose und verwandte Stoffe schneller abgebaut werden. Damit ist ein Beweis für die Lignintheorie der Kohleentstehung von FISCHER und SCHRADER geliefert worden.

Gyttjen eutropher Gewässer enthalten viel mehr fett- und wachsartige Stoffe als solche oligotropher. Eine Fülle weiterer Komponenten wäre zu nennen, die eine klare Definition jahrtausendealter Sedimente und ihrer ehemaligen Seen gestatten.

Wenn die Sedimente eine solche Bedeutung für die Gewässer besitzen, so muß weiterhin der Transport der Nährstoffe vom Schlamm in die verschiedenen Wasserschichten bestimmt werden. Die Untersuchung der Wasserströmungen ostholsteiner Seen ist mit Hilfe von physikalischen und chemischen Methoden in Angriff genommen worden. Erfolgversprechend sind besonders die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen. Zu ihrer exakten Durchführung wurde das „Thermophot“ konstruiert, das die Vornahme jener Messungen direkt in der Wassertiefe ambulant ermöglicht.

Unter neuen Gesichtspunkten und unter Verwendung exakt mathematischer Formulierung wurde auch der Sauerstoffhaushalt der Seen untersucht. Die Sauerstoffstudien sind hierbei nicht Selbstzweck, sondern ordnen sich limnologischen Gesichtspunkten unter. Endziel der Erforschung des O<sub>2</sub>-Haushaltes ist die Feststellung, mit welcher Intensität die Zu- und Abtransporte durch die Grenzflächen des Sees sowie die Produktion und der Verbrauch im Seeinnern einerseits und die Ausgleichsvorgänge andererseits auf die Sauerstoffverhältnisse gestaltend einwirken, und die Beurteilung der Rückwirkung aller Schwankungen auf die gesamten Lebens- und Stoffwechselvorgänge des Sees. Ausgangspunkt

dieser Studien sind die Grundprobleme der limnologischen Ökologie; neben den Fragen des molekularen Transportes und biogenen Umsatzes gewinnt vor allem der Austauschbegriff W. SCHMIDT'S besondere Bedeutung. So beginnt die Entwicklung einer exakten dynamischen Limnologie (GROTE).

Auch hydrogeologische Studien konnten in den letzten Jahren an der Hydrobiologischen Anstalt betrieben werden (WASMUND). Hier handelte es sich vor allem um die Bearbeitung der Seesedimente unter den verschiedensten Gesichtspunkten. Die Seeablagerungen als Rohstoffe, produktive, technische und medizinische Faktoren, die Bildung von Leichenwachs in Seen im Zusammenhang mit der Genese des Petroleums, die pollenanalytische Bearbeitung der Seesedimente als Hilfsmittel zur Erforschung der nacheiszeitlichen Geschichte unserer Seen, die Beziehungen zwischen Pollenanalyse, Prähistorie und Anthropologie; das sind einige in diesen Arbeitsbereich fallende Themen. Eine besonders eingehende Bearbeitung erfuhren die Sedimente des Kleinen Ukleisees bei Plön (WASMUND) und des Großen Plöner Sees (GROSCHOPF); sie erzielten wertvolle Ergebnisse zur Geschichte dieser Seen und zur Waldgeschichte Holsteins überhaupt. Praktische Bedeutung gewannen die Untersuchungen an Unterwasserböden, über die Straßen geleitet werden sollten oder Eisenbahnlinien laufen (WASMUND, GROSCHOPF). Der Entwurf einer diluvialen Formengeschichte Ostholsteins (WASMUND) ist auch für die Beurteilung unserer Gewässer bedeutsam.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die durch die wissenschaftliche Akademikerhilfe ermöglichte, noch nicht abgeschlossene genaue Auslotung des Großen Plöner Sees hingewiesen (UTERMÖHL), die die Grundlage für alle Stoffwechseluntersuchungen in diesem unserem Hauptarbeitssee bilden wird, die daneben aber auch neue Gesichtspunkte für die Beurteilung der Entstehung des Seereliefs bringt und von großer praktischer Bedeutung ist.

Auch auf die Untersuchungen über die Schwankungen des Grundwasserstandes in Norddeutschland während der letzten Jahrzehnte sei hier hingewiesen (THIENEMANN); diese in abflußlosen Gebieten besonders eindrucksvollen Erscheinungen erwiesen sich als klimatisch bedingt; sie haben eine wirtschaftliche Bedeutung für die Forst- und Landwirtschaft sowie für die Besiedelung dieser Gebiete und lassen die Bildung mancher Braunkohlenlager im neuen Lichte erscheinen, gewinnen limnologische Bedeutung auch für die Beurteilung der Seetypen.

In ihrer wissenschaftlichen Arbeit hat sich die Hydrobiologische Anstalt nicht nur auf die Binnenseen Norddeutschlands beschränkt. Auch die Eifelmaare (UTERMÖHL), jene für die Seetypenlehre klassisch gewordenen Seen, ferner Strandseen mit zum Teil brackigem Wasser (LENZ), die mittelschwedischen Seen (LENZ, OHLE) konnten untersucht werden. Dazu holsteinische Tümpel (BEHRENS), schlesische Karpfenteiche (UTERMÖHL, OHLE), raschfließende Gewässer der Ebene (NIETZKE) und Alpenbäche (THIENEMANN). Bei den Arbeiten in Fließgewässern wurden besonders auch exakte Strömungsmessungen durchgeführt, um so die Beziehungen zwischen Strömung und Besiedelung festzulegen.

Aber auch über Europa hinaus griffen unsere limnologischen Untersuchungen, nach den Sundainseln, nach Nordbrasilien (LENZ) und U.S.A. (WASMUND).

Hier ist vor allem die Deutsche Limnologische Sunda-Expedition zu nennen, die von Plön und Lunz aus dank der Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft und des Kultusministeriums in den Jahren 1928 und 1929 auf Java, Sumatra und Bali erstmalig tropische Binnengewässer aller Art unter den Gesichtspunkten und mit den Methoden der modernen Limnologie umfassend und in die Tiefe gehend studieren konnte (THIENEMANN, RUTTNER, FEUERBOHN). So konnte — abgesehen von der Feststellung der Artenfülle tropischer Süßwasserorganismen — festgestellt werden, wie sich der Rhythmus des Lebens unter dem klimatischen Gleichmaß der Tropen in den Gewässern abspielt, wie der Kreislauf der Stoffe in ihnen sich vollzieht, welche Sedimente sich in ihnen ablagern usw. Und von den Tropen aus, der Wiege des Lebens, fiel neues Licht auch auf die Verhältnisse der gemäßigten Zonen. Die Seetypenlehre erhielt neue Impulse, die allgemeine Produktionsbiologie wurde befruchtend beeinflusst. Und der Biologe, der in den Tropen einmal längere Zeit gearbeitet hat, gewinnt erst das rechte Verständnis für die Lebensverhältnisse unserer Breiten. Naturgemäß mußte das auf dieser Expedition gewonnene Material zum großen Teil erst durch bewährte Spezialisten im einzelnen untersucht werden. Aber viel Einzelarbeit und ein Teil zusammenfassender Darstellungen wurde und wird von den Mitgliedern und Mitarbeitern unserer Anstalt gebracht (THIENEMANN, LENZ, MAYER, WASMUND). Im Hinblick auf die Ergebnisse der Sunda-Expedition war es für die Limnologie von Interesse, im Gegensatz zum feuchten einmal ein wasserarmes Tropengebiet kennenzulernen. In Nordbrasilien handelte es sich um das nordöstliche Trockengebiet, dessen einzige Wasserversorgung während der langen Trockenperiode künstlich angelegte Stauseen darstellen. Diese Stauseen will die brasilianische Regierung u. a. auch fischereilich ausnutzen. Die limnologische Untersuchung (LENZ) sollte die Basis dafür liefern. Sie ergab im übrigen den gewünschten Einblick in die limnologisch so einzigartigen Verhältnisse des untersuchten Gebietes.

Es ist selbstverständlich, daß neben den vielen Einzelarbeiten auch Zusammenfassungen größerer oder kleinerer Teilgebiete der Limnologie im Berichtszeitraum in Buchform oder im Rahmen von Sammelwerken erschienen; so über die Biologie der Süßwasserseen (LENZ), über Lebensraum und Lebensgemeinschaft (LENZ), über Seeablagerungen (WASMUND), über gewisse Chironomidengruppen (LENZ), über die Limnologie überhaupt (THIENEMANN).

Die Hydrobiologische Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft hat, wie aus dem Vorhergehenden erhellt, eine vielseitige Tätigkeit entfaltet trotz Beschränkung in Raum, Personal und Mitteln. Aber die Weiterführung ihrer Arbeiten ist nur möglich, wenn bald eine räumliche Erweiterung und eine Vermehrung des wissenschaftlichen Stabes erfolgt. Ihre größten Aufgaben für die nächste Zeit liegen zweifellos vor allem auf hydrochemischem und hydrobakteriologischem Gebiet. Und hier handelt es sich um Aufgaben, die über das wissenschaftliche hinaus von ganz besonderer praktischer, wirtschaftlicher Bedeutung sind.

AUGUST THIENEMANN.

## 18. Biologische Station in Lunz. Kupelwiesersche Stiftung.

### Übersicht über die wissenschaftliche Tätigkeit 1906—1935.

Die Aufgaben, die der Biologischen Station bei ihrer Begründung vorgezeichnet wurden, waren verschiedener Art. Erstens sollte eine möglichst umfassende Erforschung des Lebens in alpinen Gewässern und dessen Abhängigkeiten von den Faktoren der Umwelt in Angriff genommen und damit die um die Jahrhundertwende eben aufblühende limnologische Wissenschaft im allgemeinen gefördert werden. Zweitens sollte das neue Institut nach dem Vorbild der marinen Stationen, insbesondere der Zoologischen Station in Neapel, auswärtigen Gelehrten zur Durchführung selbstgewählter Forschungen der verschiedensten Art, für welche das Lunzer Gebiet Material und günstige Gelegenheit bietet, Arbeitsmöglichkeiten schaffen. Konnte für den erstgenannten Aufgabenkreis ein Arbeitsplan — wenn auch nur in groben Umrissen — für eine lange Zeit festgelegt werden, so standen die im Rahmen des zweiten durchgeführten Forschungen vielfach außerhalb eines einheitlichen Programmes und lassen eine große Vielseitigkeit in der Wahl der behandelten Themen und einen ständigen, den Arbeitsrichtungen der jeweils an der Anstalt als Gäste tätigen Forscher entsprechenden Wechsel erkennen.

Das Bestreben, die vielfältigen Möglichkeiten, welche das Lunzer Alpengebiet der naturwissenschaftlichen Forschung bietet, möglichst auszunützen, führte in den letzten Jahren dazu, die Tätigkeit des Institutes auch auf das Studium der Lebensgemeinschaften des Landes in verschiedenen Höhenlagen unter weitgehender Berücksichtigung der meteorologischen und edaphischen Faktoren an den einzelnen Biotopen auszudehnen und im Rahmen einer auf zahlreiche Mitarbeiter aufgebauten Arbeitsgemeinschaft bioklimatische Beobachtungsreihen auf lange Sicht in Angriff zu nehmen.

Wenn nun im folgenden der Versuch gemacht wird, eine gedrängte Übersicht über die Tätigkeit der Biologischen Station in Lunz seit deren Begründung zu geben, so wird es angesichts der Verschiedenartigkeit der bearbeiteten Gebiete zweckmäßig sein, die limnologischen, bioklimatischen und experimentellen Forschungen getrennt zu behandeln. Dabei wurde auf eine erschöpfende Vollständigkeit verzichtet und auch davon abgesehen, diese Zusammenfassung durch eine Aufzählung aller bisher veröffentlichten Arbeiten zu ergänzen.

### 1. Limnologische Forschungen.

#### *a) Arbeiten im Gebiet der Lunzer Seen.*

Das Lunzer Gebiet zeichnet sich wie kaum ein anderes in den Ostalpen in limnologischer Hinsicht durch eine auf engem Raum zusammengedrückte Mannigfaltigkeit aus. Es gehören nicht nur die drei stufenförmig übereinander liegenden Seen ökologisch ganz verschiedenen Typen an, sondern das Gebiet ist auch sehr reich an fließenden Gewässern von sehr verschiedener Temperatur und chemischer Beschaffenheit, es umfaßt

Flach- und Hochmoore und eine große Anzahl der für die Hochplateaus charakteristischen Almtümpel („Blutseen“).

Wie die Ostalpen im allgemeinen, so war auch das Gebiet der Lunzer Seen zur Zeit der Begründung der Anstalt in hydrobiologischer Hinsicht nahezu völlig Neuland. Außer einigen Angaben über die Zusammensetzung des Planktons des Untersees war über die hydrographischen und biologischen Verhältnisse dieser Seen so gut wie nichts bekannt. Es war daher die erste Aufgabe des jungen Institutes, durch eine den Gesichtspunkten des Limnologen Rechnung tragende Geomorphologie des Gebietes, durch genaue Vermessung der Seen und eingehende Untersuchung ihrer physikalisch-chemischen Verhältnisse sowie durch die Feststellung ihres pflanzlichen und tierischen Inventars den unerläßlichen Rahmen für kausale Einzelforschungen zu schaffen.

Es ist selbstverständlich, daß bei der Verfolgung dieser viele Jahre beanspruchenden, beschreibenden Aufgaben auch kausale Fragen angeschnitten und behandelt werden mußten, und daß somit die auf lokaler Basis begonnenen, vorbereitenden Arbeiten sich allmählich in das Studium von Spezialproblemen von allgemeiner Tragweite auflösten.

Die *geomorphologischen* und *hydrographischen* Arbeiten lagen zunächst in den Händen G. GÖTZINGERS. Ihm verdankt die Biologische Station (1912) eine eingehende und in vieler Hinsicht vorbildlich gewordene Studie über die Gestalt und Entstehung der Landschaftsformen ihres Arbeitsgebietes und die genaue Kartierung und Lotung der drei Seen: des 608 m hoch gelegenen, 0,68 km<sup>2</sup> großen und 34 m tiefen Untersees am Fuße des Dürrensteinmassivs, des ein großes Kar in 1117 m Höhe füllenden Obersees (Oberflächenareal 0,14 km<sup>2</sup>, Tiefe 17 m) und des kleinen und seichten, jedoch durch seine Quellnatur interessanten Mittersees (768 m), dessen hydrographischen und thermischen Verhältnissen GÖTZINGER schon 1908 eine Monographie gewidmet hatte. Die Vereisung der Seen behandelte derselbe Autor in eingehenden Studien (1909, 1917). Das umfangreiche Beobachtungsmaterial über die Thermik der Seen, das GÖTZINGER im Verlaufe mehrerer Jahre gesammelt hat, ist bisher unveröffentlicht geblieben, diente jedoch späteren Mitarbeitern vielfach als Unterlage ihrer Studien. Ganz besonders gilt dies für die grundlegenden Arbeiten W. SCHMIDTS (1915, 1928), der — neben eigenen Messungen — das viele Jahre umfassende Beobachtungsmaterial der Biologischen Station über die Thermik des Untersees dazu benützte, um den für die weitere Entwicklung der Limnologie bedeutungsvoll gewordenen Begriff der Stabilität der Schichtung und den Energiegehalt der Seen abzuleiten und der Berechnung zugänglich zu machen. Auch die übrigen, auf die Hydrophysik bezüglichen Arbeiten W. SCHMIDTS stehen in engster Beziehung zur Biologischen Station in Lunz, so seine auf Grund von thermoelektrischen Methoden durchgeführten Feinmessungen der Boden- und Wassertemperaturen (1927, 1929) sowie sein Verfahren zur automatischen Registrierung der Temperaturschichtung mit Hilfe des „Wärmelotes“ (1927). — Untersuchungen über interne Seiches im Untersee wurden von F. EXNER (1928) durchgeführt; von den erst in letzter Zeit in Angriff genommenen

Messungen über die in verschiedenen Tiefen herrschende Lichtintensität ist bis jetzt nur eine Mitteilung von LAUSCHER, FRIEDL und NIEDERDORFER (1934) veröffentlicht worden.

Die *hydrochemische* Erforschung der Seen, insbesondere jene, welche die Vertikalverteilung der gelösten Stoffe zum Gegenstande hat, stand zur Zeit der Begründung unserer Anstalt noch in den ersten Anfängen. Es mußte zunächst die Technik der Probenentnahme zum Teil durch Abänderung der in der Meeresforschung gebräuchlichen Methoden allmählich entwickelt werden (RUTTNER, 1913, 1924). Einige der aus der Lunzer Station hervorgegangenen und vom Mechaniker des Institutes, K. HERRMANN, gebauten Geräte haben allgemeine Verwendung in der Süßwasserforschung gefunden.

Besonders großen Veränderungen war in den letzten Jahrzehnten die Methodik der chemischen Wasseranalyse unterworfen. Anfangs standen der Limnologie in der Hauptsache nur die gravimetrischen und maßanalytischen Verfahren zur Verfügung, und mit ihrer Hilfe konnten in den ersten Jahren der Tätigkeit der Station MULLEY und WITTMANN (1914) wohl durch zahlreiche Analysen des Wassers und des Schlammes der drei Seen wertvolle Arbeit leisten, aber es war ihnen nach dem damaligen Stand der Untersuchungstechnik nicht möglich, gerade die lebenswichtigen „Minimumstoffe“, die im Wasser gelösten Stickstoff- und Phosphorverbindungen mit ausreichender Genauigkeit zu bestimmen. Erst die während des letzten Jahrzehntes erfolgte Einführung überaus empfindlicher, kolorimetrischer Verfahren in die ozeanographische Forschung ermöglichte eine vollkommener Erfassung der biochemischen — d. h. durch den Stoffwechsel der Organismus bedingten — Schichtungen in den Binnenseen. Die diesem Zwecke dienenden Methoden erfuhren in Lunz nicht unwesentliche Vereinfachungen und Verbesserungen (RUTTNER 1931, MÜLLER 1932, 1933) und führten zu einer eingehenden Untersuchung der Schichtungsverhältnisse des Unter- und Obersees im Laufe des Jahres. Vorher hatte sich die Station naturgemäß auch mit den Problemen der Sauerstoffverteilung, die ja schon frühzeitig die limnologische Literatur beherrschten, beschäftigt. In ökologischer Hinsicht wurde der respiratorische Wert der O<sub>2</sub>-Schichtung als Funktion des Temperaturfaktors erkannt (RUTTNER 1926) und die Entstehung der metalimnischen Sauerstoffminima aus der RGT-Regel abgeleitet (1933). Bald nach Beginn der hydrochemischen Arbeiten wurde in Lunz die Bestimmung des elektrolytischen Leitvermögens des Wassers in den Dienst der limnologischen Forschung gestellt. Durch tägliche Untersuchungen während zweier Jahre konnte der Gang der Salzkonzentration in der Wassermasse des Sees verfolgt und die Abhängigkeit der Konzentrationsschichtung von den meteorologischen Faktoren und von der Wassererneuerung festgestellt werden (RUTTNER 1914). Ein Vergleich der Konzentrationsbestimmungen durch Leitfähigkeitsmessungen und Interferometrie wurde später von FURLANI (1934) durchgeführt.

Als Ergänzung zu dem kurzen Bericht über die physikalischen und chemischen Arbeiten an der Biologischen Station sei noch der Stand der

*geologischen Forschung* im Lunzer Gebiet erwähnt. Die Aufnahme und Kartierung war schon lange vor der Begründung der Station durch A. BITNER erfolgt, und später hat das tektonisch bedeutungsvolle Gebiet (es liegt an der Grenze zweier ostalpiner Decken) immer wieder das Interesse der Geologen gefesselt. Von den Mitarbeitern der Station hat GÖTZINGER in seiner Geomorphologie unsere Kenntnisse vom geologischen Aufbau der Landschaft erweitert. Eine auf photogrammetrischer Basis vom Bundesamt für Aich- und Vermessungswesen durchgeführte topographische Kartierung des Gebietes ließ auch eine mehr ins Detail gehende geologische Neuaufnahme wünschenswert erscheinen, die gegenwärtig im Gange ist. Im engsten Zusammenhang mit den limnologischen Forschungen stehen die Arbeiten von H. GAMS (1927) über die jüngste, postglaziale Geschichte des Lunzer Seengebietes, die auf Grund von moorstratigraphischen und pollenanalytischen Untersuchungen gewonnen wurden.

In *hydrobiologischer* Richtung waren zahlreiche Arbeiten der Erfassung des pflanzlichen und tierischen Bestandes in den Lunzer Gewässern und dessen ökologischer Gliederung gewidmet. So liegen mehr oder weniger abgeschlossene Monographien vor über die Diatomeen (HUSTEDT 1922), die Desmidiaceen (aus dem Nachlaß LÜTKEMÜLLERS, im Druck), die Wassermoose (FUCHSIG 1924), die Nematoden (MICOLETZKY 1914), die Oligochäten (POINTNER 1914) und die Turbellarien (MEIXNER 1915). Außerdem haben viele kleinere Veröffentlichungen die Kenntnisse über die Zusammensetzung, die morphologischen und ökologischen Verhältnisse der Flora und Fauna der Lunzer Seen wesentlich bereichert. Genannt seien vor allem die zahlreichen Arbeiten L. GEITLERS (1922—1928) über verschiedene Algengruppen, denen sich Studien von PASCHER (1928, 1931), JAHODA (1928) und STEINECKE (1926) anschlossen, ferner jene BREHMS (1907—1923) über Krustaceen und Chironomidenlarven, WALTERS (1910) über Hydra- karinen, BEIERS (1927—1929) über Oribatiden und Wasserkäfer, ALBRECHTS (1924) über Chironomiden und KRAWANYs (1928—1933) über Trichopteren. Schließlich seien noch die Beiträge REDINGERS (1930) und ZHs und RUTNERS (1932) zur Bakterienflora der Lunzer Seen erwähnt.

Parallel zu diesen Arbeiten, die wohl ihrer Bestimmung gemäß mehr oder weniger extensiven Charakter haben mußten, aber nach Möglichkeit auch allgemeine — seien es ökologische und tiergeographische oder zytologische und morphologische — Gesichtspunkte zu berücksichtigen suchten, lief eine Reihe anderer Untersuchungen mit vorwiegend kausalökologischer Fragestellung.

Vor allem war es die *Biologie des Planktons*, der auf mehrere Jahre ausgedehnte Beobachtungen gewidmet waren. So wurde, zum erstenmal in Binnenseen, das Nannoplankton unmittelbar nach dessen Entdeckung im Meere mit Hilfe der Zentrifuge studiert (RUTNER 1909). Unter Einbeziehung dieser in bezug auf das Einzelvolumen wohl kleinsten, für die Gesamtproduktion jedoch ausschlaggebenden Organismen wurde die Verteilung des Planktons in Raum und Zeit mit quantitativen Methoden durch mehrere Jahre verfolgt und der Versuch gemacht, die vielfältigen Erscheinungen des Verteilungsproblems auf mechanisch und biologisch

wirkende Umweltfaktoren zurückzuführen (RUTTNER 1914, 1929). Beobachtungen unter der winterlichen Eisdecke, verbunden mit Freilandexperimenten, ließen die tägliche Vertikalwanderung des Planktons als ausschließlich lichtbedingtes Phänomen erkennen (RUTTNER 1909).

Ökologische Untersuchungen an *anderen Lebensgemeinschaften* betrafen die rotbunte, in ihrer Färbung hauptsächlich durch die komplementäre Adaptation gewisser Zyanophyzeen an das in der Tiefe herrschende, blau-grüne Licht bedingte Algenbiozönose im unteren Sublitoral des Untersees (GEITLER 1922, 1928), die Vegetationsfärbungen in Gebirgsbächen (GEITLER 1927), den bakteriellen Stoffumsatz im Wasser und Schlamm (KLEIN und STEINER 1929) sowie den Chitinabbau unter aeroben und anaeroben Bedingungen (STEINER 1931), die biologischen Verhältnisse in der äußersten Zone des Eulitorals und die Resistenz der pflanzlichen Leitformen dieser Biozönose gegen Austrocknung (KANN 1933) und schließlich die eigentümlichen Umweltbedingungen in den Moorschlenken mit ihren auf Zentimeter zusammengedrängten biochemischen Schichtungen (REDINGER 1934). — Eine zusammenfassende Übersicht über die Biozönosen der Lunzer Gewässer und deren Umweltbeziehungen ist 1926 erschienen (BREHM und RUTTNER).

*b) Arbeiten an anderen Seen der Ostalpen.*

Erst verhältnismäßig spät begann die Biologische Station, ihre Tätigkeit über den engeren Rahmen ihres Lunzer Arbeitsgebietes auszudehnen. Den ersten Anlaß boten von NERESHEIMER und RUTTNER ausgeführte Untersuchungen über die Wirkung von Industrieabwässern auf die physikalisch-chemischen und fischereibiologischen Verhältnisse im Traunsee (1928) und im Millstättersee (1929). Planmäßige Studien an einer größeren Anzahl von anderen Seen wurden jedoch erst begonnen, als die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft gemeinsam mit dem österreichischen Bundesministerium für Land- und Fortwirtschaft ein für limnologische und meteorologische Zwecke eigens ausgerüstetes Laboratoriumsauto in großzügiger Weise zur Verfügung gestellt hatte. Mit Hilfe dieses Forschungswagens war es möglich, unter Ausnützung der während der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition gesammelten, methodischen Erfahrungen jeweils in einem kurzen Zeitraum, also unter nahezu gleichen jahreszeitlichen Bedingungen 12 vorwiegend im Salzkammergut gelegene Seen in bezug auf die physikalischen Verhältnisse, die biochemische Schichtung, die Zusammensetzung, Massenproduktion und Vertikalverteilung des Planktons vergleichend zu untersuchen (RUTTNER 1933, weitere Arbeiten in Vorbereitung). Das Ziel dieser Fahrten war unter anderem die Feststellung der in den Alpen vorkommenden Schichtungs- und Produktionstypen der Seen. Die dabei gewonnene Beobachtung, daß die sommerliche Temperaturverteilung ein durch die Größe, Morphologie, Durchströmung und Lage bedingtes, für jeden einzelnen See charakteristisches Gepräge besitzt, führte dazu, gemeinsam mit dem Direktor der Zentralanstalt für Meteorologie in Wien, Prof. W. SCHMIDT, einen regelmäßigen Beobachtungsdienst der Temperaturverhältnisse in 16 ostalpinen Seen zu organisieren. Die ersten Ergebnisse dieser in vieler Hinsicht aufschluß-

reichen, allwöchentlich durchgeführten Messungen konnten schon veröffentlicht werden (SCHMIDT 1934).

*c) Die Deutsche Limnologische Sundaexpedition.*

Waren die physikalisch-chemischen und biologischen Verhältnisse der in den temperierten Zonen unserer Erde gelegenen Seen durch die Arbeiten der letzten Jahrzehnte verhältnismäßig gut bekannt geworden, so lag über der Limnologie der Tropenseen noch völliges Dunkel. Nicht einmal über die Temperaturverteilung waren gesicherte Angaben vorhanden, geschweige denn über die chemische Schichtung und den Produktionszustand dieser in der Äquatorialzone gelegenen Binnengewässer. Einer Anregung Prof. THIENEMANNs in Plön und des Verfassers folgend, beschloß die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, diese Lücke durch Entsendung einer limnologischen Expedition nach den Sundainseln auszufüllen. War doch zu erwarten, daß ein Einblick in das Leben und die Umweltbedingungen dieser unter so völlig anderen klimatischen Verhältnissen liegenden Gewässer das Verständnis für viele Vorgänge in den heimischen Seen fördern werde.

An dieser Expedition nahmen außer Prof. THIENEMANN (Plön) und Prof. FEUERBORN (Münster) der Verfasser und K. HERRMANN, der Mechaniker der Biologischen Station in Lunz teil. Es gelang, stabile Schichtungen sowohl in thermischer wie in biochemischer Hinsicht als normalen Zustand auch der tropischen Seen nachzuweisen und in der hohen Temperatur des Hypolimnions jenen Faktor kennen zu lernen, der durch die Steigerung der Umsatzgeschwindigkeit die Gestaltung der Schichtungsphänomene beherrscht und auch im oligotrophen, tropischen See jene charakteristischen Verhältnisse schafft, die in einem See der temperierten Zonen nur bei hoher Produktion (Eutrophie) möglich sind. Im Zusammenhang mit diesen physikalischen und chemischen Beobachtungen wurde die Verteilung und Massenproduktion des Planktons in den untersuchten Seen studiert und durch große, unter Berücksichtigung aller erfaßbaren Umweltfaktoren vorgenommene Aufsammlungen die Zusammensetzung und die ökologischen Bindungen anderer Lebensgemeinschaften der tropischen Gewässer, der Seen, Quellen, Bäche, Flüsse, Thermen, Moore usw., zu erfassen versucht. Von den bisher erschienenen Veröffentlichungen des Expeditionswerkes sind die folgenden aus der Biologischen Station in Lunz hervorgegangen: Hydrographie und Hydrochemie (RUTTNER 1931). Meteorologische Beobachtungen (HERRMANN 1931); Phanerogamen und Pteridophyten (VAN STEENIS und RUTTNER 1932); Kladozieren (BREHM 1933), Zyanophyzeen (GEITLER und RUTTNER 1935); Kieselgur und andere lakustrische Sedimente in der Umgebung des Tobasees (RUTTNER 1934).

## 2. Bioklimatische Forschungen.

Der Wunsch, die Tätigkeit der Biologischen Station nicht nur auf die Limnologie zu beschränken und die Anstalt in den Dienst einer umfassenderen alpin-biologischen Forschung zu stellen, hatte besonders in der Nachkriegszeit seinen Ausdruck in mehreren Einzeluntersuchungen aus dem

Gebiet der Landökologie gefunden, von denen die Arbeiten WALTERS (1928) über die Größe der Verdunstung an verschiedenen Pflanzenstandorten und FURLANIS (1929—1934) über die Elektrolytkonzentration der Bodenlösungen genannt seien. Doch erst in den letzten Jahren war es möglich, bioklimatische Beobachtungen auf breiter Basis planmäßig unter Mitarbeit zahlreicher Spezialforscher zu beginnen. Die ersten ermutigenden Resultate wurden gelegentlich der Aufstellung von zwei Thermographen erzielt, die F. EXNER (1928) beim Mittersee und auf einem 500 m höher gelegenen Felsvorsprung für ganz andere (aerodynamische) Zwecke vorgenommen hatte, und welche die außerordentlichen Unterschiede zwischen Hang- und Talklima in Erscheinung treten ließen. Daraufhin wurde ein Arbeitsprogramm aufgestellt mit dem Ziel, durch die Anlage von möglichst dichten Reihen meteorologischer und biologischer Beobachtungsstationen unter den verschiedensten Bedingungen des Bodenreliefs und der Exposition sowohl die Außenfaktoren wie die Lebensgemeinschaften bestimmter Biotope fortlaufend zu kontrollieren.

Die Verwirklichung dieses umfangreichen Programmes wurde jedoch erst möglich durch das großzügige Entgegenkommen der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, welche die registrierenden Instrumente und Thermometer für 12 Stationen zur Verfügung stellte, und die Zusammenarbeit mit Prof. Dr. W. SCHMIDT, der als Nachfolger F. EXNERS die Direktion der Zentralanstalt für Meteorologie in Wien übernommen hatte. Prof. SCHMIDT übernahm vor allem die Leitung der grundlegenden meteorologischen Arbeiten und hat sich auch sonst mit großer Hingabe der Organisation des Unternehmens gewidmet. Im Jahre 1928 wurde die erste Stationsreihe errichtet, welche in einem Bogen den nordwestlichen Schenkel des hufeisenförmigen Dürrensteinmassivs überquerte und Höhenlagen von 600—1500 m umfaßte. Die nach dreijähriger Beobachtungsdauer gewonnenen Ergebnisse waren — zunächst besonders auf meteorologischem Gebiet — bedeutungsvoll. Sie enthüllten überraschende, von der Geländeform und Exposition abhängige Unterschiede des Kleinklimas, die in ihren Extremen einerseits an „atlantische“ (Hangklima), andererseits an „sibirische“ (Dolinenklima) Verhältnisse erinnern, und führten zur Entdeckung des „Kältepoles“ von Mitteleuropa, d. h. jenes in einer großen Doline („Gstettneralm“) gelegenen Punktes, an dem bis jetzt die tiefsten Temperaturen in Mitteleuropa gemessen wurden (bis  $-51^{\circ}$ ). Die gleichzeitig durchgeführten biologischen Untersuchungen konnten ihrer Natur entsprechend nicht so rasch zu feststehenden Ergebnissen führen wie die meteorologischen. Doch liegt auch von diesem Gebiet schon eine Reihe wertvoller Resultate vor, so die forstentomologischen Studien SCHIMITSCHEKS und seiner Schüler über die Entwicklung der Borkenkäfer an verschiedenen Standorten unter dem Einfluß des im Stamm selbst herrschenden Mikroklimas (1931), die für Waldbau und Forstschutz gleich wichtigen Untersuchungen an gegenüberliegenden Nord- und Südhängen (SCHIMITSCHEK 1932, BERAN 1933), zwei mikrobiologische Arbeiten JANKEs und seiner Schüler (1934), welche die Abhängigkeit der Mikroflora des Bodens von edaphischen und klimatischen Faktoren zum

Gegenstände haben, Beobachtungen SIGMONDS (1935) über das Holzwachstum und schließlich auf zoologischem Gebiet vorläufige Mitteilungen über die Beziehungen der Tierwelt zum Kleinklima (KÜHNELT 1933) und über die Lebensbedingungen am hochalpinen Schneerand (KÜHNELT und SCHMID 1932). Auch für technische Untersuchungen wurde diese Stationsreihe ausgenützt, und zwar von KATHREIN (1932) über die Festigkeit von Zementmörteln. In den Kreis der bioklimatischen Arbeiten gehört auch die Veröffentlichung von GAMS (1930) über Reliktföhrenwälder und das Dolomitphänomen. Nach Abbruch der ersten Stationsreihe fand 1931 eine Neuauftellung der Instrumente ungefähr im Längsschnitt des Tales bis zum Gipfel des Dürrensteines (1870 m) statt, und im Sommer 1934 wurde eine neuerliche Verlegung quer zum Durchlaßsattel vorgenommen.

### 3. Experimentelle Arbeiten.

Die auf den Gebieten der *Genetik*, *Zytologie* und *Physiologie* von den Gästen und Mitarbeitern der Anstalt durchgeführten Untersuchungen stehen zum größten Teil in engem Zusammenhang mit limnologischen Problemen. Gleich nach Begründung der Station begann WOLTERECK seine bekannten und für die Fragen der Art- und Varietätenbildung Richtung gebenden, experimentellen Studien an Daphniden (1908, 1911). Die Zusammenhänge der Ausbildung morphologischer Merkmale (Stachelnlänge) mit der zyklischen Fortpflanzung behandelte die Arbeit von KRÄTZSCHMAR über *Anuraea aculeata* (1908), und ebenfalls mit Rädertieren beschäftigten sich die späteren Untersuchungen von STORCH (1924), welcher die zytologischen Verhältnisse bei der Eibildung miktischer und amiktischer Weibchen von *Asplanchna* erforschte.

Auf botanischem Gebiet sind vor allem die Veröffentlichungen GEITLERS über die Zytologie und Fortpflanzung der Diatomeen zu nennen, der in mehreren Einzeluntersuchungen (1927, 1928) die überaus interessanten und vielgestaltigen Verhältnisse bei dieser Algengruppe weitgehend aufklärte und schließlich seine Erfahrungen in einer umfassenden Abhandlung über den Formwechsel der pennaten Diatomeen niederlegte (1932). In dieses Gebiet fallen auch die Studien GEITLERS über die Fortpflanzungsphysiologie von *Tetraspora* (1931) und die Arbeit von ROSENBERG über *Botrydium* (1930). Schließlich sei noch erwähnt, daß ein erheblicher Teil der Untersuchungen zu CZURDAs Arbeit über die Sexualität der Zygmenalen (1930) in Lunz durchgeführt wurde.

*Ernährungsphysiologische* Arbeiten, die zur Limnologie in engster Beziehung stehen, sind auf botanischem Gebiet mit Hilfe von Leitfähigkeitsmessungen gewonnene Erkenntnisse über die physikalisch-chemischen Vorgänge bei der Kohlensäureassimilation der submersen Gewächse und im weiteren Verlauf Beobachtungen über die Assimilationsbilanz der Wasserpflanzen in verschiedenen Tiefen (RUTTNER 1921, 1926) sowie ein Versuch, diese Bilanz als Indikator für das Lichtklima im Wasser zu verwenden (RUTTNER 1924). — Die Ernährung der im Plankton als automatische „Filterierer“ lebenden Entomostraken behandelte STORCH in zahlreichen Untersuchungen und schuf durch Analyse der sinnreich gebauten

Fangapparate dieser Tiere und durch genaue Untersuchung ihrer Bewegungen mit Hilfe von Mikro-Zeitlupenaufnahmen ein neues, überaus interessantes Wissensgebiet (1924—1933). Erwähnt seien schließlich noch die Untersuchungen STORCHs über die Eiablage von Libellen (1924) und auf dem Gebiet der *Sinnesphysiologie* KÖHLERs zum Teil in Lunz durchgeführte Versuche über die Reizbewegungen der Planarien (1932), eine Arbeit von CHUNG LIEN HOU und BRÜCKE über solche der Vortizellen (1930) und schließlich eine eingehende Untersuchung MERKERs, (1930) über die Sichtbarkeit des ultravioletten Lichtes für Daphnien.

Eine Reihe von weiteren Arbeiten steht in keinem oder nur in einem losen Zusammenhang mit limnologischen Problemen. In die ersten Jahre des Bestandes der Anstalt fallen die wichtigen Arbeiten FISCHELs (1908) über elektive Färbung von Organsystemen (besonders des Nervensystems) bei Krebsen. Ferner Untersuchungen WAGNERs (1911) über das jugendliche Farbkleid der Forelle. Von späteren Veröffentlichungen seien genannt: ALBERTI (1923) über Linsenregeneration bei Fischen; KOLMER (1924) über das Auge des Eisvogels; SCHEMINZSKY (1923) über den Einfluß dauernder elektrischer Durchströmung auf Organismen. MERKER beschäftigte sich in einer Anzahl von bemerkenswerten Arbeiten (1928—1931) erfolgreich mit den Problemen der Wirkung des ultravioletten Lichtes auf Land- bzw. Wassertiere und ihre Organe. Schließlich wurde die ausführliche Monographie des Dungkäfers *Aphodius rufipes* von MADLE (1934) ebenfalls zum größten Teil in Lunz ausgeführt.

Auch auf verschiedenen Gebieten der Botanik ist eine Anzahl von Veröffentlichungen zu nennen. So jene über die von MOLISCH (1920) entdeckten Wasserkeleche von *Aconitum variegatum*, ferner die von LINSBAUER (1927) über die Zellkerne in *Chara*-Rhizoiden, Untersuchungen über die Morphologie gewisser Algen von GEITLER (1926) und STEINECKE (1926), eine Arbeit von WALTER (1918) über die Beziehungen von Plasmaquellung und Assimilation, ferner Beobachtungen von GEITLER (1927, 1929) und SIGMOND (1931) an einigen Blütenpflanzen. Schließlich sind GEITLERs (1933) schöne Untersuchungen über die Flechtensymbiose besonders hervorzuheben.

Im ganzen wurden bisher 190 zur Gänze oder zum größten Teil an der Biologischen Station in Lunz ausgeführte Arbeiten veröffentlicht.

FRANZ RUTTNER.

### 19. Deutsch-Italienisches Institut für Meeresbiologie zu Rovigno d'Istria (Italien).

Zur wissenschaftlichen Erforschung des adriatischen Tier- und Pflanzenlebens haben deutsche Gelehrte schon seit alter Zeit ihr gut Teil beigetragen. Erschien doch schon im Jahre 1796 in Triest von einem ungenannten Verfasser ein „Verzeichnis verschiedener Fische und Krebse des adriatischen Meerbusens“ in deutscher Sprache, denn, wie M. STENTA (1922)

erzählt, die Naturforscher, die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts nach Triest kamen, waren fast ausnahmslos Deutsche, so der Breslauer Zoologe GRAVENHORST (1830), der berühmte K. E. VON BAER aus Petersburg (1845) und JOH. MÜLLER aus Berlin (1850, 1851). Ein Deutschschweizer, H. KOCH, ist der Gründer des naturhistorischen Museums in Triest. ERNST HAECKEL arbeitete mit RICHARD und OSKAR HERTWIG auf Lesina über Medusen und Kalkschwämme. Von Rovigno aus studierte OSKAR SCHMIDT (1862) die Schwämme der Adria, und seine Tochter zeichnete Seetiere für „BREHM's Tierleben“. Der Königsberger Zoologe MAX BRAUN untersuchte zusammen mit Frh. VON LIECHTENSTERN die Fauna der istrianischen Westküste. Von älteren, speziell die Fauna bei Rovigno betreffenden Arbeiten sei genannt die Monographie der Synaspidien von R. v. DRASCHE (1883). Später arbeiteten über Protisten aus Rovigno FR. SCHAUDINN (1894—1911), FR. WINTER (1907) und H. WIESNER (1911 bis 1924), über Hydropolypen K. C. SCHNEIDER (1898). Gelegentliche kleinere Beobachtungen wurden unter dem Titel „Notizen über die Fauna der Adria bei Rovigno“ im Zoologischen Anzeiger (Bd. 37—49 in den Jahren 1911—1918) veröffentlicht. In diesen 16 Aufsätzen behandelten TH. KRUMBACH (1911) einleitend die Geophysik von Rovigno, † FR. SCHAUDINN (1911) und H. WIESNER (1911, 1912) Foraminiferen, TH. KRUMBACH (1911, 1917) Ktenophoren, TH. KRUMBACH (1917, 1918) und O. OHDNER (1914) Mollusken, O. PESTA (1913) und A. STEUER (1911) Krustazeen, TH. KRUMBACH (1914, 1916) und L. R. J. LÖHNER (1913) Echinodermen, † R. BURCKHARDT (1911) Fische von Rovigno.

Von größeren Unternehmungen seien genannt die beiden Planktonfahrten mit dem Stationsdampfer „Rudolf Virchow“ nach Norddalmatien im Sommer 1909 und 1911. Die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Fahrten liegen in 20 Arbeiten vor, die größtenteils in den Sitzungsberichten der Akademie Wien in den Jahren 1910—1934 erschienen sind.

Als OTTO HERMES im Jahre 1900 das Institutsgebäude durch einen Anbau um Zweidrittel vergrößert hatte, gelang es ihm, das kaiserliche Gesundheitsamt in Berlin für seine Gründung zu interessieren und dort eine Art Zweigprotozoenlaboratorium zu errichten. An ihm arbeitete als erster der Begründer der modernen Protozoenforschung, FRITZ SCHAUDINN, von 1901—1904. Hier in Rovigno entstanden die für die aufblühende Protistenkunde wichtigsten Arbeiten, hier gründete er sein „Archiv für Protistenkunde“, hier, in dem — damals! — malariaverseuchten Lande hatte er reichlich Material für seine parasitologischen Arbeiten, und hier bereits „hatte der berühmte Entdecker des Syphiliserregers sich bestimmte Vorstellungen über die Rolle der Spirochäten als Krankheitserreger gebildet“.

Vom Jahre 1903—1905 arbeitete am Institut sein Assistent und Nachfolger im Amte S. PROWAZEK VON LANOW, hauptsächlich über parasitische Flagellaten und über Vakzine, dann bis zum Jahre 1907 R. GONDER u. a. über die Wirksamkeit des Atoxyls bei Malaria und Piroplasmose, endlich C. SCHELLACK (1908—1913). Erwähnt seien ferner noch der Ham-

burger Protistenforscher ED. REICHENOW, der hier die Natur der Hämogregarinen aufklären konnte, ferner der Wiener Serologe R. KRAUS.

Von den genannten Delegierten des Berliner Gesundheitsamtes veröffentlichten beispielsweise über ihre Rovigneser Untersuchungen FR. SCHAUDINN 10 Arbeiten (über Bakterien, Protozoen, Tardigraden), S. PROWAZEK 13 Arbeiten (über verschiedene Protisten). Von den beiden Direktoren der Vorkriegszeit schrieb R. BURCKHARDT hier 3 Arbeiten ichthyologischen und historischen Inhalts, TH. KRUMBACH 16 (über Aquariums- und Fischereitechnik, über den botanischen Garten und die Malaria-sanierung, die Geophysik und Faunistik von Rovigno). Schon in seinem einleitenden Aufsatz zu den „Notizen über die Fauna der Adria bei Rovigno“ aus dem Jahre 1911 bemerkt KRUMBACH: „Eine zusammenfassende Bearbeitung des Tierlebens dieses Gebietes fehlt bisher“. Und auch der gegenwärtige deutsche Direktor des Institutes A. STEUER hatte mehrfach (1913, 1924) auf die Notwendigkeit einer genauen Inventarisierung der gesamten Flora und Fauna als einer notwendigen Vorarbeit jeder soliden biologischen Meeresforschung hingewiesen. Erst im Jahre 1928 ist vom italienischen Assistenten des Institutes A. VATOVA in mühevoller Arbeit eine derartige Zusammenstellung geleistet worden. Außerdem sind in den Jahren 1918 bis 1931, d. i. während der italienischen Verwaltung, von dem wissenschaftlichen Stabe des „Istituto di Biologia Marina“ noch folgende Arbeiten veröffentlicht worden: vom ersten italienischen Direktor M. FEDELE (1919 bis 1920) eine Arbeit über pelagische Manteltiere (1921), von seinem Nachfolger R. ISSEL (1920—1923) drei Arbeiten über das Plankton des Golfes von Rovigno (1921—1925); sein Assistent M. VIALLE arbeitete über die Physiologie der Weichtiere (1921, 1922). Ihm verdanken wir ferner die ersten, noch mit primitiven Apparaten ermittelten quantitativen Angaben über die mediterrane Bodenfauna (1922), während R. SANTUCCI (1922) die Kommensalen des größten Adriaschwammes qualitativ und quantitativ zu erfassen suchte. Der gegenwärtige italienische Direktor M. SELLA (seit 1923) arbeitete zunächst über Meeresfische (1925 und mit O. CIACCHI 1925). Sieben weitere Arbeiten brachten uns Aufklärung über das Rätsel der Thunfischverbreitung und -wanderung (1926—1931), drei Publikationen behandeln die Aalwanderungen in den unterirdischen Gewässern Istriens (1929—1930). Die Untersuchungen über die wechselnden Erträge der Thunfischfänge führten zum Studium periodischer biologischer Vorgänge überhaupt, worüber in 3 weiteren Arbeiten berichtet wird (1930, 1931). Schließlich gelang SELLA und seinen Mitarbeitern die Sanierung istrieanischer Malariaegenden. Die Umgebung von Rovigno ist seit einigen Jahren vollkommen malariafrei!

Seitdem das Institut unter deutsch-italienischer Verwaltung steht, sind von M. SELLA weitere Arbeiten über Thunfischwanderungen erschienen (1933) sowie eine botanische Arbeit über istrieanische Trüffel (1932) und (mit G. PESANTE 1932) ein Bericht über Anthropometrie der Istrianer. A. VATOVA arbeitete hydrographisch (1933, 1934) und faunistisch in der Umgebung von Rovigno (1932) und in den Lagunen von Venedig (1931). Seine quantitativen Bodenuntersuchungen (1931, 1934) sind die ersten

genauen Arbeiten auf diesem Gebiet im Mittelmeer. Zusammen mit G. COEN gab er ferner (1932) eine Übersicht über die Weichtierfauna von Rovigno heraus. Der deutsche Direktor A. STEUER veröffentlichte 6 Arbeiten über verschiedene Krebsgruppen (1931—1935), Protozoen (1932) und Plankton (1933) sowie über die Fauna des Canal di Leme bei Rovigno (1933). Vom gewesenen deutschen Assistenten H. BYTINSKI-SALZ erschienen außer einer karzinologischen Mitteilung (1933) 7 entwicklungsmechanische und entomologische Arbeiten (1931—1934). Auch die 4 Arbeiten des gewesenen deutschen Präparators D. BODENSTEIN (1933—1934) behandeln ähnliche Themen der Landfauna.

Gegenwärtig sind folgende Fragen in Bearbeitung: Von den italienischen Gelehrten verfolgt M. SELLA noch weiter die Aalwanderungen in den unterirdischen Karstflüssen. A. VATOVA dehnt seine qualitativen und quantitativen Aufnahmen der Bodenfauna auf die Hochsee und weiter nach Süden aus. Außerdem sind von den italienischen Gelehrten zum ersten Male in der Adria Fischmarkierungen vorgenommen worden, und die bisher eingelaufene Rückmeldungen lassen interessante Aufschlüsse über die Wanderungen nordadriatischer Plattfische erhoffen.

Von den deutschen Zoologen konnte A. STEUER im Sommer 1933 im Auftrage der ägyptischen Regierung die Fischereigründe vor Alexandrien floristisch und faunistisch aufnehmen. Es sind das die ersten derartigen Arbeiten im südöstlichen Mittelmeer. Die ersten 7 Publikationen darüber von ihm und seinen Mitarbeitern sind in Druck. Außerdem ist eine Veröffentlichung über Planktonkopepoden der Deutschen Meteorexpedition in Vorbereitung. Vom gewesenen deutschen Assistenten H. BYTINSKI-SALZ ist eine Untersuchung über einen die Austernzucht des Lemekanales schädigenden Strudelwurm in Druck. Von den drei Teilnehmern des deutschen Arbeitslagers sind in Vorbereitung oder in Druck mehrere Arbeiten über Schiffsbohrwürmer von F. ROCH, über die Infusorienfauna von Rovigno und Venedig von T. KIESSELBACH und über die Seegurken von Rovigno von B. MAYER.

Aus der oben genannten Zusammenstellung der Flora und Fauna von Rovigno von A. VATOVA (1928) ist deutlich zu ersehen, wie mangelhaft die Tier- und Pflanzenwelt der Nordadria noch teilweise erforscht ist. Noch sind wir z. B. bezüglich der Laichzeiten der Adriatiere auf die alten Angaben von ED. GRAEFFE († 1916) angewiesen; noch kennen wir aus der Fauna von Rovigno keinen einzigen Vertreter der ökologisch so überaus wichtigen und artenreichen Gruppe der Fadenwürmer, unter den Krebsen sind Spaltfüßer und Kumazeen noch unbekannt. Ganz unzulänglich sind ferner noch viele Parasiten erforscht. Es ist daher eine Neuaufnahme der gesamten Fauna und Flora von Rovigno etwa nach Art der vorbildlichen „Tierwelt der Nord- und Ostsee“ oder der „Faune de France“ geplant. Als erste derartige Arbeit ist die Publikation eines niederländischen Zoologen, H. A. STORK (1934), über die Skaphopoda der Adria zu betrachten. In welchem Ausmaße wird sich die deutsche Wissenschaft an dieser faunistischen und floristischen Neuaufnahme beteiligen wollen und können? Während in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts noch etwa der dritte Teil der gesamten,

die faunistische Erforschung des Mittelmeeres betreffenden Literatur in deutscher Sprache veröffentlicht worden war, macht der deutsche Anteil etwa seit 1930 nur noch den zehnten Teil der diesbezüglichen Fachliteratur aus.

ADOLF STEUER.

## 20. Vogelwarte Rossitten der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

Die wissenschaftliche Entwicklung der Vogelwarte Rossitten ist bei dem Alter unserer Anstalt (seit 1901) ein kleiner Ausschnitt aus der Geschichte der Vogelkunde überhaupt. Freilich muß dabei bedacht werden: Die Vogelwarte Rossitten kann und will sich nicht ausschließlich der Forschung widmen, sondern Geschichte und Lage der Anstalt verlangen eine rege Tätigkeit auch auf anderen Gebieten als denen der untersuchenden Wissenschaft: Die Pflege von Heimatkunde und Volkserziehung in dem uns zufallenden Teil ist eine selbstverständliche Pflicht gegenüber unserem Volk. In Anbetracht der Begrenzung an Mitteln muß diese Einstellung bis zu einem gewissen Grad Umfang und Fortschritt der wissenschaftlichen Arbeit beeinflussen. Im folgenden erstatten wir darüber einen kurzen Überblick unter Verzicht auf viele Einzelheiten und ohne Berücksichtigung der Tätigkeit auf dem Gebiet von Vogelschutz, Volkserziehung und Heimatkunde.

### 1. Faunistik.

Voraussetzung für die meisten Arbeiten ist eine gründliche Kenntnis der Vogelwelt unseres Gebietes nach Art und Verbreitung. Die Überraschungen der ersten Jahre setzen sich gelegentlich auch heute noch fort (so zuletzt am 25. 8. 35 durch Auffindung des Sturmtauchers *Puffinus kuhlii borealis* — Zweit- bzw. Drittnachweis für Deutschland — bei Rossitten). Ostpreußen weist einen hervorragenden Reichtum an eigenartigen Vögeln auf. Nach dem Faunisten F. TISCHLER, mit dem die Vogelwarte in enger Zusammenarbeit steht, sind bis jetzt 323 Arten (und dazu 23 nur subspezifisch unterschiedene Formen) in Ostpreußen und Memelgebiet nachgewiesen, davon allein auf der Kurischen Nehrung 267 Arten und 21 Formen. Eine Anzahl Durchzügler und auch Brutvögel sind ausgesprochen östlicher Art, und dafür sind manche im Westen Deutschlands regelmäßig brütende Arten in Ostpreußen spärlich oder nicht vorhanden, weitere hier durch abweichende Unterarten vertreten.

### 2. Das Bild des Zuges.

Die Entdeckung der Kurischen Nehrung in ihrer vogelkundlichen Eigenart ist so jungen Datums — sie fällt in die Zeit kurz vor 1890 —, daß allein schon eine beschreibende Bestandsaufnahme für die Vogelkunde viel Neues bringen konnte. Dies gilt nicht nur für die eben angedeutete artliche Zusammensetzung, sondern besonders auch für die Erscheinungsweise beim Durchzug. J. THIENEMANN hat in seinen Jahresberichten eine Fülle von fesselndem Stoff phänologischer Art niedergelegt und in

seinen beiden Büchern<sup>1</sup> lebendige Schilderungen guter Zugtage am Beobachtungshaus Ulmenhorst und des Vogelzugs überhaupt gegeben. Besonders zu begrüßen sind seine Darstellungen über den Vogelzug im Kreislauf des Jahres. Der Zug des zweiten Halbjahres tritt am auffälligsten hervor. Auf den Frühzug der Schnepfenvögel und insektenfressenden Singvögel im Juli und August — meist wenig sichtbar, weil bei Nacht sich abwickelnd — folgt dann der Hauptzug im September und Oktober, natürlich in unterschiedlicher Stärke. Auf schlechte und mittlere Tage können ganz hervorragende Zugtage folgen, wo die Gesamtzahl der Durchzügler auf die Größenordnung von einer halben Million und mehr steigt, und wo dann vor allem je nach Jahreszeit Buchfinken — der häufigste Tag-Durchzügler —, Feldlerchen, Ringeltauben und Nebelkrähen das Bild bestimmen und auch eine große Zahl teils seltener Raubvögel auftreten kann. Seit 1929 wird versucht, auf dem Wege der täglichen „Dreistundenbeobachtung“ möglichst genaue Zahlen des Durchzugs der einzelnen Arten in vergleichbaren Stichproben zu gewinnen, mit dem Ziel graphischer Darstellung des Zuges im Sinne eines Vogelzugkalenders. Gewisse wichtige Arten (wie z. B. Nebelkrähe und Waldschnepfe) erfuhren eine genauere Bearbeitung, wobei unter anderem die Gliederung des Durchzugs nach Alter und Geschlecht zur Erörterung stand. Außerdem interessierten besondere Fragen wie Höhe und Geschwindigkeit des Durchzugs. J. THIENEMANN ermittelte als Stundengeschwindigkeit des Durchzugs für Sperber 41,4 km, Heringsmöwe 49,6 km, Mantelmöwe und Nebelkrähe 50 km, Saatkrähe 52,2 km, Buchfink 52,5 km, Wanderfalk 59,2 km, Kreuzschnabel 59,7 km, Dohle 61,5 km und Star 74,1 km. 1929/1930 ließ ein Beobachternetz in Haffgebiet und Samland die Verteilung des Durchzugs im Gebiet erkennen, und es wurden für den Herbstzug zwei der Kurischen Nehrung gleichwertige Massendurchzugsgebiete an der Ostküste des Kurischen Haffs in Windenburg und bei Juwendt festgestellt.

Mit der Erfassung eines so winzigen Ausschnittes aus dem Zugsverlauf, wie es das Bildfeld des Beobachters ist, kann man sich nicht zufriedustellen. Seit 1903 wird daher mit Hilfe der *Vogelberingung* versucht, blitzlichtartig den weiteren Verlauf der Wanderung zu beleuchten. Wenn ausreichende Meldungen über Ringfunde z. B. Rossittener Durchzugs-Nebelkrähen vorliegen, so gestaltet sich uns ein zuverlässiges Bild der Ausbreitung dieser Vögel im Laufe des Jahres. Wir erfassen nicht nur die Gebiete des fernerer Zuges, sondern auch Winterquartier und Brutgebiet. So ist Herkunft und Verbleib gewisser auf der Nehrung durchziehender Arten mehr oder weniger gut bekannt geworden. Vor allem aber wurde die Jahresverbreitung einer größeren Zahl von Brutvögeln recht genau erforscht, besonders dank dem freudigen Eintreten eines Stabes ausgezeichneter Mitarbeiter, die sich ehrenamtlich in den Dienst der Vogelberingung stellen und in ihrem Heimatgebiet nach den von der Vogelwarte erteilten Richtlinien tätig sind. Der Atlas des Vogelzuges nach den Beringungsergebnissen bei paläarktischen Vögeln (von E. SCHÜZ und H. WERT-

<sup>1</sup> Rossitten. Drei Jahrzehnte auf der Kurischen Nehrung, 3. Aufl. 1930. — Vom Vogelzuge in Rossitten. 1931.

GOLD 1931) faßt die Befunde auch der Vogelwarte Helgoland und der ausländischen Stationen mit denen von Rossitten zusammen und gibt einen Querschnitt nach einzelnen Arten. Weitere Einzelbeschreibungen sind in „Der Vogelzug“ oder in anderen Zeitschriften niedergelegt. Außerdem läßt sich der Stoff nach allgemeinen Gesichtspunkten ordnen, und es ergeben sich Einzelheiten und Beispiele für Zug in breiter Front, in Schmalfront, in verschiedenen Richtungen, mit Ruhezielen von Nordeuropa bis Südafrika, Rast- und Sammelplätze, Zug in Etappen, Zugscheiden, Abweichungen in den Sommeraufenthalten von Vögeln verschiedenen Alters nach dem Reifestand, Ortstreue, Umsiedlungen u. a. m.

### 3. Deutung der Zugbilder.

Mit dem Erkennen und Verzeichnen der offenkundigen Tatsachen wuchs die Möglichkeit eines Einblickes in innere Zusammenhänge beim Vogelzug. Die Abhängigkeit des Zuges der Landvögel von den Küsten infolge einer Scheu vor den großen Wasserflächen ergibt sich bildmäßig aus der „Zuglinienkarte“, die die Verdichtung des Durchzuges auf der Nehrung wie auf einer Brücke und die Anstauung der von Nordosten anrückenden Breitfront an die Haffküste deutlich macht. Massenanschwemmungen von Vogelresten im Laufe des Frühjahrs an der Seeküste kommen fast alljährlich vor; sie beweisen die Zweckmäßigkeit des Überlandzuges bei Landvögeln. Trotzdem findet ein gewisser Überseezug über die Ostsee häufig statt, manchmal sogar in starker Form, wobei die Gunst der Wetterlage und die artliche Besonderheit entscheidet. Nicht alle Landvögel scheuen in dem Maß wie die an Aufwinde gebundenen Segelflieger (Storch) den Zug über die See. Außer z. B. aerodynamischen Rücksichten bestimmt die Ernährungsfrage den Zugweg, so die Küstenwanderung ausgesprochener Strandvögel oder die Zugsrichtung der eigentlichen Seevögel in der See.

Die Wetterwirkung darf man sich nicht durchaus so vorstellen, „daß schablonenmäßig bestimmte Wetterlagen den Vogel zum Ziehen zwingen, und daß das Wetter die einzige Triebfeder sei, die den Aufbruch veranlaßt“ (J. THIENEMANN). Die Witterung wirkt regulierend auf die Zugweise (schwacher Nackenwind — Zug hoch; dunstige Luft — die Vögel streben nach dem Erdboden; klares, ruhiges Wetter — größere Höhen), und sie kann eine Umkehr der Normalrichtung herbeiführen; Kälteeinbrüche im Frühjahr verursachen eine Massen-Kehrtwanderung, und zu beiden Zugzeiten können gewisse Mitwinde die gegenwindliebenden „positiv anemotaktischen“ Arten (Schwalben, Stare) zur Umkehr verleiten. Stauung und Abfluß und außerdem wohl Abflußrichtung der zugbereiten Massen wird bis zu einem gewissen Grad, vielleicht sogar weitgehend durch Witterungsfaktoren geregelt. Über das Wie und Wieweit herrschen noch Meinungsverschiedenheiten, und es muß unser Ziel sein, durch Beschaffung womöglich einwandfreien Beobachtungsmaterials (Dreistundenbeobachtungen) und Vergleich desselben mit den Witterungsfaktoren Klarheit zu erreichen. Dazu eignet sich die ostpreußische Küste ganz besonders, denn hier strömen größere Massen und sind Feinheiten der Abweichung besser feststellbar

als anderwärts, zumal ein den Nachtzug unterbrechender Leuchtturm als Fehlerquelle ausscheidet. Diese Arbeit ist noch in vollem Gange.

Besondere Beachtung haben wir in Rossitten an der Einfallspforte nordöstlicher Vögel den „Invasionen“ der unregelmäßig ziehenden Arten zuzuwenden. So wie ein krankhaftes Verhalten über die normale Tätigkeit eines Organs Aufschluß geben kann, so verspricht eine genauere Kenntnis dieser „bedingten Zugvögel“ einen Einblick in die Bedingungen des Abzugs. Bei Seidenschwänzen und Tannenhähern dürfte feststehen, daß ein gewisse Nahrungsfülle in einer kritischen Zeit den latent vorhandenen Zugtrieb unterdrückt, Ausfall an Nahrung aber zur Entwicklung eines richtigen Zuges führt. Die wahrscheinlich je nach Lebensweise sehr verschieden zu bewertenden Invasionen weisen zwingend auf die Bedeutung innerer Vorgänge auf dem Gebiet des Stoffwechsels für den Vogelzug.

#### 4. Versuche zum Wie und Warum des Vogelzugs.

Ostpreußen bietet für vogelkundliche Forschungen den großen Vorteil, daß Massenbeschaffungen von Vögeln (Krähen, Möwen, Stare, Störche) zu allerlei Versuchen möglich sind. Davon wurde Gebrauch gemacht, als es um die Frage ging, welche Faktoren das Sichzurechtfinden auf dem Zuge ermöglichen. Sollten etwa alte *Störche* die jungen bei der Wanderung anführen und ihnen den schon eingelernten Weg weisen? 1926—1928 hat J. THIENEMANN in einem Gehege in Rossitten insgesamt 123 Jungstörche zurückgehalten und erst nach Abzug der Altstörche im Gebiet (am 7. 9., 14. 9., 22. 9.) freigegeben. Diese Störche und ebenso 73 Jungstörche vom 12. 9. 33 nahmen ihren Weg richtig nach Süden bis Karpathen und Schwarzmeergebiet, jedoch (wenigstens) dreimal (1926 zwei, 1928 einer) nach Griechenland bis Kreta, was der üblichen Umgehung des Mittelmeeres im Osten widerspricht. Es ist anzunehmen, aber nicht sicher bekannt, daß diese drei Vögel Ausnahmefälle darstellen. Dazu kommt eine Gruppe von drei Versuchsvögeln von 1933, die über die Ostalpen nach Oberitalien flogen. Trotz dieser Abweichungen darf man annehmen, daß bis zu einem weitgehenden Grade in diesen von Altvögeln nicht geleiteten Jungstörchen eine ererbte Fähigkeit („Richtungstrieb“) wirksam war. Dies wurde durch die Mehrzahl der 1933 nach Essen verfrachteten 144 ostpreußischen Jungstörche bestätigt, denn sie zogen nach der Auflassung am 12. 9. vorwiegend nach SO und dann SSO ab und kamen erst über dem Hochgebirge und offenbar unter dem zwingenden Einfluß der Oberfläche (vorübergehend?) von dem östlichen Einschlag ab. Immerhin ist nicht abzuleugnen, daß außer dem Richtungstrieb und außer dem führenden und auch verführenden Einfluß ernährungsbiologisch (und aerodynamisch?) geeigneter Landschaftsformen die Geselligkeit und die Leitung durch Artgenossen entscheidend mitwirken kann. Die 1933—1935 nach West-, Mittel- und Süddeutschland zum Zweck des Verpflanzungsversuchs geschafften jungen Ostpreußenstörche, die normal zum Abzug kamen und, wie gemeldet wird, sich beim Abzug recht oft mit anderen zusammaten, wurden im Falle des Wiederfundes größtenteils südwestlich vom Auflassungsort angetroffen, was dem Verhalten der verspätet aufgelassenen

Ostpreußen-Jungstörche im Westen 1933 in der Hauptsache widerspricht. Eine genauere Bearbeitung des Materials steht bevor und wird möglicherweise weitere Aufschlüsse erbringen. — In demselben Sinne wie die in Essen aufgelassenen Ostpreußen-Jungstörche vom 12. 9. 33 wurden 1934 in Dresden und Breslau etwa 3000 vorwiegend junge baltische *Stare* freigegeben, die in Windenburg im Juli und August gefangen wurden. Diese auf dem „Frühzug“ begriffenen *Stare* der Ostseeländer ziehen, wie die Beringung ausweist, stark westwärts bis in ein Gebiet zwischen Nordfrankreich und Südengland, während das Winterquartier der sächsisch-schlesischen *Stare* sich hauptsächlich südwärts daran anschließt und bis Nordafrika reicht. Die Versuchsstare bestrichen zum größten Teil das normale Zuggebiet der mitteldeutschen *Stare* — begreiflicherweise, denn sie werden sich meistens an sächsische *Stare* angeschlossen haben und dort in der Minderheit gewesen sein —, allein ein Teil der Funde fällt nordwärts über das Verbreitungsgebiet der mitteldeutschen *Stare* hinaus und darf als Beweis für die Wirksamkeit eines Richtungstriebes (nach W, nicht nach SW wie bei den Vögeln des Gastlandes) gewertet werden. Ausarbeitung steht bevor. Der Begriff Richtungstrieb schafft natürlich noch keine Lösung, engt aber die Frage ein, und es ist unsere Aufgabe, die hier wirksamen Faktoren zu erforschen.

Diesen Versuchen über den Herbstzug stehen solche über den Frühjahrszug gegenüber, überhaupt über die *Heimkehrfähigkeit*. Es arbeiteten J. THIENEMANN an Schwalben, W. RÜPPELL und Mitarbeiter an Schwalben und Staren und O. HEINROTH an Haustauben. Die meiste Beachtung verdient der Heimfindeversuch 1934 an *Staren*. Es wurden zwischen 20. März und Anfang Mai 1934 333 *Stare* (138 ♂♂, 195 ♀♀) aus verschiedenen Richtungen (Ostpreußen bzw. Grenzmark und Oberschlesien bis Bremen, Essen und Wetzlar) am Brutkasten weggefangene Altstare mit Bahn oder Flugzeug nach Berlin verschickt, wo möglichst bald die Auflassung erfolgte. Von 353 Auflassungen (eine Anzahl der 333 konnte wiederholt versandt werden) sind 120 Rückkehrfälle nachgewiesen, doch ist wegen der Schwierigkeit des Wiederfangs am oft schon anderweitig vergebenen Brutplatz die Annahme berechtigt, daß fast alle Vögel zurückgekehrt sind, soweit sie gesund waren und keinen Unfall erlitten. Diese *Stare* fanden also aus 44—465 km und aus vorher meist niemals gesehenen Gebieten zurück, obschon sie bei der Verfrachtung keine optischen Eindrücke über den Reiseweg aufnehmen konnten. Die Wichtigkeit dieses Befundes liegt auf der Hand, denn der Ausgang dieses Versuches und bestimmte damit verbundene Anordnungen machen einen Teil der bisher als Arbeitshypothese ernstgenommenen Ansichten über das Wesen der Orientierung zunichte. Auf die Frage der positiven Folgerungen aus diesen Ergebnissen (denen solche von STIMMELMAYR u. a. an der Seite stehen und zum Teil vorausgehen) soll hier nicht eingegangen werden.

Ein wichtiger Gegenstand für die Vogelzugforschung ist die Frage der inneren Auslösung des Zuges durch einen im Vogel liegenden *Zugtrieb*. Von den Arbeiten, die auf diesem Gebiet geleistet worden sind, mußte sich die Vogelwarte Rossitten bis 1934 aus Mangel an Räumlichkeiten,

Gehegen und Geräten leider weitgehend ausschließen. Es ist jetzt aber dank dem Eintreten der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft und fördernder Persönlichkeiten möglich, daß die Vogelwarte Rossitten das ihr zugängliche reiche Material nunmehr auch der physiologischen und histologischen Arbeitsrichtung zugänglich macht.

#### *5. Der Vogel in seiner Umwelt.*

Die Ökologie versucht die organischen Erscheinungen nicht für sich, sondern im Zusammenhang mit der Umwelt des Lebewesens zu verstehen. Es zeigt sich, daß viele achtlos übersehene Erscheinungen und Vorgänge als lebensnotwendige Einfügung in Gestalten und Geschehnisse der Umwelt von Wichtigkeit sein können. Diesbezügliche Untersuchungen in der Tierwelt und besonders beim Vogel öffnen die Augen dafür, wie groß die Rolle von — oft sehr verwickelten — Triebhandlungen auf ererbter Grundlage für die Einpassung des Tieres in seine Umwelt zu sein pflegt. O. HEINROTH und neuerdings K. LORENZ haben die Bedeutung der „Ethologie“ für das Verständnis der Lebensäußerungen gerade des Vogels überzeugend dargelegt. Hier tut sich uns eine Arbeitsrichtung auf, die der Vogelwarte Rossitten neue und dankbare Aufgaben weist. Seit 1930 verfolgen wir die Vorgänge in der Storchsiedlung von Rossitten und stellen bisher ungekannte Einzelheiten über Nesttreue, Gattenwechsel, Brutunterbrechungen, Verhalten gegenüber den Artgenossen (Gatten, Jungvögel, Fremdstörche) fest. Wir beobachten, wie und unter welchen Bedingungen die nach Maßgabe der Futtermenge und der Gesundheit überzähligen Jungen aus dem Horst verschwinden und können sehen und photographieren, wie der Storch sein Junges selbst verschlingt. Wir dringen in die Regeln der eigentümlichen Storchkämpfe ein, die sich auf Kosten eines friedlichen Brutpaares abspielen, obwohl nach unserem Ermessen das zudringliche Paar unweit vom Kampfplatz einen schönen Kunsthorst beziehen könnte. Wir erfahren, daß Störche erst drei- oder vierjährig brutreif werden und daß sie in der Zwischenzeit zum ersten Male in einem weiten Raum zwischen dem südafrikanischen Winterquartier und der Heimat und zum zweiten Male mehr oder ganz in der Nähe der Heimat übersommern, bis die Bereitschaft zur Brut den Vogel oft oder meist in die nächste Nähe des Geburtsortes bringt. Wir erhalten in diesen Fragen eine große Sicherheit dann, wenn die unter Aufsicht gehaltene Storchsiedlung nicht zu klein ist, und wenn Nachprüfung in anderen Gebieten erfolgt. In diesem Zusammenhang wird seit 1933 im Kreis Insterburg und seit 1935 in Oberschlesien, ferner im Kreis Stolp und im Kreis Kottbus der gesamte Nachwuchs mit der Absicht jährlicher Wiederholung gekennzeichnet. Dazu werden besondere, auch am lebenden Vogel von ferne leicht ablesbare Kennringe verwendet. Es ist zu erwarten, daß eine gründliche Beobachtung dieser so gekennzeichneten Storchbevölkerung eine Reihe wichtige Aufschlüsse auf ethologischem und ökologischem Gebiet bringen wird. Die oben berührte Frage der Ortstreue ist Gegenstand eines seit 1933 laufenden Versuchs, wobei mehr als 400 ostpreußische Jungstörche etwa im Alter von 4 Wochen in entfernte Gegenden Deutschlands gebracht und auf viele einzelne Kunst-

horste unter der Obhut von Vogelfreunden verteilt wurden. Die Jungstörche kamen zur normalen Zeit zum Ausfliegen. Vorversuche in Ostpreußen ergaben die Möglichkeit, daß Jungstörche später zur Zeit der Brutreife an den Ort ihrer Adoption zurückkehrten. Ob eine solche Verpflanzung nicht nur auf 100 km, sondern auf eine vielmal größere Entfernung möglich ist, das muß sich erst ergeben. Das Gelingen hätte bei dem Rückgang des Storchbestandes im Westen eine erfreuliche Bedeutung. — Die ökologischen Arbeiten wurden weiter auf den Storchbestand von ganz Ostpreußen ausgedehnt: es fanden Bestandsaufnahmen (1931, 1934) durch die Regierung statt, an Hand von Fragebogen, die Einzelheiten über Zahl, Horstweise und Nachwuchs zu erfassen hatten. Die letzte Zählung (1934) ergab für Ostpreußen 16 588 Horstpaare (44,5 auf 100 qkm), also das Vielfache von allen anderen Teilen Deutschlands. Es war möglich, den Einfluß der wasserhaltigen Tonböden im Gegensatz zu den wasserdurchlässigen Sandböden auf die Dichte des Bestandes nachzuweisen, ferner die Wichtigkeit der Weichdächer für natürliche Nestanlagen. Es erschien wichtig, die Ziffern Ostpreußens und die dann und wann — oder auch regelmäßig — stattfindenden Bestandsaufnahmen anderer Gebiete auf einheitliche Zeitpunkte und Formen festzulegen und dadurch erst vergleichbar zu machen. 1934 fand im In- und Auslande eine solche allgemeine vereinheitlichte Bestandsaufnahme statt, die von Zeit zu Zeit wiederholt werden und die außer Forschungszwecken auch der Erhaltung des beliebten Großvogels Vorschub leisten soll. Allerdings ist der Einfluß des Menschen auf den Umfang des Storchbestandes beschränkt, denn, wie die starken Schwankungen in den Nachwuchszahlen Ostpreußens (1931: 2,7; 1934: 2,03 Junge auf einen Horst) zeigen, liegt die Lösung der Frage bis zu einem gewissen Grad in der Ernährungsmöglichkeit und damit bei klimatischen Faktoren (Feuchtigkeit).

Im Zusammenhang mit der Zunahme des Storches in Ostpreußen wuchs die Aufmerksamkeit des Jägers, der durch Adebar den Niederjagdbestand gefährdet glaubt. Unsere mehr als 150 Magen- und Schlunduntersuchungen förderten (abgesehen von Resten eines Gifteies) keinen Hinweis dafür zutage, dagegen Beispiele für die Nützlichkeit vom Standpunkte des Landwirts, denn der Storch verzehrt Unmengen von Mäusen und vor allem auch Kerbtieren (darunter schädliche, z. B. in einem Fall über 700 Blattwespenlarven). Trotzdem ist es durchaus glaubhaft, daß in Gebieten dichten Vorkommens auf lange Frist eine Schädigung vorkommen kann, und es liegen auch zwingende Beobachtungen über gelegentliches Verschlingen auch von Niederwild vor. Doch dürfte der Schaden erheblich überschätzt worden sein, und Abwehrmaßnahmen sind zwar unter Umständen zu befürworten, aber gewissen Grenzen zu unterwerfen.

Wie dies hier entwickelte Beispiel zeigt, das durch Arbeiten an anderen Vogelarten ergänzt werden könnte, ergeben sich zwangsläufig immer wieder Verknüpfungen mit Fragen der Praxis. Die Vogelwarte Rossitten wünscht auch ihnen gerecht zu werden, aber sie wird ihr wissenschaftliches Ziel nicht außer acht lassen.

E. SCHÜZ.

**21. Kaiser Wilhelm-Institut für Biologie (1919—30)  
und Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie (seit 1931)  
in Berlin-Dahlem.**

(Arbeiten von E. NEGELEIN, F. KUBOWITZ, W. CHRISTIAN, E. HAAS, S. MINAMI, H. A. KREBS,  
H. THEORELL und dem Verfasser.)

*Photosynthese (1919—1923).*

Wenn in grünen Pflanzen die Kohlensäure der Luft durch Sonnenlicht reduziert wird, so wird Lichtenergie in chemische Energie verwandelt. Wie groß ist der Nutzeffekt bei dieser Energietransformation?

Eine Suspension von Grünalgen, die so dicht ist, daß sie das gesamte eingestrahelte Licht absorbiert, wird monochromatisch mit Licht gemessener Intensität bestrahlt. Die durch das absorbierte Licht bewirkte Zersetzung der Kohlensäure wird gemessen. Dividiert man die zersetzte Kohlensäuremenge durch die eingestrahelte Lichtenergie, so erhält man den Nutzeffekt der Photosynthese.

Das Ergebnis kann man am besten übersehen, wenn man ausrechnet, wieviele Lichtquanten von dem Chlorophyll absorbiert werden müssen, damit 1 Molekül Kohlensäure zersetzt wird. In dem ganzen sichtbaren Spektralgebiet ist diese Zahl gleich. Sie beträgt 4 Quanten pro Molekül Kohlensäure. Die Zersetzung der Kohlensäure verläuft also, unabhängig von der Farbe des Lichts, in 4 Stufen.

Mit der Quantenzahl 4 ist der Nutzeffekt der Energietransformation gegeben. Wird 1 Mol Kohlensäure zersetzt, so werden 112000 Grammkalorien chemische Energie gewonnen. Dieser Energiewert, durch die Energie von 4 Molen Quanten dividiert, ist der Nutzeffekt. Man erhält:

Wellenlänge des Lichts [m $\mu$ ]	Energie von 1 Mol Quanten $N_0 \cdot h \cdot \nu$ [cal]	Nutzeffekt = $\frac{112000}{4 \cdot N_0 \cdot h \cdot \nu} \cdot 100$
400	71000	39 %
500	56800	49 %
600	47300	59 %
700	40600	69 %

*Stoffwechsel der Tumoren (1923—1926).*

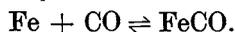
Lebende Zellen haben die Fähigkeit, Kohlehydrat ohne Sauerstoff zu spalten, das heißt zu vergären. In den Zellen der höheren Tiere tritt bei Gegenwart von Sauerstoff an Stelle der *Vergärung* des Kohlehydrats die *Oxydation* des Kohlehydrats. Tumorzellen sind Zellen höherer Tiere, die die Fähigkeit, Kohlehydrat zu oxydieren, verloren haben. Sie gären im Körper auch bei Sättigung mit Sauerstoff, also unter Bedingungen, unter denen die anderen Körperzellen nicht gären.

Während die Tumorzellen Kohlehydrat vergären, oxydieren sie Eiweiß und Fett wie die anderen Zellen. Tumorzellen leben also im Körper auf Kosten eines gemischten Oxydations- und Gärungsstoffwechsels. Da die Gärung für sie ein Teil ihres normalen Stoffwechsels ist, so sind sie unabhängiger vom Sauerstoff als die anderen Körperzellen.

Wahrscheinlich ist dies die Ursache des ungeordneten Wachstums der Tumoren. Füllt man Nährflüssigkeit in ein Reagenzglas und impft mit einer Zellart, die des Sauerstoffs zum Wachstum bedarf, so wachsen die Zellen nur soweit in die Lösung hinein, als der Sauerstoff diffundiert. Impft man aber mit einer Zellart, die, sei es auch nur zeitweise, ohne Sauerstoff wachsen kann, so verbreiten sich die Zellen durch die ganze Nährlösung. Im ersten Falle ist das Wachstum beschränkt und in bezug auf die geometrischen Bedingungen geordnet, im zweiten Falle ist das Wachstum unbeschränkt und ungeordnet. Angewandt auf die Verhältnisse im Körper entspricht die sauerstoffhaltige Zone der Nährlösung einem bestimmten Abstand von den mit Sauerstoff durchströmten Blutkapillaren.

*Sauerstoffübertragendes Ferment (1926—1931).*

In den Zellen der höheren Tiere und Pflanzen hemmt Kohlenoxyd die Sauerstoffatmung. Denn Kohlenoxyd verbindet sich mit dem Eisen des sauerstoffübertragenden Ferments und blockiert es dadurch gegen Sauerstoff:



Belichtet man, so wird das Kohlenoxyd von dem Eisen abgespalten. Im Licht hat man, auch bei Gegenwart von Kohlenoxyd, die normale Sauerstoffatmung.

Die photochemische Dissoziation der Kohlenoxydverbindung des Ferments kann man benutzen, um das Absorptionsspektrum des Ferments, ohne das Ferment aus den Zellen zu isolieren, zu bestimmen. Durch Kohlenoxyd gehemmte Zellen werden monochromatisch mit Licht gemessener Intensität bestrahlt. Stimmt man dabei die Lichtintensitäten so ab, daß die verschiedenen Wellenlängen gleiche Anstiege der Atmung bewirken, so verhalten sich die Absorptionskoeffizienten des Ferments umgekehrt wie die eingestrahlten Quantenintensitäten. Mißt man ferner, *wie schnell* die Atmung vorher verdunkelter, kohlenoxydgehemmter Zellen bei Belichtung auf ihren Normalwert steigt, so kann man, wenn die wirkenden Lichtintensitäten bekannt sind, die absoluten Absorptionskoeffizienten des Ferments berechnen.

Es ergibt sich, daß das sauerstoffübertragende Ferment der aeroben Zellen eine Eisenporphyrinverbindung ist, die dem gewöhnlichen Bluthämin nahe steht, aber nicht mit ihm identisch ist. Nach seinem Spektrum gehört das Fermenthämin in die Klasse des Spirographishämins, dessen Porphyrin nicht 4 (wie das Bluthämin), sondern 5 Atome Sauerstoff enthält.

*Gelbes Ferment (1932—1934).*

Das gelbe Ferment ist in Hefe entdeckt worden. Es ist weit verbreitet in der Natur und wahrscheinlich ein integrierender Bestandteil tierischer Zellen.

Das gelbe Ferment besteht aus einem kolloiden Träger und der gelben Wirkungsgruppe. Der kolloide Träger ist ein Protein, die Wirkungsgruppe ist Alloxazin-Pentit-Phosphorsäure. Träger und Wirkungsgruppe

sind in dem Ferment in einfach molekularem Verhältnis zu einer festen, nicht dissoziierenden Verbindung vereinigt.

Träger und Wirkungsgruppe kann man mit einfachen chemischen Methoden voneinander trennen, wobei die katalytische Wirksamkeit des Ferments verschwindet. Träger und Wirkungsgruppe kann man im Reagenzglas zu dem katalytisch wirksamen Ferment wieder vereinigen.

Der Teil der Wirkungsgruppe, durch den die Bindung an den kolloiden Träger bewerkstelligt wird, ist die Phosphorsäure. Denn Alloxazinpentit verbindet sich nicht mit dem Träger.

Der Teil der Wirkungsgruppe, der in dem Ferment katalytisch wirkt, ist der Alloxazinring. Er wirkt, indem er 2 Atome Wasserstoff anlagert — wobei das Ferment in die Leukoform übergeht — und indem er die beiden Wasserstoffatome, zum Beispiel an molekularen Sauerstoff, wieder abgibt.

*Anmerkung:* Der Pentit-Teil der Wirkungsgruppe des gelben Ferments ist nicht in Dahlem, sondern von R. KUHN in Heidelberg entdeckt worden.

#### *Koferment (1933—1935).*

Koferment, das für die Oxydation der Kohlehydrate von Bedeutung ist, wurde in roten Blutzellen entdeckt. Es ist weit verbreitet in der Natur und wahrscheinlich ein integrierender Bestandteil tierischer Zellen.

Das Koferment ist eine Pentose-Phosphorsäureverbindung, die zwei stickstoffhaltige Basen enthält, Adenin und Nikotinsäureamid.

Das Koferment wirkt, indem es dem Substrat Wasserstoff entzieht und den aufgenommenen Wasserstoff an andere Substanzen weitergibt: durch „Wasserstoffübertragung“.

Der katalytisch wirksame Teil des Kofermentmoleküls ist das Nikotinsäureamid. Bei der Wasserstoffübertragung wird der Pyridinring des Nikotinsäureamids abwechselnd partiell hydriert und wieder dehydriert.

Freies Koferment wirkt nicht katalytisch. Auch das Koferment muß, um katalytisch wirken zu können, an ein Protein gebunden sein. Erst durch diese Verbindung entsteht die katalytisch wirksame Substanz, das „wasserstoffübertragende Ferment“, wie durch die Verbindung der gelben Wirkungsgruppe mit (einem anderen) Protein das gelbe Ferment entsteht.

Während aber in dem gelben Ferment die Verbindung zwischen Wirkungsgruppe und Protein fest ist, dissoziiert die Verbindung zwischen Koferment und Protein in wässriger Lösung weitgehend in ihre Komponenten. Deshalb kann das Protein des wasserstoffübertragenden Ferments, anders als das Protein des gelben Ferments, beliebig große Mengen Wirkungsgruppe (Koferment) zur Reaktion bringen.

Es gibt also mindestens 2 Arten von Fermenten, solche mit fest gebundener und solche mit lose gebundener Wirkungsgruppe. Ist die Wirkungsgruppe lose gebunden, so kann man das Ferment durch Dialyse spalten. Die Wirkungsgruppe, die dialysiert, nennt man Koferment, den kolloiden Teil, der nicht dialysiert, nannte man Ferment. In Wirklichkeit ist er nicht Ferment, sondern Träger.

Wahrscheinlich gibt es noch eine dritte Art von Fermenten (Urease, Pepsin, Trypsin), in denen die Wirkungsgruppe ein konstitutioneller Bestandteil des Proteins ist.

OTTO WARBURG.

## 22. Kaiser Wilhelm-Institut für experimentelle Therapie in Berlin (von 1914—1925).

Das *Kaiser Wilhelm-Institut für experimentelle Therapie*, das wie erwähnt, später zum Kaiser Wilhelm-Institut für experimentelle Therapie und Biochemie erweitert und schließlich in das Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie umgewandelt worden ist, wurde im Jahre 1913 errichtet und der Leitung von August von WASSERMANN unterstellt. Dieser Gelehrte stand damals auf der Höhe seines Schaffens und inmitten einer überaus erfolgreichen Forschungstätigkeit; er hatte in dem vergangenen Jahrzehnt zahlreiche Gebiete der Immunitätslehre befruchtet und durch die Entdeckung der nach ihm benannten diagnostischen Reaktion seinen Namen durch die ganze Welt getragen.

Im ersten Jahre des Bestehens waren es in der Hauptsache Probleme der Syphilisforschung, die in dem Institut bearbeitet wurden. Die Methodik der WASSERMANNschen Reaktion, das Studium der spezifischen und unspezifischen Veränderungen der Lumbalflüssigkeit bei der syphilitischen Infektion und insbesondere der Nachweis, daß die sog. metasiphilitischen Erkrankungen luischen Ursprungs sind, bildeten Gegenstände der Untersuchungen. Der Krieg unterbrach bereits kurze Zeit nach Eröffnung des Instituts die Forschungstätigkeit; es wurde an Stelle rein wissenschaftlicher Versuche praktische Arbeit zur Bekämpfung der Infektionskrankheiten im Heere geleistet.

1919 ging das Institut erneut an die Bearbeitung zahlreicher Probleme aus dem Gebiete der Immunitätsforschung. Es glückte, eine Reihe Spirochätenstämme zu isolieren. Züchtungsmethoden, Herstellung von Luetin, experimentelle Untersuchungen über Kaninchensyphilis beschäftigten WASSERMANN selber und namentlich M. FICKER sowie H. REITER. Vor allen Dingen lag WASSERMANN die Aufgabe am Herzen, das eigentliche Wesen der WASSERMANNschen Reaktion zu klären. Es gelang damals, die sog. Bestätigungsreaktion auszuarbeiten, die keine praktische Bedeutung erlangt hat, aber für die theoretische Auffassung vom Ablauf der Reaktion von großem Einfluß gewesen ist. v. WASSERMANN hat sich zu der Überzeugung bekannt, daß die WaR. eine echte Antigen-Antikörperreaktion darstellt, und sich dafür ausgesprochen, daß die Reaktion durch Antikörper von Ambozeptorencharakter ausgelöst wird, die gegen körpereigene Lipide gerichtet sind, und die ihre Entstehung einem abnormen Lipidstoffwechsel verdanken.

Neben dem Problem der Syphilisforschung hat v. WASSERMANN mit seinen Mitarbeitern daran gearbeitet, eine Serodiagnostik der aktiven Tuberkulose aufzubauen. Der einzigartige Erfolg seiner serodiagnostischen Methode für die Syphilis hat ihn gewiß veranlaßt, sich dieser Aufgabe

zuzuwenden. Sein Ziel war, bei der Tuberkulose eine Reaktion zu finden, die nicht nur die früher erfolgte Infektion, sondern die Aktivität des Krankheitsprozesses erkennen läßt. Die Arbeiten im Institut führten zu der Schaffung eines Tuberkuloseantigens, das aus tetralinisierten, mit Lezithin beladenen Tuberkelbazillen besteht, sowie zur Ausarbeitung einer Technik der Komplementbindungsprobe, welche der bei der Serodiagnostik der Syphilis üblichen nahesteht. Das von ihm beschriebene Verfahren hat die Erwartungen nicht erfüllt, auch nicht die Bedeutung der WaR. für Syphilis gewinnen können. Jedoch haben die Untersuchungen v. WASSERMANNs und seiner Mitarbeiter der Serodiagnostik der Tuberkulose einen starken Antrieb gegeben und allerwärts weitere Studien über die Serumveränderungen bei der Tuberkulose angeregt.

Neben dem Studium der Serumveränderungen bei Tuberkulose waren die Arbeiten des Instituts verschiedenen Fragen aus dem Gebiete der Immunitätsforschung gewidmet. So wurde die Bedeutung der ruhenden oder stillen Infektion von H. REITER, das Wesen des Komplements und die Natur der Ambozeptoren von F. KLOPSTOCK erfolgreich bearbeitet. Damit einher gingen beständig Studien über Immunität bei Syphilis. Die Therapie der bösartigen Geschwülste hat schließlich v. WASSERMANN bis zuletzt beschäftigt; neben allen anderen Experimenten liefen dauernd Heilversuche beim übertragbaren Mäusekarzinom.

Am 16. März 1925 wurde AUGUST VON WASSERMANN nach mehrmonatlichem schweren Leiden durch den Tod aus einer glanzvollen und segensreichen Forschertätigkeit abberufen.

F. KLOPSTOCK.

### 23. Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie in Berlin-Dahlem.

Die Sonderaufgabe des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biochemie besteht in der Pflege der biochemischen Wissenschaft in weitestem Sinne. Bei der raschen Entwicklung und der damit verbundenen Ausdehnung des Faches haben bestimmte Gebiete eine bevorzugte Behandlung erfahren.

An erster Stelle stehen Arbeiten zur Erforschung der Gärungserscheinungen. Den Ausgangspunkt für die Beschäftigung mit diesem Gegenstande bildete die Entdeckung eines neuen Fermentes, der Karboxylase, die maßgeblich an dem Ablauf von Zuckerspaltungen beteiligt ist. Das Enzym wurde zunächst in den geläufigsten Vertretern der Gärungsorganismen, den Hefen, aufgefunden. Sein Wirkungsbereich und seine Eigenschaften konnten weitgehend charakterisiert werden; neuerdings gelang auch seine Abtrennung von beigemengten anderen Fermenten sowie die Konservierung des sonst empfindlichen Enzyms für längere Zeiten. Das Ferment ist dadurch gekennzeichnet und danach benannt, daß es aus Ketosäuren Kohlensäure abspaltet. Es zeigte sich, daß die Wirkung der Karboxylase nicht auf den einfachsten Vertreter der  $\alpha$ -Ketosäuren, auf die Brenztraubensäure, beschränkt ist, sondern sich auch auf die in der Natur vorkommenden oder von Naturprodukten ableitbaren  $\alpha$ -Ketosäuren sowie auf die nicht in der Natur anzutreffenden homologen

Vertreter dieser Körperklasse erstreckt. Dabei machen sich strukturchemische und stereochemische Einflüsse bemerkbar, die für die Lehre von den Fermenten allgemeineres Interesse bieten. Im Jahre 1921 gelang die Auffindung eines in gewissem Sinne umgekehrt gerichteten, an Enzymwirkung geknüpften Vorganges; er besteht nicht in der Spaltung von Kohlenstoffketten (Desmolyse), sondern in deren Aufbau. Für diese dem Karboxylaseeffekt entgegengesetzte Erscheinung wurde der Name karboxyligatische Reaktion geprägt, der wie die Bezeichnung Karboxylase und Desmolyse international angenommen worden ist. Die karboxyligatische Spaltung der Brenztraubensäure führt außer zur Kohlensäure primär zum Azetaldehyd. Unter vielen biologischen Bedingungen ist die karboxyligatische Entwicklung von Kohlendioxyd der maßgebliche Vorgang für die Entstehung dieser im Stoffhaushalt der Lebewesen so wichtigen Säure. Das zweite Spaltungsprodukt, der Azetaldehyd, tritt, wie die Arbeiten des Instituts lehrten, nicht allein bei der alkoholischen Zuckerspaltung, sondern auch bei anderen von pathogenen und nichtpathogenen Mikroben verursachten Vorgängen auf, ferner in den Zellen höherer Pflanzen und in tierischen Geweben.

Nahe verwandt mit der erwähnten Brenztraubensäure ist das Methylglyoxal. Zunächst wurde, als ubiquitär verbreitet, in Mikroben, tierischen Geweben und Pflanzenorganen ein Enzym (Ketonaldehydmutase) aufgefunden, das die Umwandlung jenes Substrates in Milchsäure schnell und quantitativ herbeiführt. Die Homologen des Methylglyoxals werden in entsprechender Weise in die zugehörigen  $\alpha$ -Oxysäuren verwandelt. Dabei enthüllte sich eine für die allgemeine Chemie grundsätzlich wichtige Tatsache: Die als Substrate dienenden  $\alpha$ -Ketonaldehyde sind strukturell optisch inaktiv; die daraus durch das erwähnte Ferment erzeugten  $\alpha$ -Oxysäuren sind optisch aktiv. Der enzymatische Vorgang konnte so geleitet werden, daß das optisch aktive Umwandlungsprodukt zu 100% und in 100%iger optischer Reinheit entsteht. Damit war der dann von verschiedenen Seiten bestätigte Erfolg erzielt, daß die biologische asymmetrische Synthese, die ein Wahrzeichen der großartigsten Leistungen in der belebten Natur (Eiweiß- und Zuckerbildung) ist, an einem durchsichtigen Beispiel im Laboratorium vollzogen werden kann.

Mit den Gärungsvorgängen hängt das Problem der phytochemischen Reduktion zusammen. Oxydationen in der Natur sind ohne weiteres verständlich, Reduktionen müssen indirekt zustande kommen, da den Zellen kein freier Wasserstoff zur unmittelbaren Verfügung steht. Durch zwei Reaktionen ist größten Stiles die Reduktion in durchsichtiger Weise experimentell erreicht worden: a) durch Oxydoreduktion, b) durch phytochemische Reduktion. Die Oxydoreduktion war in einigen wenigen Beispielen für die tierischen Zellen bekannt. Gleich bei der Begründung des Institutes wurden umfangreiche Untersuchungen über den in seiner Bedeutung nicht hinreichend gewürdigten Vorgang vorgenommen. Es zeigte sich, daß eine Fülle von Substraten aldehydischer Natur dieser Oxydoreduktion (Dismutation) in den Zellen niederer und höherer Pflanzen unterliegt. In Gegenwart von Zucker vermögen Hefen, aber auch

Bakterien eine Hydrierung zu vollbringen; der zugesetzte zu reduzierende Stoff konkurriert dabei mit normalen Zuckerabbauprodukten um Erlangung des „Gärungswasserstoffs“. Außer Aldehyden werden Thioaldehyde, Ketone, Diketone, Polyketone, Nitrokörper, Disulfide und auch anorganische Stoffe phytochemisch reduziert, zum Teil in präparativ beachtenswertem Umfange. Damit konnten die Kenntnisse vom Wesen der Reduktionsvorgänge in lebenden Zellen auf eine experimentell sichere Grundlage gestellt werden.

Da ersichtlich alle bisher erwähnten Vorgänge mit den Gärungsprozessen zusammenhängen, führte die Entwicklung zu einer Erforschung der Gärungsvorgänge selbst. Seit 130 Jahren ist als Bruttogleichung der Vorgang der alkoholischen Zuckerspaltung bekannt. Bei dem komplexen Charakter der Umsetzungen war es — merkwürdigerweise erst spät — klar geworden, daß sich die Reaktion nur über Zwischenglieder vollziehen könne. Es bedurfte besonderer Methoden, um diese Stufen, die normalerweise schnell durchlaufen werden, zu fixieren und die Intermediärgebilde abzufangen. Das machte die Ausarbeitung der sog. Abfangverfahren notwendig. Durch Zusatz geeigneter Mittel, die sich mit dem Zwischenprodukt verbinden (Sulfite, Dimedon u. a.) gelang zunächst die Feststellung einer neuen Vergärungsart, die den Namen 2. Vergärungsform erhielt. Statt Äthylalkohol und Kohlensäure wird bei Gegenwart der Abfangmittel der intermediär entstehende Azetaldehyd fixiert und vor der normalen Reduktion bewahrt. Diese ergreift dann ein anderes Produkt, das selbst aus Zucker durch seine hälftige Teilung hervorgeht. Es kommt zur sog. Azetaldehyd-Glyzerinspaltung des Zuckers. Damit war die theoretische Grundlage für die künstliche Gewinnung von Glycerin geschaffen, die im Kriege für die Landesverteidigung größte Bedeutung erlangte; die praktische Handhabung des Verfahrens ist das Verdienst von CONNSTEIN und LÜDECKE.

Mit der alkoholischen Zuckerspaltung ist die Milchsäuregärung nahe verwandt. Die im Kaiser Wilhelm-Institut für Biochemie während des Krieges auf der Suche nach billigen und verfügbaren Ersatzstoffen für Glycerin angestellten Untersuchungen hatten ergeben, daß für viele Zwecke technischer und medizinischer Art die milchsäuren Alkalien (Laktate) wegen ihrer physikalischen Eigenschaften das Glycerin ersetzen, ja ihm in manchen Fällen überlegen sind. Diese Erkenntnis führte zur Schaffung der Glycerinersatzprodukte Per- und Perkaglycerin, die während des Weltkrieges in der deutschen Armee und in den Heeren seiner Verbündeten vielfache Anwendung gefunden haben.

Weitere Umänderungen der normalen Gärungsvorgänge wurden sodann auf biologischem Wege erreicht. Die Ausschaltung des Azetaldehyds aus der Reihe der normalen Umsetzungen, die bei der 2. Vergärungsform durch zugefügte Bindemittel erreicht wird, läßt sich auch auf biologischem Wege bewerkstelligen. Das schon erwähnte Enzym der Dismutation wirkt bevorzugt in schwach alkalischen Medien. Nimmt man die Vergärung unter diesen, bis dahin für unmöglich gehaltenen Umständen vor, so tritt nunmehr eine biologisch bedingte Umformung der normalen

Gärungsgleichung ein: der Zucker zerfällt unter der Wirkung von Fermenten im alkalischen Milieu in Essigsäure, Weingeist, Kohlendioxyd und Glycerin. Abarten dieser Prozesse kann man bei anderen Gärungserscheinungen (Essiggärung, Buttersäuregärung, Zuckervergärung durch *B. coli* und *B. lactis aerogenes*, durch Ruhrbazillen, bei der Zellulosevergärung usw.) wahrnehmen. Mit diesen Beiträgen wurde zugleich der Anschluß an die Arbeiten über das Problem der natürlichen Fettbildung erreicht.

Ein anderes Vorgehen führte zu neuen Erkenntnissen, nämlich Ausbildung und Anwendung der Fermentausschaltungsverfahren. Die Zymase ist ein zusammengesetztes Ferment. Eine das zum Ausdruck bringende Nomenklatur wurde gemeinsam von NEUBERG und v. EULER vorgeschlagen. Nimmt man nun einzelne Teilreagenzien aus dem Fermentkomplex heraus, so kommt es wiederum zur Anhäufung normalerweise nicht faßbarer Zwischenprodukte aus der 3-Kohlenstoffreihe, von denen mit besonderer Methodik das vorhin schon erwähnte Methylglyoxal (als Dinitrophenylhydrazon, Dioxim oder Chinoxalinderivat) isoliert werden konnte. Ebenso wurde durch Fermentausschaltung die Spaltung des Zuckers in äquimolekulare Mengen Brenztraubensäure und Glycerin erreicht. Diese Entstehung der Brenztraubensäure speziell bei der Hefegärung ist hier zum ersten Mal mit Erregern gelungen, bei denen die oxydative Entstehung der Brenztraubensäure ausgeschlossen ist.

Alle diese neuen Vergärungsformen können mit Methoden, die diesem Zweck besonders angepaßt wurden, heute als Vorlesungsversuche demonstriert werden.

Seit einer Entdeckung des englischen Forschers A. HARDEN weiß man, daß die biologische Zuckerspaltung in weitaus den meisten Fällen an eine vorangehende Veresterung der Kohlenhydrate mit Phosphorsäure geknüpft ist. Das gilt auch für die Vergärung einfacher Zucker der 3-Kohlenstoffreihe, die unter Aufnahme von Phosphorsäure zuerst in Hexosephosphat übergeführt werden. In Arbeiten des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biochemie waren zunächst synthetische Zuckerphosphorsäureester bereitet durch eine Reaktion, für die der vorgeschlagene Name, „Phosphorylierung“ sich eingebürgert hat. An diesen synthetischen Zuckerphosphorsäuren wurde auch zuerst die Bildung besonderer Zustandsformen der mit Kalzium vereinigten Phosphorsäure festgestellt, eine Erscheinung, die für die Lehre von der Knochenbildung und andere physiologische Prozesse Bedeutung erlangt hat. Auch ein neuer Zuckerphosphorsäureester wurde sowohl mit rein chemischer als biochemischer Methodik gewonnen, der sog. Neuberg-Ester, und zugleich wurde durch individuelle Isolierung der Stoffe festgestellt, daß die verschiedenen Zuckerphosphate biologisch ineinander umgewandelt werden. Daß bestimmte Zucker (z. B. Mannose und Maltose) bei der biologischen Phosphorylierung ein besonderes Verhalten aufweisen, wurde gleichfalls erkannt.

Das Ferment Phosphatase war der Gegenstand eingehender Untersuchungen. Es wurde unter anderem die überraschende Tatsache festgestellt, daß auch Pyrophosphorsäureester der enzymatischen Spaltung

zugänglich sind, und daß die Reichweite der Phosphatase eine außerordentlich große ist. Auch eine auf anorganische Phosphorsäurederivate eingestellte Phosphatase wurde entdeckt, die Metaphosphatase, die Salze der Metaphosphorsäure in solche der Orthophosphorsäure überführt.

Die Zuckerphosphorsäureester, aber auch die nicht phosphorylierten Zucker selber zeigen die bemerkenswerte Eigenschaft, mit Aminosäuren und eiweißähnlichen Stoffen lockere, durch besondere Eigenschaften ausgezeichnete Verbindungen einzugehen.

Eine ausgedehnte Studie betraf die Aktivatorwirkung chemisch definierter Katalysatoren.

Von besonderem theoretischen Interesse war die Umschaltung der alkoholischen Zuckerspaltung auf Milchsäuregärung, die für die Ähnlichkeit und Zusammengehörigkeit dieser Abbauförmn der Zucker neues Material beibringt und den Zusammenhang sicherstellt, nach dem die lange gesuchte Umschaltungsmöglichkeit bewiesen ist.

Zu den Zuckerphosphorsäureestern einfacher Natur, die auf Grund der Arbeiten auch anderer Autoren neuerdings Beachtung gefunden haben, gehört die Glyzerinsäuremonophosphorsäure (Monophosphoglyzerinsäure). Für die vor mehreren Jahren zunächst rein chemisch gewonnene Substanz wurde ein einfaches biochemisches Darstellungsverfahren gefunden, das die Bereitung beliebiger Materialmengen gestattet. Dabei zeigte sich, daß Phosphoglyzerinsäure aus verschiedenen Zuckern hervorgehen kann. Weiterhin wurden unerwartete physikalische Eigenschaften an den Salzen dieser Glyzerinsäurephosphorsäure enthüllt, ihre biologischen Umsetzungen besonders bei niederen und höheren Pflanzen studiert und ein analoges Verhalten der Diphosphoglyzerinsäure erkannt.

Neben den eigentlichen Gärungserscheinungen wurden auch mit Erfolg Umsetzungen aufgeklärt, die auf Fäulnis, d. h. auf bakteriellen Spaltungen zumeist mit Mischkulturen, beruhen.

Die enzymatischen Systeme seltener Hefen und Bakterien, deren biochemische Leistungen theoretisches Interesse bieten, wurden zergliedert.

In wesentlichen Fällen ist die Einheit des Geschehens in Hefen, Bakterien und Zellen höherer Lebewesen an typischen Beispielen belegt.

Außer dem Phosphor spielt in der Natur der Schwefel eine große Rolle. Es war daher die Aufgabe, nach Fermenten zu suchen, die eine Zerlegung der natürlichen Schwefelsäureester bewirken. Diese Aufgabe wurde im Jahre 1923 von NEUBERG und KURONO gelöst, indem sie das erste Ester-schwefelsäuren spaltende Enzym, die Sulfatase, fanden. Eingehende Untersuchungen taten dar, daß ein solches Agens bei nieder und höher entwickelten Lebewesen vorkommt, und daß es mehrere Sulfatasen gibt, von denen die verschiedenen in der Natur anzutreffenden Schwefelverbindungen und auch synthetische körperfremde Substrate dieser Gruppe in charakteristischer und strukturell bedingter Weise zerlegt werden. Man kann nunmehr 3 Kategorien unterscheiden: die Phenosulfatase, die Senfölglykosidosulfatase und die Chondrosulfatase. Mit Hilfe der letzteren gelang neuerdings der vollständige enzymatische Abbau der wichtigen

Gerüstsubstanz Chondroitinschwefelsäure und der ihr verwandten Mukoitschwefelsäure.

Weitere Arbeiten betreffen andere hydrolysierende Fermente, im besonderen die Glykosidasen und Aminoazidasen. Hier wurden unter anderem unzweideutige Beweise für die Verschiedenheit von Glukosidasen und Galaktosidasen, von Maltase und Invertase, für die Existenz verschiedener Emulsine erbracht und damit bisher strittige Fragen einer Klärung zugeführt. Dabei wurde auch die hydrolytische Wirkung glykosidischer Enzyme an bisher nicht geprüften Zuckerderivaten studiert, z. B. an Ureiden und an Derivaten mit 13 Kohlenstoffatomen im Molekül. Die Fähigkeit von Bakterien, reinen optisch-aktiven Amylalkohol zu bilden, ist im Verlauf einschlägiger Untersuchungen über Mikrobenenzyme festgestellt. Gezeigt wurde, daß die käufliche Takadiastase eine Fundgrube für Fermente ist, die auf die allerverschiedensten Substrate einwirken.

Zur Spaltung von Razemkörpern wurden zwei neue biochemische Methoden ausgearbeitet: die Zerlegung von razemischen Phosphorsäureestern durch das Enzym Phosphatase sowie die Zerlegung von razemischen Schwefelsäureestern durch das Enzym Sulfatase, sodann die Spaltung im Aglykon razemischer Glykoside durch Glykosidasen.

Eine Reihe synthetischer Methoden wurde erprobt, um für die biologischen Vorgänge die nötigen Substrate zu schaffen, und eine Reihe neuer analytischer Verfahren wurde in die Methodik eingeführt, um die Ergebnisse zu sichern. Zugleich wurden bei Anwendung auf biochemische Aufgaben sich geltend machende Fehlerquellen der Analysengänge aufgedeckt. Einige Naturstoffe wurden synthetisiert, andere Naturstoffe wurden rein dargestellt, ferner wurde eine neue Glycerinsynthese ausgearbeitet, die wohl als die einfachste gelten kann. Hierhin gehört auch die vollkommene Synthese des optisch aktiven Amylalkohols und die lange gesuchte Gewinnung der Indoxylglukuronsäure in reinem Zustand. Ein neues und sehr bequemes Verfahren zur Darstellung von Zuckern aus ihren Hydrazonen ließ sich ausfindig machen und verwerten, ebenso eine generell brauchbare Methode zur Fällung von Zuckern mit methylalkoholischem Baryt. Neue Zuckerderivate wurden auf dem Wege der biochemischen Oxydation von alkylierten Polyhydroxyverbindungen gewonnen, eine in bestimmten Fällen sich sehr einfach gestaltende Methode zur Bereitung von  $\alpha$ -Ketosauren der Zuckerreihe konnte angegeben werden. Das Problem der photochemischen Kohlensäurereduktion in lebenden Zellen wurde gefördert und weitgehend geklärt. Modellreaktionen, die Vergleiche mit enzymatischen Umsetzungen zulassen, wurden beschrieben. Die Bestimmungen von physikalischen Konstanten, insbesondere von Verbrennungswärmen physiologisch wichtiger Substanzen, wurden als Ergänzung zu den biochemischen Arbeiten ausgeführt. Die Lehre von der Hydrotropie konnte an einem großen Versuchsmaterial entwickelt werden.

Eine Frucht der Arbeiten über Hydrotropie war die Darstellung eines neuen Antigens für die Serodiagnostik der Tuberkulose, und im

Zusammenhang mit der Tuberkuloseforschung wurde die Wirkung des Tuberkelbazillus und verwandter Erreger auf chemisch definierte Stoffe studiert, ferner wurden Untersuchungen über den chemischen Aufbau und das antigene Verhalten von Inhaltsstoffen der Tuberkelbazillen angestellt.

Im Verlauf der Tabakarbeiten wurden neue Substanzen aufgefunden, insbesondere wurde die Bedeutung des Pektins für die Tabakchemie ermittelt; ferner wurden Saponine aus Tabakblättern isoliert, weiterhin wurde das Auftreten bisher unbekannter Stoffe beim Rauchakt nachgewiesen. Außerdem wurden Beiträge zur Lehre vom Mineralstoffwechsel im Tabak geliefert und die enzymatischen Vorgänge bei der Dachreife und bei der sog. Tabakfermentation studiert.

C. NEUBERG.

## 24. Die Forschungsstelle für Mikrobiologie der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in São Paulo, Brasilien.

I. Wer immer die Pathologie und Hygiene der *Lepra* vorwärts treiben will, muß an die folgenden Fragen Hand anlegen: 1. Züchtung der Erreger, 2. Experimentelle Übertragung von menschlichem Lepramaterial bzw. etwaiger Kulturen auf das Tier, 3. Verfeinerung der Diagnostik.

Die Versuche, säurefeste Bazillen aus Lepramaterial herauszuzüchten, sind in der Forschungsstelle bisher zehnmal geglückt. Wir haben aber noch nicht bei einer einzigen Kultur die einwandfreie Sicherheit, ob wir eine Leprakultur in der Hand haben. Eine Identifizierung kann wohl erst erfolgen, wenn das Krankheitsbild der *Lepra* mit einer solchen Kultur reproduziert wird. Das ist nur am menschlichen Organismus möglich, da eine Übertragung der menschlichen *Lepra* auf Tiere bis vor kurzem keinen Erfolg hatte. Nun ist es aber nach langen vergeblichen Bemühungen in der Forschungsstelle, wie vorausgeschickt sei, doch gelungen, mit menschlichen Lepromen in mehreren Fällen weiße Ratten zu infizieren. Diese Übertragung geschieht sehr selten. Warum sie in der Regel ausbleibt, bleibt rätselhaft. Ob Rassenunterschiede bei den Ratten eine Verschiedenheit der Empfänglichkeit bedingen, ob die empfänglichen Tiere in nicht sichtbarer Degeneration sich befinden — Inzucht konnte nicht vermieden werden — oder ob die verwendeten Leprabazillen im Ausgangsmaterial zum allergrößten Teile abgestorben sind? Letztere Annahme hat vieles für sich. Wenn man bedenkt, welche ungeheuren Mengen Leprabazillen der Kranke ausscheidet, und wie wenig die Ansteckungsquote diesem Massenausscheiden entspricht, so ist zu folgern, daß entweder der Mensch außerordentlich wenig empfänglich für *Lepra* ist, daß zum Zustandekommen der Infektion ein Zusammentreffen einer Reihe von Faktoren gehört, oder aber daß die ausgeschiedenen Keime nur zum allerkleinsten Teil lebensfähig sind. Daß in manchen, besonders in älteren Herden anderer Infektionen, die Erreger zwar mikroskopisch, selbst in großen Mengen, nachweisbar sind, die Züchtung aber bei sonst leicht zu züchtenden Keimen versagt, dafür gibt es genug Beispiele (*Blastomykose*, *Anthrax*,

Streptokokken). Man wird also künftig bei Lepra dies Quantitative berücksichtigen und besonders auch ganz frisch entstandene Herde als Ausgangsmaterial benutzen müssen. Diese Gelegenheiten sind freilich hier in der Stadt sehr selten.

Die hier gewonnenen *Kulturen* sind nicht alle identisch. Eine bei der Temperatur von 25–30° nach einem Jahre anaerob entwickelte Kolonie konnte nur bis zur dritten Generation anaerob weitergeimpft werden. Unbegrenzt aerob fortimpfbar waren bisher die weiteren Kulturen, von denen Stamm 3 ein besonderes Interesse erweckte, weil er dissoziiierbar ist: es gelang unschwer, mit Hilfe des Ausstreichens dieser Kultur auf größere Nährbodenoberflächen einen rauhen (trockenen) und glatten (feuchten) Typ zu gewinnen. Der letztere zeigt die launenhaften Eigenschaften der meisten glatten Typen anderer Bakterienarten: er springt plötzlich wieder in die Mischung rau + glatt um. Einzellkulturen sind in Vorbereitung, da jetzt die Apparatur hierzu vorhanden ist.

Um der Frage der Spezifität der Kulturen nachzugehen, wurden die in der Serologie mit Erfolg angewandten Antigen-Antikörperreaktionen herangezogen. Hierbei zeigten Emulsionen von Bazillen des L<sub>3</sub>-Trockentyps, die nach Trocknen und Entfetten erhalten wurden, bei intrakutaner Injektion bei Leprösen spezifische Erscheinungen. Auch ein nach Art des Alt tuberkulins aus Kulturen des Typs L<sub>3</sub> trocken hergestelltes Extrakt ergab im Vergleich zu Extrakten aus einer Reihe anderer, saprophytischer säurefester Kulturen bei Leprösen stärkste Reaktion. Dies Resultat muß an einem großen Krankenmaterial unter spezialistisch klinischer Beobachtung, wozu bisher noch keine Gelegenheit war, nachgeprüft werden. Während sich der Trockentyp bzw. Produkte aus ihm (s. u.) für die klinische Diagnostik zu eignen scheinen, konnten mit dem feuchten Typ auffallende Erscheinungen im therapeutischen Sinne beobachtet werden, s. u. — Der gleiche Typ wurde von P. JORDAN für Versuche an der Rattenhaut verwendet und ergab histologisch hochgradige Veränderungen ähnlicher Art, wie sie bei der Rattenlepra sowie bei den mit menschlichem Lepromaterial geimpften Ratten zu beobachten sind. Die Nachprüfung dieses wichtigen Befundes erfolgt zur Zeit durch P. JORDAN im Tropeninstitut Hamburg. — Von den anderen isolierten Stämmen interessiert uns zunächst am meisten das von P. JORDAN aus dem Blut eines Leprösen gezüchtete, das ebenfalls zur Dissoziation neigt.

Wie schon erwähnt, führt auch der *Tierversuch* zu der Anschauung, daß die überwiegende Menge der in den Lepromen vorhandenen Bazillen tot oder wenig lebensfähig ist und nur unter ganz besonderen, unbekanntem Bedingungen zur Infektion führt. In der Forschungsstelle ist der Tierversuch unter Tumorbildung bisher bei Übertragung von menschlichem Material zweimal geglückt, und zwar auf die weiße Ratte nach subkutaner und beim zweiten Fall nach intrakutaner Verimpfung, beide Male unter Verwendung ganz frisch entstandener Leprome. Bedenkt man, daß im ersten Falle es 1¼ Jahr, im zweiten Fall 1 Jahr 5 Monate und 8 Tage dauerte, bis die ersten Anzeichen der Tumorentwicklung auffielen, so erklären sich viele negative Resultate der Autoren und auch der Forschungs-

stelle dadurch, daß die Tierversuche vor dieser Zeit abgebrochen wurden, weil man eine so lange Inkubation nicht vermuten konnte, ferner starben ja während dieser langen Zeit viele Tiere interkurrent. Daran sind auch alle unsere Versuche mit den sonst recht aussichtsreichen Beutelratten gescheitert; länger wie  $\frac{1}{2}$  Jahr gelang es nicht, sie in der Gefangenschaft zu halten, sie gingen dann ein, vor allem an Pneumonien. — Sehr mühsam sind die Bemühungen JORDANs bei denjenigen Ratten, die nach Impfung mit Menschenlepromen bisher Tumoren nicht zeigten, Organe und Lymphdrüsen auf Leprabazillen zu untersuchen. Das ist schon in einer ganzen Reihe von Fällen gelungen. Nun müssen diese Organe auf pathologische Veränderungen durchsucht werden. Lassen sich solche finden, dann ist ja die Zahl unserer positiven Impferfolge viel höher, und es tauchen viele neue Fragen auf, die freilich bei der relativ kurzlebigen Ratte nur zum Teil zu lösen sind, wenn wir bedenken, daß beim Menschen die Inkubation 20 Jahre lang dauern kann. — Jedenfalls bedeuten schon diese Tierversuche einen Fortschritt und müßten in einem besser situierten Laboratorium erweitert werden, vor allem mit Beutelratten unter günstigeren Lebensbedingungen und mit langlebigen Affen.

Seit Jahren ist die Forschungsstelle damit beschäftigt, die *Lepradiagnose* zu verfeinern, besonders durch serologische Methoden. Das hat zu Fortschritten geführt. Nach Erprobung der verschiedensten Extrakte, die von uns aus Lepromen von Mensch und Ratte, aus Kulturen von säurefesten Stäbchen der verschiedensten Herkunft, besonders der aus Lepromen gezüchteten, nach den verschiedensten Verfahren gewonnen wurden, sind wir im Besitze guter Antigene für die Komplementbindungs- sowie für eine neue Flockungsreaktion. Die Grundlage bildet der schon genannte Stamm  $L_3$  trocken sowie ein Rattenleprastamm 1225. Beste Antigene ergibt die Hydrolyse der getrockneten Bazillen mit Phosphorsäure und Behandlung mit heißem Alkohol. Das Flockungsreagens erfährt noch Zusatz von Tolubalsam. — Der serologischen Methode ist wie bei anderen chronischen Infektionskrankheiten ihre Grenze gesetzt: Der Bazillennachweis und vor allem die klinische Untersuchung verschmälern erheblich den Anwendungsumfang. Wenn es aber hier mehrmals gelungen ist, aus übersandtem Blut die Lepradiagnose serologisch zu stellen, ohne daß wir die Patienten zu sehen bekamen, und wenn wir eingesandte Sera, die als Syphilisseren auf Wunsch von Ärzten untersucht werden sollten, mit Hilfe unserer Methoden als syphilisnegativ, hingegen als lepraspositiv erkannten, was mit der nachfolgenden genaueren klinischen und mikroskopischen Untersuchung übereinstimmte, so haben beide Reaktionen ihre Lebensfähigkeit erwiesen: ein jeder unerkannte Leprafall kann zur Verbreitung führen.

Hier sei angefügt, daß es JORDAN gelungen ist, im Urin Lepräser komplementbindende Substanzen darzustellen. — Es ist nicht unwahrscheinlich, daß wir bei systematischen Untersuchungen noch zu weiteren Verbesserungen der *Antigenherstellung* kommen können. Diese Antigene brauchen nicht notwendig von den Erregern selbst abgeleitet zu sein, so zeigten Aktinomyzesextrakte (JORDAN) auffallend stark positive Resul-

tate bei Lepra, freilich auch bei einzelnen tuberkulösen Seren. Hier können dann auch Absättigungsversuche Chancen bieten, wie O. BIER in Verbindung mit der Forschungsstelle bewies.

In *therapeutischer* Richtung ist die Forschungsstelle nur insofern tätig gewesen, als sie für Prof. LINDENBERG einige Vakzinen und Präparate aus den mehrfach erwähnten Kulturen herstellte. Die bemerkenswertesten Resultate wurden mit Stamm L<sub>3</sub>F gewonnen, es kam zur Einschmelzung von Lepraknoten in der Nachbarschaft der Infektionsstelle und zum Verblassen der Flecken makulöser Lepra. Da sich später Remissionen einstellten, so werden diese Versuche unter veränderten Bedingungen an geeigneten Fällen zur Zeit wiederholt. Hierbei macht sich der Mangel an Mitteln bzw. Personal besonders fühlbar. Derartige Versuche können nur in den sehr weit abgelegenen Leprosorien von sehr gut vorgeschulten, kritischen Klinikern vorgenommen werden. Die ärztliche Versorgung der hiesigen Leprosorien ist aber zur Zeit darauf noch nicht eingestellt.

Das Kapitel Lepra soll nicht verlassen werden, ohne auf eine hier gemachte Beobachtung hinzuweisen, die die *Bedeutung der Konstitution* bei Leprakranken beleuchtet: an sich seltene Veränderungen der Bauchhaut wurden bei Vater und Sohn an den gleichen Stellen in weitgehend gleicher Ausbildung gefunden. Wir nehmen danach eine Vererbung lokaler Organdisposition für die Entwicklung der Lepra an, es ist zu vermuten, daß die Zwillinguntersuchung für die Lepraforschung besonders wichtige Ergebnisse liefern würde. Wir verdanken die Überweisung auch dieses interessanten Falles Herrn Prof. LINDENBERG. JORDAN beschrieb ihn.

II. *Leishmaniose*. Nachdem der große, auch in Deutschland rühmlichst bekannte brasilianische Arzt JULIANO MOREIRA 1895 in der Gegend von Bahia das Vorkommen einer der Orientbeule ähnlichen Erkrankung beobachtet hatte, war es AD. LINDENBERG in São Paulo, der zum 1. Male 1909 die von WRIGHT bei der Orientbeule gefundenen Erreger, *Leishmania*, bei Fällen aus dem Staate São Paulo sah und für diese die Verwandtschaft mit der Orientbeule feststellte. Prof. LINDENBERG ermöglichte es der Forschungsstelle, das reiche Material, das die hiesige Santa Casa stets beherbergt, zu benutzen, wobei sich der Assistent der Forschungsstelle G. BUSS besonders bewährte. Zunächst wurden die klinischen Erscheinungen studiert. Es gibt aber kein richtiges Bild, wenn man nur die fortgeschrittenen Fälle, die ins Hospital kommen, sieht, man mußte die Kranken auch dort aufsuchen, wo die Infektion stattfindet. Die Krankheit befällt hier vor allem Bewohner von Siedelungen, die Wald urbar machen. Wir wandten uns nach dem äußersten Westen in die Slowakenkolonie Cainá, wo 30—40% der 150 Einwohner an Leishmaniose litten. Hier konnte das ganze Krankheitsbild von den ersten Anfängen bis zu den schweren ulzerösen Stadien und Schleimhauterkrankungen gewonnen und die Sonderstellung dieser amerikanischen Leishmaniose auch in klinischer Beziehung gegenüber der europäischen herausgearbeitet werden (G. BUSS). Vor allem äußert sich diese bei mikroskopischer Untersuchung; bei Orientbeule ist die Zahl der Erreger im Anfang bedeutend größer. An einem Material, das in diesem Umfange noch nie histologisch verarbeitet wurde, nämlich

bei 94 Exzisionen von 62 Fällen, ließ sich im Schnitt der Erreger 51mal nachweisen, wobei Alter der Krankheitsherde und Behandlung der Kranken von Bedeutung sind. Es konnten aber auch hier Fälle beobachtet werden, bei denen sich viele Parasiten fanden, diese Fälle zeigten klinische Besonderheiten, es waren 2 davon universelle exanthematische Formen, der dritte Ausnahmefall war eine sog. atrophische Form. Bei diesen Fällen scheint der reiche Gehalt an Parasiten eine Folge der schwächeren Gegenreaktion des Organismus zu sein. — Vieles spricht dafür, daß die *hämato-gene* Entstehung von Krankheitsherden für Form und Verlauf des sich entwickelnden Bildes von Bedeutung ist, und daß hierin ein Grund für die Sonderstellung der Schleimhaut-Leishmaniose gefunden werden kann. Eine hämatogene Ausbreitung war besonders bei einem seltenen Fall von Leishmania naheliegend, der zu allgemeiner Psoriasis hinzutrat: hier waren über den ganzen Körper zahlreiche Leishmania-Knoten ausgebreitet. — Ermittelt wurde ferner, daß bei der amerikanischen Leishmaniose nur selten *tuberkuloides* Gewebe in größerem Ausmaß gebildet wird, während diesem bei der Orientbeule eine größere Bedeutung zukommt. *Riesenzellen* sind in frischen Effloreszenzen selten anzutreffen, bei Heiltendenz finden sie sich reichlicher, bei chronischen Fällen seltener.

Bei der Schwierigkeit des direkten Nachweises der Leishmaniakörper besonders in älteren Geschwüren ging die Forschungsstelle darauf aus, eine *spezifische Diagnostik* auszubauen. Das ist gelungen, und zwar mit Hilfe der unschwer zu erhaltenden Kulturen. Diese wurden so schonend wie möglich abgetötet und ausgezählt, so daß man einen leicht dosierbaren und leicht zu erneuernden Impfstoff in den Händen hat. Von der 1—3000000 Leishmania in 1 ccm enthaltenden Vollvakzine ergab die Intrakutaninjektion von 0,1 ccm bei allen Leishmaniakranken positive Papelbildung, diese wurde histologisch analysiert. Bei hochgradiger Empfindlichkeit der Patienten kommt es zur Pustelbildung. Die gleiche Vakzine, die für die Diagnostik sich eignet, hat bei therapeutischer Anwendung bisher keine eindeutigen Ergebnisse geliefert. Auch eignete sich die Intrakutanreaktion am kranken Menschen nicht zur Unterscheidung der verschiedenen Leishmaniarassen.

Leider fehlte es an Personal und Mitteln, die Epidemiologie der Leishmaniose aufzuklären. Phlebotomen und Simuliden sollen die Krankheit übertragen. Das letztere hält der Leiter der Forschungsstelle für nicht wahrscheinlich nach einem Selbstversuch im Urwald des Alto de Sorocabanagebietes: hier waren sämtliche Insassen einer Hütte an Leishmaniose erkrankt, es wimmelte von Simuliden, von denen er sich 1 Stunde lang an den entblößten Armen stechen ließ. Es traten keine Erscheinungen auf.

III. Schon mit Hinblick auf die Differentialdiagnose gegen Lepra wurden in der Forschungsstelle alle neu auftauchenden serologischen Methoden für *Tuberkulose und Syphilis* nachgeprüft, wozu u. a. die Schüler der Forschungsstelle JAYME COVOLLANTI und CANDIDO DORES in ihren Dissertationen beitrugen. Die alte WASSERMANNsche Tuberkulosereaktion in ihrer von KLOPSTOCK vereinfachten Form hat hier recht gute Resultate bei Tuberkulose gegeben, erfaßt aber Frühfälle ebenso wenig wie die

WITEBSKI-Methode. Letztere ist bei einem sehr hohen Prozentsatz von Lepra positiv. — Auch die neueren Methoden der Tuberkelbazillenzüchtung wurden fortlaufend geprüft, der von LÖWENSTEIN empfohlene Nährboden wurde verbessert, und Fehlerfolge mit HÖHNs Verfahren konnten aufgeklärt werden.

Besonderes Interesse erweckt hier die *Diphtherie*, die im Anfange leicht verläuft, gleichwohl weisen die isolierten Stämme keine Unterschiede gegenüber den europäischen auf. Nur bei einem Falle konnten morphologisch atypische Diphtheriebazillen gezüchtet werden, die bei direkten Ausstrichen und in der ersten Generation auf Kultur infolge ihrer abnormen Größe zunächst gar nicht den Verdacht von Diphtherie erweckt hatten. Erst als bei einem weiteren Fall dieser kleinen Epidemie sich vorübergehende Lähmungserscheinungen einstellten, wurden diese Keime als untypische Diphtherie erkannt. Es können also unbemerkte Diphtherieherde vorhanden sein; der untersuchende Bakteriologe muß auch auf von den LÖFFLER-Stäbchen stark abweichende Formen achten und die Identifizierung vornehmen.

Eine Reihe von Untersuchungen betrafen uns von Prof. LINDENBERG zur Verfügung gestellte Fälle der Hautabteilung der Santa Casa, so *Ulcus tropicum*, bei dem hier entgegen der Lehrmeinung nicht regelmäßig Spirochäten und fusiforme Bazillen anzutreffen sind, so daß die Untersuchungen sich noch in anderer Richtung nötig machen; ferner studierten wir Fälle von Elephantiasis und die verschiedensten Krankheiten der Mundhöhle: Blastomykose, Pilzkrankheiten. Leider fehlte es an Hilfskräften, dies Material voll zu verwerten.

Zahlreich waren die von der Forschungsstelle geprüften Desinfektionsmittel, ohne daß diese aber besondere Fortschritte bedeuteten. Lediglich das von HOTTINGER hergestellte Argodyn, ein Metallpräparat, hervorgegangen aus gemeinsamen Studien über Oligodynamie, beansprucht eine Sonderstellung und konnte als wirksames Darmdesinfiziens empfohlen werden.

Auf dem Gebiete der *Gärungsmikrobiologie* hat sich die Forschungsstelle mit der Kakao- und Kaffeefermentierung sowie mit der Rumgärung beschäftigt.

Nachdem HENNEBERG und seine Schüler die Mikroorganismen der *Kakaofermentation* im Laboratorium studiert hatten, war es wünschenswert, diese Untersuchungen an Ort und Stelle der Kakaogewinnung nachzuprüfen, zu vervollständigen und zu versuchen, ob durch eine Reingärung ein besseres Produkt erzielt werden kann.

Unsere Arbeiten im Kakaogebiet bestätigten die Angaben HENNEBERGs über die Mikroflora der äußeren Kakaofermentation. Im kleinen Maßstabe gelang auch die Verbesserung der Qualität des Kakaos durch Hinzugabe von Weinhefen. Hingegen ist in der Praxis bei unseren Versuchen keine eindeutig günstige Wirkung zu erzielen gewesen. Die Pulpa ist unter den primitiven hiesigen Verhältnissen der Aufbereitung derart mit Mikroorganismen angereichert, daß die zugegebenen Reinhefen in der von uns verwendeten Menge nicht aufkommen konnten, vor allem

war eine gleichmäßige Verteilung in dem zähen Kakaoschleim ohne besondere Apparatur nicht möglich. Hierzulande ist auch die Temperatur für die verwendeten Weinhefen in den Kakaohaufen zu hoch (sie ist am günstigsten bei 45–48° vom 2. oder 3. Fermentationstage ab). — Sicherergestellt wurde, daß das Aufkommen von Essigbakterien zu vermeiden ist, Essigsäuregärung wirkte schädlich, ebenso Wasserzusatz. — Bei der äußeren Kakaofermentation spielen also Mikroorganismen eine Rolle, es muß aber die Tätigkeit der einzelnen, sich bei der Fermentation entwickelnden Mikroorganismen noch geklärt werden durch Reingärungsversuche.

Bei der *Kaffeefermentation* hingegen ist die Auflösung der Pulpa bei den reifen Kirschen nicht oder nicht lediglich durch Mikroorganismen, sondern in erster Linie durch die zelleigenen Enzyme bedingt, Weinhefen spielen dabei nach unseren Arbeiten keine Rolle. Lediglich wenn die Kaffeefermentation über 12 Stunden ausgedehnt wird, kann angenommen werden, daß bei der Auflösung der Pulpa unreifer oder wenig reifer Kirschen Mikroorganismen beteiligt sind. Diese wurden identifiziert (VON LILIENFELD-TOAL).

Sehr wenig ist über die *Rumgärung* bekannt. Um hier vorwärts zu kommen, wurden in der Forschungsstelle durch STEFAN SZÜCS die Mikroorganismen des Zuckerrohrs, des Rohrsaftes und der Melasse studiert. Insbesondere wurden die Hefen, Essig-, Buttersäure- und Milchsäurebakterien isoliert. Es zeigte sich, daß die Rumgärung keine Reingärung ist, daß als wichtigste Nebengärung 1. eine Buttersäuregärung gleichzeitig mit der alkoholischen oder bereits vor ihr, 2. eine Essigsäuregärung gleichzeitig mit der alkoholischen und nach ihr stattfindet. Die isolierten Weinhefen rufen bei Ausschluß der Infektion mit Essigsäure- und Buttersäurebakterien kein Rumaroma hervor, ebensowenig die sonst zur Rumgärung vorzüglich geeignete, im hiesigen Laboratorium isolierte Spaltheffe Bahia oder die bekannte Hefe Pombe. Substitution von Essigsäure- und Buttersäurebakterien durch die entsprechenden Säuren ist nicht möglich. Die einzelnen Faktoren, die zur Entstehung des natürlichen Rumaromas führen, konnten aufgedeckt werden.

MARTIN FICKER.

## 25. Kaiser Wilhelm-Institut für Anthropologie, menschliche Erblehre und Eugenik.

Als das Institut 1927 ins Leben trat, gab es in Deutschland keine wissenschaftliche Stätte, die ausschließlich oder auch nur vorwiegend der Erforschung der Vererbungserscheinungen beim Menschen gewidmet war. Nur an wenigen Stellen und von ganz wenigen Forschern wurden einzelne Beiträge zur menschlichen Erblehre geliefert, unsystematisch, wie Material und Möglichkeiten sich boten. Auch im Ausland war es nicht viel anders. Nur auf dem Gebiet der Erbpathologie häuften sich die Nachweise über die Erbgänge zahlreicher Krankheiten. So ergab sich als weitaus wichtigste Aufgabe für das neugegründete Institut die systematische Inangriffnahme

des Ausbaues der menschlichen Erblehre. Der grundsätzliche Nachweis der Vererbung normaler Eigenschaften, vor allem auch der Rasseneigenschaften war seit Jahren gebracht. Aber die dazu den Grund legende große Arbeit des Verfassers über die Rehobother Bastards war in den seit ihrem Erscheinen vergangenen 14 Jahren ohne jede Nachfolge geblieben. (Erst 1927 erschien als 2. Bastardbuch das prächtige Werk RODENWALDTs und seitdem eine Anzahl anderer.) Der Weg jener Arbeit, den Erbgang normaler Eigenschaften in der Kreuzung von Trägern sehr stark verschiedener Eigenschaften (Rassenkreuzung) zu verfolgen, war für das Institut mangels Material zunächst verschlossen. So wandte es sich der Schaffung und Vervollkommnung des anderen, inzwischen zum wichtigsten gewordenen Instrumentes menschlicher Erbforschung zu, der Zwillingsforschung. Eingeführt von SIEMENS, WEITZ und v. VERSCHUER, hatte bis dahin die Zwillingsforschung gezeigt, daß die Vergleichung von ein- und zweieiigen Zwillingen ein geeignetes Mittel sein könne, das Vorhandensein von Erbanlagen und den Umfang von Umwelteinflüssen für ein Erscheinungsbild nachzuweisen. Diese Methode wurde vom Institut in mehrjähriger Arbeit in einem Umfang und auf Grund eines derartig großen Materiales ausgebaut wie von keiner anderen Seite. Es mußte zunächst eine Organisation zur Schaffung des Zwillingsmateriales durchgeführt werden, es mußte dann die Methode kritisch geprüft werden, und es mußte endlich durch ihre Anwendung eine ganz breite Erfahrungsbasis auf allen Gebieten menschlicher Vererbung geschaffen werden.

Dank dem Entgegenkommen aller betreffenden amtlichen Stellen gelang es in kurzer Zeit, die Anschriften von mehr als 4000 Zwillingen der Schulen Groß-Berlins karteimäßig zu erfassen. Und in entgegenkommendster Weise erhielt das Institut die Genehmigung, die Zwillingskinder (vorbehaltlich der Einwilligung der Eltern) zur Untersuchung einzubestellen. In regelmäßigen Reihen wurden jahrelang Zwillinge systematisch untersucht. Weiter verdanken wir dem verständnisvollen Entgegenkommen des Stadtgesundheitsamtes und der Direktoren zahlreicher Krankenhäuser aller Art, daß bei der Aufnahme ins Krankenhaus jeder Kranke befragt wurde, ob er Zwilling sei, ob das Zwillingsgeschwister lebe, und weiter, daß uns diese Fälle gemeldet wurden. Wir waren in der Lage, zahlreiche solche Fälle wissenschaftlich zu verfolgen. Und endlich danken wir den Leitern einer ganzen Anzahl von Entbindungsanstalten, daß sie uns jede Zwillingsgeburt gemeldet haben, und daß uns in einzelnen Anstalten alle Zwillingsnachgeburten ausgeliefert wurden. Und schließlich sei der Presse gedacht, die durch gelegentliche Berichte über die Zwillingsforschung des Institutes zahlreiche Zwillinge auf unsere Arbeit aufmerksam gemacht und dadurch uns zugeführt hat. So kam ein gewaltiges Material zusammen, das großzügige Zwillingsforschung ermöglichte. Es ist das große Verdienst des Abteilungsleiters Frhr. v. VERSCHUER (1927 bis 1. April 1935), dieses Material in vorbildlicher Weise wissenschaftlich ausgenützt zu haben.

Zunächst wurde auch die Methode noch einmal einer gründlichen Prüfung unterzogen. Die Ähnlichkeitsdiagnose wurde ausgebaut, und durch reiche Erfahrung wurde festgestellt, wie minimal die Möglichkeit ist, durch

zufällige Ähnlichkeit zweieiiger Zwillinge eine Fehldiagnose über die Eiigkeit zu stellen. Die Probe bildeten wiederholte Untersuchungen der Blutgruppen von Zwillingen (SCHIFF und v. VERSCHUER) derart, daß an größeren Reihen die Ähnlichkeitsdiagnose gestellt wurde und die Blutproben ohne Angabe der Diagnose vergleichend untersucht wurden. Die Untersuchung ergab ein vollkommen fehlerloses Arbeiten der Methode. Andererseits wurde die Unmöglichkeit, die Diagnose aus dem Eihautbefund mit völliger Sicherheit zu stellen, einwandfrei erwiesen. Untersuchungen über den Gefäßverlauf, mikroskopische Untersuchungen über Eihautreste und eingehende Beobachtung an Eihaut und Mutterkuchen (KIFFNER, v. VERSCHUER, LASSEN, STEINER) erbrachten diesen Nachweis<sup>1</sup>.

Der Methode sicher, gingen wir an die Schaffung einer großen Erfahrungsunterlage über die Vererbung zunächst normaler anatomischer und physiologischer, teilweise auch psychologischer und später pathologischer Erscheinungen. Es ist unmöglich, hier im einzelnen die zahlreichen Untersuchungen zu berichten, die im Institut von Abteilungsleitern und Assistenten, zahlreichen in- und ausländischen wissenschaftlichen Gästen und Doktoranden ausgeführt worden sind. Aber es sei wenigstens aus den langen Reihen erwähnt, daß diese Zwillingsuntersuchungen den Nachweis der erblichen Bedingtheit erbrachten für den Verlauf des Wachstums, für Proportionen von Rumpf und Gliedern, für Schädelmaße, für Körperasymmetrien, um nur einiges zu nennen (v. VERSCHUER). Der Zweck und auch das erreichte Ziel war aber der Nachweis der sehr verschieden großen Beeinflußbarkeit der verschiedenen Erbanlagen durch die Umwelt. Mit keiner anderen Methode läßt sich dies derartig einwandfrei festlegen. Es sei auf die eingehenden diesbezüglichen Arbeiten v. VERSCHUERs verwiesen. In mehrjähriger Arbeit wurden weiter die Erb- und Umweltbedingtheit aller einzelnen Bildungen der menschlichen Ohrmuschel untersucht (QUELPRUD). Es reihten sich sehr mühesame Arbeiten über die Vererbung der Fingerleisten und vor allem der Handleisten (Triradien) an, teils Bestätigungen, teils Erweiterungen und Weiterführungen der schönen Arbeiten BONNEVIEs aus dem Osloer Institut. Auch hier ist die Wichtigkeit des Nachweises zu betonen, wie verschieden Erbe und Umwelt an den Einzelbildungen beteiligt sind (SCHÄUBLE, MEYER-HEYDENHAGEN, ABEL, GEIPEL, v. VERSCHUER). Ich erwähne entsprechende Untersuchungen auf physiologischem Gebiet, wo für zahlreiche Vorgänge die erblich bedingte Gleichheit bei Zwillingen nachgewiesen wurde, so für die Abgabe des Magensaftes (GLATZEL), den Grundumsatz (HILSINGER, WERNER), die vitale Lungenskapazität (WERNER), gewisse respiratorische Erscheinungen (v. VERSCHUER, CURTIUS), das Blutbild (GLATZEL, DE LA VEGA), gewisse Isoagglutininverhältnisse (BÜHLER), die kindlichen Entwicklungsvorgänge (BRAUNS), das Eintreten der Menarche (PETRI), den Ablauf gewisser Reflexe (CURTIUS), Reaktionen des vegetativen Nervensystems auf Adre-

<sup>1</sup> In diesem Bericht können ganz unmöglich Einzelheiten der verschiedenen Untersuchungsreihen gegeben werden. Auch die einzelnen Schriften sollen im allgemeinen nicht genannt werden. Ich verweise auf deren vollständiges Verzeichnis in den Jahresberichten der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, die jährlich in den „Naturwissenschaften“ erscheinen.

naline, Atropin, Histamin, Pilocarpin usw. (WERNER) und zahlreiche andere Erscheinungen. Nur zögernd und vorsichtig wurden bisher mit denselben Methoden an Zwillingen psychologische Eigenschaften untersucht. Als Übergang zu solchen sei der schöne Nachweis erwähnt, daß das individuelle Tempo Erbanlagen zur Unterlage haben muß (FRISCHEISEN-KÖHLER), wobei dann durch Familienuntersuchungen auch erste Ergebnisse über den Erbgang erzielt wurden. Ganz auf psychologisches Gebiet führten Zwillingsuntersuchungen über Schulzeugnisse und allgemeines psychisches Verhalten von Schulkindern (LASSEN, FRISCHEISEN-KÖHLER) und solche mit Intelligenzprüfungen, ROHRSCHACHSchem Versuch usw. (v. VERSCHUER). Endlich führten eine Reihe von Untersuchungen auch auf das pathologische Gebiet. Es gelang, Abgrenzung von Erb- und Umweltwirkungen in ihrem verschiedenen Verhältnis festzustellen für eine Anzahl Infektionskrankheiten (GLATZEL, v. VERSCHUER), für die rachitischen Erkrankungen (LEHMANN), für Säuglingsdystrophie (LEHMANN). Besonders erwähnt sei die große Untersuchung über den Erbanteil bei multipler Sklerose (CURTIUS) und die eingehenden Studien an kriminellen Zwillingen (KRANZ). Das wichtigste Werk aber auf diesem Gebiet schufen DIEHL und v. VERSCHUER mit ihrem Buch „Zwillingstuberkulose“ (Jena 1933). Zum ersten Male wird mit der Zwillingmethode der Beweis erbracht, daß der tuberkulösen Erkrankung außer der Infektion eine Erbanlage zugrunde liegen muß, welcher Nachweis sich durch Familienforschung wegen der Unmöglichkeit, die Bedeutung der unmittelbaren Ansteckung auszuschließen, niemals mit voller Exaktheit bringen läßt.

Mit all diesen mühevollen Feststellungen des Vorhandenseins erblicher Unterlagen für anatomische und physiologische, normale und krankhafte Erscheinungen durch die Zwillingmethode ist für den Menschen dasselbe Ergebnis grundsätzlich geschaffen, das Zoologen und Botaniker durch ihre Tausende von Kreuzungsversuchen im Laufe der letzten Jahrzehnte erzielt haben, der sichere Nachweis der erblichen Bedingtheit der gesamten Morphologie, Physiologie und Pathologie. Diese Ergebnisse der Zwillingforschung sind so umfangreich, daß wir aus ihnen den bindenden Schluß für die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse auch für die im einzelnen noch nicht untersuchten anatomischen oder physiologischen Verhältnisse am Menschen ziehen dürfen. Aber unnötig werden dadurch diese noch fehlenden Einzelnachweise keineswegs, und am Ende sind die Aufgaben der Zwillingforschung noch lange nicht, und es wäre kurzichtig zu meinen, daß weitere solche mühsame Zwillingforschungen an großem Material überflüssig wären. Denn die bisherige Sammlung des Tatsachenmaterials, wie es eben in Umrisen vorgeführt wurde, verfolgt ja ganz gewiß nicht nur das Ziel, einfach festzustellen, daß einer bestimmten Erscheinung etwas im Erbgut zugrunde liegt, sondern erheblich mehr. Einmal kann die Zwillingmethode, wie schon erwähnt, die Ungleichheit des Verhältnisses der reinen Erb- und der Umweltwirkung am Erscheinungsbild der verschiedenen Eigenschaften feststellen. Sie kann für jede Eigenschaft den Umweltanteil bis zu gewissem Grad abgrenzen (LENZ hat zuletzt die Methode mathematisch korrigiert). Dieses aber bedeutet nicht nur

die allgemeine Feststellung vom Wesen des Erscheinungsbildes, die wir grundsätzlich auch sonst schon haben, sondern führt uns zu außerordentlich wichtigen praktischen Ergebnissen. Es handelt sich um die Erforschung der sog. Manifestierung der Erbanlagen. Wenn von zwei erbgleichen Zwillingen der eine eine Krankheit (etwa Schizophrenie) zeigt, deren Erbbedingtheit wir wissen, und der andere gesund erscheint, muß der Unterschied umweltbedingt sein, und es erhebt sich die schwierige Aufgabe, die Umweltfaktoren zu suchen, die entweder bei dem einen der krankhaften Erbanlage zum wirklichen Manifestwerden verholfen haben und dazu Bedingung waren oder andere, die etwa bei dem gesunden die Auswirkung der Erbanlage verhinderten. Es ist leicht zu verstehen, daß die Lösung dieser Aufgabe uns die Aussicht auf Verhütung oder Heilung der betreffenden Krankheitserscheinungen (natürlich nicht der Erbanlage) eröffnen. Die Zwillingforschung allein muß uns immer mehr Fälle solcher verschiedener Manifestation gleicher Erbanlagen kennen lehren, um jener Aufgabe näher zu kommen. Aber damit nicht genug, unser Arbeitsplan war von Anfang an darauf gerichtet, nicht nur Erbanlagen und Erbgang festzustellen, sondern gerade für den Menschen das Verhältnis verschiedener Erbanlagen zueinander und zu den äußerlich feststellbaren Merkmalen zu erforschen. Nirgends interessieren uns die Unterschiede des Erscheinungsbildes ein und derselben Erbanlage so sehr wie bei menschlichen Erbleiden. Warum tritt erbliche Polydaktylie in derselben Familie einmal an Händen und Füßen, ein anderes Mal nur hier oder nur dort, einmal als wohlausgebildeter sechster Finger, ein andermal nur als Hautanhang oder Knochenverbreiterung des fünften auf? Warum verläuft in denselben Familien einmal die Schizophrenie unter dem Bild der Hebephrenie, ein anderes Mal katatonisch, und warum verlaufen gewisse Erbleiden in einer ganzen Familie so und in einer anderen anders? Wenn uns auch am Menschen Kreuzungsexperimente versagt sind, die dem *Drosophila*-Forscher so unerhörte Erfolge beschert haben, so mußte andererseits die Tatsache, daß wir von keinem Geschöpf Anatomie und Physiologie, Entwicklungsgeschichte, vor allem aber die gesamte Pathologie auch nur annähernd so übersehen wie beim Menschen, zur Hoffnung berechtigen, daß die menschliche Erbforschung hier eigene Wege mit Erfolg gehen könnte. Den vorhin angedeuteten schwierigen Fragen der Mannigfaltigkeit in der Manifestation von krankhaften Erbanlagen entspricht auf dem Gebiet der normalen Morphologie die rätselhafte Erscheinung der sog. Varietäten, d. h. der zahlreichen, noch in das Gebiet normalen Schwankens gerechneten Abweichungen in Zahl, Größe und Verlauf von Gefäßen, Nerven, Muskeln, Knochen und Knochenteilen und zahlreichen anderen Organteilen. Eine Bearbeitung solcher scheinbar unwesentlicher Dinge nach ihrer Erbnatur hatte also ganz große allgemeine Ziele. Als geeignetes Objekt für eine solche Analyse erkannten einer meiner ältesten und treuesten Mitarbeiter KONRAD KÜHNE und ich die Varietäten der menschlichen Wirbelsäule. In jahrelanger Arbeit hat KÜHNE ausgehend von mehr als 11000 Röntgenbildern zunächst familienweise die vorkommenden Wirbelvarietäten festgestellt und dann ihren Erbcharakter

erforscht. Parallel gingen jahrelange Rattenzuchten, wobei die Kreuzungen nach dem röntgenologisch festgestellten Wirbelsäulenbefund erfolgten. Das ebenso überraschende wie einfache Ergebnis war, daß ein einziges Allelenpaar die Varietäten erblich bedingt. Es vererbt sich keine über- oder unterzählige Rippe, keine Vermehrung oder Verminderung der Wirbelzahl eines Säulenabschnittes, keine Wirbelangliederung oder Abspaltung am oder von dem Kreuzbein. Er vererbt sich lediglich die, wie einstweilen gesagt werden soll, „Tendenz“ der Wirbelsäule, kopfwärts oder steißwärts zu variieren. Sofort erhebt sich die Frage, durch was dann innerhalb einer Erblinie die Einzelausgestaltung verursacht wird. An über hundert Zwillingspaaren konnte KÜHNE feststellen, daß bei eineiigen die „Tendenz“ immer dieselbe war, eine glänzende Bestätigung des obigen Ergebnisses; die Einzelausgestaltung aber war sehr oft verschieden, ein Beweis, daß die Einzelausgestaltung überzähliger Wirbel usw. rein umweltbedingt ist. Die Parallele für die Erforschung entsprechender Erscheinungen auf krankhaftem Gebiet ist damit schon gegeben. (Einzelheiten, die uns das Gebiet noch weiter aufschließen, stehen unmittelbar vor dem Druck, es soll auf sie nicht vorgegriffen werden.) Aber weiter haben die Befunde an den vorhin erwähnten, sozusagen auf Wirbelvarietäten gezüchteten Ratten ergeben, daß auch der Nervenplexus der beiden Extremitäten vom selben Erbfaktor abhängen muß (FREDE), und genau dasselbe gilt für Muskulatur, Zwerchfell und Pleurastand. Die sog. Harmonie in der Entwicklung der gesamten Gebilde der hinteren Rumpfwand hängt also von dem einen Genpaar ab (E. FISCHER) und die Einzelausgestaltung ist Umwelteinflüssen, in diesem Fall embryonalen, zu verdanken. Diese Forschung vermittelt uns nicht nur die genannten Ausblicke auf die Vielfältigkeit der Bilder von Erbkrankheiten, und zwar am Menschen selbst, sondern auch solche auf stammesgeschichtliche Fragen, auf die Entwicklung der Wirbelsäule in der Säugetier- speziell Affenreihe, den Schwanzverlust und die Verkürzung der Wirbelsäule (E. FISCHER). Diese Andeutungen mögen genügen, es sollte nur gezeigt werden, welche großen Möglichkeiten die Zwillingsforschung heute vor sich hat, nachdem ihre erste Aufgabe, die Beschaffung des einfachen erbbiologischen Tatsachenmaterials, einigermaßen gelöst ist. *Jede Zwillingsforschung über irgendeine Erberscheinung kann solche neuen Aufschlüsse bringen!*

In Anwendungen der genannten Fragen auf die Erbpathologie gingen weitere Arbeiten und Pläne des Institutes dahin, zu versuchen, ob man die Träger rezessiver, also verborgener, im Erscheinungsbild nicht zutage tretender Erbanlagen erkennen könnte. Der Nachweis, daß dieses z. B. bei Rotgrünblindheit der Fall ist, berechtigte zu diesem Versuch. Es braucht nicht ausgeführt zu werden, wie ungeheuer wichtig es für Eheberatung, aber auch für vorbeugende und andere ärztliche Maßregeln wäre, wenn man die äußerlich gesunden (heterozygoten) Träger solcher rezessiver Erbanlagen der verschiedensten Erbkrankheiten erkennen könnte. Familienuntersuchungen, ausgehend vom Träger einer Erbkrankheit und durchgeführt mit all den verschiedenen komplizierten klinischen Methoden, könnten dieses Ziel erreichen. Dank der Verbindung des

Institutes mit Krankenhäusern haben wir solche Untersuchungen begonnen. Eine erste solche ergab keinen Unterschied zwischen unbelasteten und (erwartungsgemäß) erblich belasteten Blutsverwandten von Zuckerkranken (STEINER). Weitere Untersuchungen sollen folgen, es sind selbstverständlich auch negative Ergebnisse zu erwarten und nicht weniger wichtig.

Hier warten also der menschlichen Erbforschung, besonders der Zwillingsforschung, noch ungeheure Aufgaben, die die Leistungsfähigkeit eines einzelnen Institutes weit überschreiten, so daß jede Neugründung solcher Institute, wie z. B. des Frankfurter unter der Leitung unseres bisherigen Abteilungsleiters v. VERSCHUER, für die Wissenschaft wie für die Bedürfnisse unseres ganzen Volkes rückhaltlos zu begrüßen und ihre weitere Vermehrung zu erstreben ist.

Auch die nicht unmittelbar als Erbforschung zu bezeichnenden Arbeiten des Institutes standen deutlich unter dem Einfluß der Genetik. Wenn Untersuchungen über die Schädelform bestimmter Gruppen erschienen, war die Fragestellung die nach der erblichen oder umweltbedingten Natur der menschlichen Schädelform. Und von diesem Gesichtspunkt aus wurden Tierexperimente zur Beeinflussung der Schädelform durchgeführt, indem das Wachstum (ROTH) oder die Geschlechtsreife (BOETERS) von Ratten und damit indirekt die Schädelform künstlich abgeändert wurden. Sie zeigt sich in der Tat umweltbeeinflußbar, wodurch natürlich das Vorhandensein auch einer rasseerblichen Form nicht verneint wird. Zur Frage nach der Art und Weise, wie die das Schädelwachstum regelnden Erbfaktoren wirken, dienten Untersuchungen am embryonalen Schweineschädel verschiedener Rassen, die die Rassenunterschiede schon auf frühem Knorpelstadium nachwiesen (KIM). Noch stärkere Beziehungen zu Vererbungsfragen boten die Untersuchungen über Mischlinge von Europäern mit Polynesiern (E. FISCHER), von solchen zwischen Europäern und Chinesen (TAO) und von Mischlingskindern aus dem Gebiet der Besetzung mit farbigen Regimentern der Franzosen (ABEL). Auch wichtige Untersuchungen über Ähnlichkeit und Vererbung physiognomischer Eigenschaften in Familien (ABEL) und über die Ähnlichkeit entfernterer Verwandten mit konzentriertem Ahnenerbe (MAX FISCHER) zeigen die neue, erbbiologische Richtung der Anthropologie. Endlich seien eine Arbeit über Affenzwillinge (ABEL) und die interessanten Untersuchungen über Blutgruppen bei Anthropoiden (WEINERT) erwähnt.

Diesen unter dem Erbgesichtspunkt stehenden Arbeiten gesellen sich dann mehr systematische zu: schon 1928 wurde mit rassenkundlichen Erhebungen an der deutschen Bevölkerung begonnen in Zusammenarbeit mit zahlreichen Fachgenossen (und Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft), welche Arbeiten vom Institutsdirektor bisher in 14 Bändchen „Deutsche Rassenkunde“ herausgegeben wurden (Jena 1929—36) — auch hier sind die aus unserem Institute kommenden Bände (9 und 14) erbbiologisch eingestellt.

Endlich sind noch die Arbeiten zu erwähnen, die der angewandten Erblehre, d. h. also der Erb- und Rassenpflege galten. Bis zu seinem

Ausscheiden aus dem Institut 1933 hat HERMANN MUCKERMANN das Problem der differenzierten Fortpflanzung an Bauern und Stadtbevölkerung westfälischer Dörfer und Kleinstädte, an der deutschen Professorenschaft und an der preußischen Schutzpolizei bearbeitet und die Bedeutung des qualitativen Geburtenrückganges in seinem erschreckenden Ausmaße gezeigt. In derselben Absicht, weitere Unterlagen für die Notwendigkeit rassenhygienischer Maßnahmen zu schaffen, wurden Untersuchungen über etwaige Keimschädigungen durch berufliche Tätigkeit mit Röntgenstrahlen von LOEFFLER durchgeführt und der Gynäkologie die ernste Warnung vor sog. temporärer Sterilisation zu therapeutischen Zwecken ausgesprochen (E. FISCHER). Und die Warnung hatte den besten Erfolg. Ebenso wurde mehrfach zur Alkoholfrage, zur Verwahrung Erbkranker, zur Abortfrage usw. (MAX FISCHER) Stellung genommen. Seit 1933 hat FRITZ LENZ die gesamte Rassenhygiene als Berater staatlicher Stellen wir vor allem in seinem Standardwerk (BAUR-FISCHER-LENZ II) grundlegend beeinflußt.

Zu diesem Rückblick möge noch ein kleiner Ausblick gefügt werden. Es soll noch ein Forschungsplan angedeutet werden, der neu aufgenommen wird. Die geringsten Kenntnisse auf dem Erbgebiet des Menschen haben wir über die Erbsubstraten, ihre Zahl, ihr Verhältnis, ihren Erbgang, ihre Umweltbeeinflussbarkeit derjenigen Anlagen, die unseren gesamten normalen geistigen und seelischen Tätigkeiten und Fähigkeiten zugrunde liegen. Wir sehen familienweise derartige erbliche Unterschiede. Wir erkennen aus Leistungsfähigkeit und Leistung, aus Eigenart und Geschichte der rassenmäßig verschiedenen Völker mit völliger Deutlichkeit die starken geistigen Unterschiede zwischen den verschiedenen Rassen. Wir erkennen darin offensichtlich *erbliche* Unterschiede. Aber Einzelheiten über die Erbsubstraten selbst kennen wir fast gar nicht. Ihre Erforschung dürfte eines der schwierigsten Probleme auf dem Gebiet menschlicher Erbforschung sein. Der jüngste, auf Jahre hinaus gedachte Plan des Institutes und seiner neuen erbpsychologischen Abteilung (Leiter GOTTSCHALDT) gilt dieser Forschung. Schrittweise und vorsichtig soll hier ein fester Grund für diese ungeheuer wichtigen Fragen gelegt werden.

Zum Schluß ein Blick auf das Verhältnis des Forschungsinstitutes zu Staat und Volk. Kaum eine einzige wissenschaftliche Forschung rührt so unmittelbar an die tiefsten Wurzeln des Lebens der Menschheit wie die menschliche Erbforschung. Wie lange hat man es abgelehnt, aus den Lehren der Vererbung beim Menschen, aus den Ergebnissen der Bevölkerungswissenschaft Folgerungen zu ziehen und bewußt und verantwortungsbereit in den Lebensprozeß eines Volkes einzugreifen. Machtpolitische und wirtschaftliche Gesichtspunkte allein beeinflußten die staatliche Bevölkerungspolitik, so es eine solche überhaupt gab. Und wir warnenden Erbforscher und Rassenhygieniker wurden geradezu als verstiegene Gelehrte verlacht. Die europäischen Völker aber befanden und befinden sich größtenteils biologisch auf dem Wege, den die untergegangenen Kulturen gegangen sind. Im letzten Augenblick hat der weite Blick und die ungeheure Energie des Führers in dieses Schicksalsrad eingegriffen. Zum ersten Male baut

sich die gesamte Bevölkerungspolitik eines Volkes, bewußt und mit unerhörter Willenskraft durchgeführt, auf biologischer Unterlage auf. Schutz des Erbgutes und Schutz der rein gehaltenen Rassenzusammensetzung des Volkes ist oberster und einziger Leitstern der neuen nationalsozialistischen Bevölkerungspolitik. Dem Erbforscher und einer Forschungsstätte wie der unsrigen ist die ungeheure Verantwortung bewußt, die sie für die Richtigkeit und Festigkeit der Unterlagen auf dem Gebiet der Erb- und Rassenlehre und ihren weiteren sicheren Ausbau der verantwortlichen Regierung und dem ganzen Volke gegenüber zu tragen haben. In diesem Verantwortungsbewußtsein, in wissenschaftlicher Forschung letzten Endes doch nur für unser Volk in seinem nationalsozialistischen neuen Aufstieg zu arbeiten, ist die stolze und mit allen Kräften aller seiner Mitglieder erstrebte Aufgabe unseres Forschungsinstituts beschlossen.

EUGEN FISCHER.

## 26. Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg.

### Institut für Pathologie.

#### Der tierische Organismus im Hunger.

Im Hunger lebt der Organismus von sich selbst, von seiner eigenen Substanz. Wir wissen, daß dabei seine Bedürfnisse nicht andere sind als im gewöhnlichen Leben: er braucht genau so Eiweiß und eiweißfreie Stoffe. Die ersteren werden soviel als möglich eingeschränkt, gleichsam um den kostbaren Stoff zu sparen: mit 10—15% davon kommt er aus. Man kann zunächst annehmen, daß jedes Organ für sich hungert. Würde die in jedem notwendige Eiweißmenge aufgebraucht sein, so hört das Leben des Organs auf. Die Erfahrung lehrt, daß die Vorgänge nicht in dieser Weise verlaufen. Dann würden diejenigen Organe mit dem Leben zuerst aufhören, die am wenigsten Eiweiß haben: die kleinen, wie z. B. Herz und Nieren, würden zuerst ihren Betrieb einstellen, besonders da ihr Stoffwechsel wesentlich größer ist als der der übrigen Organe. So ist es nicht; gerade diese beiden, Herz und Nieren halten am längsten aus. Also werden sie von anderen Organen gleichsam mit dem Lebensstoff versehen. D. h. im hungernden Körper geht ein recht verwickelter Stoffwechsel vor sich: die Organe helfen einander, und das geschieht so, daß die für die Erhaltung des Organismus notwendigsten von den anderen unterstützt werden.

Der Organismus stillt sein Energiebedürfnis zu 90% von stickstofffreier Substanz. Hier kommen in erster Linie Glykogen, Zucker und Fett in Betracht. Das Fett beherrscht beim Hunger die Lage: je mehr Fett ein Organismus in seiner Gesamtheit hat, desto länger kann er hungern, natürlich kommt es außerdem auf das Eiweiß an. Aber bei bestimmtem Eiweißbestand verträgt der Körper den Hunger um so besser, je fettreicher er ist.

Umfang und Art der Beteiligung der einzelnen Organe am Hunger festzustellen, ist außerordentlich schwer, weil jedes von ihnen im Leben Stoffe zersetzt, Stoffe als Ersatz anzieht und seine Zersetzungsprodukte dauernd ausscheidet. Jede dieser Verrichtungen ist mit Arbeit verbunden und diese wiederum mit bestimmten Stoffwechselfvorgängen. Tatsächlich finden wir auch kein einziges Organ, das eine Zeit von Tagen Gewicht, Zusammensetzung und Stoffwechsel unverändert aufrecht erhielt.

Der Stoffwechsel ist sowohl für das ganze hungernde Tier als auch für einzelne Organe festgestellt. Unsere hungernden Ratten hatten einen Umsatz von 34 Kalorien mit 12% Eiweiß für den Tag. Das Rattenherz brauchte in Beobachtungen von H. QUINCKE etwa 4% der Gesamt-Kalorien. 12% Eiweiß ist im allgemeinen ziemlich viel, größere Warmblüter kommen mit weniger aus. Bei der Ratte dürfte die Kleinheit des ganzen Wesens eine Rolle spielen.

Also 88% des gesamten Energiebedürfnisses werden von eiweißfreien Substanzen gedeckt. Kohlehydrate und Fett stehen hier zur Verfügung. Es ist leider vorerst nicht möglich, die Menge Kohlehydrate und Fette (oder von Zwischensubstanzen), die der Hungernde im einzelnen verbraucht, auseinanderzuhalten. Der respiratorische Quotient steht etwa in der Mitte zwischen Zucker- und Fettverbrauch, ich weiß aber nicht, ob er im einzelnen wegen der genannten Frage schon studiert ist. Man würde bisher wohl anzunehmen haben, daß erst die Kohlehydrate verbraucht werden, soweit ihr Umsatz nicht speziellen Aufgaben dient. Leider läßt sich bisher eine annähernd genaue Berechnung nicht ausführen, wieviel Kohlehydrate das Tier am Tage unbedingt braucht.

Immerhin läßt sich der gesamte Glykogenbestand des Organismus berechnen. Eine normale Ratte hat 1–2 g Gesamtglykogen, entsprechend etwa 1 g Fett. Davon werden am 1. Tage 85% Glykogen in der Leber verbraucht; um diese Zahl nimmt der Organismus an Kohlehydraten ab. Demgegenüber stehen etwa 36 g Fett, die ein Normaltier enthält. Bis zum 12. Hungertage hat das Tier 0,3–0,4 g Glykogen. Ungefähr diese Zahl zeigt jeder Hungertag trotz des Kohlehydratverbrauches. Es ist mithin nur eine geringe Abnahme zu verzeichnen. Der Blutzucker, dem bestimmte Organe dauernd Kohlehydrate entnehmen, bleibt unverändert, ja, steigt im Anfange zweimal etwas bis zu den letzten Lebenstagen, in denen er mit dem allgemeinen Zusammenbruch des Stoffwechsels anfängt zu sinken. Ich meine, daß aus diesen Tatsachen mit voller Sicherheit eine dauernde Neubildung von zuckerartigen Körpern aus Fett hervorgeht, und daß ihr Aufhören den Zusammenbruch des Stoffwechsels und damit das Ende des Lebens einleitet. Eiweiß kann nicht die Muttersubstanz des Zuckers sein, weil es hierfür nicht ausreicht.

Bis dahin ist der Stoffwechsel des Körpers ein äußerst verwickelter. Im Vordergrund steht die Eiweißzersetzung. Sie führt, und der Organismus erträgt den Hunger, solange sich bei der Ratte der tägliche Eiweißverbrauch auf etwa 4 Kalorien halten kann. Dieser Eiweißumsatz verteilt sich offenbar auf alle Körperzellen. Auf alle in sehr verschiedenem Maße. Die Leber

scheidet für diese Betrachtung zunächst einmal aus, weil sie ein Depot ist und nicht nur ihrem eigenen Leben, sondern auch dem anderer Gewebe dient. In Herz, Niere, Haut und Muskulatur findet eine ganz gleichmäßige und sehr langsame Abnahme des Eiweißes statt, in Nieren und Herz, bis etwa 20—25% des Gesamteiweißes verbraucht ist. Man muß sich die Vorstellung machen, daß zunächst einmal alles Eiweiß abgebaut wird, das die Zelle entbehren kann. Für das Vorhandensein irgendwie größerer Eiweißreserven ist außer in der Leber kein Anhalt. Vielleicht wird mit dem Blutserum eine gewisse Reserve zugeführt, das ist möglich, besonders für die ersten Tage, und denkbar, doch wissen wir nichts darüber. Namentlich in den ersten Tagen bleibt der Eiweißgehalt der Nieren ganz konstant. Allerdings ist gerade hier zwischen zersetztem und ausgeschiedenem Eiweiß nicht zu unterscheiden. Herz und Milz nehmen etwas stärker ab. Dann folgen Torso und Muskulatur und erst in weiterem Abstände Leber, Haut und Fettorgane.

In Herz, Haut, Muskulatur ist es, wie gesagt, zunächst genau so. Dann geht die Zersetzung in Herz und Nieren wesentlich zurück, während sie in Haut und Muskulatur zunächst noch weiter geht. Hier wird man, wie gesagt, annehmen müssen, daß Stoffe sich bilden, die die direkt lebenswichtigen Organe, wie z. B. das Herz, unterstützen. Welch wichtige Rolle Stoffwanderungen und Stoffaustausche spielen, zeigt am besten das Herz. Es behält lange Zeit sein Gewicht bei und seine Eiweißmenge. Aber sein Glykogengehalt wächst eine ganze Reihe von Tagen um das Mehrfache, wird ihm also aus anderen Organen — offenbar besonders aus der Leber — zugeführt. Wie schon erwähnt, braucht ja das Herz für seine Arbeit das Glykogen in besonderer Weise und hat selbst höchstens nur ganz geringe Reserven, sowohl an Eiweiß als auch an Glykogen. Es erhält die Substanzen aus der Leber und aus der Muskulatur.

Am schwierigsten ist das Verhalten der Leber zu beurteilen. Sie nimmt am 1. Tage stark ab durch Verlust von Wasser, Glykogen und Eiweiß. Hier sind die Unterschiede bei normalen Tieren außerordentlich groß. Sie verschwinden schon vom 2. Hungertage an. Die Leber hat den stärksten Eiweißverlust aufzuweisen. Er dürfte in erster Linie mit der Zersetzung von paraplastischem Eiweiß zusammenhängen, das, wie bekannt, in der Leber aufgehoben wird. Vom 3. Tage an ist die Abnahme weniger groß und gleicht sich der der übrigen Organe an.

Von größtem Einfluß auf die Stickstoffausscheidung der Tiere ist ihr Fettgehalt. Magere Tiere von 8% Gesamtfettgehalt haben schon vom 2.—3. Tage ab eine stärkere Stickstoffausscheidung als mittelfette und fette Tiere. Sehr fette Tiere haben von Anfang an einen geringeren Eiweißumsatz als magere. Ist die Gesamtfettmenge unter 1,5% gesunken, so setzt der prämortale Eiweißzerfall ein, der das 2—3fache des normalen beträgt. Eine langsamer verlaufende Entleerung der Fettdepots geht mit einer langsamer verlaufenden Eiweißzersetzung einher in Haut, Muskel und Leber. Sie erstreckt sich nicht auf die parenchymatösen Organe. Vom 3.—5. Hungertage an gleicht sich das aus, bis etwa 40% des Lebereiweißes

und 20—25% des Nieren- und Herzeiweißes verbraucht sind. Offenbar kommt es durch eine periphere Einwirkung auf alle einzelnen Organe im Anfang zu einer Zersetzung des Organeiweißes bis zur äußersten Grenze der Funktion. Erst dann tritt die Schonung der Organe ein, überall, in jedem Organ. Noch gibt es, nachdem nun auch wohl die Leber für den Gesamtstoffwechsel sozusagen kaltgestellt ist, zur weiteren Bereitstellung von Hilfsmaterial Fett in der Haut und Eiweiß in der Muskulatur, bis dann eine neue zweite, unwiderrufliche Grenze in dem prämortalen Eiweißzerfall geschaffen wird.

Am schwierigsten ist die Frage der Fettverwendung nach jeder Hinsicht. Das Fett liegt in den Fettorganen und in der Leber. Von letzterer sprachen wir schon. Sie ist an der Fettumwandlung offenbar in besonderer Weise beschäftigt. Denn sie enthält stets Fett und erhält es von den Fettorganen in besonderer Weise, wie wir jetzt annehmen, in kleinen Schüben zugeführt. Sie verliert, wie wir wissen, ihr Fett und ersetzt es stets neu aus den Fettdepots zunächst nur vom Mesenterial- und Hautfett, vom 2. Tage an auch aus den übrigen Organen: Torso, Mesenterialfett, Hoden und Nierenfettkörper, Haut. Vom 4. Tage an beteiligen sich die letzteren gleichmäßig an der Fettlieferung. Gegen Ende des Lebens läßt mit dem Fettzustrom nach den übrigen Organen in gleicher Weise der nach der Leber nach. Wir dürfen also schließen, daß die Mischung von Eiweiß- und Fettsubstanzen im Stoffwechsel in gleicher Weise in allen Organen zustande kommt. Dabei bleibt aber die merkwürdige und meines Erachtens vor der Hand unverständliche Tatsache bestehen, daß die Fettwerte um so größer sind, je mehr Fett das Tier enthält.

Die Fettzersetzung geht in der Leber nicht streng parallel dem Fetteinstrom. Es gibt zeitweise gewisse „Fettstauungen“, weil die Gewöhnung der Leber an die Fettzersetzung einer gewissen Zeit bedarf.

Es sind mithin gewisse Vorgänge im hungernden Körper der Ratte klarer geworden, während das meiste, und zwar namentlich die Leitung der Vorgänge, ihre Einstellung aufeinander noch weiter zu erforschen bleibt. Alles Quantitative und Zeitliche gilt — das kann nicht genug hervorgehoben werden — nur für den Körper der weißen Ratte. Für jeden anderen Warmblüter wird eine große Reihe von Einzelheiten, wahrscheinlich aber nicht das Prinzip der Vorgänge, sich anders gestalten.

Die Beobachtungen, auf Grund deren diese Darstellung gegeben wurde, sind im Pathologischen Institut des Heidelberger Kaiser Wilhelm-Instituts für medizinische Forschung von den Herren Dr. WETZEL, WOLLSCHITT, RUSKA und ÖSTREICHER ausgeführt worden.

L. KREHL.

### Institut für Physik.

1930—1933 von ISOLDE HAUSSER; 1934—1935 von W. BOTHE.

Es ist das Verdienst deutscher Forscher wie JOH. MÜLLER, VIRCHOW, HELMHOLTZ um die Mitte des 19. Jahrhunderts, die Medizin aus den unseligen Fesseln unfruchtbarer Naturphilosophie befreit und auf

naturwissenschaftliche Grundlage gestellt zu haben. Über die Entwicklung jener Zeit, die zu studieren das Ausland zahlreiche Vertreter entsandte, so daß Berlin damals das Zentrum der medizinischen Welt wurde, äußert sich in humorvoller Weise HELMHOLTZ, als Mediziner und Physiker wohl einer der berufensten Kritiker: „Wie die Weltgeschichte vor den Augen unserer Generation einige ihrer seltenen Riesenschritte gemacht hat, so auch unsere Wissenschaft; daher ein alter Schüler, wie ich, das einst wohlbekannte, damals etwas matronenhafte Antlitz der Dame Medizin kaum wieder erkennt; so lebensfrisch und entwicklungskräftig ist sie in dem Jungbrunnen der Naturwissenschaften geworden.“

Nur zähe, ernste Arbeit unter Zuhilfenahme aller naturwissenschaftlichen Disziplinen kann uns in der Erkenntnis der lebenden wie der leblosen Natur vorwärtsführen. Der zuweilen von Außenstehenden erhobene Vorwurf kurzschrittiger Materialisierung oder Mechanisierung der Probleme des Lebens kann in Ruhe zurückgewiesen werden. Gerade die großen Naturforscher aller Zeiten haben kraft ihrer größeren Einsicht in Ehrfurcht und Bescheidenheit die Naturgesetze nachgetastet, weit entfernt von vor-eiligen Schlußfolgerungen.

Deutschland zu einer Forschungsstätte der Medizin auf breiter naturwissenschaftlicher Grundlage in Erkenntnis ihrer Notwendigkeit durch den Einsatz seiner Persönlichkeit verholfen zu haben, ist das Verdienst von L. v. KREHL. Auf seine Befürwortung wurde im Jahre 1929 das Kaiser Wilhelm-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg unter räumlicher Zusammenfassung von vier verschiedenen, selbständigen Instituten für Pathologie, Physiologie, Chemie und Physik gegründet, die nichts weiter verband als der ernste Wille ihrer Leiter, ihr Bestes zur Förderung des gemeinsamen Zieles beizutragen.

Als K. W. HAUSSER im Jahre 1929 die Leitung des Instituts für Physik im Rahmen dieses Forschungsinstitutes übernahm, war er mit den Problemen, die diese Aufgabe an ihn herantrug, schon durch seine Tätigkeit bei SIEMENS als Leiter des Physikalisch-Medizinischen Laboratoriums vertraut. Bei dem derzeitigen Entwicklungsstadium steht die Physik den eigentlichen Problemen biologischer Forschung noch etwas ferner als die Chemie, die uns z. B. durch die Ferment-, Vitamin- und Hormonforschung wichtige Einblicke in Aufbau- und Funktionsvorgänge des lebenden Organismus vermittelt hat. Auszunehmen davon sind besonders die Grenzgebiete der physikalischen Chemie, einige Spezialprobleme wie das Ohr und das Auge, ferner Kreislauf- und elektrische Vorgänge im Organismus. Hier weiter einzudringen war das Ziel HAUSSERS, das zu verfolgen ihm leider nur etwa drei Jahre vergönnt war.

HAUSSERS frühere Arbeiten über die Wellenlängenabhängigkeit der Erythem- und Pigmentbildung der menschlichen Haut, die die physikalischen Grundlagen der Lichttherapie bilden, legten die Frage nach dem eigentlichen Primärvorgang der biologischen Lichtwirkung nahe. Die Schwierigkeiten der Versuchstechnik an der menschlichen Haut führten dazu, für die Untersuchung des Lichtpigmentierungsprozesses nach Modellen zu suchen. Bestrahlungsversuche an Bananen mit spektral zerlegtem Licht

ergeben eine überraschend starke Bräunung für gewisse Spektrallinien. Es zeigt sich, daß sich die Pigmentbildung der Fruchtschale nicht nur in ihrer Wellenlängenabhängigkeit ebenso verhält wie die menschliche Haut, sondern daß auch der qualitative Charakter des Ansteigens bei verschiedenartiger Einstrahlung der gleiche ist. Der scheinbare Widerspruch, daß sich die Fruchtschalen in der Natur in unzerlegtem Sonnenlicht nicht bräunen, läßt sich dadurch erklären, daß die gleichzeitige starke Einstrahlung von Licht aus der Spektralgegend von  $400\text{ m}\mu$  die Lichtbräunung durch das Ultraviolett verhindert. Zur Prüfung der Annahme, nach der es sich bei der Pigmentbildung in der Haut um einen Oxydationsprozeß unter Mitwirkung eines spezifischen Fermentes handelt, wurde das Verhalten bestrahlter Fruchtschalen in Kohlensäureatmosphäre bzw. in Luft mit Zusatz typischer Fermentgifte (Blausäure, Schwefelwasserstoff) untersucht. Es zeigte sich, daß die Bräunung nur in Gegenwart von Sauerstoff eintritt, und daß sie durch Fermentgifte auch in Gegenwart von Sauerstoff vollkommen verhindert wird.

In Zusammenhang mit diesen Untersuchungen und mit geplanten Versuchen über den physiologischen Einfluß des Klimas stehen die Messungen über die absolute Empfindlichkeit der Lichterythembildung. Diese Messungen ergeben für die Minimaldosis (2,5 min), daß für ein Lichterythem bei der maximalen Erythemwirksamkeit ( $297\text{ m}\mu$ )  $0,0095\text{ cal}$  bzw.  $360\,000\text{ erg}$  bzw.  $5,5 \cdot 10^{16}$  Lichtquanten pro Quadratcentimeter Haut notwendig sind.

Gleichzeitig mit diesen Arbeiten wurde der Versuch eines exakten Nachweises der mitogenetischen Strahlung in Angriff genommen. Eine umfangreiche Literatur beschäftigt sich mit dem physikalischen oder biologischen Nachweis dieser Strahlung, ohne daß eine entscheidende Klärung herbeigeführt werden konnte. Zum physikalischen Nachweis der GURWITSCH-Strahlung werden lichtelektrische Zellen oder GEIGER-MÜLLERsche Zählrohre verwendet. Es ist nicht einzusehen, warum beim Übergang von der Photozelle zum Lichtzähler die lichtelektrische Quantenausbeute um das 1000-fache steigen sollte. Der Unterschied zwischen der Wirksamkeit der üblichen Photozellenschaltung und des Zählrohres besteht wohl nur darin, daß in der Photozelle erst die Summe einer größeren Zahl losgelöster Elektronen erkennbar wird, während das Zählrohr jedes losgelöste Photoelektron sichtbar macht. Die daraus sich ergebende Notwendigkeit einer Absoluteichung der Zählrohre verlangt die Schaffung einer exakten Schwächungseinrichtung für Strahlungsintensitäten im sichtbaren, lang- und kurzwelligen Ultraviolett, die Schwächungswerte bis zu 10 Zehnerpotenzen möglich macht. Unter Benutzung der Streuung und Reflexion des Lichtes an mattierten und polierten Quarzplatten gelingt es, eine Schwächungsanordnung herzustellen, die zugleich die Bedingung erfüllt, bei stundenlanger Ultraviolettbestrahlung zuverlässig konstante Werte zu liefern. Neben sauberer Eichung ist die strengste Fernhaltung von kurzwelligen Streuquanten eine unumgängliche Bedingung zur Erzielung sauberer Resultate.

Die physikalischen Resultate dieser Untersuchungen im Spektralgebiet von etwa  $400\text{ m}\mu$  bis  $248\text{ m}\mu$  ergeben, daß die lichtelektrische Ausbeute

bei Zählrohren nahezu die volle Ausbeute des Photoeffektes erreicht, wie sie an Photozellen derselben Metalle gemessen wurde. Für die Wellenlänge  $254\text{ m}\mu$  beträgt dieser Wert rund  $10^4$  Quanten pro losgelöstes Elektron.

Zur Fortsetzung der Messungen bei etwa  $185\text{ m}\mu$  wurde eine Hochvakuumanordnung geschaffen, die es gestattet, die Zählrohre ganz im Vakuum zusammenzusetzen und ihre Bedampfung mit der lichtelektrischen Schicht vorzunehmen. Die lichtelektrischen Messungen können mit der gleichen Anordnung durch Quarz- oder Flußspatfenster ausgeführt werden. Die Untersuchungen sind noch im Gange.

Die biologischen Resultate aus etwa 400 Messungen an Hefe, Froschmuskeln, Froschherzen, koagulierendem Eialbumin, Kaninchenblut, Rattenblut, Zwiebelsohlenbrei, Zwiebelwurzeln und chemischen Reaktionen ergeben, daß auf den bisher beschrittenen physikalischen Wegen eine mitogenetische Strahlung nicht nachweisbar ist. Die an anderer Stelle beobachteten positiven Strahlungseffekte werden auf Fehlerquellen zurückgeführt. Wenn eine biologische Strahlung möglicherweise in dem untersuchten Spektralgebiet existiert, so kann sie nur eine sehr geringe Intensität besitzen (kleiner als  $3 \cdot 10^2$  Quanten/cm<sup>2</sup>/sec).

Bei den biologischen Vorbereitungsversuchen zu diesen Messungen erwies sich die Zusammenarbeit im Rahmen des Gesamtinstituts als sehr förderlich. Der Direktor des Instituts für Physiologie, Professor MEYERHOF, hat mit vielen Ratschlägen und den Erfahrungen seines Institutes zur Erreichung des Zieles beigetragen.

Ein besonders schönes Beispiel, wie fruchtbar sich die Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen auswirken kann, geben die folgenden Arbeiten über die Lichtabsorption und Kohlenstoffdoppelbindung, die gemeinsam von den Instituten für Physik und Chemie in Angriff genommen wurden.

Der Farbvergleich der synthetischen Diphenyl-Polyene mit freiem Auge hatte bei früheren Arbeiten von R. KUHN und A. WINTERSTEIN zu dem Ergebnis geführt, daß die Farbe dieser Verbindungen in guter Annäherung aus der Zahl der in Konjugation stehenden Kohlenstoffdoppelbindungen abgeleitet werden kann. Für Substituenten werden dabei Farbäquivalente angenommen.

Um die Bedeutung der konjugierten Doppelbindung für die Lichtabsorption quantitativ kennenzulernen, wurden an homologen Reihen von Substanzen in Lösung (z. B. an Polyenaldehyden, Polyenkarbonsäuren, Diphenylpolyenen) die Zahl, die Lagen und die Höhen der Absorptionsbanden durch lichtelektrische Photometrie gemessen und aus dem Flächeninhalt der Absorptionskurven ein Maß für die Absorptionsstärken abgeleitet.

Es gelingt, nach Einführung einiger weniger Farbäquivalente für Substituenten und Elimination des Lösungsmiteleinflusses die Absorptionsbanden ihrer Lage nach auf eine einfache Kurve zu bringen, die die Abhängigkeit der Absorptionsbandenlage von der Zahl der Doppelbindungen angibt. Die Absorptionsbanden einer großen Zahl anderer ungesättigter Verbindungen ordnen sich ebenfalls in diese Kurve ein. Der Maximalwert

der Absorptionskoeffizienten wächst innerhalb homologer Reihen annähernd proportional mit der Zahl der Doppelbindungen im Molekül.

Aus Messungen bei der Temperatur des flüssigen Stickstoffes läßt sich zeigen, daß allen Absorptionsbanden ein bestimmter Spektraltypus eigen ist. Die Aufspaltung der Absorptionsbanden ist beherrscht von der Schwingungsfrequenz der Kohlenstoff-Doppelbindung, so daß die Absorptionsbanden also aufzufassen sind als Überlagerung einer charakteristischen Elektronenanregung mit der Schwingungsfrequenz der Kohlenstoffdoppelbindung. Das wird auch durch Messungen der Ramanspektren bestätigt, die in völlig überwiegender Intensität die Frequenz der Kohlenstoffdoppelbindung zeigen.

Es ergibt sich aus den gefundenen Gesetzmäßigkeiten, daß die Lichtabsorption in ähnlicher Weise wie die Molrefraktion ableitbar ist aus Gliedern, die sich auf die Absorption einzelner Bindungen und Bindungsgruppen beziehen.

Für die Konstitutionsaufklärung von Naturprodukten, die in ihrem Bau den untersuchten Verbindungen ähnlich sind, bedeutet die Kenntnis der Absorptionsspektren eine wichtige Hilfe. Zwischen mehreren zur Diskussion stehenden Strukturformeln läßt sich durch sie die richtige auffindig machen. Der biologischen Forschung kommt es zunutze, daß die Kenntnis der Absorptionsspektren der synthetischen Polyene für Substanzen, die noch nicht in einheitlichem Zustande vorliegen, hinsichtlich der absoluten Konzentration eine Schätzung gestattet. Auch ist es möglich, für natürlich vorkommende Farbstoffgemische das Mengenverhältnis der Komponenten zu ermitteln.

Untersuchungen der Fluoreszenz der gleichen homologen Reihen zeigen, daß die Fluoreszenzemission von ganz entsprechenden Gesetzmäßigkeiten beherrscht wird. Wie die Absorption wandert die Fluoreszenz mit wachsender Doppelbindungszahl nach langen Wellen, und es ergibt sich eine zur Absorptionsbande spiegelbildliche Symmetrie der Fluoreszenzbande im Spektraltypus.

Eine große Reihe von weiteren Fragen ergab sich naturgemäß aus dem gesammelten Material. Es sei z. B. nur das abweichende Verhalten von Verbindungen mit Ionencharakter oder komplizierten Ringschlüssen erwähnt. Infolge der schweren Erkrankung HAUSSERS, die zu seinem Tode führte, wurden diese Untersuchungen nicht weiter geführt. Wenn es überhaupt möglich war, in verhältnismäßig so kurzer Zeit das große Erfahrungsmaterial, das hier nur angedeutet werden konnte, heranzuschaffen und diese Gesetzmäßigkeiten aufzuzeigen, so ist das nur der intensiven Zusammenarbeit des Physikalischen und des Chemischen Institutes zu verdanken.

Ähnliches gilt auch von den später beschriebenen Versuchen über die physiologische Bedeutung großer Zwitterionen und über die folgenden magnetischen Messungen an organischen Radikalen, die den Zusammenhang zwischen Elektronenzahl und Paramagnetismus quantitativ messen, und im Verhältnis zu den bestehenden magnetischen Theorien prüfen sollten. Die Theorie von LEWIS, nach der Paramagnetismus eines Moleküls

stets mit unpaarer Elektronenzahl verbunden ist, während paare Elektronenzahl Diamagnetismus ergibt, ist durch die Zurückführung der magnetischen Erscheinungen auf den Elektronenspin durch BOSE auf eine neue Grundlage gestellt worden. Die Regel von LEWIS konnte an organischen Radikalen mit dreiwertigem und vierwertig positiv geladenem Stickstoff, die beide diamagnetisch sind, bestätigt werden. Für die organische Chemie ergibt sich als Anwendungsmöglichkeit dieser Messungen in zweifelhaften Fällen die Möglichkeit einer Entscheidung, ob eine Substanz monomolekular (unpaarig) oder dimolekular (paarig) vorliegt.

Eine andere Gruppe von Arbeiten aus diesen Jahren hat die Untersuchung elektrischer Vorgänge im lebenden Organismus im allgemeinen und von Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeit von Elektrolyten, von Lösungen organischer Moleküle und von physiologischen Geweben im besonderen zum Gegenstand.

Arbeiten des Physiologischen Instituts brachten uns die chemischen, thermischen und mechanischen Vorgänge bei der Muskelkontraktion näher und ließen gerade im Hinblick auf die Änderung der optischen Doppelbrechung des Muskels bei der Kontraktion eine Änderung der Dielektrizitätskonstante und der Leitfähigkeit vermuten.

Die Bestimmung der DK und der Leitfähigkeit einer Substanz bedeutet die Messung einer Kapazität und ihrer Verluste in Brücken- oder Resonanzanordnungen, was sich bei hohen Frequenzen quantitativ nicht leicht ausführen läßt, zumal die Messungen z. B. an Froschmuskeln dadurch erschwert werden, daß die Verhältnisse bei ihnen auch in Ruhe nicht konstant sind und zudem die Änderungen während der Zuckung gesucht werden.

Nach einigen Vorversuchen erwies sich eine getrennte Bearbeitung der Aufgaben nach größerer und kleinerer Leitfähigkeit als zweckmäßig. Zur Messung von Substanzen mit größerem Verlustwinkel entschlossen wir uns, eine neue Methode zu entwickeln, die außer auf das spezielle Problem des Muskels auf physikalisch-chemische Aufgaben angewendet werden sollte, wie die Dispersion der Leitfähigkeit und der DK von Elektrolyten und die Änderung des Dissoziationsgrades amphoterer Elektrolyte als Funktion der Wasserstoffionenkonzentration.

Die neue Methode ist eine Brückenmethode, die es gestattet, Betrag und Verlustwinkel eines Wechselstromwiderstandes ohne Anwendung von geeichten Kompensationswiderständen bei Hochfrequenz zu bestimmen. Die entwickelte Anordnung enthält zwei wesentliche Hauptteile. Der eine Teil ist die Brücke, die an dem einen Spannungszuführungspunkt aufgeschnitten ist, so daß sie in zwei getrennte Zweige zerfällt, die nur einen Punkt gemeinsam haben. Jeder Zweig wird von einer ihm eigenen Wechsel-EMK gespeist, der eine von einer in bezug auf Amplitude und Phase festgehaltenen Standard-EMK, der andere von einer in bezug auf Phase und Amplitude meßbar veränderlichen EMK. Das Brückengleichgewicht, welches bei Änderung irgendeiner Teilimpedanz gestört ist, wird durch die gemessene Nachregulierung der Amplitude und Phase der einen EMK

wieder hergestellt. Aus dieser Nachstellung berechnet sich die gesuchte Änderung.

Der andere Hauptteil ist eine in bezug auf Phase und Amplitude meßbar veränderliche EMK. Zwei getrennte, gleichstarke magnetische Wechselfelder mit einer gegenseitigen Phasendifferenz von  $90^\circ$  induzieren in zwei ebenfalls getrennten Koppelungsspulen je eine Wechsel-EMK. Diese Koppelungsspulen sind in den Magnetfeldern drehbar angeordnet, miteinander, aber starr in einer solchen Lage verbunden, daß sich zwangsläufig die eine in Minimumstellung befindet, wenn die andere auf Maximum steht. Die Addition der beiden EMKK ergibt resultierend eine EMK, deren Amplitude in jeder Raumstellung die gleiche ist, und deren Phasenwinkel gegen einen Nullwert sich proportional dem Raumwinkel ändert. Die experimentelle Verwirklichung dieser EMK gelingt so gut, daß Amplitude und Phase nur einige Promille Abweichungen von den Sollwerten zeigen. Die erzielte Meßgenauigkeit bestätigt die Erwartung, daß wir in großen Bereichen der Leitfähigkeit mit hinreichender Genauigkeit die beabsichtigten Untersuchungen werden ausführen können. Diese wurden jetzt in Angriff genommen.

Parallel zu diesen Arbeiten wurde eine Resonanzmethode an Lösungen mit geringer Leitfähigkeit bei sehr hohen Frequenzen durchgebildet und diese Messungen an wäßrigen und alkoholischen Lösungen organischer Substanzen durchgeführt. Sehr hohe Frequenzen (etwa  $10^8$  Hz) wurden gewählt, weil sich erst bei sehr hohen Schwingungszahlen die vermuteten Gebiete anomaler Dispersion zeigen konnten.

In Hinblick auf die oben erwähnten physiologischen Probleme wurden als Substanzen große Dipole (Zwitterionen) ausgewählt, um ihr dielektrisches Verhalten kennen zu lernen. Messungen der DK als Funktion der Temperatur und der Frequenz an alkoholischen und wäßrigen Lösungen von Betainen der Aminosäuren führten zu folgenden Ergebnissen. Aus den großen Erhöhungen der DK, die solche Lösungen gegen das Lösungsmittel zeigen, kann geschlossen werden, daß sich diese großen Dipole, bis zu untersuchten Längen von 17 Kohlenstoffatomen zwischen der positiven und der negativen Ladung, im wesentlichen monomolekular und langgestreckt in Lösung befinden. Weiter zeigen sich für die untersuchten längsten Betaine im Alkohol bei etwa  $10^8$  Hz Gebiete anomaler Dispersion, die infolge ihrer Abhängigkeit von der Viskosität des Lösungsmittels als anomale Dispersion auf Grund des Relaxationseffektes gedeutet werden müssen. Im Anschluß daran wurde zur Untersuchung von Mono- und Diaminophosphatiden der Nerven und des Gehirns übergegangen. Hier zeigte sich, daß Sphingomyelin neben zwei langen, schwachpolaren Armen eine dritte stark polare Gruppe mit Zwitterionenstruktur besitzt, also ebenfalls starke Erhöhung der DK bewirkt. Aus der Lage eines ausgeprägten Gebietes anomaler Dispersion einer Lösung von Sphingomyelin in Alkohol muß geschlossen werden, daß die langen, schwach polaren Arme im wesentlichen bei der Meßfrequenz ruhen, während die stark polare Gruppe unter der Wirkung des Hochfrequenzfeldes und unter dem Einfluß der Direktionskraft der langen Arme ähnlich wie ein Pendel schwingt.

Infolge des Fehlens einer stärkeren Viskositätsabhängigkeit muß man offenbar diese anomale Dispersion auf einen neuartigen molekularen Resonator niedriger Eigenfrequenz zurückführen. Das Verhalten des Sphingomyelins in anderen Lösungsmitteln wird geprüft. Die Untersuchung anderer Bestandteile der Hirn- und Nervensubstanz auf die gleiche Weise und die Klärung der Beziehung zwischen dieser Erscheinung und den elektrischen Vorgängen bei der Nervenleitung ist in diesem Zusammenhang die nächste Aufgabe.

Nach dem frühen Tode HAUSSERS wurde das Institut für Physik fast 1 Jahr lang durch den Direktor des Instituts für Chemie mit betreut, bis am 1. April 1934 W. БОРНЕ, bis dahin Direktor des Physikalisch-Radiologischen Instituts der Universität Heidelberg, die Leitung des Instituts übernahm. Bei einem Wechsel in der Institutsleitung pflegen neue Arbeitsrichtungen und Problemstellungen in den Vordergrund zu rücken. Dennoch war es möglich, gleichzeitig die Kontinuität der bisherigen Entwicklung des Institutes im wesentlichen zu wahren. Die zuletzt besprochenen Arbeiten auf dem Gebiete der Hochfrequenz erhielten sogar einen selbständigen äußeren Rahmen, der ihre Weiterführung in jeder Beziehung sicherstellte. Was weiter die unter HAUSSER entwickelten Meßmethoden und Meßeinrichtungen für die optischen und magnetischen Eigenschaften biologisch wichtiger Substanzen betrifft, so waren diese bereits so weit durchgebildet, daß die für die Schwesterinstitute wichtigen Messungen jetzt im wesentlichen von technischen oder jungen wissenschaftlichen Hilfskräften selbständig ausgeführt werden können. So ergab sich die Möglichkeit, neue Arbeitsrichtungen in Angriff zu nehmen, die mit dem Gebiete der Radiologie, welches der neue Direktor vorwiegend gepflegt hatte, in Zusammenhang stehen. Insbesondere wurden Arbeiten über die natürliche Radioaktivität, künstliche Elementumwandlung, über die kürzlich erst entdeckte künstliche Radioaktivität, die verwandten Erscheinungen der kosmischen Ultrastrahlung und schließlich auch über ultraweiche Röntgenstrahlen begonnen.

Die hierzu nötige apparative Neuausstattung des Institutes ist noch nicht beendet, doch konnte schon eine Anlage zur regelmäßigen Gewinnung von Radiumemanation aufgestellt und in Betrieb genommen werden. Die Anlage konnte in einem Nebengebäude untergebracht werden, so daß die Gefahr einer radioaktiven Verseuchung des Institutes unterbunden ist. Im Bau ist eine Anlage zur Erzeugung sehr hoher Spannungen und sehr energiereicher Kanalstrahlen, wie sie zu Untersuchungen über künstliche Elementumwandlung und künstliche Radioaktivität benötigt werden.

Aus der stürmischen Entwicklung, welche die physikalische Radiologie in den letzten Jahren genommen hat, erwachsen ihr neue Aufgaben, namentlich für die medizinische Praxis. So besteht begründete Hoffnung, daß künstlich hergestellte radioaktive Stoffe, wie das aktive Natrium in absehbarer Zeit für therapeutische Zwecke an Stelle des Radiums Verwendung finden können. Es ist ja bekannt, daß in Deutschland abbauwürdige Radiumerze nicht vorkommen, und daß daher zur Zeit alle radioaktiven Stoffe oder ihre Ausgangsmaterialien aus dem Auslande eingeführt

werden müssen. Auch die Möglichkeit therapeutischer Verwendung von Neutronenstrahlen, die ebenfalls mit Hilfe von Höchstspannungen hergestellt werden können, verdient im Auge behalten zu werden. Schließlich dürften sich auch auf Grund der chemischen Eigenschaften der künstlich radioaktiven Stoffe noch neue biologische Anwendungsmöglichkeiten ergeben.

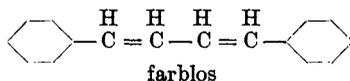
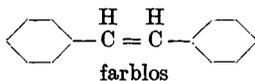
Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß gerade die Kenntnis der hier in Frage stehenden neuen physikalischen Erscheinungen noch recht lückenhaft ist, und daß daher noch ein gutes Teil rein physikalischer Forschungsarbeit zu leisten ist, bis man alle Bedingungen für eine erfolgsversprechende praktische Anwendung sicher in der Hand hat. Von den bisherigen Ergebnissen solcher Teilarbeiten seien die folgenden erwähnt. Die Betastrahlung der künstlich radioaktiven Stoffe zeigte sich ebenso wie die natürliche Betastrahlung von Gammastrahlen begleitet. Weiter wurden Gammastrahlen aufgefunden bei der Beschießung von Paraffin, Aluminium, Eisen, Kupfer, Kadmium oder Blei mit langsamen Neutronen; die hier zugrunde liegenden Kernprozesse bestehen in dem Aufbau schwererer Atome durch Anlagerung von Neutronen. Beim Aluminium konnte außerdem ein neuartiger Kernprozeß unmittelbar nachgewiesen werden, der in der Anlagerung eines Neutrons mit gleichzeitiger Ausstoßung eines Protons besteht. Beim Lithium wurde ein bisher zweifelhafter Prozeß festgestellt, nämlich die Anregung des Kernes durch ein vorbeifliegendes Alphateilchen ohne eigentliche Umwandlung. Die Vorgänge bei der Umwandlung von Bor konnten endgültig geklärt werden, indem die Gleichzeitigkeit der Aussendung von Gammastrahlen und Protonen nachgewiesen wurde.

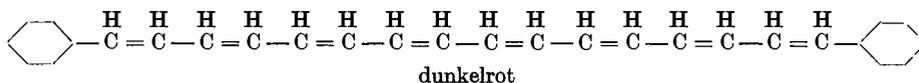
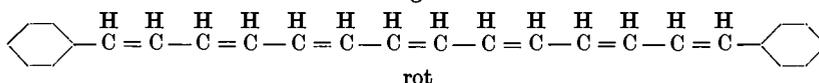
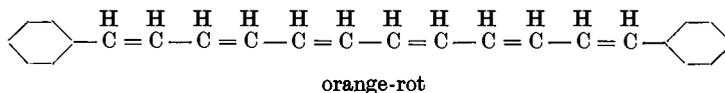
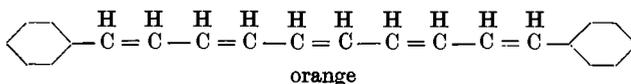
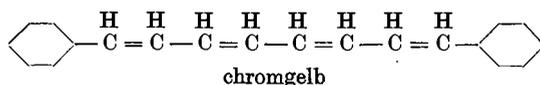
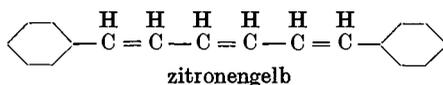
Zu erwähnen ist schließlich noch, daß für die apparativen Bedürfnisse der drei Schwesterinstitute nicht nur die Werkstätten, technischen Einrichtungen und das technische Personal des Instituts für Physik herangezogen werden, daß vielmehr auch in dieser Beziehung eine wissenschaftliche Zusammenarbeit sich von Fall zu Fall ergibt. Als Beispiel sei nur angeführt, daß das Institut beteiligt war an den Arbeiten zur Nutzbarmachung des Gasinterferometers für Stoffwechseluntersuchungen, die im Institut für Pathologie unter Leitung von Geh. Rat v. KREHL ausgeführt wurden.

W. BOTHE.

#### Institut für Chemie.

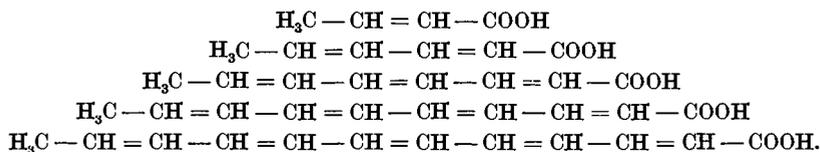
Den Ausgangspunkt von Untersuchungen über *Farbstoffe der Karotin-gruppe* bildete die ursprünglich in theoretischer Absicht (Prüfung der Additionsregel von J. THIELE) ausgeführte Synthese der folgenden Diphenylpolyene.





Die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Kohlenwasserstoffe zeigten, daß die in ihrer Konstitution damals noch unbekanntem Karotinoide ihre Farbe einer gleichartigen Anordnung von konjugierten Kohlenstoffdoppelbindungen in offener Kette verdanken.

In der entsprechend aufgebauten Reihe von Polyenkarbonsäuren ist das vierte Glied gelb, das fünfte braungelb.



Die Gesetzmäßigkeiten in den *Absorptionsspektren*, *Fluoreszenzspektren* und *Ramanspektren* der synthetischen Polyene sind mit Prof. K. W. HAUSSER am Physikalischen Institut eingehend untersucht worden.

Von neuen Farbstoffen der Karotingruppe, die in der Natur aufgefunden und in reinem Zustande isoliert wurden, seien erwähnt: *α-Karotin*, ein optisch aktiver Farbstoff  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ , aus Karotten und aus Palmöl isoliert, später noch öfters angetroffen; *γ-Karotin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ , in den roten Beeren der Maiglöckchen aufgefunden, aus Karotten rein dargestellt; *Rubixanthin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{55}\text{OH}$ , aus den reifen Früchten von *Rosa rubiginosa* (Hagebutten); *Kryptoxanthin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{55}\text{OH}$ , aus gelbem Mais und den roten lampionähnlichen Kelchen von *Physalis*; *Flavoxanthin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_3$ , aus den Blütenblättern des Hahnenfußes (*Ranunculus acer*); *Violaxanthin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_4$ , zuerst in den Blüten der gelben Stiefmütterchen (*Viola tricolor*) angetroffen, ist auch sonst in der Natur recht verbreitet; *Taraxanthin*,  $\text{C}_{40}\text{H}_{56}\text{O}_4$ , aus den Blüten des Löwenzahns (*Taraxacum officinale*), scheint sonst ziemlich selten zu sein.

Der rote Farbstoff der gekochten Hummer (*Astacus gammarus*) konnte in kristallisierter Form dargestellt werden (*Astacin*). Das im roten Arillus der Eibe (*Taxus baccata*) vorkommende *Rhodoxanthin* ist isoliert und in seiner Konstitution aufgeklärt worden.

Aus frischem Safran gelang die Isolierung eines neuen Farbstoffes, der mit dem bekannten *Krozetin* isomer ist und sich unter dem Einfluß von Licht in dieses umlagert. Es handelt sich um einen Fall von cis-trans-Isomerie, der es möglich erscheinen läßt, daß noch andere Karotinoide in den Pflanzen ursprünglich als lichtlabile cis-Formen gebildet werden.

Die von H. v. EULER entdeckte *Wachstumswirkung* des Karotins bei A-vitaminfrei ernährten Ratten ist für 4 natürliche Farbstoffe festgestellt worden:  $\alpha$ -Karotin,  $\beta$ -Karotin,  $\gamma$ -Karotin und Kryptoxanthin. Alle übrigen Karotinoide haben sich als wirkungslos erwiesen. In quantitativer Hinsicht ist  $\beta$ -Karotin (2,5  $\gamma$  je Tag und Ratte) etwa doppelt so wirksam als  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Karotin (5  $\gamma$ ), sofern man die für gleiche Wachstumsgeschwindigkeit erforderlichen Mengen vergleicht. Dies findet eine einfache Erklärung in den chemischen Konstitutionsformeln. Aus dem symmetrisch gebauten  $\beta$ -Karotin (S. 370),  $C_{40}H_{56}$ , können 2 Moleküle A-Vitamin  $C_{20}H_{29}OH$  im Tierkörper gebildet werden, aus  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Karotin, die unsymmetrisch gebaut sind, aber nur 1 Mol A-Vitamin. In Übereinstimmung damit gelang es, aus  $\beta$ -Karotin verschiedene, auch stickstoffhaltige Derivate künstlich darzustellen, die noch A-Vitaminwirkung besitzen, nämlich solche, bei denen die eine Hälfte des Moleküls ganz unversehrt geblieben ist. Werden in beiden Hälften des  $\beta$ -Karotinmoleküls Veränderungen vorgenommen, z. B. Sprengung der Ringe, so geht die Wachstumswirkung verloren. Im Kryptoxanthin, das den wichtigsten fettlöslichen Wachstumsfaktor im gelben Mais darstellt, entspricht ebenfalls nur die eine Hälfte des Moleküls derjenigen des  $\beta$ -Karotins; die andere, an der die Hydroxylgruppe haftet, trägt zur Bildung des A-Vitamins im Tierkörper nicht bei.

Als Vorstufen des A-Vitamins (Provitamine) zeigen die 4 angeführten Karotinoide nicht nur dessen Wachstumswirkung, sondern sie vermögen auch wie dieses Augenerkrankungen (Xerophthalmie), krankhafte Veränderungen der Schleimhäute, z. B. der Vagina (Kolpokeratose), u. a. zu heilen bzw. die Versuchstiere vor diesen Erkrankungen zu schützen. Die kleinste Menge  $\beta$ -Karotin, die noch Wachstum und Heilung der Xerophthalmie hervorruft (2,5  $\gamma$ ), genügt aber nicht, um den durch A-Mangel gestörten Genitalzyklus der Ratte wieder normal zu machen. Dazu ist die 5–10fache Menge  $\beta$ -Karotin erforderlich. Dies läßt erwarten, daß beim Menschen Schädigungen durch Mangel an Karotin (A-Vitamin) auftreten können, ehe noch der junge Organismus eine Störung des Wachstums erkennen läßt.

Das *Lykopen*, der Farbstoff der Tomaten, wurde unter aufeinanderfolgender Abspaltung von 2 Molen Methylheptenon zum  $\beta$ -Norbixin

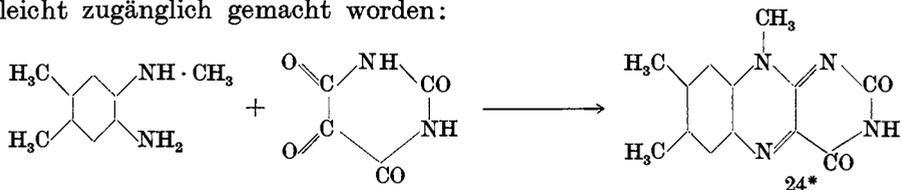


Farbstoff der Bixasamen, das Norbixin  $C_{24}H_{28}O_4$ . Eine oxydative Spaltung nach dem Schema  $10 + 20 + 10$  scheint sich in den Narben des Krokus abzuspielden. Denn der Farbstoff Krozetin des Safrans mit 20 C-Atomen entspricht in seiner Konstitution genau dem Mittelstück der Karotinmolekel, während die endständigen Ringsysteme mit je 10 C-Atomen im farblosen Bitterstoff des Safrans, dem Pikrokrozin (2 Mole) wiedergefunden wurden. Dieser Bitterstoff ist eine glukosidische Verbindung, die bei der Spaltung durch Säuren oder Alkalien neben Traubenzucker den Riechstoff Safranal liefert, der durch Dehydrierung von  $\beta$ -Zyklozital auch künstlich dargestellt werden konnte.

Es ergibt sich somit, daß die Synthese der angeführten Naturprodukte in den Pflanzen sich nicht wie diejenige im Laboratorium in der Weise abspielt, daß kleinere Bausteine bis zum erstrebten Ziele zusammengefügt werden. Nach einem großzügigen, einheitlichen Plan erzeugt vielmehr die Natur hier zunächst gerade die kompliziertesten Verbindungen, nämlich die Karotinoide mit 40 C-Atomen, und erst auf dem Wege eines rückläufigen Abbaues nimmt sie die Differenzierung vor, die zu spezifischen Vitaminen, Farbstoffen, Riechstoffen und Geschmacksstoffen führt.

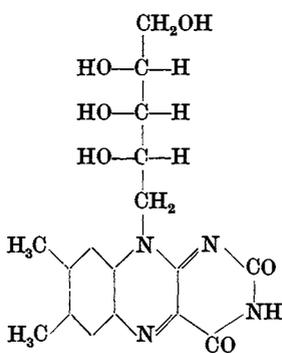
In Gemeinschaft mit Prof. P. GYÖRGY, Kinderklinik der Universität Heidelberg, sind Untersuchungen über weitere Vitamine in Angriff genommen worden. Aus Milch, wovon 80000 Liter verarbeitet wurden, sowie aus Rinderleber und aus Luzerne wurde ein gelber, grün fluoreszierender Farbstoff  $C_{17}H_{20}N_4O_6$ , *Laktoflavin*, isoliert, der sich als eine thermostabile Komponente des B-Vitamins (Vitamin  $B_2$ ) erwiesen hat. Junge Ratten benötigen 8  $\gamma$  Laktoflavin je Tag für normales Wachstum (40 g Gewichtszunahme in 30 Tagen). Wegweisend für die Konstitutionsaufklärung des neuen Vitamins war die von O. WARBURG am Kaiser Wilhelm-Institut für Zellphysiologie gemachte Beobachtung, daß in der Hefe ein gelber, grünfluoreszierender Farbstoff an Eiweiß gebunden als Ferment vorkommt, und daß sich durch Einwirkung von Licht in alkalischer Lösung ein chloroformlösliches Abbauprodukt  $C_{13}H_{12}N_4O_2$  gewinnen läßt. Das aus Milch isolierte Vitamin verhielt sich bei der alkalischen Photolyse gleichartig. Auf Grund des Befundes, daß auch in tierischen Organen (nicht in der Milch) das Vitamin hochmolekular gebunden ist (undialysierbar), entwickelte sich die Vorstellung, daß das Vitamin  $B_2$  für die Synthese eines gelben Fermentes im Tierkörper benötigt wird, daß also die Farbstoffgruppe dieses Fermentes vom Tier nicht aus anderweitigen Bestandteilen der Nahrung aufgebaut werden kann, sondern als solche mit der Nahrung aufgenommen werden muß.

Der aus dem Vitamin der Milch durch Abbau erhaltene Farbstoff  $C_{13}H_{12}N_4O_2$  ist analytisch als 6·7·9-Trimethylflavin erkannt und durch Synthese aus 1·2-Dimethyl-4-amino-5-methylaminobenzol und Alloxan leicht zugänglich gemacht worden:



Aus 1 kg Nitroxylidin kann man 1,15 kg Lumilaktoflavin darstellen, wozu auf dem früheren Wege die Verarbeitung von 7000000 Litern Milch erforderlich gewesen wäre.

Das Laktoflavin trägt an Stelle der 9-ständigen Methylgruppe einen Pentitrest. Zwischen den 8 möglichen Stereoisomeren wurde durch Synthese entschieden. Der erste künstliche Farbstoff, der Wachstumswirkung zeigte, ist aus l-Arabinose erhalten worden, das Laktoflavin selbst in entsprechender Weise aus d-Ribose, die einen bekannten Baustein der Nukleinsäuren darstellt. Das synthetische Vitamin B<sub>2</sub> stimmt mit dem natürlichen in allen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften überein. Flavine, die sich von der l-Xylose, d-Glukose u. a. ableiten, haben keine oder nur geringe Wachstumswirkung. Die Ausbeuten bei der Laktoflavinsynthese, die anfangs recht gering waren, sind durch Zusatz von Borsäure bei der Kondensation des entsprechenden Diamins mit Alloxan auf 90–95% d. Th. gebracht worden.



Laktoflavin (Vitamin B<sub>2</sub>)

Die Wachstumswirkung des Laktoflavins geht verloren, wenn man das H-Atom der NH-Gruppe durch Methyl ersetzt oder die beiden am Benzolkern haftenden Methyle fortläßt.

Im Zusammenhang mit den Arbeiten über Karotinfarbstoffe sind Mikromethoden ausgearbeitet worden für die Bestimmung von aktiven H-Atomen, zur Bestimmung von Isopropyliden-gruppen und zur Ermittlung von an Kohlenstoff gebundenen Methylgruppen. Letzteres wurde durch Oxydation mit Chromsäure zuerst in Makro-versuchen, später im Mikromaßstab durchgeführt. Es wurde möglich, in vielen Fällen durch Oxydation mit Chromsäure mit nur einer Einwaage gleichzeitig Kohlenstoff, Wasserstoff und Methylgruppen zu bestimmen. Auf der gleichen Grundlage ist ein einfaches Verfahren zur Mikrobestimmung von Azetyl- und Benzoylgruppen sowie zur Unterscheidung von Methoxyl- und Äthoxylgruppen ausgearbeitet worden. Zur genauen Bestimmung des Siedepunktes kleinster Substanzmengen (1–2 mg) wurde ein von R. SCHLEIERMACHER angegebenes Prinzip herangezogen. Die quantitative Mikrohydrierung (Bestimmung der Doppelbindungszahl) ist mit besonderer Berücksichtigung der Karotinoide auf differentialmanometrischer Grundlage ausgearbeitet worden.

Eine zusammenfassende Darstellung der angeführten Mikromethoden findet sich im Buche „Die quantitative organische Mikroanalyse“ von F. PREGL, das nach dem Tode von F. PREGL von H. ROTH in 4. Auflage neu geschrieben wurde und bei Julius Springer (Berlin 1935) herauskommt.

Zur Bestimmung des optischen Drehungsvermögens von roten Farbstoffen wurde auf Vorschlag von K. W. HAUSSEER eine Quarzcadmiumlampe verwendet. Mit dieser gelang der erwähnte Nachweis der optischen Aktivität von Karotin ( $\alpha$ -Karotin) sowie von *Alkannin* und *Shikonin*. Bei den zuletzt genannten Naphthochinonfarbstoffen, deren Konstitution



Oxydation eines kleinen Teils. Der von dem Engländer A. V. HILL analysierte Wärmeverlauf bei der Muskelkontraktion ließ sich im Prinzip auf diese Vorgänge, den anaeroben Anteil während der Tätigkeit und den oxydativen während der Restitution, zurückführen. Im Jahre 1923 wurde dem Verfasser zugleich mit Professor A. V. HILL für diese Arbeit der medizinische Nobelpreis verliehen.

Aus dieser Problemstellung entsprangen 3 verschiedene Gruppen von Arbeiten:

1. solche, die die im Muskelstoffwechsel gefundenen Gesetzmäßigkeiten auf andere Zellarten ausdehnten und allgemeine Fragen der Sauerstoffatmung, der anaeroben Kohlehydratspaltung (Milchsäurebildung und alkoholische Gärung) an verschiedenen tierischen Geweben, isolierten Zellen, Bakterien usw. behandelten;

2. solche, durch die ein näherer Einblick in den Zusammenhang der chemischen und physikalischen Vorgänge der Muskeltätigkeit gewonnen werden sollte. Diese betrafen einmal den Umsatz neu entdeckter Tätigkeitssubstanzen im lebenden Muskel, dessen Zusammenhang mit der Arbeitsleistung und Wärmebildung sowie verschiedene andere physikalische und physikalisch-chemische Begleiterscheinungen der Tätigkeit;

3. Versuche, die mit dem Fermentextrakt aus Muskeln ausgeführt wurden, und in Parallele dazu mit dem gärfähigen Hefeextrakt, um die Intermediärvorgänge der Zuckerspaltung in beiden Fällen aufzuklären sowie die Natur des sogenannten Kofermentsystems.

Über jede der 3 Gruppen von Arbeiten mögen hier einige nähere Angaben folgen.

#### 1.

Die im Muskelstoffwechsel gefundene Gesetzmäßigkeit, wonach die Sauerstoffatmung den Spaltungsstoffwechsel rückgängig macht, ließ sich in Analogie setzen zu der von O. WARBURG entdeckten Beeinflussung der Milchsäurebildung der verschiedenen Säugetiergewebe durch die Sauerstoffatmung. Derselbe Mechanismus ließ sich auch auf die alkoholische Gärung übertragen und die schon von PASTEUR angenommene Hemmung der Gärung durch Sauerstoff als eine Rückgängigmachung durch die Atmung in einem genauen quantitativen Verhältnis aufklären. Dieses selbe Verhältnis zwischen dem Verbrauch an Sauerstoff und dem rückgängig gemachten Spaltungsstoffwechsel, das sich beim Muskel und dann auch bei der alkoholischen Gärung gefunden hatte, fand sich schließlich auch bei Milchsäurebakterien, Algen und anderen Zellen wieder. Im gleichen Zusammenhang wurde die Atmungssteigerung, die verschiedene Gewebe ebenso wie der Muskel in Gegenwart von milchsäurem und brenztraubensaurem Natrium zeigen, aufgefunden, die in vielen Fällen mit einer Synthese dieser Substanzen zu Kohlehydrat verknüpft ist. Analoge Untersuchungen wurden auch am tätigen Nerven durchgeführt. Die bei der Erregung des Nerven stattfindende Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs lieferte eine quantitative Erklärung für die bei der Erregung auftretende Wärme. Beide Größen sind in absolutem Maß nur etwa  $\frac{1}{10\,000}$  der unter gleichen Umständen im Muskel auftretenden Stoffwechselgrößen.

Bei Untersuchungen an stickstoff-fixierenden Bakterien wurde die bisher höchste Atmungsgröße einer lebenden Zelle beobachtet, indem 1 mg junger Bakterien pro Stunde bis 8000 cmm O<sub>2</sub> verbraucht. Von Beeinflussungen des Stoffwechsels wurden außer der Wirkung verschiedener hemmender Substanzen auch die einzelner Hormone (Insulin, Schilddrüsenhormon) untersucht. Hier ergab sich z. B., daß nicht das jodhaltige Hormon der Schilddrüse, Thyroxin, sondern das daraus nach Jodabspaltung entstehende Thyronin eine starke Stoffwechselsteigerung in den verschiedensten Säugetiergeweben hervorruft (PAAL).

Bei der Untersuchung des Sauerstoffverbrauchs von Zellextrakten wurde unter anderem gefunden, daß das Oxydationssystem des Hefeextrakts imstande ist, Stickoxyd zu Stickoxydul zu reduzieren, wobei der Sauerstoff auf die Nährstoffmoleküle übertragen wird, und daß die gleiche Fähigkeit dem von O. WARBURG in der Hefe entdeckten gelben Oxydationsferment zukommt.

Bei Untersuchungen des Stoffwechsels und Wachstums von Gewebekulturen (nach CARREL) ergab sich, daß in der Kultur ungeordnet wachsende Warmblüterzellen einen Stoffwechseltypus besitzen, der dem von WARBURG gefundenen Karzinomstoffwechsel verwandt ist, und daß sie wie das Karzinom unter streng anaeroben Bedingungen zu wachsen imstande sind. Dies gilt für Bindegewebszellen, Osteoblasten, Leukozyten, embryonales Epithel (LASER).

## 2.

Die Arbeiten über den Tätigkeitsstoffwechsel des Muskels erfuhren einen neuen Auftrieb durch die Entdeckung stickstoff- und phosphorsäurehaltiger Verbindungen, deren Spaltung und Synthese in einem noch unmittelbarerem Zusammenhang mit der Kontraktion stehen als die zunächst allein bekannt gewordene Kohlehydratspaltung. Hierher gehört die von EGGLETON und FISKE entdeckte Kreatinphosphorsäure der Wirbeltiere und die analoge, in unserem Institut aufgefundene Argininphosphorsäure aus Muskeln der Wirbellosen, ferner die Adenylpyrophosphorsäure (Adenosintri-phosphorsäure), die in diesem Institut von K. LOHMANN entdeckt und als organischer Bestandteil des Koferments der Milchsäurebildung erkannt wurde. Durch die Untersuchungen EINAR LUNDSGAARDS, die zu einem großen Teil im Heidelberger Institut gleich nach seiner Eröffnung durchgeführt wurden, wurde zum erstenmal gezeigt, daß der Muskel in Abwesenheit von Sauerstoff auch ohne Milchsäurebildung Arbeit leisten kann (nach Vergiftung mit Jodessigsäure), wobei es zu einem erhöhten Zerfall der Kreatinphosphorsäure kommt. Durch Messung der Spaltungswärmen ließ sich die Energiebilanz unter diesen Umständen wie auch unter normalen Bedingungen berechnen und in Übereinstimmung mit der im lebenden Muskel beobachteten Kontraktionswärme bringen. Zahlreiche weitere Untersuchungen klärten den Zusammenhang von Spaltung und Synthese der Kreatinphosphorsäure mit den einzelnen Phasen der Muskeltätigkeit, der An- und Abwesenheit von Milchsäurebildung sowie dem Sauerstoffverbrauch bei der oxydativen Erholung näher auf. Durch Versuche K. LOHMANNs wurde es wahrscheinlich gemacht, daß auch der

Zerfall der Kreatinphosphorsäure ein Restitutionsvorgang ist, und daß ihm die Spaltung des Adenylpyrophosphats in Adenylsäure und Phosphat vorangeht.

Die Verfolgung des Kohlensäure-Bikarbonatgleichgewichtes im Muskel während der Tätigkeit gestattete einen Einblick in das Verhältnis von Kreatinphosphorsäurezerfall und Milchsäurebildung, da der erstere die Reaktion in berechenbarer Weise nach der alkalischen Seite, die Milchsäurebildung nach der sauren Seite verschiebt. In der Tat ergab sich ganz im Gegensatz zu geläufigen Annahmen, daß der Muskel zu Beginn der Tätigkeit alkalischer wird; eine Säuerung tritt erst bei hochgradiger fortgesetzter Ermüdung unter anaeroben Bedingungen auf.

Andere, physikalische Änderungen spiegelten diese beiden gegenseitigen Vorgänge ebenfalls wieder, so die Volumenschwankung des Muskels. Diese besitzt neben einer zuerst von dem ungarischen Forscher ERNST beobachteten rasch reversiblen Phase während der Kontraktion einen sich summierenden, mehr oder weniger irreversiblen Anteil, der auf die chemischen Vorgänge zu beziehen ist. Auf Grund von dilatometrischen Messungen bei enzymatischen Spaltungen der Tätigkeitssubstanzen ließ sich dieser Anteil der Volumenschwankung quantitativ zurückführen auf die Änderung des Molekularvolumens der Stoffe, die bei der Tätigkeit gespalten bzw. synthetisiert werden. Etwas Analoges gilt auch für die Lichtdurchlässigkeit des Muskels, die bei der Spaltung der Kreatinphosphorsäure zunimmt, bei der Milchsäurebildung abnimmt (v. MURALT und v. BAEYER), und die sich so genau messen ließ, daß daraus der chemische Umsatz bei einer einzelnen Muskelzuckung qualitativ und quantitativ bestimmt werden konnte. Eine von v. MURALT ausgearbeitete Methode gestattete auch, die im Prinzip schon lange bekannte Schwankung der Doppelbrechung des Muskels bei der Kontraktion zu messen und ihren Verlauf zu registrieren. Es ergab sich eine zweigipflige Kurve, die mit den beiden Phasen der Muskelzuckung, der Anspannung und Erschlaffung, zusammenhängt.

Daß trotz der Vermehrung unserer Kenntnisse auf dem Gebiete des Tätigkeitsstoffwechsels doch noch nicht alle sich hier abspielenden chemischen Reaktionen aufgeklärt sind, ließ sich durch Verfolgung des osmotischen Druckes des Muskels bei anhaltender Tätigkeit sowie verschiedenen Starreformen des Muskels feststellen. Der osmotische Druck wurde durch die Gefrierpunktserniedrigung des Muskelinneren bestimmt, die mittels einer neu ausgearbeiteten thermoelektrischen Methode gemessen wurde. Der Vergleich mit dem chemischen Umsatz zeigte, daß nur zwei Drittel der Zunahme des osmotischen Druckes durch bekannte chemische Spaltungen erklärbar und ein weiteres Drittel bisher noch unbekannt ist.

### 3.

Als es gelang, die zunächst nur im intakten Muskel und im Muskelgewebe studierten Spaltungsvorgänge auch in einem völlig strukturlosen Enzymextrakt des Muskels ablaufen zu lassen (1927), war man im Besitz einer fruchtbaren Methode, um einen näheren Einblick in den Mechanismus

der Spaltungen und Synthesen und in ihre Verknüpfung untereinander zu gewinnen. Da ein solcher Extrakt durch Dialyse und andere Methoden von allen spaltbaren Substraten, Kofermentbestandteilen und sonstigen kleineren Molekülen befreit werden kann, lassen sich mit ihm der Fermentmechanismus erforschen, die umsatzfähigen Substanzen feststellen und durch Benutzung geeigneter Hemmungsstoffe und Abfangmittel die Zwischenprodukte des Zerfalls auffinden und isolieren.

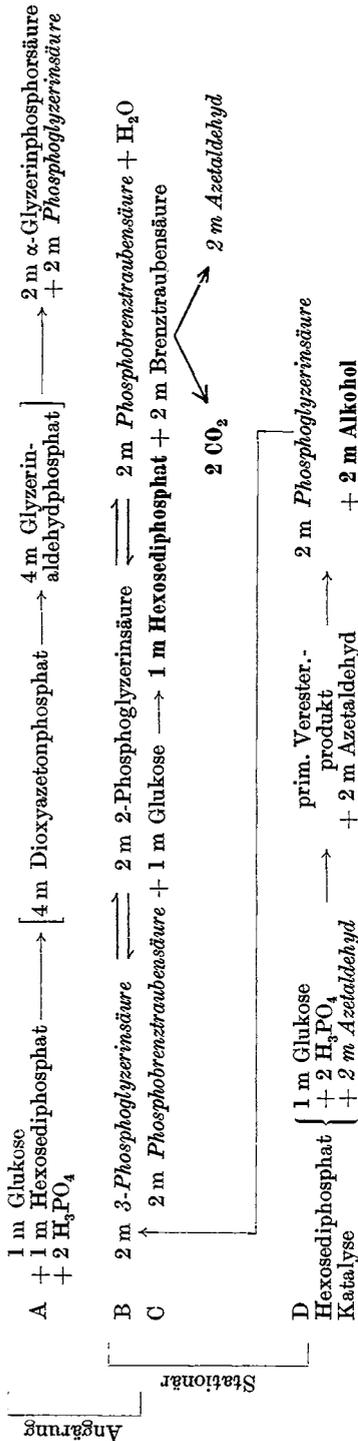
a) Koferment.

Als Koferment der Milchsäurebildung, d. h. als Hilfskatalysator, der durch Dialyse abtrennbar und kochbeständig ist, wurde ein aus 2 Bestandteilen bestehendes System erkannt, Adenylpyrophosphat und Magnesiumion (LOHMANN). Die Kofermentwirkung des Adenylpyrophosphats ließ sich dahin aufklären, daß dieses seine locker gebundenen Phosphorsäuregruppen an Zuckerreste abgibt, während die dadurch entstandenen Spaltprodukte Adenosindiphosphorsäure und Adenylsäure, das Phosphat von phosphorylierten Zwischenprodukten des Kohlehydratabbaues wieder übernehmen, so daß dieses Adenylsäuresystem zwischen verschiedenen Phosphorylierungsstufen dauernd hin und her pendelt. Da ein von allen dialysablen Bestandteilen befreites Enzym nach Zusatz von Magnesium und Adenylpyrophosphat Glykogen mit derselben Geschwindigkeit in Milchsäure spaltet wie der undialysierte Ausgangsextrakt, ergibt sich, daß keine anderen Hilfsstoffe dafür notwendig sind. Indirekt folgt so auch, daß nicht, wie lange angenommen wurde, das Methylglyoxal ein Intermediärprodukt des Kohlehydratzerfalles ist, denn zur Umwandlung des Methylglyoxals in Milchsäure ist die Anwesenheit eines anderen Koferments, des Glutathions, erforderlich (LOHMANN), das aber für die Kohlehydratspaltung, wie auf diese Weise gezeigt wird, entbehrt werden kann. Dagegen bedarf die Spaltung der Glukose zu Milchsäure zum Unterschied von der des Glykogens noch eines weiteren Hilfsstoffes („Hexokinase“), eines aus Hefe zu isolierenden Ferments. Das mit dieser Hexokinase ergänzte Enzymsystem des Muskels ergibt einen Mechanismus des Zuckerumsatzes, der dem von HARDEN und YOUNG bei der alkoholischen Gärung gefundenen außerordentlich nahesteht. In beiden Fällen wird während der raschen Zerfallsperiode für 1 Mol zu den Endprodukten gespaltenen Zuckers 2 Mol Phosphat mit einem weiteren Mol Glukose zu Hexosediphosphat (und Hexosemonophosphat) synthetisiert.

b) Intermediärprodukte.

Mittels des Muskelextraktes ließ sich eine größere Zahl bisher unbekannter phosphorylierter Intermediärprodukte der Zuckerspaltung auffinden. Wird die Kohlehydratspaltung in Gegenwart von Sulfid vorgenommen, so tritt, wie schon von anderer Seite festgestellt ist, an Stelle der Milchsäure Brenztraubensäure auf. Als reduziertes Dismutationsprodukt ließ sich in diesem Fall die  $\alpha$ -Glyzerinphosphorsäure nachweisen. Nachdem von EMBDEN festgestellt war, daß die hier auftretende Brenztraubensäure aus Phosphoglyzerinsäure stammt, konnte die bisher als einheitlich angesehene Phosphoglyzerinsäure (Glyzerinsäure-3-Phosphorsäure) in unserem Institut in 2 Fraktionen getrennt werden. Neben der genannten linksdrehenden Säure

Neues Gärungsschema (1935).



wurde die stark rechtsdrehende (+) Glycerinsäure-2-Phosphorsäure isoliert. Die Konstitution beider Substanzen wurde durch Synthese gesichert (KIESSLING). Als weiteres Zwischenprodukt wurde die bisher ganz unbekannte Phosphobrenztraubensäure (Enol-Brenztraubensäure-Phosphorsäure) entdeckt. Sie wurde als kristallisiertes Ag-Ba-Salz isoliert (LOHMANN) und synthetisiert (KIESSLING). Zwischen den genannten Substanzen ergaben sich die enzymatischen Gleichgewichtsreaktionen 3-Phosphoglycerinsäure  $\rightleftharpoons$  2-Phosphoglycerinsäure  $\rightleftharpoons$  Phosphobrenztraubensäure, während aus der letzteren durch Phosphatabspaltung Brenztraubensäure entsteht. Als 1. Spaltprodukt des phosphorylierten Zuckers wurde gemeinsam mit LOHMANN die bisher ebenfalls unbekannte Dioxyazetonphosphorsäure aufgefunden und von KIESSLING synthetisiert. Auch hierbei wurde ein interessantes, reversibles, enzymatisch einstellbares Gleichgewicht Hexosediphosphat  $\rightleftharpoons$  2 Dioxyazetonphosphat aufgefunden. Dabei besitzt die in Richtung der Spaltung verlaufende freiwillige Reaktion eine beträchtliche negative Wärmetönung ( $-14000 \text{ g-cal pro Mol}$ ), die in quantitativer Übereinstimmung mit der VAN T'HOFFSchen Isochorengleichung steht. Andere umkehrbare Reaktionen wurden zwischen den beiden hauptsächlich Hexosemonophosphorsäuren (Fruktosemonophosphorsäure  $\rightleftharpoons$  Glukosemonophosphorsäure) und ebenso den Triosephosphorsäuren (Glyzerinaldehydphosphorsäure  $\rightleftharpoons$  Dioxyazetonphosphorsäure) aufgefunden.

Neben den Gleichgewichtsreaktionen im dialysierten Extrakt wurde weiter eine Reihe gekoppelter Reaktionen entdeckt, an denen das Adenylsäuresystem beteiligt ist. Hierbei gewann ein besonderes Interesse die indirekt mit der Milchsäurebildung verknüpfte reversible Synthese und Spaltung der Kreatin-

phosphorsäure, welche nach der Gleichung verläuft: Adenylpyrophosphat + 2 Kreatin  $\rightleftharpoons$  Adenylsäure + 2 Kreatinphosphorsäure, eine Reaktion, die letzten Endes den Auf- und Abbau der Kreatinphosphorsäure im lebenden Muskel reguliert.

Die Rückübertragung der beim Studium des Muskelextrakts gewonnenen neuen Ergebnisse auf die alkoholische Gärung führte auch zu näherem Verständnis des Mechanismus dieser wichtigen Betriebsreaktion der Zelle. Ohne auf die Untersuchungen zu diesem Problem im einzelnen einzugehen, sei hier zum Schluß das Schema wiedergegeben, das die neu aufgefundenen Intermediärprodukte enthält und die Teilvorgänge bei der Vergärung des Zuckers darstellt, die über die Veresterung zu Hexosephosphat schließlich zu Alkohol und Kohlensäure führen (S. 378). Es gibt auch die Reaktionsgeschwindigkeiten während der Zuckergärung im zellfreien Hefesaft zutreffend wieder und zeigt, wie entsprechend der HARDEN-YOUNGSchen Gleichung sich gleichzeitig mit der Vergärung eines Zuckermoleküls ein zweites als Hexosediphosphat anreichert. Ein ähnliches Schema konnte schließlich unter Modifizierung eines von EMBDEN entworfenen auch für die rasche Milchsäurebildung im Muskel nachgewiesen werden, wobei das biologische Analogon des Azetaldehyds im Muskel die Brenztraubensäure und das Analogon des Alkohols die Milchsäure ist.

Die Erfahrungen, die sich aus den Gleichgewichtsreaktionen einerseits und den zur Energieübertragung dienenden gekoppelten Reaktionen andererseits ergeben, gestatten, genauer zu umschreiben, wie die lebende Zelle durch derartige chemische Mechanismen ihren stationären Zustand aufrecht erhält.

O. MEYERHOF.

## 27. Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund und Münster i. W.

Wie wir in dem Handbuch dieser Jubiläumsausgabe zeigen konnten, stand die äußere Entwicklung des Kaiser Wilhelm-Instituts für Arbeitsphysiologie und der Ausbau seiner Organisation in einem engen Zusammenhang mit dem von Jahr zu Jahr wachsenden Interesse, welches der Arbeitsphysiologie aus den Kreisen der Industrie, Land- und Forstwirtschaft entgegengebracht wurde. Dieses Interesse konnte aber nur dadurch wachgehalten werden, daß das Institut immer neue und immer größere Aufgaben erfolgreich in Angriff nahm. In den Jahren 1921—1929 wurde von ATZLER und seinen damaligen Mitarbeitern, unter denen besonders G. LEHMANN, R. HERBST und E. A. MÜLLER zu nennen sind, das wissenschaftliche Fundament geschaffen, auf dem dann in dem erweiterten Rahmen, den das Dortmund-Münstersche Institut bot, weitergebaut werden konnte.

Wir haben schon in dem Handbuch bei der Schilderung der Geschichte des Instituts darauf hingewiesen, daß wir zunächst die optimalen Arbeitsbedingungen zu erkennen und festzulegen suchten. Eine Arbeitsform ist dann optimal, wenn ein hinreichend großer Arbeitseffekt erreicht wird durch eine relativ geringe Anstrengung. Erhebt man diese Forderung

vom Standpunkt des Physiologen, so ist ihre Erfüllung abhängig von einer Kenntnis der im Körper des Arbeitenden sich abspielenden Vorgänge und scheint nur dann verwirklicht werden zu können, wenn es gelingt, die Bedeutung dieser mit der Arbeit verbundenen Reaktionsabläufe für die individuelle Gesundheit und Leistungsfähigkeit zu erkennen.

So wurden mehrere Jahre hindurch viele Tausende von Respirationsversuchen ausgeführt, bei denen indirekt durch eine Messung des Sauerstoffverbrauchs der Energieaufwand während einer Arbeit ermittelt wurde. Durch die Anwendung dieser Methode auf praktisch oft vorkommende Arbeitsformen, vor allem aber auf Arbeitsbewegungen, die als Elemente komplizierterer Arbeitsprozesse häufig wiederkehren, ist es möglich gewesen, grundlegende Erfahrungen darüber zu sammeln, welche Bewegungen mit einem großen und welche mit einem geringeren Energieaufwand verbunden sind. Die erarbeiteten Resultate sind in den Richtlinien lebendig, die heute für zahlreiche Formen der Handarbeit Eingang in die Praxis der Betriebe gefunden haben. Als Beispiel derartiger Untersuchungsreihen seien die Festlegung von Optimalbedingungen beim Gebrauch von Handkurbeln, Hebeln, beim Heben und Tragen von Lasten, beim Ziehen und Schieben von Karren, beim Gebrauch von Schaufeln erwähnt. Daneben steht die Festlegung von Optimalgewichten für Ziegelsteine, die Ermittlung der günstigsten Abmessung von Treppen u. a. m.

Durch die ständige Berührung mit der Praxis wurde die Aufmerksamkeit immer wieder auf das Ermüdungsproblem gelenkt, das durch seine praktische Bedeutung wie auch durch seine Vielgestaltigkeit eine reizvolle, zugleich aber schwierige Aufgabe für den Arbeitsphysiologen bildet. Wir haben versucht, durch eine klare Trennung der verschiedenen Formen von Ermüdung, insbesondere der peripher und der zentral bedingten, zu Methoden zu gelangen, welche zwar nicht eine Messung der Ermüdung im physiologischen Sinne ermöglichen, jedoch eine Beurteilung des Ermüdungswertes gewisser Arbeitsformen gestatten. Untersuchungen über die Muskelkoordination, über deren Veränderung durch Ermüdung der Koordinationszentren führten dazu, bewegungsanalytische Methoden auf die allereinfachsten Bewegungsvorgänge anzuwenden und für die Betrachtung dieser Verhältnisse von dem Wechselspiel antagonistischer Muskelgruppen auszugehen. Die Kenntnis von der exzessiv ermüdenden Wirkung der statischen Arbeit, die heute bereits Allgemeingut der Arbeitswissenschaft geworden ist, war der Anlaß zu einer Bearbeitung der Kreislaufverhältnisse im arbeitenden Muskel wie auch im gesamten arbeitenden Menschen. Auf Grund dieser Untersuchungen kann heute die periphere Muskelermüdung bei statischer Arbeit mit Sicherheit auf die abgedrosselte Durchblutung zurückgeführt werden, wie auch dargetan werden konnte, daß für den dynamisch arbeitenden Muskel die jeweils mögliche Maximalleistung nicht nur von den Eigenschaften der Muskelzellen selbst, sondern daneben von der Durchblutungsgröße bestimmt ist.

Eine unerwünschte Änderung der Blutverteilung des gesamten Körpers wird z. B. durch längeres Stehen hervorgerufen. Die Blutansammlung in

den unteren Extremitäten, die leicht nachzuweisen ist, führt zu einer Herabsetzung der umlaufenden Blutmenge und zu einer Verminderung der Gehirndurchblutung, wodurch vorzeitige Ermüdung, Schwächezustände und Ohnmachtsanfälle hervorgerufen werden können.

Als das Kaiser Wilhelm-Institut im Jahre 1929 von Berlin nach Dortmund-Münster übersiedelte, war die Arbeitsphysiologie so weit entwickelt und in sich gefestigt, daß wir an eine Expansion unseres Forschungsprogrammes gehen konnten, ohne befürchten zu müssen, daß wir uns zersplitterten. Freilich waren wir uns darüber im klaren, daß es jetzt nicht mehr möglich sein würde, nur mit vorwiegend physiologischen Methoden auszukommen. Die menschliche Arbeit ist ja ein komplexer Vorgang. Es übersteigt aber die Fähigkeit des einzelnen Forschers, all die Methoden zu beherrschen, die zur Klärung nötig sind.

Es mußten deshalb besondere Abteilungen mit Spezialforschern von den verschiedenen Richtungen her das gleiche Ziel verfolgen: dem Menschen sein Arbeitslos durch naturgemäße Maßnahmen zu erleichtern. Wie dieser Aufbau äußerlich erfolgte, ist in dem schon mehrfach zitierten Handbuchaufsatz dieser Jubiläumsausgabe auseinandergesetzt worden. Hier soll jetzt über die wissenschaftlichen Arbeiten dieser Abteilungen berichtet werden. Da es sich bei der ganzen Art der Arbeitsverteilung meist um Aufgaben handelt, die von mehreren Abteilungen, gelegentlich sogar vom ganzen Institut, in Angriff genommen wurden, so soll zusammenfassend berichtet werden.

Es schien zunächst äußerst wichtig, den Begriff der körperlichen Leistungsfähigkeit schärfer zu fassen, als das bisher möglich gewesen war; erst dann ist man ja in der Lage, den Einfluß der verschiedenen In- und Umweltfaktoren auf die körperliche Leistungsfähigkeit zu erfassen. Als diese Methode fertig ausgearbeitet war, konnte sie in einer Untersuchung über den Einfluß der Ultraviolettbestrahlung auf den Organismus praktisch erprobt werden. Dabei stellte sich das interessante Ergebnis heraus, daß die Leistungsfähigkeit durch eine solche Kur in wenigen Wochen bedeutend gebessert werden kann. Es ist dies auf eine Umstimmung des Organismus zurückzuführen, die fast vollständig derjenigen gleicht, die beim sportlichen Training beobachtet wird.

Ähnliche Wirkungen lassen sich — wenn auch nicht bei allen Menschen — durch Anreicherung der Nahrung mit Phosphaten erzielen. Schon lange weiß man, daß das Phosphat eine besondere Rolle im Stoffwechsel des arbeitenden Menschen spielt. Es war daher die viel erörterte Frage zu entscheiden, wieweit bei der üblichen Ernährung die volle körperliche Leistungsfähigkeit durch genügende Versorgung mit Phosphat garantiert wird, bzw. ob sie durch Zulage von Phosphat erhöht werden kann. In langdauernden Bilanzversuchen gelang es uns tatsächlich, einen Zusammenhang von Phosphatstoffwechsel und Arbeitsleistung festzustellen und zum Teil auch eine Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Phosphatzulagen zu erzielen. Auf jeden Fall aber konnte nach dieser Untersuchung dem körperlich Arbeitenden der vermehrte Verbrauch phosphatreicher Nahrungsmittel empfohlen werden. Insbesondere sollte der Verbrauch an Milch

und Milchprodukten eine beträchtliche Steigerung erfahren. Noch eindrucksvoller als die Phosphatwirkung ist der Einfluß relativ großer Lezithingaben auf die Arbeitsfähigkeit.

Von diesen Stoffwechseluntersuchungen wurden wir zur Beobachtung der gesamten Ernährungslage unserer körperlich arbeitenden Volksgenossen geführt. Wir sahen häufig, daß bei beschränkten Mitteln die Auswahl der Speisen nicht in der physiologisch zweckmäßigsten Weise erfolgt, so daß eine Minderung der Leistungsfähigkeit und der Widerstandskraft zu befürchten ist. Sorgfältige Beobachtungen und Berechnungen der Ernährungslage fanden ihren Niederschlag in einem Volkskochbuch für das Rheinisch-westfälische Industriegebiet, das unter Anpassung an die dort übliche Kost auch bei bescheidenen Mitteln eine physiologisch ausreichende, abwechslungsreiche und wohlschmeckende Ernährung gewährleistet.

Neben der Schwere und Art der Arbeit spielen für den arbeitenden Menschen „zusätzliche“ Faktoren eine bestimmte Rolle, wie z. B. Beleuchtung, Klima, Kleidung usw. Angeregt durch die sich im Ruhrgebiet ergebenden Fragen haben wir die Bedeutung klimatischer Faktoren für die Arbeitsfähigkeit studiert. Eine bisher bestehende bergpolizeiliche Vorschrift sieht eine Kürzung der Arbeitsdauer vor, wenn die Temperatur 28° C übersteigt.

In freier Anlehnung an das amerikanische System der effektiven Temperatur wurde auf Grund von Schwerarbeitsversuchen unter Tage ein Schema ausgearbeitet, welches es gestattet, neben der Temperatur die relative Feuchtigkeit und die Windgeschwindigkeit zu einer einheitlichen Kennziffer zu verarbeiten, welche als Maß für die Arbeitsfähigkeit des Menschen unter den in Frage stehenden Bedingungen gelten kann.

Bei Arbeiten in großer Hitze werden unter Umständen sehr beträchtliche Mengen von Schweiß abgegeben, die dem Körper neben Wasser auch Salze entziehen. Es ist daher die Forderung aufgestellt worden, Hitzearbeitern als Getränk Salzwasser zu verabreichen. Unsere Versuche über diesen Gegenstand haben gezeigt, daß der gut trainierte Hitzearbeiter zwar zunächst beträchtliche Mengen von Salz abgibt, der Chlorgehalt des Blutes sinkt jedoch nicht, vielmehr stellt sich der Körper auf ein neues Gleichgewicht ein, welches selbst bei geringsten Chlorzufuhren aufrecht erhalten wird. Die Arbeitsfähigkeit ist in diesem Zustand nicht herabgesetzt; die Steigerung der Körpertemperatur infolge der Hitzearbeit ist sogar wesentlich geringer als dann, wenn der Organismus reich an Kochsalz ist. Ungeübte Leute dagegen vermögen unter den gleichen Bedingungen das Gleichgewicht der Chlorbilanz nicht aufrecht zu erhalten. Bei ihnen kommt es zu einer Chlorverarmung des Blutes und in Verbindung damit zu plötzlich auftretenden schwersten Erscheinungen von seiten der Gefäßnerven und des Herzens, die durch 1–2 g Kochsalz mit Sicherheit wieder beseitigt werden können.

In diesem Zusammenhang müssen wir auch unserer Arbeiten über die Bekleidung gedenken, die wir mit besonderer Berücksichtigung des Geländesports durchgeführt haben. Die Kleidung des Soldaten soll neben den Anforderungen, die aus militärischen Gründen gestellt werden, auch in

bezug auf den Wärmeaustausch zweckmäßig gestaltet sein. Dabei muß ein genügender Schutz bei kaltem Wetter ebenso garantiert sein, wie eine hinreichende Wärmeabgabe bei sommerlichen Märschen. Der Stahlhelm bietet eine Reihe von Problemen in bezug auf den Wärmeaustausch, die Beeinträchtigung der Hörfähigkeit u. a. m. Die physiologischen Rückwirkungen des Tragens von Gasmasken bei großen körperlichen Anstrengungen und vielstündiger Dauer sind unter Umständen bestimmend für die Einsatzbereitschaft einer Kampftruppe und verdienen daher weitgehendste Beachtung. Ein Punkt, der für die Schlagkraft marschierender Truppen von jeher von Bedeutung war und immer sein wird, ist die Frage der zulässigen Belastung des Mannes und der Verteilung des Gepäcks an seinem Körper. Wenn auch derartige Fragen nicht allein nach arbeitsphysiologischen Gesichtspunkten, sondern in erster Linie nach militärischen Gesichtspunkten beurteilt werden müssen, so glauben wir doch sagen zu können, daß die beratende Mitwirkung des Arbeitsphysiologen in manchen Fällen zu Lösungen führte, die, auch militärisch gesehen, einen Fortschritt darstellen.

Besonders wichtig erschien es uns, die zulässige Belastungsgrenze Jugendlicher zu studieren. Das Neuartige liegt dabei darin, daß nicht das Anatomisch-Anthropometrische einseitig im Vordergrund steht, sondern daß daneben die Entwicklung der Leistungsfähigkeit, wie sie in den Funktionen des Muskelapparates und des Kreislaufes zum Ausdruck kommt, gebührende Beachtung findet. Das durch viele Hunderte von Einzeluntersuchungen gewonnene Material erlaubt u. a. Schlüsse zu ziehen auf die körperliche Entwicklung und berufliche Eignung der einzelnen Konstitutionen. Es erlaubt ferner, dem morphologisch und seelisch definierten Begriff der Rassezugehörigkeit funktionelle physiologische Merkmale an die Seite zu stellen.

Das in den vorangegangenen Zeilen geschilderte Bestreben, den Arbeitsprozeß so zu gestalten, daß er sich unter physiologisch günstigen Bedingungen abspielt, mußte ergänzt werden durch psychologische Untersuchungen, besonders auf dem Gebiete der Ermüdung. Das wichtigste psychologische Mittel in der Ermüdungsbekämpfung ist die *Arbeitspause*. Es galt zunächst, eine genaue Vorstellung zu gewinnen, wie sich unter den verschiedensten Bedingungen das Verhältnis zwischen dem mit jeder Pause verbundenen Verluste an Arbeitszeit und der durch die Pause angestrebten Mehrleistung gestaltet. Das Ziel war die Ermittlung von *lohnenden* Arbeitspausen, d. h. solchen Arbeitspausen, bei denen der Verlust an Arbeitszeit durch den Mehrertrag an Arbeitsleistung mindestens vollständig ausgeglichen ist. Durch planmäßiges Fortschreiten von kürzeren zu längeren Arbeitszeiten, von einfachen Laboratoriumsarbeiten zu praktischer Berufsarbeit in Versuchswerkstätte und Betrieb wurden Gesetzmäßigkeiten für Lage-, Länge und Verteilung von Arbeitspausen gefunden und erprobt, die uns dieses Gebiet erschlossen haben. Wir können nunmehr mit Erfolg für eine Reihe von wichtigen Betriebsfragen der Pausenregelung, Schichteneinteilung, Arbeitszeitordnung Lösungswege angeben, die in optimaler Weise den hygienischen und sozialen Ansprüchen

des Arbeiters wie den technischen und wirtschaftlichen Anforderungen des Betriebes gerecht werden.

Ein weiteres Aufgaben- und Forschungsgebiet erwuchs uns aus der im Zuge der wissenschaftlichen Betriebsführung immer mehr zunehmenden Verdrängung der freien oder wenigstens nur sehr locker zeitgebundenen Arbeitsweisen durch die zwangsläufige Arbeitsweise, deren Extrem die strenggebundene Arbeit am laufenden Bande darstellt. Ausgangspunkt war wieder eine genaue Analyse solcher Arbeitsformen. Sie ergab gewisse Gefahrenquellen für den Arbeiter aus einer zu engen Koppelung des lebenden Organismus mit seiner physiologisch schwankenden Leistungsbereitschaft an das strenge Gleichmaß der Maschine; sie wies aber auch den einzig möglichen Ausweg, wenn man schon aus anderen Erwägungen heraus nicht auf solche Arbeitsformen glaubt verzichten zu können. Wir erreichten dies durch die Einführung *wechselnder* Bandgeschwindigkeit im Laufe des Tages entsprechend der wechselnden Arbeitsbereitschaft des Menschen und konnten wesentliche gesundheitliche und wirtschaftliche Erfolge durch dieses Verfahren erzielen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten nachdrücklich, daß die ideale Arbeitsform darin besteht, ohne strenge Bindung an Zwangszeiten doch den Ablauf einer Arbeit so zu regeln, daß effektive Leistung und Leistungsbereitschaft immer in einem gesunden Verhältnis stehen, daß also keine sog. „Hetz“perioden auftreten, d. h. Zeiten, in denen die Arbeit nur unter länger dauernder Heranziehung von solchen körperlichen und seelischen Reserven ermöglicht werden kann, welche die Natur nur für gelegentliche, kurzdauernde Beanspruchung vorgesehen hat. GRAF hat mit einer Arbeitsuhr eine Möglichkeit geschaffen, beliebige Tagesleistungen gleichmäßiger Art entsprechend einer physiologischen Arbeitskurve bewältigen zu können ohne Bindung an Zwangszeiten. Es ist zu hoffen, daß damit ein Weg gezeigt ist, wie der ältere Arbeiter, dessen Leistungsreserven geringer sind, in optimaler Weise zu Tagesleistungen kommt, die ihn durchaus konkurrenzfähig mit dem jüngeren machen, ohne seine Gesundheit durch Raubbau zu gefährden.

Ausgehend von den in Berlin durchgeführten Untersuchungen elementarer Arbeitsvorgänge beschäftigten wir uns auch mit Fragen der Werkzeuggestaltung. Beabsichtigt war dabei viel weniger eine Neugestaltung des Werkzeugs als eine Auswahl des zweckmäßigsten und eine Festlegung der Verwendungszwecke der einzelnen Werkzeugformen. Wie wichtig diese Aufgabe ist, mag dadurch beleuchtet werden, daß in Deutschland noch Tausende verschiedener Schaufelformen im Gebrauch sind. Die Untersuchung ergab, daß gerade unter den gebräuchlichsten Formen noch solche sind, die ganz prinzipielle Fehler und Mängel aufweisen. Es sind oft unbeachtete Kleinigkeiten, z. B. in der Form des Randes, welche die Leistung des Arbeiters um 10 oder 20% herauf- bzw. herabsetzen. Ähnlich liegen die Verhältnisse beim Spaten. Um bei den Werkzeuguntersuchungen den praktischen Verhältnissen Rechnung zu tragen, hat es sich als notwendig erwiesen, die jeweils anzuwendende Untersuchungsmethode möglichst vielseitig zu gestalten. Eine methodische Aufgabe,

die dabei in wechselnder Form immer wieder erscheint, ist die Registrierung schnell verlaufender Kräfte. Je nach den Einzelfällen wurde hierzu die Widerstandsänderung in Kohle, das piezoelektrische Potential des Quarzkristalles oder die Kapazitätsänderung eines Kondensators benützt. Durch derartige Messungen war es z. B. möglich, die Stöße, welche ein in der Hand gehaltener Preßlufthammer ausübt, exakt zu registrieren. Hiermit war die Möglichkeit einer objektiven Beurteilung von Preßluftwerkzeugen hinsichtlich der Gefährlichkeit ihres Rückstoßes geschaffen. Diese Anregung genügte, um die in Frage kommende Industrie zur Neukonstruktion rückstoßarmer Preßluftwerkzeuge anzuregen, ein Weg, auf dem bis heute schon erfreuliche Fortschritte zu verzeichnen sind (HASSE).

Neben diesen Arbeiten, deren praktische Zielsetzung offenkundig ist, mußten wir uns naturgemäß auch mit rein theoretischen Aufgaben befassen, von deren Lösung wir uns einen praktischen Nutzen versprechen. So beschäftigten wir uns besonders eingehend mit dem Blutkreislauf und dem Herzen.

Einer der wichtigsten Kreislaufregulatoren, das Kallikrein, wurde von KRAUT in der Bauchspeicheldrüse aufgefunden; seine merkwürdigen Inaktivierungs- und Ausscheidungsverhältnisse wurden aufgeklärt und das Hormon so weit gereinigt, daß es zur therapeutischen Verwendung geeignet wurde. Bei den häufigen Altersbeschwerden, die durch Kreislaufstörungen verursacht sind, ist dieses Hormon zu ihrer Beseitigung und damit zur Wiederherstellung der früheren Leistungsfähigkeit geeignet.

Besonders eingehend mußten wir uns mit dem Herzen befassen; von seiner Funktion hängt ja ein gut Teil der körperlichen Leistungsfähigkeit ab.

Das Herz als Zentralorgan des Kreislaufes ist für die Arbeitsfähigkeit vor allem dann von Bedeutung, wenn es sich um schwere körperliche Dauerarbeit handelt, und große Anforderungen in bezug auf die minütlich umgewälzte Blutmenge gestellt werden. Die medizinische Herzdiagnostik war bisher nur wenig darauf eingestellt, die Arbeitsfähigkeit des Herzens bzw. die Rückwirkung großer Anstrengungen auf das normale wie auch auf das geschwächte Herz zu erfassen. Um diese Lücke auszufüllen, wurde die „dielektrographische“ Methodik zur Registrierung der Herztätigkeit ausgearbeitet. Bei dieser Methode wird das menschliche Herz in das Kondensatorfeld eines hochfrequenten Schwingungskreises gebracht. Die Stärke des Mitschwingens dieses Schwingungskreises, der durch einen Sendekreis erregt wird, ist abhängig von den Kapazitätsänderungen des Kondensators, die synchron mit der Herztätigkeit erfolgend im wesentlichen die Volumänderungen des Herzens im Laufe der Herzrevolution wiedergeben. Die Methode wurde bisher angewendet vor allem zu einer Analyse des Erholungsvorganges nach schweren körperlichen Anstrengungen; sie bewährte sich ferner bei Untersuchungen über den Einfluß von Genußgiften sowie zur Erfassung der Kohlensäurewirkung auf das menschliche Herz.

Sehr vielversprechend sind Untersuchungen über Beziehungen zwischen dem Kreislauf und den Ermüdungserscheinungen bei statischer Arbeit,

die E. A. MÜLLER durchführt. Aus einer Analyse der betreffenden Ermüdungserscheinungen und aus dem Verlauf der Erholung war es möglich, theoretische Vorstellungen zu gewinnen über die Entstehung von Ermüdungsstoffen und deren Beseitigung, ja, es ließ sich sogar entscheiden, ob diese Ermüdungsstoffe oxydativ aus dem Körper entfernt wurden, oder ob sie durch den Kreislauf aus dem ermüdeten Muskel herausgewaschen wurden.

Die Psychologische Abteilung befaßte sich in Weiterführung KRAEPELINScher Traditionen mit dem Studium der Wirkung von pharmakologischen Substanzen, die als Arznei, Gift oder Genußmittel irgendwie in Beziehung stehen zur Arbeitsleistung. Alkohol, Koffein, Nikotin, auch Narkotika wie Kokain, Morphin, Meskalin, Haschisch und Schlafmittel wurden in ihren Beziehungen zur Arbeitsleistung untersucht, teils um der unmittelbaren praktischen Bedeutung willen, teils zur Gewinnung theoretischer Grundlagen für den Ablauf gewisser Funktionen unter normalen und krankhaften Bedingungen. Schultradition und langjährige Erfahrung fanden ihren Niederschlag auch in der Darstellung der methodischen Grundlagen für den pharmakologischen Arbeitsversuch überhaupt.

Schließlich erwähnen wir noch einige Arbeiten, die ein Thema behandeln, das gewöhnlich dem Aufgabenkreis der Gewerbehygiene zugewiesen wird, nämlich die Gesteinsstauberkrankung der Lunge. Wir griffen aber dieses Thema dennoch auf, weil eine nicht ganz unbegründete Hoffnung bestand, daß wir mit unseren Methoden an seiner Aufklärung mitwirken konnten.

KRAUT befaßte sich zunächst mit dem Kieselsäurehaushalt und fand, daß er bei der Staublungenkrankheit der Bergleute eine große Rolle spielt. Nach diesen Untersuchungen wird der Kieselsäuregehalt des Blutes von der Nebenschilddrüse reguliert und unter normalen Verhältnissen bei jedem Menschen auf einer für ihn charakteristischen Höhe gehalten. Durch die dauernde Einatmung von kieselsäurehaltigem Staub wird der Kieselsäuregehalt des Blutes verändert, so daß wir bei Staublungenerkrankten weit über dem normalen Durchschnitt liegende Blutkieselsäurewerte fanden. Damit ist erwiesen, daß bei dieser gefährlichen Berufskrankheit nicht nur eine mechanische Reizung der Lungen, sondern tatsächlich eine Änderung des Kieselsäurehaushaltes durch Auflösung von kieselsäurehaltigem Staub eintritt, die sicher mit der Erkrankung in ursächlichem Zusammenhang steht.

Von großer praktischer Bedeutung versprechen die Arbeiten zu werden, die LEHMANN über diese Erkrankung gemacht hat. Er ging von der Beobachtung aus, daß auch bei jahrzehntelanger Arbeitsdauer durchaus nicht alle Bergleute von dieser Erkrankung befallen werden. Es muß also ein dispositioneller Faktor eine Rolle spielen. Eine Untersuchung des natürlichen Staubfilters der Nase ergab nun bei gesunden Nasen eine außerordentlich große individuelle Verschiedenheit des Filtervermögens. Während gut filternde Nasen bis zu 70 % eines Staubes von 0,001—0,002 mm Korngröße zurückzuhalten vermag, lassen schlecht filternde Nasen 90 bis 95 % des Staubes hindurchgehen. Untersuchungen an mehr als 1000 Arbeitern aus Bergwerken und anderen silikosegefährdeten Betrieben

zeigten, daß die relativ früh und schwer erkrankten Arbeiter nahezu ausschließlich solche mit schlecht filternden Nasen sind, während diejenigen mit gut filternden Nasen auch bei sehr lange dauernder Arbeitszeit völlig gesund bleiben oder doch nur die leichtesten Erscheinungen im Röntgenbild erkennen lassen.

Die Beschäftigung mit Fragen der Entstehung der Lungensilikose gab uns die Anregung, die in diesen Betrieben mehrfach gebrauchten Staubmasken auf ihre Wirksamkeit zu untersuchen. Es stellte sich heraus, daß ein sehr großer Teil der im Gebrauch befindlichen Masken von dem feinsten und gefährlichsten Staub durchaus ungenügende Mengen zurückhält. Durch die Messung der Filterwirkung einerseits, des Atemwiderstandes andererseits waren wir in der Lage, der Industrie Richtlinien zu geben zur Herstellung besserer Masken. Auf diesem Wege ist es möglich geworden, heute bereits Masken herzustellen, die 90—95% des feinsten Staubes zurückhalten, ohne daß der Atemwiderstand auch bei schwerer Arbeit als lästig empfunden wird.

E. ATZLER.

## 28. Kaiser Wilhelm-Institut für Hirnforschung in Berlin-Buch.

Im „Handbuch“ sind die Ziele unseres Instituts auseinandergesetzt. Hier folgt eine Übersicht über die bisherigen Forschungsergebnisse.

Wir wenden uns zunächst *normalanatomischen* Befunden zu.

Diese beruhen auf erst allmählich erkannten anatomischen Grundtatsachen. Es gibt unerwartet viele funktionell differente *Nervenzellformen*. Dabei zeigt jede schon spezifische Unterschiede in Größe, Gestalt und größerem Bau ihrer im NISSL-Bild isoliert gefärbten *Zelleiber*. Die Zelleiber einer Nervenzellform sind an einen bestimmten Bezirk gebunden. Das führt zu ihrem massigen Auftreten an dieser Stelle und damit zu ihrer Erfäßbarkeit. Alles dieses wiederholt sich bei den langen markhaltigen Fasern. Ein besonderes Kaliber der Axone und ihrer Markscheiden sowie ein weitgehendes räumliches Zusammenliegen charakterisiert die Nervenfortsätze der einzelnen Nervenzellform. Diese Tatsachen haben nicht nur — wie wir sehen werden — zur Umgrenzung architektonischer Zentren geführt, sondern gestatten auch mit Hilfe von sekundären Degenerationen die Erfassung derjenigen Faserung, die ein Zentrum anderen zusendet, und damit den Ausbau einer *Fasersystematik*.

Wir versuchen nun zunächst, durch Aufdeckung von Unterschieden in den zu- und ableitenden Markfasern funktionell differente Gebiete voneinander zu trennen und gleichzeitig aus diesen Unterschieden ein Verständnis für die besonderen Funktionen anzubahnen. Wir stellten dabei fest, daß die im zentralen Album bis dahin unterschiedenen Strata (SACHS und J. und A. DEJÉRINE) sich in Unterabschnitte teilen lassen, die zwar ebenso wenig wie die Strata nur aus einer Faserart bestehen, aber eine spezifische Faserzusammensetzung aufweisen. Danach wurde eine fasersystematische Rindenaufteilung möglich, die weit über die derzeitige klinische Gliederung in etwa zwölf (reagierende und stumme) Zonen hinausging. Dieses wurde ferner ersichtlich aus unserer verfeinerten Kernaufteilung des Thalamus der Katze (1902) wie später auch noch aus der des Affen durch C. VOGT (myeloarchitektonisch 1908) und FRIEDEMANN (zytoarchitektonisch 1911). Ein erstes Ergebnis (1906, 1928) dieser Forschungsrichtung war die Feststellung fasersystematischer Differenzen zwischen vorderer und hinterer Zentralwindung beim Affen.

Daneben suchten wir nach anderen Wegen einer Zerlegung der Hirnrinde und subkortikaler Gebiete. Wir begannen mit der *myelogenetischen* Methode. Sie hat uns stark enttäuscht. Dagegen stellte die *architektonische* bald unerwartete Ergebnisse in Aussicht. Es hat sich deshalb die normalanatomische Forschung unseres Instituts bis jetzt ganz auf diese konzentriert.

Die *Architektonik* untersucht im Gegensatz zu der feinere Einzelheiten studierenden *Histologie* die bei schwacher Vergrößerung (bis zu 200:1) sichtbaren Bauverhältnisse nervöser Bezirke. Innerhalb der Architektonik studiert die *Zytoarchitektonik* die einschlägigen Verhältnisse der Nervenzelleiber, die *Myeloarchitektonik* die der in WEIGERT-Präparaten elektiv gefärbten Markfasern.

Von der Hirnrinde wußten wir schon lange, daß sie aus übereinander gelagerten Schichten mit ungleich zahlreichen und different gebauten Zelleibern und Markfasern besteht. Auch waren manche örtlichen Differenzen in der Zahl, der Breite und der Zusammensetzung der Schichten bekannt geworden (BETZ, HAMMARBERG u. a.).

Die einschlägigen Arbeiten des Instituts setzten mit einer zytoarchitektonischen Orientierung durch BRODMANN und O. VOGT (1902—03) ein. Als diese unerwartet viele und starke Struktur-differenzen aufdeckte, wurde BRODMANN bis zu seinem Ausscheiden (1909) die Zytoarchitektonik überlassen. Wir selbst übernahmen die Funktionsprüfung der zytoarchitektonischen Rindendifferenzen. Beide Forschungsrichtungen strebten nach einer breiten *vergleichenden* Basis. 1908 begann O. VOGT seine myeloarchitektonischen Studien an der Hirnrinde, C. VOGT ihre am Thalamus. Später haben wir Zyto- und Myeloarchitektonik vereinigt betrieben, uns aber auf Mensch und Affen beschränkt. Statt dessen hat M. ROSE 1926—29 ausgesprochen vergleichend-architektonisch gearbeitet. Außerdem waren an der architektonischen Forschung beteiligt: ALOUF, BECK, BIELSCHOWSKY, COBB, DOINIKOW, FLORES, FRIEDEMANN, GERHARDT, KLEMPIN, KNAUER, KORST, KRAHMER, KREHT, MAUSS, NGOW YANG, PINES, PREDÁ, J. POPOFF, N. POPOFF, RIEGELE, ST. ROSE, M. VOGT und ZUNINO sowie in dem von O. VOGT eingerichteten Moskauer Hirnforschungsinstitut FILIMONOFF, SAPIR und SARKISSOW.

Die Rindenarchitektonik unserer Tage arbeitet an zwei Problemen: der Gegenüberstellung großer Rindenterritorien von sehr differentem Bau und der Rindenzerlegung in viele *Felder* unter Berücksichtigung auch geringer Verschiedenheiten.

In bezug auf die erste Fragestellung fand BRODMANN, daß der Hauptteil der Hirnrinde in der Ontogenie ein identisches sechsschichtiges (BRODMANN vernachlässigte unsere 7. Schicht) Stadium durchmacht. Diesem *homogenetischen* Rindenteil stellte er die schon in ihrer Anlage andersgeschichtete *heterogenetische* Rinde gegenüber. O. VOGT zeigte zu einer Zeit, wo wegen ungenügender Kenntnis der Ontogenie der einzelnen Rindengebiete BRODMANNs Einteilung praktisch nicht durchführbar war, eine sofort mögliche *territoriale* Gliederung auf Grund der Zahl der Radiärfasern in den äußeren Rindenschichten, und zwar in den *suprardiären Allokortex*, den — nach ROSEs späteren Feststellungen mit BRODMANNs homogenetischer Rinde zusammenfallenden — *eu- und medioradiären Isokortex* und den *infradiären Mesokortex*. ROSE hat dann später ontogenetisch den Hauptteil des Allokortex in *Semikortex*, *Schizokortex* und *Regio Ammonis* gegliedert und das retrospleniale Gebiet mit O. VOGTs Mesokortex vereinigt.

BRODMANNs zytoarchitektonische *Rindenfelderung* erreichte 1909 beim Menschen ihren Abschluß in der Unterscheidung von reichlich 50 Feldern oder Areae. O. VOGT deckte bald nachher ca. 200 myeloarchitektonische auf.

In den folgenden Jahren überzeugte sich O. VOGT dann davon, daß analog der Übereinstimmung zwischen C. VOGT's myeloarchitektonischer und M. FRIEDEMANN's zytoarchitektonischer Gliederung des Zwischenhirns des Affen „jede der von ihm unterschiedenen myeloarchitektonischen Areae auch ihre besondere Zytoarchitektur hat“. Ferner erkannten wir in Erweiterung von Befunden E. SMITH's (1907) und unseres Mitarbeiters MAUSS's (1908) das Bestehen ursprünglich nicht erwarteter und beachteter *scharfer Grenzen* zwischen allen unseren Feldern. Endlich gelangten wir mit zunehmendem Eindringen in die baulichen Eigenheiten der einzelnen Felder zu der Aufdeckung einer auf selbständigem Variieren der einzelnen Schichten und auch der Radiärfasern beruhenden *Vielheit* der arealen Besonderheiten. Schon 1919 konnten wir für einige Felder Besonderheiten in *allen* Schichten und ihr gemeinsames Auftreten an der Grenze nachweisen. 1927 gab O. VOGT neue Beispiele. 1928 erhob M. VOGT diesen Befund an den vier Feldern 67, 69, 70 und 71 der hinteren Zentralwindung. Seitdem konnte das Institut ihn für so viele Areae bei Mensch und Tier nachweisen, daß wir heute diese Eigentümlichkeit als Grundlage für die areale Abtrennung eines Rindengebietes annehmen können.

Haben nun die arealen Besonderheiten der funktionell differenten Schichten eine wesentliche *funktionelle* Bedeutung?

Unsere Funktionsprüfungen haben wir immer mehr auf Rindenreizungen an Affen und speziell an Meerkatzen beschränkt. Wir fanden bei diesen bis 1918 vierzehn qualitativ und dann noch neun quantitativ ungleich reagierende Rindenfelder. Später deckten BARANY, C. VOGT und O. VOGT zusammen (1923) und M. VOGT (1933; nunmehr mittels genau und bequem eichbarer Sinusströme unter Benutzung TÖNNIESScher Apparate) durch Verbindung von Reizung und Ohrspülung die *qualitative* Differenz vieler Augenbewegungen (für die Felder 8 + 9c + 9d, 6a $\beta$  + 9a, 5b, 17–19 + 7a + 7b und 22) auf. Alle diese Felder zeigten nun zu unserem größten Erstaunen *scharfe* Grenzen. Weiter zeigte jedes derselben eine besondere Zytoarchitektur. Und diese war dabei scharf auf das physiologische Feld begrenzt. Ferner ergaben die architektonisch gleichgebauten (äquivalenten) Felder anderer Tiere die gleichen Reizerfolge. M. VOGT fand später für die Felder 3a + 3b, 4 und 6a $\alpha$  der Katze dasselbe. Dabei haben wir vielfach für Reizfelder die Architektur und für architektonische Felder die Reizerfolge vorausgesagt. Wir haben dann 1926 die vierzehn qualitativ und noch drei quantitativ besondere Felder architektonisch beim Menschen umrissen. Gleichzeitig stellte O. FOERSTER seine Reizergebnisse am Menschen zusammen. Ein Vergleich ergab dann unter Berücksichtigung einiger späterer Ergänzungen FOERSTER's, daß FOERSTER von jedem der Felder die gleiche Reaktion erzielt hatte, die uns der Affe ergab. Nur zeigten die BRODMANN'schen Felder 17 und 18 beim Menschen keine Augenbewegungen. Es war so der Gegensatz zu der Area 19 beim Menschen noch größer. Diese Übereinstimmung von Erwartung und Befund bestätigt den physiologischen Wert auch der menschlichen architektonischen Felder wie zugleich den der vergleichenden Forschung für den Menschen.

In den letzten Jahren haben KORNMÜLLER und TÖNNIES die „elektrobiologische“ Methode durch Auffindung von elektrischen „Feldeigenströmen“ zu einer neuen Erkenntnisquelle für physiologische Differenzen der Hirnrinde ausgebildet. Auch diese Forschungsrichtung führt zu einer arealen Gliederung, die sich haarscharf mit architektonischen Feldern deckt. KORNMÜLLER hat ferner im primitiven Sehzentrum (Area striata) durch Beleuchtung Aktionsströme mit scharfer arealer Begrenzung hervorgerufen. Er konnte in analoger Weise ein primitives Hörfeld von besonderer Architektonik abgrenzen, das mit einem von C. VOGT (1900) myelogenetisch aufgedeckten und als primitives Hörfeld gedeuteten zusammenfällt. Außerdem hat TÖNNIES als erster unipolare Enzephalogramme vom Menschen aufgenommen. Daneben ausgeführte Studien über Beeinflussung der Hirnströme durch Narkotika und über „Krampfströme“, an denen auch GOZZANO teilnahm, zeigen die Bedeutung dieser Methode auch für wichtige Einblicke in die zerebralen Erregungs- und Leitungsverhältnisse.

Gewiß kann keines der bisherigen physiologischen Experimente die Beteiligung der *ganzen* Rindendicke an den beobachteten Funktionsäußerungen nachweisen. Wir müssen aber doch auf laminäre Besonderheiten der einzelnen Areae die physiologischen Differenzen zurückführen. Andererseits drängt uns der oben erwähnte omnilaminäre Charakter der architektonischen Besonderheiten dazu, in ihm eine Anpassung aller Schichten an eine gemeinsame Funktion zu erblicken. Er läßt so die ganze Rindendicke in der Ausdehnung der gleichen Architektonik als ein von seiner Umgebung abgegrenztes *Elementarorgan* (2. Ordnung gegenüber den Schichten) erscheinen und gibt den bisher überzeugendsten Hinweis auf die Existenz einer wirklichen, d. h. die ganze Rindendicke einbeziehenden *Rindenfelderung*. Diese Auffassung steht dabei in vollem Einklang mit 1. dem unerwarteten Gebundensein auch vieler streckenweise horizontal verlaufenden Fasern an das jedesmalige Feld, wie aus den quantitativen und qualitativen Schwankungen der Horizontalfaserungen an den Feldergrenzen hervorgeht, und 2. der durch GOLGI-Bilder schon lange erwiesenen Tatsache, daß die meisten Plasma- und auch viele Nervenfortsätze der Zellen eines Feldes in diesem endigen.

So zerfällt die menschliche Großhirnrinde in ca. 200 Elementarorgane 2. Ordnung. Jedes besteht aus durchschnittlich 10 Schichten und Unterschichten mit speziellen Funktionen. Und die einzelne Schicht enthält neben einer oder zwei Hauptzellarten noch einige Nervenzellarten von anderer Funktion. Wir stellen diesen Befund der Behauptung gegenüber, daß wir gar kein genügend differentes morphologisches Äquivalent für die ungeheuere Mannigfaltigkeit unseres Seelenlebens hätten und deshalb das Suchen nach einem materiellen Substrat der seelischen Vorgänge a priori abzulehnen sei.

Schon früh mußte sich uns die Frage nach den Beziehungen zwischen der *arealen* und der *gyralen* Großhirngliederung aufdrängen, hatte man doch in den Windungen vielfach Elementarorgane gesehen und bisher in der klinisch-anatomischen Forschung die Herde und Verletzungen auf die Windungen bezogen! Im *einzelnen* Gehirn bilden bald sehr ungleich

gebaute Felder eine Windung, bald mehrere Windungen oder Abschnitte derselben eine areale Einheit. Die Windungen sind also nicht als Elementarorgane anzusehen. Dabei schwanken die Beziehungen zwischen Feldern und Windungen von Gehirn zu Gehirn beträchtlich. Letztere müssen deshalb für die Topik grober Rindenverletzungen ausscheiden. Wir sind dabei — mit G. WETZEL — durchaus der Ansicht, daß die individuelle Furchung durch die Gestaltung der einzelnen Rindenfelder bedingt ist, also zwischen gyraler und arealer Gliederung eine feste Beziehung besteht. Wir erwarten auch — bei der allgemeinen Einschränkung der Variationsformen (vgl. später!) — nicht jede beliebige Gestaltung der einzelnen Rindenfelder, sondern nur bestimmte. So dürften sich feste Beziehungen zwischen Furchung und Felderung familiär und wohl auch rassenmäßig wiederholen. Aber darüber wissen wir vorläufig nichts.

Zum Schluß dieses Abschnittes noch ein Wort über die Ergebnisse unserer myelogenetischen Studien.

FLECHSIG glaubte (1894) große spätmarkreife Rindenterritorien als spezifisch menschliche und der Projektionsfasern entbehrende *Assoziationszentren* den frühmarkreifen *Sinneszentren* gegenüberstellen zu können. O. VOGT wies 1898 bei der Katze die Existenz einer Markreifung nach, die der des Menschen im Prinzip gleicht. C. VOGT brachte 1900 eine ausführlichere Darstellung, die zugleich auf Hund, Kaninchen und Mensch ausgedehnt war. Die Richtigkeit ihres Schlusses auf eine Äquivalenz der frühmarkreifen Gebiete bei den verschiedenen Tieren und bei Tier und Mensch wurde später vollauf durch andere eigene und fremde Befunde (BRODMANN, KORNMÜLLER u. a.) bestätigt. Dagegen gibt die Myelogenie bei ihrem allmählichen Fortschreiten keinen Anhaltspunkt, spezifisch menschliche Bezirke in den spät markreifen Gebieten abzugrenzen. Diese (insbesondere das frontale) sind indessen beim Menschen gegenüber den frühmarkreifen relativ größer. Ihre Ausdehnung wie auch ihr weitgehendes Zusammenfallen mit den oben erwähnten stummen Zonen lassen sie — wenigstens vornehmlich — als Zentren „höherer“ Funktionen erscheinen. Ihre spezielle fasersystematische Charakterisierung durch FLECHSIG erwies sich dagegen wieder als falsch. Bei Tier und Mensch sind so lange Gebiete der inneren Kapsel marklos, als es solche in der Rinde gibt. Und zwar sind es diejenigen, die sekundären Degenerationen zufolge die Projektionsfasern der noch marklosen Rindengebiete enthalten.

FLECHSIG hatte gleichzeitig myelogenetisch auch eine *Felderung* vorgenommen. Diese stützt sich vornehmlich auf Reifungsprozesse *unterhalb* der Rinde. Sie kann deshalb zu scharfen Abgrenzungen innerhalb des Cortex gar nicht führen. Sie vermag erst recht nichts über die wirkliche Feldernatur der myelogenetischen „Felder“ auszusagen. Im übrigen enthält die Myeloarchitektonik auch das myelogenetische Moment. Konnten wir doch für Kaninchen, Karnivoren und Mensch einen Parallelismus zwischen Reifungsbeginn und definitivem Markreichtum der 3.—7. Rindenschicht nachweisen und wurde dieser später von FLORES auch noch für den Igel (*Erinaceus*) aufgedeckt! Endlich müssen wir aber noch feststellen, daß die Myelogenie überhaupt nicht generell der geeignete Weg zur Aufdeckung der Rindenfelder ist. Sie trennt einerseits so verschiedene Felder wie die der vorderen und hinteren Zentralwindung nicht voneinander (FLECHSIGs Feld 2), und sie reißt andererseits verwandt gebaute Gebiete, wie z. B. die Felder des infraradiären Mesokortex, auseinander.

Ehe wir uns nun dem *Variieren* zerebraler Gewebselemente zuwenden, seien einschlägige Hinweise aus den Ergebnissen der *Genetischen Abteilung* geschildert. Letztere will die für die Hirnforschung empfindlichen Lücken in den bisherigen Feststellungen zoologischer Systematiker und Genetiker ausfüllen, und zwar vornehmlich in bezug auf die *Manifestierung* von Variationsfaktoren. Diese ist für uns aus drei Gründen besonders bedeutungsvoll. 1. bildet sie ja die zerebralen Bedingungen unseres individuellen Seelenlebens, 2. kann beim Menschen fast nur aus ihr auf die Artung beteiligter Erbfaktoren geschlossen werden (experimentelle Genanalysen fallen naturgemäß beim Menschen fort), und 3. ist ihre willkürliche Beeinflussung ein künftiger Weg medizinisch-prophylaktischen Handelns.

Einerseits wurde das *natürliche* Variieren einiger Insektengruppen analysiert (O. VOGT, SCHILDER, KRÜGER, ZARAPKIN, REINIG, MODEREGGER) und andererseits experimentell an *Drosophila* (N. W. TIMOFÉEFF, H. A. TIMOFÉEFF, ZARAPKIN), an der bequem aufzubewahrenen, so nachkontrollierbaren und gleichzeitig geographische Variationen zeigenden Coccinellide *Epilachna chrysolina* (KLEMM, H. A. TIMOFÉEFF, TENENBAUM, ZIMMERMANN) und an Mäusen (ZIMMERMANN) gearbeitet.

Wir beginnen mit der *Variationseinheit*, d. h. dem *Umfang* der Änderung eines Individuums durch *einen* Variationsfaktor. Die Abweichung ist nach allen Erfahrungen unseres Instituts — im Gegensatz zur Ganzheitslehre — stets eine auf Körperteile begrenzte. Andererseits zeigte tieferes Eindringen in monofaktorielle Variationen immer mehr, daß die Veränderung häufig *mehrere* Körperstellen befällt, und zwar unter Umständen ganz verschiedene Gewebe solcher Organe, die in keiner engeren funktionellen Beziehung zueinander stehen. Demnach kann ein Variationsfaktor innerhalb des Gehirns ganz verschiedene Funktionen und damit auch ganz differente Seiten der seelischen Persönlichkeit ändern, eine Tatsache, von der auch eine prognostisch-klassifikatorische Ziele verfolgende Psychologie ausgehen muß. In anderen Fällen kann ein Variationsfaktor äußerliche und innere Veränderungen hervorrufen. Dann zeigen die äußeren die inneren an. Dadurch wird der Ausbau einer Physiognomie auch für zerebrale und seelische Eigenheiten möglich. Es können ferner äußerliche indifferente Abweichungen durch ihre Verknüpfung mit selektiv wertvollen inneren indirekt selektioniert werden. Diese Tatsache kann dazu beitragen, die Naturzüchtung wieder in das richtige Licht zu setzen, und dadurch auch die Eugenik beeinflussen.

Die Variationseinheiten sind dadurch bedingt, daß auf den einzelnen Variationsfaktor nur bestimmte Gewebe reagieren. Diese bilden seinen *Wirkungskreis* (ROKIZKYs *Wirkungsfeld* ist der gleichsinnig reagierende Unterabschnitt). Verschiedene Gewebe können dabei ausgesprochene Abstufungen der Ansprechbarkeit zeigen. Diese erweisen sich immer mehr als erblich so festgelegt, daß die Manifestierung ausgesprochen gerichtet, d. h. *eunomisch* ist. Dabei kann die Reaktionsform der beeinflussten Gewebe ungleich sein. Häufig gibt es aus mehreren Wirkungskreisen oder Genotypen *zusammengesetzte* Eunomien. Das zeigt sich darin, daß zwischen den ähnlichen Varianten benachbarter Genotypen ein Sprung oder eine nur schwache Transgression besteht. Dieser Befund läßt nicht nur bei fortschreitenden Krankheiten, sondern auch bei stationären Hirnvariationen nicht einen fließenden, sondern einen stufenmäßigen Übergang vom Normalen über das Anormale zum Pathologischen erwarten. Folgen der Eunomien sind ferner ein — früher verkanntes — viel gesetzmäßigeres und deshalb auch vorausbestimmendes Lokalisiertsein der Variationen wie deren größere Einförmigkeit. Diese wird dann noch durch oft weitgehende Deckung der Wirkungskreise gesteigert.

Aber auch die *Reaktionsformen* sind gegenüber den theoretisch denkbaren sehr eingeschränkt. Bei unseren *Epilachnen* zeigte sich niemals ein überzähliger 7. Flügelfleck, obwohl kleinere Coccinelliden normal ein Vielfaches an Flecken aufweisen. Bei den Hummeln variiert besonders die Farbe der Haare. Aber es fehlt trotzdem Grün und Blau.

Diese vielen Einschränkungen der Variabilität bedingen die häufige Ähnlichkeit verschiedener Variationskreise. So entstehende *Variationsgruppen* können durch Erb- und Außenfaktoren (*idiosomatische V.*) oder wenigstens durch verschiedene Genmutationen (*idiogene V.*) bedingt sein. Das tiefere Eindringen in solche Gruppen zeigt aber zunehmend Besonderheiten für die einzelne Ätiologie. Diese können die Gestaltung des „Hauptmerkmals“ oder des Wirkungskreises betreffen. Für die klassifizierende Hirnforschung bedeuten diese Befunde die Rechtfertigung einer anfänglichen Umgrenzung größerer Gruppen und die Aussicht auf ein allmähliches Vordringen zu Variationseinheiten, wie denn ZIMMERMANN in seiner als Parallele für unsere entsprechenden Untersuchungen am Menschen — auch zum Zweck künftiger prophylaktisch-therapeutischer Experimente — angestrebten Verbindung genetischer, klinischer und anatomischer Analyse erblicher Hirnkrankheiten der Mäuse zwei verschiedene Erbfaktoren für Hydrozephalie und drei für choreaähnliche Erkrankungen aufgedeckt hat.

Worauf beruht nun die Lokalisation des Wirkungskreises und seiner Reaktionsformen? Die einzelnen Borsten des Kopfes und des Thorax der Genovariation *Polyphaen* der *Drosophila funebris* besitzen ihre besondere Variabilität (H. TIMOFÉEFF). Jede von sieben Genmutationen verändert den 3. Flügelfleck der *Epilachna* in spezifischer Weise (TENENBAUM). Diese Gebundenheit der Wirkung an kleinste Elementarorgane muß auf diejenigen Strukturverhältnisse zurückgeführt werden, die das betreffende Organ im Augenblick seiner formativen Beeinflussung darbot. Die strukturell bedingte Variationsneigung bezeichnen wir als *Klise* und unterscheiden eine gesteigerte Anfälligkeit mit verschiedener Reaktionsweise, z. B. die des Flügels der *Drosophila funebris* (N. und H. TIMOFÉEFF), als *generelle*, eine solche mit ähnlicher Reaktionsform wie die bei *D. funebris* zum Abdomen anormale (N. TIMOFÉEFF) führende als *spezifische* und eine Reaktionsneigung auf einen bestimmten Faktor mit singulärer Reaktionsform als *spezielle Klise*. Bei einigen Coccinelliden [z. B. *Epilachna chrysolina* (TENENBAUM, ZIMMERMANN), *Anatis ocellata* und *Neomysia oblongoguttata*] treten dunkle Flecke nur an solchen Stellen (sog. Ocellen) der Flügeldecken auf, die schon durch helle Färbung ihren besonderen Bau kundgeben. Eine Verbindung von Flecken hat eine Vereinigung der Ocellen zur Voraussetzung. Hier haben wir also das geforderte „Vormuster“. Wir werden später sehen, daß die Hirnforschung diese Anschauungen weitgehend stützt.

Wir kommen nun zu speziellen Arbeitsgebieten N. TIMOFÉEFFs. Die Lehre von der Übertragung der Gene stützt sich bekanntlich auf Schlüsse aus Phänotypen. Diese Schlußfolge setzt eine stetige und annähernd identische Manifestierung des einzelnen Gens voraus. Sich anders verhaltende Gene wurden weitgehend außer acht gelassen. Das war für eine beginnende Erforschung der Genenübertragung selbstverständlich. Die Aufdeckung der Vererbungsverhältnisse einer Tierspezies hat dagegen auch die infolge Einwirkung anderer Gene oder besonderer Außenfaktoren sich inkonstant manifestierenden *schwachen* Gene zu berücksichtigen. Die

Inkonstanz kann die *Penetranz* (Durchschlagskraft), die *Expressivität* und die *Spezifität* (N. TIMOFÉEFF) betreffen. Die erstere kann so sinken, daß das Vorliegen einer Erbllichkeit zweifelhaft wird. Die Expressivität betrifft Ausdehnung des Wirkungskreises, Manifestierungsstärke seiner einzelnen Elemente und — wir kommen darauf zurück — die Zeit der Manifestierung. Zur Spezifität gehören Zusammensetzung und Anfälligkeitsabstufungen des Wirkungskreises (*topische Spezifität*) und seine Variationsformen (*morphologische Spezifität*). Besonders interessant ist die Tatsache, daß einzelne Gene eine Über- und eine Unterentwicklung auslösen können (*polare Spezifität*). Schwache Gene ermöglichen prophylaktische Eingriffe.

Ferner hat N. TIMOFÉEFF *Harmoniestudien* unternommen. Die „großen“ (wirkungsstarken) Mutationen stören meist lebenswichtige Funktionen. Der Gegensatz des Art- und Rassenkeimplasmas ist demnach so ausbalanciert, daß er zu einer harmonischen Entwicklung der Organe führt. Diese Harmonie kann als *spezielle* bestimmten Lebensbedingungen angepaßt oder als *generelle* so vital sein, daß sie den Lebensraum erweitert. Einen indirekten (stigmatischen) Ausdruck solcher Harmonien sehen wir in dem ZARAPKINSchen Befund, daß verschiedene Populationen der *Epilachna chrysolina* durch das Vorherrschen einer bestimmten Größenanordnung der einzelnen Flecke charakterisiert sind. Danach ist mit der Möglichkeit zu rechnen, daß auch die menschlichen Rindenfelder sippenweise solche Größenbeziehungen zeigen. Im übrigen sei auf die Bedeutung einschlägiger Studien für die Selektionslehre hingewiesen und die vitale Harmonie als „der geeignetste Ausgangspunkt für eine auf *Messung* beruhende Umgrenzung des Pathologischen“ und Krankhaften hervorgehoben. Jede Variation, die zur Störung der Harmonie führt, ist eine *krankhafte*. Sie ist eine *pathologische*, wenn die Störung nur infolge kompensatorischen Eintretens anderer Organe unterbleibt oder schwindet.

N. TIMOFÉEFF machte endlich noch eingehende strahlengenetische Untersuchungen. Diese führten zur Klärung der Strahlenwirkung auf die Gene und so zu physikalischen Vorstellungen über die Natur des Mutationsvorganges und der Genstruktur. Quantitative Untersuchungen des Mutationsprozesses zeigten dabei eine — auch eugenisch wichtige — Vitalitätsherabsetzung der meisten Mutanten. Endlich ergaben sich auch Klisenerscheinungen im gesamten Mutationsprozeß einer Art.

Außerdem wurden von ZARAPKIN biometrische Methoden zur Erfassung der Blutsverwandtschaft tierischer Sippen ausgearbeitet und von STRASBURGER Vorarbeiten für eine pathologische Anatomie der *Drosophila* zur Abfassung einer Einführung in ihre Anatomie benutzt.

Kehren wir nun zur Hirnforschung zurück!

Von Gehirn zu Gehirn sehen wir Schwankungen in der Ausdehnung der einzelnen Rindenfelder und -schichten. Das primitive Sehfeld, die *Area striata*, zeigte bei einem „Intellektuellen“ mit außergewöhnlich geringem Orientierungsvermögen und großer Gleichgültigkeit gegenüber optischen Eindrücken fast nur den halben Durchschnitt an Ausdehnung (KORST und N. POPOFF) und Volumen (GERHARDT und KREHT). Bei besonderer Größe eines Rindenfeldes sind oft die benachbarten besonders klein. Wir sehen so feldbegrenztes Variieren in Verbindung mit jener

negativen Korrelation, der wir bei den Größenschwankungen der Flecken der Epilachna begegneten. Und dasselbe gilt für die Rindenschichten. So hatte eine Asoziale die *III.* Schicht stark verschmälert, dafür aber die *IV.* verbreitert. Zeigt eine „noch nicht pathologische Persönlichkeit“ schon so faßbare Abweichungen, so dürfen wir in den folgenden pathologischen Fällen mit noch größeren rechnen.

Wir beschränken uns hier hauptsächlich auf Feststellungen am *striären System*, da sie als *Modell* für die Leistungen einer genügend vertieften genetisch-anatomisch-klinischen Forschung dienen können. Galten die striären Erkrankungen doch noch vor 30 Jahren bei hervorragenden Neurologen als „funktionell“, d. h. anatomisch nicht faßbar und auch noch später viele ihrer Formen als nicht erblich.

Die Untersuchungen wurden hauptsächlich von C. Vogt durchgeführt. Nach Errichtung des Bucher Instituts erfuhren sie durch Aufnahme vieler einschlägiger Kranker in unsere Klinik und besonders durch eingehende Erbllichkeitsforschungen Patzigs wichtige Ergänzungen. Zuvor lieferte Bielschowsky einige — vornehmlich histologische — Beiträge, wie dessen zahlreiche normal- und pathohistologische Arbeiten für andere Krankheitsgruppen bedeutungsvoll sein werden.

Die vier architektonischen Elementarorgane, das aus *Caudatum* und *Putamen* bestehende *Striatum*, das *Pallidum*, das *Luysanum* und das *Nigrum* (auf dessen Unterteilung hier nicht eingegangen werden kann) bilden durch ihre enge Faserverbindung das striäre System.

Parallel ihrer verschiedenen Architektur führt die Erkrankung jedes dieser Grisea zu einem *eigenen klinischen Bild*: die des *Striatum* zu unwillkürlichen Bewegungen, z. B. Veitstanz (Chorea), die des *Pallidum* zu Versteifung, die einseitige des *Luysanum* zu besonders starken Bewegungen und die des *Nigrum* zu einer besonderen Form von Versteifung und Zittern: dem PARKINSONSchen Syndrom (sog. Schüttellähmung).

Die Zellverknüpfungen im *Striatum* weisen auf seine ausgesprochen koordinierende Funktion hin. Diese gilt dem *Pallidum*, da die das *Striatum* verlassenden Nervenfasern hier endigen. So werden die unwillkürlichen Bewegungen bei Zerstörung des *Striatum* durch Fortfall der Zügelung des *Pallidum* verständlich: ein Beispiel der *Klärung der Funktion* durch Aufdeckung der Stellung der Nervenzellen im zerebralen *Leitungssystem*.

Diese verschiedenen Grisea zeigen nun aber auch eine *ungleiche pathologische Variabilität*. So reagiert das *Striatum* speziell auf Metalues, das *Pallidum* auf Erstickung und das *Nigrum* auf Encephalitis lethargica. Das *Striatum* hat ferner in den Markflecken des Status marmoratus auch eine den anderen Grisea fremde Variationsform. Außerdem beginnen die WILSONSche Krankheit und alle striär-choreatischen Erkrankungen in ihm. So bekundet es eine generelle Pathoklise, während seinem ätiologisch nicht einheitlichen Status marmoratus eine spezifische Pathoklise zugrunde liegt. Aus der Variationsgruppe Status dysmyelinisatus des *Pallidum* können wir wenigstens heute schon auf Grund seines besonderen Wirkungskreises (*Pallidum* + *Dentatum*) den BOSTROEM-SPATZSchen Fall (später ist noch ein Geschwister erkrankt) herausheben. Das Krankheitsbild

wurde nämlich nicht durch die von den beiden Autoren gefundene Dentatumdegeneration, sondern durch einen Status dysmyelinisatus des Pallidum beherrscht. Für die STERTZ-ENTRES-SPIELMEYERSchen Fälle, in denen an Stelle der sonst in der Familie vorkommenden Chorea Versteifung auftrat, konnten wir das frühzeitige Mitergriffensein des Pallidum nachweisen. So erklärt sich die Änderung des klinischen Bildes. Erbbiologisch handelt es sich um Ausdehnung des Wirkungskreises auf das Pallidum oder Änderung der Abstufung der Anfälligkeit, mag dieses nun auf Neumutation des Choreaallels oder auf einem modifizierenden Faktor beruhen.

Endlich ist uns für das *Striatum* eine Aufdeckung gelungen, deren Möglichkeit O. VOGT schon 1927 voraussagte: die Änderung der normalen Klise oder Disposition in eine gesteigerte *Prädisposition* durch eine mit *Unterfunktion* verbundene *Unterentwicklung*. So fanden wir in einer Familie zwei unterentwickelte Striata, in der diese Unterentwicklung nach PATZIG auf einem dominanten starken kleinen Allel beruht und sich in einer stationären rudimentären Chorea äußert. Ein an progressiver Paralyse erkranktes Familienmitglied zeigt hauptsächlich eine progressive Chorea, leidet also vorwiegend an einer Striatumparalyse, bei der uns die Unterentwicklung des Striatum als ortsbestimmender Faktor gilt. Eine Angehörige einer Chorea minor-Familie (HOCHHEIMER) machte mit 9 Jahren eine Chorea minor durch. Wir finden an der Oberfläche des unterentwickelten Caudatum eine schmale markfaserlose Narbe mit nach innen anschließendem Markfleck als Residium eines durch eine Noxe aus der Zerebrospinalflüssigkeit veranlaßten Entzündungsprozesses. Wir nehmen an, daß manche Menschen dieselbe Infektion durchmachen. Das Caudatum erkrankte hier aber wegen seiner durch die Unterentwicklung gesteigerten Anfälligkeit. In einem ebenfalls eine Unterentwicklung des Striatum zeigenden Fall von Chorea minor konnte PATZIG — wie in zwei weiteren, anatomisch nicht untersuchten Fällen — sogar eine striäre Belastung von beiden Eltern nachweisen. Endlich fanden wir diese Unterentwicklung des Striatum auch in einem erblich noch nicht geprüften Fall von Chorea gravidarum.

Weitere Untersuchungen dürften für die HUNTINGTONSche Chorea einen ähnlichen Ausgangspunkt aufdecken, d. h. ein unterentwickeltes Striatum als Basis für den späteren Zelluntergang und parallel damit eine rudimentäre Chorea als prämorbidem Zustand der progressiven Chorea. Damit würden wir die eugenisch so wichtige Möglichkeit gewinnen, die erblich Belasteten in HUNTINGTON-Familien vor der Pubertät zu erkennen. In dieser Auffassung werden wir durch Befunde bei der Paralysis agitans bestärkt. Wir fanden in 3 Fällen einen Zelluntergang in einem unterentwickelten Nigrum. In allen 3 Fällen lag Vererbung vor. In einem der 3 Fälle gab der Patient einen prämorbidem Tremor an, in einem anderen fand PATZIG bei Angehörigen eine stationäre rudimentäre Form.

PATZIG hat dabei aus dem „Topf“ der HUNTINGTONSchen Chorea genetisch verschieden bedingte Krankheitsbilder ausgesondert und für eine frühzeitig auftretende Erkrankung (sog. Anteposition, Steigerung der

temporären Expressivität) die Belastung durch eine Chorea gravidarum des anderen Elter nachgewiesen.

PATZIG hat endlich auch in Familien striär schwer Erkrankter anderer Art viele Angehörige mit leichteren Symptomen gefunden.

Wir müssen nach allen diesen Feststellungen PATZIGs annehmen, daß wir es vielfach mit dominanten schwachen Genen oder Kombinationen dominanter starker kleiner Mutationen (Mikroallele) zu tun haben, wo man bisher rezessive Gene annahm. Die große eugenische Bedeutung dieser Tatsache liegt auf der Hand.

Alle diese Befunde am striären System zeigen das, was wir von einer entsprechenden Erforschung pathologischer Variationen anderer nervöser Zentren und so auch speziell der Rindenschichten erwarten dürfen. Wir wollen hier nur eine Felder- und eine Schichtenklise kurz berühren.

Im Ammonshorn können vier scharf gegeneinander abgegrenzte Felder,  $h^1$ ,  $h^2$ ,  $h^3$  und FD, unterschieden werden. Wir besitzen eine ganze Reihe von Fällen einer „ischämischen Zellerkrankung“ oder paralytischer Zelluntergänge von  $h^1$ , die scharf an der Grenze zwischen  $h^1$  und  $h^2$  aufhören. Auch in RANKEs Fall endigt entsprechend unserer Nachuntersuchung die eigenartige Zellerkrankung an dieser Grenze. Dasselbe gilt von einer „rein degenerativen“ Zellerkrankung des  $h^1$  bei einer HUNTINGTONSchen Chorea. Das stets plötzliche Aufhören des Krankheitsprozesses an einer Feldergrenze ist nur durch einen strukturell bedingten, ortsbestimmenden Faktor zu erklären.  $h^1$  zeigt also eine generelle Pathoklise. Bei Fortschreiten des Prozesses überspringt dieser  $h^2$  und befällt  $h^3$ . Wir haben hier also die Eunomie  $h^1-h^3-h^2-FD$ . Andererseits zeigen bei einer amaurotischen Idiotie die Zellen aller vier Felder die über das ganze Gehirn verbreitete, für die amaurotische Idiotie typische Auftreibung der Zelleiber. Aber nur die Zellen von  $h^3$  und  $h^2$  sind meist zugrunde gegangen. Der Zelluntergang reicht bis an  $h^1$  heran. Wir haben also eine Eunomie  $h^3-h^2$ .

Und jetzt noch ein Beispiel von Rindenschichten! Bei elektrischen Rindenreizungen kommt es häufig zu Blutungen. Das Blutserum löst dann die Nervenzellen auf. Die Zellen der einzelnen Schichten widerstehen nun aber ungleich lange. In der Area occipitalis erkranken zuerst die Zellen der *III*, dann die der *V*. In der Area striata verschwinden zunächst auch Zellen der *III*, dann aber solche der *IVb $\alpha$* . Bei einer encephalitischen Erkrankung dieses Feldes beobachteten wir dagegen die Eunomie *VII-Vb-IVb $\alpha$* .

Wir begegnen also ungleichen Schichteneunomien in verschiedenen Feldern bei der gleichen Noxe und differenten in demselben Feld bei ungleichen Schädigungen.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch erwähnt, daß M. VOGT und F. VEIT mit Unterstützung der Rockefeller Foundation unsere Chemische Abteilung durch eine Versuchsserie eröffneten, derzufolge die verschiedensten reversiblen Pharmaka sich im Gehirn gleichartig verteilen, so daß die isolierten Wirkungen auf einzelne Nervenzentren nur durch deren Reaktivität erklärbar sind. Die Wirkungen selbst können dauernder

Natur sein. Sie brauchen aber auch nur vorübergehend die Funktion zu beeinflussen. Solche Fälle nähern sich jenen spezifischen Reaktionen auf *funktionelle* Reize, wie sie uns in JOHANNES MÜLLERS Lehre von der spezifischen Sinnesenergie entgegentreten. Nach unseren heutigen anatomischen Kenntnissen müssen wir diese — im Gegensatz zu EXNER, WUNDT, GOLGI und KOELLICKER (MÜLLER hatte die Sache unentschieden gelassen), aber durchaus in Übereinstimmung mit reizphysiologischen (FOERSTER) und elektrobiologischen (KORNMÜLLER) Befunden — vornehmlich in die Rindfelder verlegen. So begegnen wir Klisenerscheinungen nicht nur bei den formativen, sondern auch bei den *funktionellen* und damit bei *allen* Lebensprozessen.

Einer vertieften anatomischen Forschung muß natürlich eine solche der humanphysiologischen und psychologischen Analyse parallel gehen.

Diesem Ziele galten Arbeiten von M. H. FISCHER, OLDBERG, WOLETZ, LEUX und SOEKEN.

Eine besonders eingehende Förderung erfuhr die Analyse der *Sprachleistungen*, insbesondere solcher von Hirnkranken, durch ZWIRNER. „Diese“, schreibt ZWIRNER, „mußte zu mechanischer Aufzeichnung der Sprache der Kranken auf Schallplatten, zu systematischer Sammlung dieser Platten und zur Ausbildung quantitativer Methoden führen, die eine Vergleichung der gestörten Sprachleistungen untereinander und mit der Sprache Gesunder erlauben. Zusammen mit der Physikalisch-Technischen Abteilung ist das Problem der Plattenaufnahme gelöst und eine Plattensammlung begründet worden, die mehrere hundert Platten umfaßt. Auch die Ausbildung der quantitativen Methoden der Erforschung der verschiedenen sprachlichen Elementarfunktionen ist im wesentlichen abgeschlossen. Zu ihnen gehören Sprachmelodie, Akzent, Lautdauer, Lauthäufigkeit, Sprechgeschwindigkeit, Sprechpausen, Atemdruck, Zungenstellung und Zungenbewegung. Letztere wurden durch Röntgenbilder und Röntgentonfilme in Zusammenarbeit mit der Phototechnischen und der Röntgenologischen Abteilung untersucht. Die Untersuchung hirngeschädigter Sprachkranker hat ergeben, daß die quantitative Bearbeitung der sprachlichen Störungen zu exakten Unterscheidungen führt, die durch das Ohr nicht gemacht werden können. Eine erschöpfende Auswertung dieser Ergebnisse setzt jedoch die Kenntnis der gleichen quantitativen Verhältnisse beim Gesunden voraus. Insbesondere ist die Variation der Elementarfunktion der Sprache Gesunder statistisch zu untersuchen: nur sie erlaubt die Überwindung der wissenschaftlich unhaltbaren Zweiteilung in Sprachkranke und Sprachgesunde und die Einbeziehung der Sprachstörungen in eine systematische Darstellung aller sprachlichen Funktionen. Da solche Untersuchungen an anderer Stelle nicht durchgeführt werden, mußten sie im Rahmen des Instituts in Angriff genommen werden. Mit Unterstützung der Wissenschaftlichen Akademikerhilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Deutschen Akademie konnten die ersten Untersuchungen über Lauthäufigkeit, Sprachmelodie, Akzent, Lautdauer, Sprechgeschwindigkeit und Sprechpausen Gesunder abgeschlossen werden.“

Unsere Funktionsprüfungen wurden dabei durch Geräte wesentlich gefördert, die J. F. TÖNNIES in der *Physikalisch-Technischen Abteilung* — teilweise mit besonderer Unterstützung der Rockefeller Foundation — entwickelte.

Hierher gehört ein unterschwellig beschleunigter *Drehstuhl* zur isolierten Hervorrufung eines Nachnystagmus, ein *Reaktionszeitmesser* für optische und akustische Reize, ein *Tonometer* für normale und pathologische Schwankungen des Muskeltonus.

Unter Geräten für die Analyse der sensorischen und motorischen Komponenten der *Musikalität* ist ein *Tongenerator* für Erzeugung reiner (oberschwingungsfreier) Töne innerhalb des ganzen Bereiches musikalischer Empfindung besonders darauf ausgebildet, auch so feine Tonhöhenunterschiede der Vp. hörbar zu machen, daß auch die Grenzen der Unterschiedsempfindlichkeit genau in jeder Tonlage bestimmt werden können. Ein *Stroboskop* ermöglicht eine objektive Anzeige, mit welcher Genauigkeit eine vorgegebene Tonhöhe nachgespielt oder nachgesungen werden kann. Zur Prüfung des rhythmischen Empfindens gibt ein Gerät beliebige *Rhythmen* mit und ohne Akzentuierung als Klopfgeräusche oder Töne. Diese Reize werden neben einer von der Vp. gegebenen, technisch variablen Wiederholung aufgezeichnet und ausgemessen.

Der Tongenerator diene außerdem als *Reizquelle* bei der von J. F. TÖNNIES und M. VOGT durchgeführten Versuchsreihe über die Abhängigkeit des Reizeffektes bei Hirnrindenreizungen von der Reizfrequenz. Für die dabei gefundene wirksamste Reizfrequenz von etwa 200 Hertz wurde ein *Umformer* gebaut, der entsprechende sinusförmige Reizströme mit genau meßbarer Intensität abgeben kann. Die Methodik des Tierexperiments wurde verbessert durch Schaffung einer einfachen Vorrichtung für gleichmäßige Verabfolgung von *Inhalationsnarkosen*.

Die Untersuchungen der *bioelektrischen* Erscheinungen der Hirnrinde wurden durch den Bau von *hochempfindlichen Verstärkern* mit *Registrier-einrichtungen* für Tintenschrift zum Teil erst ermöglicht. Der Neurograph II mit einem Gleichstromverstärker ergibt bei gleichen Schreibigenschaften gegenüber dem Saitengalvanometer eine etwa fünfzigfache Empfindlichkeit. Die Kurven brauchen nicht mehr auf photographischem Papier aufgenommen und entwickelt zu werden, sondern sind während der Versuche sofort sichtbar und können so für die weitere Versuchsgestaltung ausgewertet werden. Im Polyneurographen sind sechs Verstärkersätze und fünf Haupt- sowie vier Hilfsschreibfedern für gleichzeitige Registrierung von mehreren Stellen des Nervensystems zur Prüfung ihrer Wechselbeziehungen vereinigt. Der Cordiscriptor hat wiederum nur eine Schreibfeder, aber den Vorteil, daß er vollständig mit Netzanschluß arbeitet, ohne daß dadurch die Registrierung beeinflußt werden kann.

Im Zusammenhang mit den Arbeiten der Genetischen Abteilung über die Mutationsauslösung durch Radium- und Röntgenstrahlen wurde ein neues Meßverfahren für Strahlendosimetrie mit Kondensatorkammern entwickelt, das ermöglicht, die geringen Intensitäten von Streustrahlung zu messen, die für den Menschen als physiologisch unschädlich angesehen

werden, aber in bezug auf Mutationsauslösung durch die mögliche Summation schädlich sein können.

In der *Phototechnischen Abteilung* ist E. HEYSE dauernd bemüht gewesen, die Photographie und die photomechanischen Reproduktionsverfahren den Aufgaben des Instituts und hier speziell den Erfordernissen der architektonischen Forschung anzupassen. Die gleichmäßig bestdefinierten Aufnahmen bei 100facher Vergrößerung und 40×40 cm Größe erhielt HEYSE mit Biotaren. Er schuf ferner ein Gerät, um mit polarisiertem Licht auch kugelige glänzende Insekten reflexfrei zu photographieren.

Als technische Vervollkommnung unserer *anatomischen* Forschung sei schließlich die von CHR. BRÜCK noch verbesserte Abformungsmethode erwähnt.

Damit schließt unsere Übersicht über die zu unserer Synthese schon heute verwendbaren Befunde und ihre neu geschaffenen technischen Voraussetzungen.

Wir hoffen, damit gleichzeitig gezeigt zu haben, wie jede der im Institut bearbeiteten Fragen für die Hirnforschung bedeutungsvoll ist.

Als wir am Ende des vorigen Jahrhunderts uns zu einer organisierten Hirnforschung entschlossen, geschah es mit Rücksicht auf die überragende Bedeutung des Gehirns. Wir rechneten mit größten Schwierigkeiten jeglicher Art. Wir erwarteten nicht für 1935 die vorliegenden Ergebnisse. Mit um so größerer Befriedigung bringen wir nun diesen Bericht zur Feier des 25jährigen Bestehens der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft als Ausdruck unserer Erkenntlichkeit für die uns von ihr gewährte Hilfe und stellen weitere Einblicke für nahe Zeiten in Aussicht. Der unvorhergesehene Zerfall des Gehirns in viele Elementarorgane von besonderer Struktur, Funktion und Variabilität war die Grundlage des hirnanatomischen Fortschrittes. Aber hier wie in den anderen Forschungsgebieten wäre ohne hervorragende und unermüdliche Mitarbeiter das Erreichte nie erzielt worden!

C. VOGT und O. VOGT.

## 29. Deutsche Forschungsanstalt für Psychiatrie (Kaiser Wilhelm-Institut), München.

### Klinisches Institut.

Eine Klinik arbeitet im Rahmen eines wissenschaftlichen Institutes unter wesentlich anderen Bedingungen als seine anderen Abteilungen. Sie hat ja in erster Linie die täglichen Aufgaben zu bewältigen, die Untersuchung, Behandlung, Begutachtung von Kranken, den Verkehr mit Angehörigen und Behörden. Nur die Zeit und Kraft, die daneben noch übrig bleibt, kann auf die Forschung verwendet werden. In ihrer Arbeitsrichtung kann eine Klinik weniger planvoll vorgehen als eine Abteilung, die ausschließlich der Forschung dient. Die Fragestellungen und Arbeitsthemen werden ihr ja von dem wahllos zuströmenden Krankenmaterial dargeboten. Da es sich bei diesen zum Teil auch um neurologische Fälle handelt, und da insbesondere die Konsultationen im Rahmen eines sehr großen Krankenhauses viel neurologisches Material zuführen, ergab es sich von selbst, daß das Klinische Institut sich neben seinem eigent-

lichen Gebiet, der klinisch-psychiatrischen und psychopathologischen Forschung, praktisch und wissenschaftlich stets auch der Neurologie widmete.

Die aus dem Institut hervorgegangenen Arbeiten können hier nicht einzeln aufgeführt werden; das ist jedesmal in den Jahresberichten geschehen. Es handelt sich um etwa 80 Arbeiten, unter denen sich eine größere Anzahl von Monographien befindet. Nicht gerechnet sind Arbeiten, die gemeinsam mit anderen Instituten der Forschungsanstalt in Angriff genommen wurden, auch nicht solche, die in Verbindung mit der früheren psychologischen Abteilung der Forschungsanstalt entstanden sind. Die frühen Arbeiten des Instituts, die sich ganz oder zum größten Teil auf der Generalkartothek des Archivs aufbauen, gehören mit gleichem Recht auch der Psychiatrischen Universitätsklinik, deren Material sie benützen. Das gilt besonders von denjenigen, die noch unter KRAEPELIN'S Leitung entstanden. Erst langsam mit dem Anwachsen der eigenen Krankenabteilung begann eine Forschung an eigenem Material. Nur aus dieser neueren Zeit soll hier noch einiges hervorgehoben werden, wobei nicht alle Autoren genannt werden können. Beiträge zur Geschichte der Psychiatrie lieferte P. KOPP, zur allgemeinen Psychopathologie F. SCHEID. Klinisch-psychiatrische Probleme behandelten vor allem J. LANGE, E. GUTTMANN, F. W. MOSBACHER, J. SCHOTTKY, F. SCHEID, W. SCHEID. Neurologische Arbeiten schrieben E. GUTTMANN, K. HERMANN und J. SCHOTTKY, klinisch-serologische J. SCHOTTKY und P. KOPP. Die infektiöse und medikamentöse Therapie behandelten J. LANGE, J. SCHOTTKY und F. SCHEID, die soziale Therapie J. SCHOTTKY. Die Zwillingsforschung, auch in kriminalistischer Richtung, förderte grundlegend J. LANGE. Der jetzige Direktor und Berichterstatter KURT SCHNEIDER hat hauptsächlich Beiträge zur Klinischen Psychiatrie und Psychopathologie gebracht. Pathophysiologische Untersuchungen von F. SCHEID sind im Gange.

KURT SCHNEIDER.

### Hirnpathologisches Institut.

Das Hirnpathologische Institut der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie ist hervorgegangen aus dem anatomischen Laboratorium der Psychiatrischen und Nervenklinik der Universität München. KRAEPELIN hatte es sich in dem Bestreben, die Hirnanatomie als Hilfswissenschaft der Psychiatrie einzusetzen, angelegen sein lassen, das anatomische Laboratorium seiner neuen Klinik in moderner Weise auszustatten und hervorragende Mitarbeiter auf diesem Wissensgebiete heranzuziehen. Er hatte als Leiter des Laboratoriums zunächst ALZHEIMER, den engsten Mitarbeiter NISSELS, des Schöpfers der modernen Neurohistopathologie, gewonnen und nach dessen Berufung auf einen psychiatrischen Lehrstuhl im Jahre 1916 SPIELMEYER als Nachfolger in der Leitung des Laboratoriums zu sich berufen. Mit der Gründung der Forschungsanstalt durch KRAEPELIN ist das Kliniklaboratorium im Jahre 1918 zu einer selbständigen Abteilung dieser Anstalt geworden. Für die Leitung dieser histopathologischen Abteilung hatte KRAEPELIN neben SPIELMEYER auch FRANZ NISSEL selbst

gewinnen können, welcher einer ungehinderten wissenschaftlichen Arbeit zuliebe sein psychiatrisches Ordinariat in Heidelberg aufgab. NISSL starb bereits 1 Jahr später; er hat dem Institut als wertvollstes Erbe die von ihm geschaffene wissenschaftliche Tradition hinterlassen. Auf ihr aufbauend hat der nachherige alleinige Abteilungsleiter und spätere Institutsdirektor WALTHER SPIELMEYER die Lehre von der allgemeinen Histopathologie des Nervensystems und der pathologischen Anatomie der Nerven- und Geisteskrankheiten weiter entwickelt und eine Schule gegründet, die ihre Mitglieder und Anhänger in allen Erdteilen hat. Historisch ist die wissenschaftliche Arbeit des Instituts daher auf das engste mit der Entwicklung der modernen Histopathologie verbunden.

SPIELMEYER ist am 6. 2. 1935 verstorben, und mit ihm ist der dahingegangene, dem allein es zugestanden hätte, über die wissenschaftliche Entwicklung des Instituts zu schreiben. Wenn der mit der zeitweiligen Fortführung der Institutsgeschäfte Beauftragte den Versuch macht, in großen Umrissen ein Bild zu geben, so nimmt er sich das Recht dazu aus einer zehnjährigen engen wissenschaftlichen Fühlung und einer nachfolgenden vierjährigen täglichen Zusammenarbeit mit seinem Lehrer SPIELMEYER.

Als das Institut im Jahre 1918 als selbständige histopathologische Abteilung der Forschungsanstalt ins Leben trat, schwebte KRAEPELIN und seinen Mitarbeitern als letztes Ziel die Schaffung einer pathologischen Anatomie der Nerven- und Geisteskrankheiten vor, welche dazu helfen sollte, die wechselvollen klinischen Bilder in eine natürliche Ordnung zu bringen. Man erstrebte die Auffindung charakteristischer und bei verschiedenen Krankheiten jeweils unter sich gleichartiger Gewebsveränderungen, welche eine Kontrolle der klinischen Diagnose ermöglichten und gleichzeitig der klinischen Arbeit bestimmte Richtlinien zu geben vermöchten. Die Arbeiten des Instituts entwickelten sich daher nicht so sehr in der Richtung, welche dahin geht, klinische Einzelercheinungen mit der Erkrankung oder Zerstörung einer bestimmten Örtlichkeit im Gehirn in Beziehung zu setzen. Damit hätte man günstigenfalls eine Grundlage dafür schaffen können, wo im Gehirn bei Vorhandensein bestimmter Symptome der Krankheitsherd sitzt. Hirnphysiologisch hätten sich darüber hinaus auch Anhaltspunkte für die Funktion gewisser Hirnteile ergeben können. Man hätte auf diesem Wege aber keinen ausreichenden Einblick in das Wesen des Krankheitsvorganges selbst erhalten können. Dazu schien gerade bei den Krankheiten in der Psychiatrie, die meist keine gröberen Krankheitsherde machen, sondern Gewebsveränderungen hervorrufen, die dem bloßen Auge lange Zeit verborgen bleiben können, allein die histopathologische Forschung berufen, d. h. die Befolgung einer Arbeitsmethode, welche sich das Ziel setzt, auch feinste Veränderungen im Nervengewebe festzustellen, sie ihrer Entstehung nach zu erkennen und damit einen Einblick in das Krankheitsgeschehen zu erhalten.

War bei Beschreitung dieses Weges bis dahin auch schon mancherlei erreicht worden — war doch z. B. bereits 1904 durch NISSL und ALZHEIMER

das histopathologische Bild der progressiven Paralyse so klar umrissen worden, daß mittels der mikroskopischen Hirnuntersuchung die Krankheit allein aus den Gewebsveränderungen einwandfrei festgestellt werden konnte — und war man auch bereits in der Erkennung des Wesens der senilen und arteriosklerotischen Hirnerkrankungen ein gutes Stück vorwärts gekommen, so zeigte sich doch bald, daß bei vielen Krankheitszuständen die für ein Verständnis notwendigen allgemeinpathologischen Kenntnisse noch fehlten. Gewiß waren z. B. im Kreis der Idiotien, bei den epileptischen Erkrankungen und bei manchen neurologischen Krankheitszuständen Veränderungen feststellbar; man konnte sie aber nicht deuten. Es war nicht möglich zu sagen, wie sie entstanden waren, auf welchem Wege die Krankheit das Gewebe angegriffen hatte, was für den krankhaften Vorgang charakteristisch, was wesentlich und was nur zufällige Zutat war. Bei anderen Krankheiten wie bei dem psychiatrisch so außerordentlich wichtigen Jugendirresein schien die anatomische Forschung sogar ganz zu versagen, indem entweder keine sicheren Hirnveränderungen gefunden wurden oder die krankhafte Natur gewisser Befunde zweifelhaft blieb. Die Aussicht, die zahlreichen speziellen Aufgaben zu lösen, schien gering, wenn nicht eine Reihe von Vorfragen zuvor beantwortet wurden. Sie mußten sich u. a. auf eine Verfeinerung der technischen Methoden und auf die Verhaltensweisen der Einzelbestandteile des nervösen Gewebes wie des komplexen Gewebsbildes unter experimentellen und bekannten natürlichen krankhaften Bedingungen erstrecken.

Zwar war auch hier insbesondere durch NISSL, ALZHEIMER, SPIELMEYER und ihre Schüler viel Bedeutungsvolles geleistet worden. Diese Bemühungen haben zusammen mit den bereits an der histopathologischen Abteilung der Forschungsanstalt durchgeführten allgemeinpathologischen Arbeiten in der 1922 erschienenen grundlegenden „Histopathologie des Nervensystems“ von SPIELMEYER ihren vorläufigen Niederschlag gefunden. Mit wachsender Erkenntnis erweiterte sich aber der Kreis der allgemeinen Fragen noch beträchtlich, zumal sich immer mehr zeigte, wie wenig mit einer Spezifität der Veränderungen bei bestimmten Krankheitsursachen im Zentralnervensystem gerechnet werden konnte. Unter teilweiser Beiseitstellung der speziellen, durch die Klinik gestellten Fragen mußte sich die Arbeit des Institutes daher in der Hauptsache zunächst allgemeinpathologischen Problemen und Tatbeständen zuwenden. Die verschiedenen Arten des Gewebsuntergangs am reifen und unreifen Nervengewebe, der Vorgang der vollständigen und unvollständigen Gewebsnekrose, der Degeneration der nervösen Strukturen, ferner Abbau, Abräumung und Ersatz des zugrunde gegangenen Nervengewebes und im Zusammenhang damit der Stofftransport im Zentralnervensystem, weiter die Ausbreitungswege der das Gehirn treffenden Schädlichkeiten fanden eingehende Bearbeitung. Andere Untersuchungen beschäftigten sich in Auswertung histochemischer Methoden mit Nachweis, Vorkommen, Bedeutung und Herkunft des Eisens im Gehirn unter physiologischen und pathologischen Bedingungen. Mit färbereichen Methoden nachweisbare Abweichungen in der Zusammensetzung lipoider Abbaustoffe gaben Anlaß, der Frage nachzugehen,

inwieweit bei gewissen erblichen Degenerationsprozessen der Zerfall nervöser Substanz primär erfolgt, inwieweit er als Folge einer Stoffwechselstörung im Gehirn oder im Gesamtorganismus anzusehen ist. Die Bearbeitung enzephalitischer Prozesse nötigte zu einer neuen Fassung des Entzündungsbegriffes im Zentralnervensystem, neue anatomisch-architektonische Untersuchungen am Mittel- und Nachhirn mußten durchgeführt werden, um die Möglichkeit zu erhalten, durch Vergleich mit der Norm auch feinste Gewebsveränderungen festzustellen und sie gegen Zustände innerhalb der Schwankungsbreite des Normalen abzugrenzen. Aus dem gleichen Grunde mußten Arbeiten zum Entwurf einer morphologischen Lebenskurve des Gehirns in Angriff genommen werden. In dieser Hinsicht fanden die Hirnveränderungen im normalen Senium eine systematische Bearbeitung; dabei hat der Vorgang des Alterns der Hirnsubstanz interessante Parallelen zum Altern der Kolloide ergeben und zu dem Versuch der Heranziehung kolloidchemischer Prinzipien für die Erklärung mancher Degenerationsvorgänge im Gefolge von entzündlichen Prozessen geführt. Zahlreiche experimentelle Untersuchungen beschäftigten sich erneut mit der Wirkungsweise von Giftstoffen auf das Nervengewebe und mit der Frage, weshalb bestimmte Hirnteile dabei von gewissen Giften vorzugsweise geschädigt werden. Es zeigte sich dabei, daß die Vorstellung, ein bestimmtes Gift greife die nervöse Substanz direkt an, in vielen Fällen nicht zu Recht besteht, sondern daß die Gewebsschädigung vielfach auf dem Umweg über eine Störung der Blutzirkulation im Gehirn durch Hervorrufung von anämischen Nekrosen erfolgt. Der gleiche Modus der Gewebsschädigung fand sich auch bei den experimentellen Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf das Hirngewebe. Zur Erreichung einer sicheren Grundlage für die Beurteilung hirneigener Krankheitsvorgänge mußten ausgedehnte Untersuchungen über die Anteilnahme des Gehirns an Allgemeinerkrankungen und Krankheiten anderer Körperorgane ausgeführt werden, wobei sich herausstellte, daß das Gehirn bei inneren Krankheiten, z. B. bei Herzkrankheiten, bei urämischen Zuständen, ferner bei Lebererkrankungen doch stärker in Mitleidenschaft gezogen werden kann, als man bis dahin angenommen hatte. Gerade die letzteren können Veränderungen hervorrufen, die man bei manchen erblichen Krankheiten gefunden und bis dahin für den Ausdruck einer selbständigen Hirnerkrankung gehalten hatte.

Alle diese Untersuchungen führten mehr und mehr zur Erkenntnis, daß dem zentralen nervösen Gewebe nur eine beschränkte Zahl von allgemeinen Alterations- und Reaktionsweisen gegenüber den verschiedensten Noxen zur Verfügung steht. Freilich besitzen diese Reaktionsweisen in der Variabilität des Gewebsbildes eine genügende Breite, um in ihrem Rahmen unter Berücksichtigung der Lokalisation und anderer Gesichtspunkte auch die Herausarbeitung spezieller Krankheitsbilder, wie z. B. der verschiedenen Enzephalitisformen, zu gestatten. Gegenüber dem früher bevorzugten, auf die Feststellung spezifischer Schädigungen gerichteten Studium der Einzelbestandteile des Gewebes, insbesondere der nervösen Elemente und der gliösen Strukturen, war man mehr und mehr zu einer

Berücksichtigung des komplexen Gewebsbildes gekommen, welche über das Wesen eines Krankheitsvorganges besser Aufschluß gab. Ihr ist vor allem die Aufdeckung der bis dahin unbekanntem Bedeutung der funktionellen Kreislaufstörungen im krankhaften Gehirngeschehen zu verdanken. Dem systematischen Studium dieser funktionellen Kreislaufstörungen, insbesondere ihrer näheren Charakterisierung, dem Vorkommen und den Folgen angiospastischer Zustände im Gehirn neben dem bekannteren Vorgang der Stase, ihrer ursächlichen Bedeutung für psychiatrische und neurologische Krankheitszustände, ihrer Einwirkung auf das Hirngewebe und ihrer Erkennung aus dem Gewebsbild sind im letzten Jahrzehnt eine große Zahl von Untersuchungen im Institut gewidmet gewesen. Ihre systematische Durchführung in großem Stile ist dankenswerterweise durch die Bereitstellung reichlicher Mittel seitens der Rockefeller-Stiftung möglich gewesen, welche die Einstellung außerplanmäßiger wissenschaftlicher und technischer Hilfskräfte sowie beträchtliche Sachausgaben gestattete.

Der große allgemein pathologische Fortschritt, der damit erreicht worden war, brachte auch auf speziell pathologischem Gebiet wichtige neue Erkenntnisse. Er gab Anlaß zur Überprüfung der mechanistischen Auffassung von der Entstehung apoplektischer Hirnblutungen und ischämischer Erweichungen, welche als alleinige Ursache nur materielle Wandveränderung bzw. Lumenverschlüsse der Hirngefäße gelten lassen wollte. Die überragende Bedeutung funktioneller Zustandsänderungen der Hirngefäße konnte bei der arteriosklerotischen und hypertensiven Hirnerkrankung und selbst bei thrombotischen und embolischen Gefäßverschlüssen festgestellt werden. Das komplizierende Hinzutreten solcher funktionellen Kreislaufstörungen zu ganz andersartigen Prozessen und ihre dann gewöhnlich entscheidende Bedeutung für einen letalen Krankheitsausgang zeigten Untersuchungen bei eitriger und tuberkulöser Meningitis im Kindesalter und bei traumatischen Hirnschädigungen. Auf die gleiche Ursache ließen sich Narkosetodesfälle zurückführen. Sie erklärten ferner manche psychotischen Zustände im Gefolge von allgemeinen kardialen Kreislaufstörungen und konnten als Ursache des plötzlichen Todes bei manchen erregten Geisteskranken festgestellt werden. Sie bildeten auch den Ausgangspunkt für einen neuen Angriff auf die oftmals mit geringem Erfolg bearbeitete Epilepsie, indem vermittels der zirkulatorisch bedingten Ausfälle in bestimmten Hirnteilen gezeigt werden konnte, daß die epileptischen Krampfanfälle in engstem Zusammenhang mit angiospastischen Zuständen an den Hirngefäßen stehen, ja daß auch die Gefäße anderer Körperorgane wie die des Herzens an ihnen teilnehmen. Es erwies sich ferner, daß auch die bislang für die Folgen eines nicht näher definierbaren, selbständigen, epileptischen Hirnprozesses gehaltenen feineren Veränderungen der Hirnsubstanz nur die Folgen von Schädigungen durch paroxysmale Kreislaufstörungen sind. Endlich ergab sich, daß die paroxysmalen, auf funktionellen Kreislaufstörungen beruhenden Hirnschädigungen besonders im Kindesalter so schwer und umfangreich sein können, daß sie die Grundlage für Idiotie, Schwachsinn und zerebrale

Kinderlähmung bilden können. Damit waren dem Kliniker, dem Erbbiologen und auch dem Gutachter in rassehygienischen und gesundheitspolitischen Fragen neue wichtige Gesichtspunkte für die Beurteilung epileptischer Krankheitszustände und die Auffassung mancher Idiotien und zerebralen Kinderlähmungen gegeben.

Wenn infolge der vorzugsweisen Beschäftigung mit vordringlichen allgemein pathologischen Fragen bei dem Fernerstehenden besonders im letzten Jahrzehnt der Eindruck entstehen konnte, daß sich die Arbeit des Institutes mehr und mehr von psychiatrischen und neurologischen Problemen entferne und Hirnpathologie gewissermaßen als Selbstzweck betrieben würde, so kann die Förderung, welche die Klinik gerade in Auswertung der neu entstandenen Lehre von den Störungen des Blutkreislaufes im Gehirn erfahren hat, heute nicht mehr verkannt werden. Dabei mag ganz abgesehen werden von den in der Zwischenzeit vorwärtsgetragenen Forschungen auf dem Enzephalitisgebiet (Fleckfieber, Poliomyelitis, epidemische Enzephalitis, postvaksinale Enzephalitis), auf dem Gebiet der genuinen Kleinhirnatrophien, der erblichen Markerkrankungen, der HUNTINGTONSchen und WILSONSchen Krankheit, der tabischen Hinterstrangsdegeneration u. a. Das Institut hat sich mit seiner Arbeit an die Richtlinien gehalten, die ihm als Bestandteil einer Forschungsanstalt für Psychiatrie nach dem Grundgedanken KRAEPELINS gegeben waren.

Neben der eigentlichen Forschung hat es sich das Institut von jeher zur Aufgabe gemacht, wissenschaftlichen Nachwuchs auf seinem speziellen Wissensgebiet heranzubilden und erfahrenen wissenschaftlichen Gästen mit seiner großen Sammlung — es werden jährlich etwa 400 Gehirne bearbeitet — Gelegenheit zur Inangriffnahme weiter gesteckter Probleme zu geben. Nicht weniger als 180 Mitarbeiter, vielfach selbst schon Gelehrte mit Namen, darunter 100 aus dem Ausland, sind seit 1919 im Institut tätig gewesen. Viele von ihnen haben ihre Studien ein Jahr und länger ausgedehnt, viele sind auch mehrmals gekommen. Von den engeren Mitarbeitern, die sich besonders verdienstvoll an den Arbeiten des Institutes beteiligt haben, seien hier neben den Institutsleitern nur die Namen von SPATZ, NEUBÜRGER, dem Prosektor des Institutes, BODECHTEL und VON BRAUNMÜHL genannt. Der Verfasser dieser Darstellung selbst ist in den letzten 4 Jahren engster Mitarbeiter des Institutsdirektors gewesen. Zahlreiche Hirnpathologen in allen Erdteilen verdanken dem Institut Ausbildung und Förderung. Die in der historischen Entwicklung des Institutes liegende Kontinuität histopathologischer Forschung von den Anfängen bis zu dem heutigen Stande und die unbestrittene Führerschaft seiner leitenden Köpfe NISSL, ALZHEIMER und SPIELMEYER auf diesem Wissensgebiet hat den Weltruf des Institutes begründet.

W. SCHOLZ.

#### Institut für Serologie und experimentelle Therapie.

Mit Rücksicht auf den zur Verfügung stehenden Raum ist es nicht möglich, eine vollständige Darstellung der Forschungsarbeit des Institutes seit der Eröffnung der Forschungsanstalt im Jahre 1918 zu geben. Die

nachfolgenden Angaben beschränken sich deshalb darauf, die Hauptarbeitsrichtungen zu kennzeichnen und eine Anzahl von Forschungsergebnissen mitzuteilen. Von den zahlreichen Mitarbeitern während der Berichtszeit seien genannt: G. STEINER, P. MULZER, W. GILBERT, K. BLUM, F. JAHNEL, C. GRABOW, J. KREY, H. KASSOWITZ, H. RUDY, E. KRÄMER, K. BOSSERT, M. BÜLOW, F. PRUCKNER.

In den ersten Jahren nach Gründung der Forschungsanstalt wurde der Entwicklung der Infektionstherapie der Paralyse besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die Rekurrensthherapie nahm von der Abteilung ihren Ausgang. Es wurden eingehende Untersuchungen über die chemotherapeutische Beeinflussbarkeit verschiedener Rekurrensspirochätenstämme beim menschlichen Rückfallfieber vorgenommen. Der regelmäßige Übertritt der Rekurrensspirochäten in den Liquorraum und die Erzeugung entzündlicher Liquorveränderungen wurde festgestellt. Auch die Behandlung der Paralyse mit Rattenbißfieber (SODOKU) wurde an dem eigenen Krankenmaterial erprobt und an Anstaltskranken kontrolliert. Über die Einwirkung des Malariafiebers auf Blut und Liquor der Paralytiker wurden umfassende Sammelforschungen in Deutschland, Österreich und der Schweiz angestellt.

Nach einem gemeinsam mit A. v. WASSERMANN aufgestellten Behandlungsplan wurden Paralytiker mit abgetöteten Syphilisspirochäten intrakutan, subkutan, intravenös, zum Teil in Kombination mit Salvarsan behandelt, ohne daß befriedigende Besserungen erzielt werden konnten.

Im Rahmen der tierexperimentellen Syphilis- und Rekurrenzforschung wurden ausgedehnte chemotherapeutische Versuchsreihen angelegt. Das Studium der Beziehungen von Krankheitserregern zum Nervensystem wurde durch die Ausbildung einer Methodik zur Entnahme von Liquor cerebrospinalis beim Kaninchen (Nackenstich) erleichtert, nachdem es zuvor nicht möglich gewesen war, von diesem Versuchstier Liquor zu gewinnen. Die Ausarbeitung einer den kleinen, vom Kaninchen erhältlichen Liquormengen angepaßten Mikromethodik leistete wertvolle Dienste für die Erkennung entzündlicher Prozesse im Nervensystem und ließ sich auch für den Nachweis krankhafter Veränderungen im menschlichen und tierischen Kammerwasser verwerten. Das Institut erfreute sich eine längere Reihe von Jahren hindurch der Unterstützung und Mitarbeit der Chemischen Fabrik E. MERCK-Darmstadt. Es wurde die Wirkung von Arsen-, Wismut-, Vanadium- und Jodverbindungen bei der Kaninchensyphilis geprüft. Zusammen mit der KNOLL-A.-G. in Ludwigshafen wurde eine Reihe von Rhodanverbindungen auf ihre antisiphilitische Wirkung im Tierversuch untersucht. Das Tierexperiment wurde auch für die Erforschung der Paralyse herangezogen, und es ließ sich feststellen, daß durch Überimpfung von Paralysegehirn (jedoch nicht von Paralyseliquor) auf Kaninchen sich eine histologisch an die menschliche Paralyse erinnernde Enzephalitis erzeugen läßt, die zu Liquorveränderungen führt und in Passagen fortführbar ist. Versuche, im Gehirn oder im Liquor solcher Kaninchen Syphilisspirochäten mikroskopisch oder durch Überimpfung nachzuweisen, mißlingen jedoch. Auch gelang es trotz vielfach variiertes

Versuche nicht, durch Überimpfung von menschlichem, spirochätenhaltigem Paralysegehirn an den Impfstellen syphilitische Produkte zu erzeugen oder durch Überimpfung der regionären Lymphdrüsen auf normale Kaninchen syphilisspirochätenhaltige Impffekte zu erzeugen. Als sicher gestellt kann jedoch gelten, daß die nach Überimpfung von Paralytikergehirn auf Kaninchen beobachtete Enzephalitis mit der spontanen Kaninchenenzephalitis nichts zu tun hat, daß vielmehr das ätiologisch wirksame, seiner Natur nach ungeklärte Agens, das die „Paralyseenzephalitis“ der Kaninchen erzeugt, sich im Impfmateriale befindet. Der Nachweis von Syphilisspirochäten im Nervensystem der mit Schankerspirochäten geimpften, manifest syphilitischen Kaninchen gelang auch nur ausnahmsweise, gleichwohl unterschieden sich verschiedene Pallidapassagestämme durch die Häufigkeit, mit der sie beim Kaninchen zu Liquorveränderungen führten. Bemerkenswert war die Beobachtung, daß ein Pallidastamm, der nicht dazu neigte, Liquorveränderungen hervorzurufen, diese Eigenschaft durch Unterbehandlung des Versuchstieres mit Salvarsan erwarb. Es ließ sich zeigen, daß im Gegensatz zu den Mäusen die Syphilisspirochäten bei den Ratten und Meerschweinchen nicht in das Gehirn eindringen. Die Neigung von Rekurrensspirochäten, in das Nervensystem einzudringen, und ihre Verweildauer im Nervensystem wurde bei verschiedenen Tierarten untersucht. So ließ sich ein Rekurrensspirochätenstamm auffindig machen, der bei Kaninchen ausschließlich im Gehirn sich festzusetzen vermochte. Überimpfte man rekurrensspirochätenhaltige Kaninchengehirne auf Mäuse, so gewannen die Spirochäten eine unbegrenzte Persistenz im Mäusegehirn, während sich bei gewöhnlichen Blutpassage-Rekurrensmäusen die Spirochäten nur relativ kurze Zeit im Gehirn zu halten vermögen. Bei Rekurrensimmunratten, die nur noch im Gehirn Rekurrensspirochäten beherbergten, wurde die Milz entfernt; es kam jedoch nach diesem für die weiße Ratte hinsichtlich der Abwehrmechanismen so einschneidenden Eingriff (Auftreten von Bartonellen-Anämie) nicht zu Rekurrensrezidiven im strömenden Blut. Im Gegensatz zur Maus genügt die Blutimpfung bei der Ratte, um ein durch viele Monate andauerndes Verweilen der Rekurrensspirochäten im Gehirn zu erzielen. Im Rattenexperiment gelang es nicht, durch hohe Salvarsandosens die Spirochäten im Gehirn abzutöten, gleichgültig ob ein Rekurrensspirochätenstamm benutzt wurde, der sich bei der Impfinfektion von Paralytikern als salvarsanresistent, oder ein solcher, der sich als salvarsanempfindlich erwiesen hatte.

Für eine einwandfreie Beurteilung der antigenen Funktionen der in Reinkultur gezüchteten und als Syphilisspirochäten angesprochenen Spirochätenstämme erschien es wünschenswert, dieselben auf Nährböden zum Wachsen zu bringen, welche die Gewinnung reiner, von Organsubstraten freier Spirochätensedimente gewährleistete. Es gelang, die Stämme in flüssigen Medien ohne Zusatz von Organstückchen zu kultivieren und mit diesem einwandfreien Material Antikörper zu gewinnen. Zwei Stämme verschiedener Herkunft stimmten serologisch (Agglutination, Spirochätözidie, Komplementbindung) überein und ließen sich immunologisch von

einem dritten Stamm differenzieren. Die Differenzierung gelang nicht nur mit Vollspirochäten, sondern ebenso mit Autolysaten. Während die als Syphilisspirochäten geltenden, in Reinkultur gehaltenen avirulenten Laboratoriumsstämme im Versuchstier sich zur Auslösung vielgestaltiger spezifischer Antikörper als besonders wirksam erweisen, kommt es bei der syphilitischen Infektion mit virulenten Gewebsspallidae, abgesehen von der Wassermannreaktion, die nicht als Pallidareaktion im engeren Sinne gelten kann, zu keiner spezifischen Antikörperbildung. Die mit Kulturspirochäten gewonnenen Antisera sind hoch wirksam gegen Kulturspirochäten und völlig wirkungslos gegen Gewebsspallidae. Das gänzlich verschiedene immunologische Verhalten mußte Zweifel an der Pallidazugehörigkeit der Spirochätenkulturen erwecken.

Unter Verwendung von Kulturspirochäten wurde geprüft, ob der Haut eine besondere Rolle für die Produktion von Antikörpern zukommt. Das Ergebnis der Versuche sprach gegen die Beteiligung der Haut bei der Bildung von Antikörpern. Die Prüfung von Kulturspirochäten auf Phagenbildung zeigte, daß dieselben nicht imstande zu sein scheinen, Phagen zu bilden.

Mit dialysierten Filtraten von Kulturspirochäten ließen sich Hämorrhagien in der Haut (SHWARTZMANSches Phänomen) erzeugen, und es ergab sich ein Parallelismus zwischen der Toxizität der Kulturen im Tierversuch und ihrer Aktivität zur Erzeugung des SHWARTZMANSchen Phänomens. Am Beispiel des „Pallidahaptens“ (alkoholischer Extrakt aus Kulturspirochäten) konnte gezeigt werden, daß ebenso wie die Vereinigung von eiweißartigen Antigenen mit ihren Antisera auch die von Haptenen mit den zugehörigen Antikörpern sich im Auftreten des SHWARTZMANSchen Phänomens manifestiert.

Zum Teil unter Benutzung von Kulturspirochäten, die als besonders aktive Antigene sich für solche Zwecke besonders eignen, wurde zur Untersuchung der Frage der zerebralen Steuerung der Antikörperbildung mittels einer Reihe von Hirnrinden- und Hirnstammgiften Ausschaltungsversuche bei Kaninchen gemacht, die keine eindeutige Abschwächung der Antikörperproduktion erkennen ließen. Auch die operative Zerstörung des Zwischenhirns an Kröten führte nicht zu einer Lahmlegung der Antikörperbildung.

Eine von verschiedenen Forschern propagierte Hypothese, wonach die Schutzpockenimpfung die Entwicklung der Paralyse begünstige, wurde experimentell geprüft, ohne daß sich eine Stütze für einen solchen Zusammenhang ergab. Auch die Feststellungen, die während einer Forschungsreise durch Nordamerika, Mexiko und Kuba gemacht wurden, sprechen gegen diese Hypothese.

Der humorale Abwehrapparat der Paralytiker wurde nach verschiedenen Richtungen hin erforscht und ermittelt, daß weder der Bestand an vorgebildeten Schutzstoffen des Blutes noch die reaktive Erzeugung spezifischer Antikörper bei der Paralyse herabgesetzt ist. Auch das phagozytäre Vermögen der Leukozyten zeigte bei Paralytikern keine Verminderung.

Liquoruntersuchungen bei seropositiven, somit syphilitisch infizierten Ehegatten und Kindern von Paralysefällen ergaben fast ausschließlich normale Liquorbefunde, woraus zu folgern war, daß ein Spirochätenstamm, der bei einem Individuum zu Paralyse führt, nicht zwangsläufig bei allen mit ihm infizierten Individuen das Nervensystem befällt. Man kann im Hinblick auf diese Feststellung nicht annehmen, daß es einen übertragbaren Paralysetyp der Syphilisspirochäten gibt.

Umfangreiche statistische Erhebungen über den Grad der syphilitischen Durchseuchung an Münchener Krankenhauspatienten ergaben, daß sich bei den Männern nur um 20 % mehr Syphilis, jedoch um 130 % mehr Paralyse fand, daß sonach die größere Häufigkeit des Auftretens der Paralyse bei Männern nur zu einem geringen Teil ihre Ursache in einem Mehr an syphilitischen Infektionen hatte, vielmehr tatsächlich die Syphilis häufiger bei Männern als bei Frauen zu Paralyse führt. Auf der anderen Seite ergab sich, daß die Hauptursache für das häufigere Vorkommen der Paralyse in den besitzenden Klassen als bei Arbeitern und Angestellten auf einer stärkeren syphilitischen Durchseuchung der erstgenannten Gruppe und nicht auf unterschiedlichen Lebensbedingungen beruht.

Weitere Untersuchungen galten der Frage, ob das Nervensystem befähigt ist, Antikörper zu produzieren. Einführung verschiedenartiger Antigene in den Liquorraum des Kaninchens führten zum Auftreten von spezifischen Antikörpern im Liquor, woraus zu erschließen war, daß das Nervensystem sich aktiv an der Antikörperproduktion zu beteiligen vermag. Auch im Liquor von mit Rekurrens geimpften Paralytikern ließ sich ein relativ hoher Titer von Rekurrens-Schutzstoffen nachweisen, so daß eine lokale Entstehung dieser Schutzstoffe im Nervensystem angenommen werden mußte. Damit wurde der Ansicht, daß im Nervensystem durch das Unvermögen, Immunkörper zu bilden, im Gegensatz zu anderen Organen eine Immunschwäche vorliegt, der Boden entzogen.

Über die Methodik der Liquoruntersuchung wurde in unseren Laboratorien nach vielen Richtungen hin gearbeitet. Es wurden Methoden zur Bestimmung des Gesamteiweißes und des Eiweißquotienten (Globulin-Albumin) geschaffen. Mikromethoden wurden für fast alle Zweige der Liquordiagnostik ausgebildet. Neuerdings gelang es auch, ein für kleine Liquormengen (1 ccm) geeignetes Verfahren zur Bestimmung des Cholesteringehaltes des Liquors aufzufinden, das sich für die Diagnostik organischer Erkrankungen des Nervensystems, insbesondere für die Tumordiagnostik, als wertvoll erwies. Die Verfeinerung der WASSERMANNschen Reaktion im Liquor war Gegenstand besonderer Bemühung. Andere Untersuchungen galten dem Auftreten von Fluoreszenzerscheinungen im Liquor. Über die Leistungsfähigkeit der gesamten Liquordiagnostik konnten ausgedehnte Erfahrungen gesammelt werden, da dem Institut aus der eigenen klinischen Abteilung und aus Kliniken und Krankenhäusern fortlaufend Untersuchungsmaterial zugeht.

Über die antigene Funktion der Lipide, insbesondere der Gehirnlipide, erfolgte eine größere Reihe von Veröffentlichungen aus dem Institut. Es ließ sich zeigen, daß die Immunisierung mit Hirnlipiden

bei latent-syphilitischen, bereits wassermannnegativ gewordenen Kaninchen zu Gehirnlipoidantikörperbildung führte, ohne daß die WASSERMANNsche Reaktion wieder positiv wurde, ein Beweis für den spezifischen Charakter des Hirnlipoidantigens. Serologische Untersuchungen über die Beziehungen der alkohollöslichen Bestandteile der Syphilisspirochäten (Pallidahapten) zu den ubiquitär verbreiteten Organlipoiden (Wassermannhapten) führten zu der Erkenntnis, daß die WASSERMANNsche Reaktion bei der Syphilis mit der Spirochätenreaktion nicht identisch ist. Die durch Vorbehandlung von Kaninchen mit Hirnmaterial entstandenen hirnspezifischen Antisera wurden subokzipital normalen Kaninchen injiziert. Die Tiere vertrugen Serien von 10 Injektionen ohne Schädigung; es ergab sich somit kein Anhaltspunkt dafür, daß experimentell erzeugte Hirnantikörper, die in vitro mit Gehirn zu reagieren vermögen, auch mit dem lebenden Gehirn in Beziehung treten und dieses zu schädigen vermögen. Der Ausfall dieser Versuche spricht gegen die Hypothese, daß die progressive Paralyse durch Autoantikörper gegen Gehirn hervorgerufen wird. Das von anderer Seite behauptete Vorkommen spezifischer Hirnantikörper im Serum bzw. Liquor geirnkranter Menschen konnte bei sorgfältiger Prüfung nicht bestätigt werden. Die serologischen Untersuchungen wurden auf isolierte Lipide ausgedehnt. Während es gelang, mit reinem Cholesterinpräparat beim Kaninchen spezifische Antisera auszulösen, die mit Cholesterin, jedoch nicht mit Lezithin oder Phrenosin und auch nicht mit Organ- oder Spirochätenextrakten reagierten, zeigte sich, daß dem Lezithin (aus Gehirn gewonnen) eine antigene Funktion bei der Kombinationsimmunsierung nicht eigen ist. Im Anschluß an die in unseren Laboratorien gemachte Feststellung, daß die antigene Funktion des Cholesterins durch Zusatz von Lezithin maskiert wird, wurden verschiedenartige Maskierungen von Lipoiden ermittelt. So ließ sich zeigen, daß Serumlipide die antigene Wirkung von Hirn- und Pallidaextrakten sowie von Cholesterin zu maskieren vermögen. Durch Entfernung der azetonunlöslichen Bestandteile gewannen die durch Serumlipide maskierten Hirnlipide ihre antigene Fähigkeit zurück. Erst nach dieser Prozedur ließen sich intravenös injizierte Hirnlipide serologisch nachweisbar machen. Die nähere Analyse der maskierenden Vorgänge ließ erkennen, daß die Maskierung des Hirnantigens durch Serumlipide wie auch diejenige des Cholesterins nicht auf echter chemischer Bindung beruht, sondern physikalisch-chemischer Natur ist. Versuche, die vorgenommen wurden, um Einblick in die chemische Natur des alkohollöslichen Hirnantigens zu gewinnen, zeigten, daß die Phosphatide, die Cerebroside, die Sterine und das Kreatin entfernt werden können, ohne daß die antigene Wirksamkeit verloren geht. Bei der Anwendung der Methoden der Adsorption und Elution gelang es, verschiedene Lipoidantigene, wie z. B. das Hirn-, das WASSERMANNsche, das Pallida- und das FORSSMANsche Antigen durch elektive Adsorption aus Gemischen abzutrennen. Bei Immunsierungsversuchen (Kombinationsimmunsierung) mit dem gereinigten, insbesondere mit dem mit Alkali behandelten Hirnhapten ergab sich, daß bei diesem die Vollhaptennatur erhalten bleibt. Die Feststellung, daß man mit Haptenen ohne Zusatz von artfremdem

Eiweiß Antikörper erzeugen kann, wenn man sie physikalisch an ein Adsorbens bindet, wurde auf das Hirnhapten ausgedehnt und gezeigt, daß man durch intraperitoneale Einverleibung des an Kaolin oder  $\beta$ -Al(OH)<sub>3</sub> adsorbierten Hirnhaptens beim Kaninchen Hirnantisera erzeugen kann. Auch das Adsorbat an lösliche Stärke führte bei intravenöser Applikation zu Hirnantikörpern. Das organspezifische Hirnhapten — besser Neurohapten — ließ sich außer im Großhirn, Kleinhirn und Rückenmark auch in den Nervenwurzeln, den peripheren Nerven einschließlich des Sympathicus und Vagus, im Hinterlappen der Hypophyse und in der Epiphyse nachweisen. Bei Herstellung besonderer physikalisch-chemischer Bedingungen ließen sich Haptene des Sympathikus und Vagus serologisch gegenüber dem Hapten der Hirnrinde abgrenzen; zu einem gewissen Grad traten auch Unterschiede im Vergleich mit dem Nervus ischiadicus zutage. Eine serologische Differenzierung zwischen Sympathikus und Vagus war nicht möglich. Die antigen wirkenden Haptene des Nebennierenmarks scheinen mit dem allgemein verbreiteten Hirnhapten übereinzustimmen, besondere Beziehungen zum Sympathikus gaben sich nicht zu erkennen.

In der letzten Zeit wurden Untersuchungen über die Beziehungen des Nervensystems und des Liquor cerebrospinalis zu den Vitaminen aufgenommen.

Im Anschluß an die Auffindung eines gelben grün-fluoreszierenden Farbstoffes in dem xanthochromen Liquor eines Falles von tuberkulöser Meningitis durch GYÖRGY und KUHN wurde eine größere Anzahl von Liquores auf solche dem Vitamin B<sub>2</sub> bzw. dem WARBURGSchen gelben Atmungsferment nahestehenden Farbstoffe untersucht und ermittelt, daß derartige Farbstoffe sich auch im normalen Liquor, wenn man diesen dem WARBURGSchen Belichtungsverfahren unterwirft, nachweisen lassen und somit einen physiologischen Liquorbestandteil darstellen.

Eingehende Untersuchungen wurden dem Gehalt des Nervensystems und des Liquors an Vitamin C (Ascorbinsäure) gewidmet. Es zeigte sich, daß der C-Gehalt im Gehirn und auch im Liquor in Abhängigkeit vom Lebensalter steht. Die C-Werte sind im Gehirn in der Fetalperiode am höchsten, im Senium am niedrigsten. Als Durchschnittswerte ergaben sich für das fetale Gehirn 45 mg-%, für das senile Gehirn 6,5 mg-% Ascorbinsäure. Zwischen diesen beiden Polen sinkt der C-Gehalt dem Alter entsprechend progressiv ab. Auch im Liquor unterscheiden sich die verschiedenen Altersgruppen durch ihren C-Gehalt. Außer durch das Alter wird der C-Gehalt des Liquors noch durch andere Faktoren beeinflusst, vor allem durch die mit der Nahrung aufgenommenen C-Mengen. Im Laufe der weiteren Untersuchungen erwies sich die Bestimmung des C-Gehaltes des Liquors — unter Berücksichtigung der durch das Lebensalter gegebenen Normen — als sehr wertvoll zur Ermittlung von unzureichender C-Aufnahme mit der Nahrung. Auf diese Weise ließ sich feststellen, daß die Krankenkost in der psychiatrischen Abteilung der Forschungsanstalt im Krankenhaus Schwabing unzureichend war; es entwickelten sich bei längerem Krankenhausaufenthalt C-Hypovitaminosen und auch ein Fall von manifestem Skorbut. Auch die Steigerung von Stoff-

wechselforgängen bei hohem Fieber führte zu einer Verarmung des Liquors an C-Vitamin. Bei Paralytikern ließ sich während der Malariakur ein Absinken der C-Menge im Liquor beobachten; nach Kupierung des Fiebers erfolgte ein Wiederanstieg des Vitamins. Im Harn trat während der Fieberperiode eine erhöhte Ausschüttung von C-Vitamin ein, die mit Beendigung des Fiebers zum Abschluß kam. Nach diesen Beobachtungen erscheint es wünschenswert, der Verarmung des Körpers an C-Vitamin während der Impfmalaria durch Darreichung von C-reicher Kost bzw. von reinen Ascorbinsäurepräparaten entgegenzuwirken. Ähnlich wie die Malaria beim Menschen wirkte die Erhöhung des Stoffwechsels beim Kaninchen im Gefolge von Thyreoidineinspritzungen; im Liquor der Kaninchen verminderten sich die C-Werte bis auf ein Viertel der Ausgangswerte, während die Einbuße des Gehirns an C verglichen mit der anderer Organe, z. B. der der Nebenniere, nicht bedeutend war.

Während sich die Bewegungen des C-Stoffwechsels im Liquor deutlich abzeichnen, bleibt der C-Gehalt des Blutes von den Schwankungen meist unberührt.

Bei der Durchuntersuchung verschiedener Teile des Nervensystems auf ihren Gehalt an C-Vitamin ergaben sich gewisse Relationen, die meist stark von dem Lebensalter beeinflußt erschienen. So liegt der C-Gehalt der Großhirnrinde beim Embryo erheblich über, späterhin bis in das Senium hinein unter dem der Kleinhirnrinde; ähnliche Verschiebungen ergaben sich für das Rückenmark im Verhältnis zur Großhirnrinde. Die Kleinhirnrinde enthält in allen Lebensperioden erheblich mehr C-Vitamin als das Kleinhirnmark, während im Großhirn der C-Gehalt der Rinde den des Marks nur unwesentlich überragt, im Senium ihn sogar unterschreitet. Besonders hoch ist der C-Gehalt des Ammonshorns, im Durchschnitt fast doppelt so hoch als der der übrigen Großhirnrinde. Als sehr arm an C-Vitamin zeigten sich die peripheren Nerven sowohl des zerebrospinalen wie des vegetativen Systems. Eine Abhängigkeit des C-Gehaltes einer Region von dem Gehalt an Nervenzellen trat nicht hervor.

Die chemisch mittels der Titration gegen 2,6-Dichlorphenol-Indophenol ermittelten C-Werte wurden spektrographisch kontrolliert, und es ergab sich für Extrakte aus Nervensystem und für Liquor eine gute Übereinstimmung der beiden Methoden.

Der Rockefeller-Foundation sind wir für ihre großzügige Unterstützung zu aufrichtigem Danke verpflichtet.

F. PLAUT.

### Institut für Genealogie und Demographie.

Die Anfänge des Institutes gehen weit zurück vor die Eingliederung der Forschungsanstalt in die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft im Jahre 1928, ja zurück vor die Gründung der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft im Jahre 1911 und der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie im Jahre 1917. Bereits als Assistenzarzt, ab 1907, später als Oberarzt der Psychiatrischen Klinik, ab 1909, betrieb der hauptsächlich zur Lösung von Vererbungsfragen auf psychiatrischem Gebiet von KRAEPELIN an die Klinik berufene

jetzige Leiter zunächst fast nur mit privaten, später auch mit Klinikmitteln die grundlegende Sammlung, Sichtung und Verarbeitung eines großen Dementia praecox- und Manisch-depressiven-Materials, welches der Ausgangspunkt und die Grundlage für den Ausbau und die Beantwortung aller der Fragen wurde, welche schließlich für die Deutsche Gesetzgebung und die Deutsche Rassenhygiene so große praktische Bedeutung erlangen sollten, und welche die späteren Mitarbeiter lösen halfen, all der Fragen, welche die *Ursachen*, insbesondere *erblichen*, der *Geisteskrankheiten* und *geistigen Defekte* betreffen. Bereits 1911 legte der Leiter der psychiatrischen Welt einen Plan vor, wie man etwa die psychiatrische Erbforschung in mendelistischem Sinne in die Wege zu leiten hätte. Als von 1917 ab diesen Bestrebungen auch die Mittel der neugegründeten Forschungsanstalt zufließen, konnte der Plan des Leiters, den neuen Wissenszweig der psychiatrischen Erbbiologie nach allen Richtungen zu entwickeln, erst durch die Gewinnung eines besonderen Mitarbeiterstabes gefördert werden.

Schon früh, neben den die *mendelistische Klärung* des Erbanges der Schizophrenie anstrebenden Bemühungen des Leiters, liefen *psychiatrische Belastungs- und Erbliehkeitsuntersuchungen einher*, von KALB bei progressiver Paralyse 1916, SNELL und STÜBER bei genuiner Epilepsie 1921, SÜNNER bei manisch-depressivem Irresein 1922, ERICH SCHNEIDER bei atypischen Paralyse 1925, WEINBERGER bei der senilen Demenz 1926. DONNER untersuchte die arteriosklerotische Belastung und solche mit Schlaganfällen bei den Paralytikern und Geisteskranken 1924 und 1926, H. HOFFMANN Familienpsychosen im schizophrenen Erbkreis 1926. JOHANNES LANGE machte an Hand eines Materials, das zur Hälfte schon der Leiter gesammelt hatte, genealogische Untersuchungen an einer (schizophrenen) Bauernsippschaft 1925. Später ergänzte B. SCHULZ die Erbpathologie der Schizophrenen und überprüfte 1932 genealogisch-statistisch ein Schizophreniematerial auf seine biologische Einheitlichkeit 1934. Das Problem der erblichen Beziehungen und der Ursachen des *angeborenen Schwachsinn*s wurde von LOKAY 1929 und BRUGGER 1930 und 1931, der auch das der Schizophrenie behandelte (1928), durchforscht. Die erblichen Beziehungen der *Paranoia*, des *Querulantenwahns*, der „paranoiden“ *Psychopathie*, der Paraphrenien usw. untersuchten JOHANNES LANGE im Fall Bertha Hempel 1923 und KOLLE in mehreren Arbeiten 1931. Die erblichen Beziehungen der *Encephalitis epidemica* wurden von FLECK studiert, 1929, diejenigen der Hirnarteriosklerose von B. SCHULZ 1929, ebenfalls von SCHULZ die der paranoid gefärbten Alterspsychosen 1930 und die der mongoloiden Idiotie 1931. Die *HUNTINGTONSche Chorea* (erblicher Veitstanz) fand eine eingehende Bearbeitung durch ENTRES 1921 und 1925 (*WILSONSche Krankheit* und *HUNTINGTONSche Chorea*), die Erbliehkeit bei *Paralyse* und *Moral Insanity* durch MEGGENDORFER 1921. Über chronische Alkoholiker (Familienuntersuchungen) arbeitete C. BRUGGER 1934. Einen Beitrag zur Genealogie der *Chorea minor* lieferte B. SCHULZ 1928.

Der Frage, inwiefern bestimmte *erbliche Familienveranlagung* besonders schizophrener und manisch-depressiver Art sich *pathoplastisch* bei den

verschiedensten Geistesstörungen in bestimmter *symptomatologischer Weise* auswirke, und inwiefern die neuen erbbiologischen Erkenntnisse die *Systematik der Erscheinungsformen des Irreseins* beeinflussen, waren zahlreiche Arbeiten von KAHN gewidmet, 1920—1922.

Nachdem bereits in der Dementia praecox-Studie des Leiters (1916) an einem kleineren Material die Frage, wie es mit den gesundheitlichen Verhältnissen der Kinder von Schizophrenen bestellt ist, zu lösen versucht und damit der Reigen der *empirisch erbprognostischen Untersuchungen eröffnet worden war*, lag es nahe, wegen der voraussichtlich einmal ungeheuer praktisch rassenhygienischen Bedeutung *die Erkrankung der Kinder von Erbgeisteskranken überhaupt* mit dieser Methode an größerem Material zu untersuchen. Die Einführung der empirischen Erbprognoseforschung in der Psychiatrie mußte angesichts der großen Schwierigkeiten, glatte MENDELsche Vererbung zu finden, erfolgen, wollte man *anschauliche Ziffern* über die große Wahrscheinlichkeit der Erkrankung der Kinder und sonstigen Nachkommen von Erbgeisteskranken erhalten und *nicht* einfach warten, bis vielleicht einmal in weiter Ferne die Vererbung aller geistigen Störungen glatt in MENDELsche Proportionen aufgehen würde.

So folgten nacheinander die empirisch-erbprognostischen Arbeiten von HERMANN HOFFMANN über die Nachkommenschaft bei endogenen Psychosen (Schizophrenie, manisch-depressives Irresein und Epilepsie) 1921, für *Schizophrenie* von KAHN über Kinder von schizophrenen Doppelältern 1923. GENGNAGEL 1933 und KALLMANN über Kinder schizophrener Einzelältern 1935, B. SCHULZ Neffen und Nichten 1926, JUDA über Enkel 1928. KONSTANTINU über Neffen und Nichten, Großneffen, Großnichten von Schizophrenen (Arbeit angeregt von der Forschungsanstalt, an Material aus Thüringer Heilanstalt Stadtroda, Direktor Prof. Dr. JACOBI) 1930, von HEINRICH WALKER über Neffen, Nichten, Großneffen, Großnichten Baseler Schizophrener 1929. IRMA WEINBERG über Vettern und Basen von Schizophrenen 1928. Über *manisch-depressives Irresein* von KAHN an Kindern von manisch-depressiven Doppelältern 1926, von BANSE, Vettern und Basen von Manisch-Depressiven 1929, über *Epilepsie* von GUSCHMER an Neffen und Nichten von Epileptikern 1926 über *angeborenen Schwachsinn*, von A. JUDA über Anzahl und psychische Beschaffenheit der Nachkommen von Schwachsinnigen und normalen Schülern 1934 (also gleichzeitig Studie über Fruchtbarkeit von Schwachsinnigen und Normalen und Durchschnittsuntersuchung an normalen Schülern), über *Hysterie*, speziell hysterische Krampfauslösung und Reaktionsweise überhaupt, von W. KRAULIS 1931, von J. L. ENTRES über Kinder *eklamptischer* Mütter 1924 und von KOLLE über die Nachkommenschaft von Trinkern mit „*Eifersuchtswahn*“ 1932.

Da die Seele der Statistik der Vergleich ist und die für Nachkommen von Geisteskranken erhobenen empirisch-erbprognostischen Ziffern erst ins rechte Licht ihrer rassenhygienischen Bedeutung gerückt werden konnten durch entsprechende Feststellung der *Häufigkeit geistiger Störungen* in der *Durchschnittsbevölkerung*, so wurden solche parallel mit den anderen Studien durchgeführt und mit der Absicht, aus den verschiedenen Gegenden,

wo Kinder von Geisteskranken untersucht worden waren, auch Durchschnittsuntersuchungen zu erhalten. So erschienen folgende Arbeiten: Von KATTENTIDT über Neffen und Nichten von Paralytikerehegatten 1926, von B. SCHULZ über Psychosehäufigkeit bei Geschwistern und Eltern von Hirnarteriosklerotikerehegatten 1927, LUXENBURGER psychiatrische Häufigkeit in den engeren biologischen Familien von Paralytikerehegatten 1928, von CARL BRUGGER eine Belastungsstatistik der Durchschnittsbevölkerung 1929 und über die Allgäuer Landbevölkerung 1933, von GÖPPEL über Allgäuer Reichsbahnangestellte 1928, von KLEMPERER über die Psychosehäufigkeit unter 1000 stichprobenmäßig aus den Geburtsregistern der Stadt München ausgelesenen Probanden 1933, von FRITZ MAGG über Verwandte der in das Allgäu eingewanderten Oberpfälzer und Franken 1929, von HERMANN WOLF über Psychosehäufigkeit und Krampfbefallenheit von Allgäuer Kropfoperierten 1928, von JUDA über Kinder von Menschen, die normale Schüler waren, 1934, von HEINZ BOETERS Familienuntersuchungen bei einer Durchschnittsbevölkerung unter besonderer Berücksichtigung symptomatischer und deliranter Zustandsbilder 1935 und von B. SCHULZ über Psychosehäufigkeit bei Geschwistern und Eltern von 100 Krankenhauspatienten 1931.

Schon seit Gründung der Forschungsanstalt im Jahre 1917 wurden systematische Erbuntersuchungen an serienmäßig erfaßten *Zwillingen* vorgenommen und in den letzten Jahren nicht bloß zum Zwecke der pathologischen Erbkraft der betreffenden Leiden, sondern auch zum Zwecke der Feststellung von *Korrelationen* von geistiger Störung mit körperlicher Krankheit und Defektheit, Körperkonstitution und Rasse auf alle *psychiatrisch überhaupt häufigeren Leiden* und Defekte, sowie auf alle *neurologischen*, aber auch auf die nach den genannten Richtungen am meisten Erfolg versprechenden körperlichen Leiden, internistischen Krankheiten, sowie orthopädischen und chirurgischen Leiden und Defekte durch Reichsenquête ausgedehnt. Hierüber liegen bis jetzt folgende Untersuchungen vor: von LUXENBURGER hinsichtlich der *Schizophrenie* und des *manisch-depressiven Irreseins* und *angeborenen Schwachsinn*s ein vorläufiger Bericht über psychiatrische Serienuntersuchungen an *Zwillingen* 1928, eine Arbeit über Manifestationswahrscheinlichkeit des erblichen Schwachsinn und der Letalfaktoren 1931, über endogenen Schwachsinn und geschlechtsgebundenen Erbgang 1932 und Studien an *Zwillingspaaren* 1933, von CONRAD erbbiologische Untersuchungen an rund 250 *epileptischen Zwillingspaaren* 1935 und von THUMS erbbiologische Untersuchungen an rund 50 *multiple Sklerose-Zwillingspaaren* 1935.

Das *Psychopathenproblem*, dasjenige der hysterischen Reaktionsweise eingeschlossen, wurde von jeher im Auge behalten, sei es im Zusammenhang mit dem Erbkreis der großen Psychosen, sei es als Problem selbständiger Vererbungskreise.

Darüber arbeiteten außer RIEDEL und STUMPFEL von der kriminalbiologischen Seite her: BERLIT, Erbliehkeitsuntersuchungen bei Psychopathen 1931, LUXENBURGER, Erbliche Stellung der Zwangsneurosen 1930 und von WALTHER BAEYER, Genealogie der psychopathischen Schwindler

und Lügner 1935. RIEDEL beschäftigt sich zur Zeit mit einer empirisch-erbprognostischen Arbeit über *Kinder von Psychopathen* verschiedener Art mit der Sammlung und Sichtung eines *Zwillingsmaterials* von solchen körperlich kranken Ausgangsfällen bestimmter Diagnose, bei denen erfahrungsgemäß außerordentlich häufig auch psychopathische Auswirkungen festzustellen sind (Basedowerkrankungen usw.). In letzter Zeit wurde, da die Lösung der Frage nach der Vererbung der *psychopathischen Veranlagung* auch vom praktischen Gesichtspunkte aus besonders drängt, von STUMPFL eine umfassende *Reichszwillingsenquôte* für alle klinischen Formen von Psychopathie unternommen.

Bereits seit 1928 untersucht der Leiter, unterstützt durch Frl. Dr. A. JUDA die Frage der *erblichen Beziehungen genialer Veranlagung zu geistiger Störung*.

Diese Arbeit wird demnächst nach Untersuchung eines geeigneten Kontrollmaterials aus ähnlicher sozialer Schicht abgeschlossen.

Auch die *Kriminalbiologie*, die durch die Zusammenarbeit mit der im gleichen Hause untergebrachten bayerischen kriminalbiologischen Sammelstelle unter Leitung der Herren Min.-Rat VIERNSTEIN und des Herrn Dr. RIEDL unter besonders günstigen Bedingungen gepflegt werden konnte, hat zu einer Reihe zum Teil grundlegender Arbeiten geführt und sucht jetzt durch eine *Reichs-Zwillings-Enquôte von Kriminellen* alle Gruppierungen von Zwillingen mit genügender statistischer Besetzung der Untergruppen zu erzielen, welche nötig sind, um die noch mangelhaft bearbeiteten Probleme der erblichen Ursachen des Verbrechens und der gegenseitigen Wechselbeziehung von Anlage und Umwelt zu lösen.

Hier sind die Studien MARTIN RIEDLS zu erwähnen über die Verbrecherfamilie Kilohm (1933) und über Verbrecherstämme, Spätkriminelle und Frühkriminelle und über deren sozialprognostische und rassenhygienische Bedeutung 1933 (siehe auch RIEDL bei Fruchtbarkeit der Verbrecher). In grundlegender Weise wurden von STUMPFL die Beziehungen der Kriminalbiologie zur psychiatrischen Erblichkeitslehre in jahrelangen Untersuchungen gepflegt, die sich auch auf fortlaufende, empirisch-erbprognostische und Zwillingsuntersuchungen an einem großen Reichsmaterial erstrecken, welche zu praktisch, rassenhygienisch besonders wichtigen Ergebnissen führen müssen.

STUMPFL arbeitete über Kriminalität bei Geschwistern, Vettern und Basen von Kriminellen 1933 und veröffentlichte jetzt eine Monographie über Erbanlage und Verbrechen 1935.

Im Jahre 1924 erhielt der Leiter vom bayerischen Kreis Schwaben-Neuburg (Oberbürgermeister Dr. MERKT-Kempton) und vom bayerischen Innenministerium den Auftrag, die *Ursachen von Kropf und Kretinismus und Schwachsinn im Allgäu* zu untersuchen, um die nötigen Unterlagen zur Bekämpfung dieser endemischen Volksplage zu schaffen. Diese Forschung wurde bis heute intensiv betrieben, zuerst mit Unterstützung von Dr. ERNST, sodann von 1926 ab durch Dr. THEO LANG.

Darüber liegen bis jetzt folgende Arbeiten vor: Von LANG Sippschaftsuntersuchungen über Allgäuer Kretinen und Schwachsinnige 1929, ein

Beitrag zur *Bodentheorie* des endemischen Kropfes, Kretinismus und Schwachsinn 1931, Ergebnisse einer ersten, zweiten, dritten und vierten Messungsserie zur Frage des Zusammenhanges zwischen *Radioaktivität* und Kropf 1932, 1933, 1934 und 1935, über experimentelle Erzeugung des endemischen Kropfes bei weißen Ratten 1935, Geburtsmonat 1929, zur Epidemiologie und Ätiologie von Kropf und Kretinismus 1928 und Kropf und Schädelindex 1928, ferner von GÖPPEL, MAGG (s. oben), von FERDINAND FRIMBERGER über regionäre Verteilung der Gebrechlichen im bayerischen Allgäu, insbesondere im Hinblick auf die Kropffrage, 1933, von SCHWALBER über Verwandtenehen in den Familien von Allgäuer Kretinen 1931 und von SCHENKEL Untersuchungen am Gebiß von Allgäuer Vollkretinen 1932.

Eingehende Studien (Messungen) über *Körperkonstitution, Rasse und Psychose* machte K. O. HENKEL 1924—1926, besonders an Schizophrenen und Manisch-depressiven in Bayern und zur Kontrolle auch in Schweden. Auch F. E. FLÜGEL beteiligte sich an den Untersuchungen über die Korrelation von Habitus und Erkrankung 1924.

Die *Fruchtbarkeit von Verbrechern* untersuchte MARTIN RIEDL 1931 und STUMPFL unterschiedliche Fortpflanzung bei Verbrechern 1934, diejenige von *Manisch-depressiven, Schizophrenen und Epileptikern* in mehrjähriger systematischer Arbeit ESSEN-MÖLLER, LUND 1935, diejenige von Schizophrenen KALLMANN 1935 und diejenige von *angeborenen Schwachsinnigen* JUDA. (Siehe oben bei empirischer Erbprognose.)

Vom Jahre 1930 ab wurden Versuche gemacht, durch möglichst genaue Zählungen von Geisteskranken und anderen Kranken und Abnormen (*Zensus*) in größeren Bevölkerungsgruppen (von etwa 10 000 Einwohnern) im Allgäu und in der Nähe von Rosenheim an einem Stichtage, womit ausgedehnte *anthropologische* Aufnahmen durch Professor MOLLISON und seine Mitarbeiter, sowie die Aufnahme soziologisch wichtiger Tatsachen verbunden waren, Probleme der *psychiatrischen Topographie, der Häufigkeit* und *Verteilung* der Psychosen, der *Korrelation* zwischen Rasse, Psychose und soziologischen Gegebenheiten, der psychiatrischen Belastung einer Durchschnittsbevölkerung und der Vererbung überhaupt, der unterschiedlichen Fortpflanzung und viele andere Fragen mehr zu fördern. Soweit das Material bis jetzt verarbeitet werden konnte, gingen folgende Veröffentlichungen über solche Untersuchungen hervor: Von BRÜGGER eine Geisteskrankenzählung in Thüringen 1931 (diese Untersuchung wurde von der Heil- und Pflegeanstalt Stadtroda aus gemacht), weitere Arbeiten von BRÜGGER über die Bedeutung einer vollständigen Gebrechlichenzählung für die menschliche Erbforschung 1933, psychiatrisch-genealogische Untersuchungen an einer Allgäuer Landbevölkerung im Gebiet eines psychiatrischen Zensus 1933 und psychiatrische Ergebnisse einer medizinisch-anthropologischen und soziologischen Bevölkerungsuntersuchung 1933.

Die Frage der *Häufigkeitsverteilung* von *Krankheit* auf die verschiedenen *Jahreszeiten* und die Erörterung der damit zusammenhängenden ätiologischen Probleme wurde von LANG bearbeitet in seinen Veröffentlichungen

über Kropf und *Geburtsmonat* 1929 und Geisteskrankheit und *Geburtsmonat* 1931.

Der Bedeutung der *Korrelation* zwischen geistigen und anderen Störungen wurde beiläufig in verschiedenen Arbeiten und Publikationen des Instituts Rechnung getragen, in einer besonderen Studie von LUXENBURGER über *Tuberkulose* als Todesursache in den Geschwisterschaften *Schizophrener, Manisch-depressiver und der Durchschnittsbevölkerung* 1927 und weitere Untersuchungen zur Frage der Korrelation von *schizophrener* Anlage und Widerstandsschwäche gegen tuberkulöse Infektion 1929, ferner B. SCHULZ über Sterblichkeit und Tuberkulosesterblichkeit in den Familien Geisteskranker und in der Durchschnittsbevölkerung 1933.

Zur reichen Fülle der genannten gesellen sich heute noch eine Reihe neuer Untersuchungen, so vornehmlich die mit ihren Ergebnissen den praktischen Bedürfnissen staatlicher und privater Rassenhygiene dienenden Zwillings- und empirischen Erbprognoseuntersuchungen an allen bisher nach der Richtung der Erbkraft noch nicht geklärten Krankheiten und Defekte. Insbesondere wird auch demnächst ein genügend großes statistisches Material vorhanden sein, um die Frage des Ausfalls der Kinder von Eltern zu prüfen, die beide geisteskrank irgendwelcher Art waren und ferner die Frage, wie Kinder von selbst nicht kranken Eltern ausfallen, die aber beide geisteskranken Verwandte diagnostisch bestimmter Art und bestimmten Grades besitzen, wodurch die Frage der Nachkommenschaft der Zwierbigen wieder erheblich gefördert werden wird.

RÜDIN.

### Institut für Spirochätenforschung.

Durch die Errichtung des Neubaus der Deutschen Forschungsanstalt für Psychiatrie (Kaiser Wilhelm-Institut) in München wurden dem Institut für Spirochätenforschung selbständige Laboratorien zur Verfügung gestellt. Die Aufgabe des Instituts wird hauptsächlich darin betrachtet, durch Erforschung des Syphiliserregers und verwandter Spirochäten Mittel und Wege zur Heilung und Vorbeugung der syphilitischen Nervenkrankheiten zu finden. Bekanntlich werden die progressive Paralyse und die Tabes (Rückenmarksschwindsucht), zwei Krankheiten von großer sozialer Bedeutung, durch Niederlassung des Syphiliserregers im Zentralnervensystem verursacht. Auch verschiedene andere Formen von Nervensyphilis können zu schwerem Siechtum führen. Schon in früheren Jahren hatte ich mich dem Studium der Beziehungen des Syphiliserregers zum paralytischen und tabischen Krankheitsprozeß sowie zu den verschiedenen anderen Formen nervöser Syphilis gewidmet. Im Jahre 1913 hat NOGUCHI im Gehirn von Paralytikern und im Rückenmark von Tabikern einwandfreie Syphilisspirochäten nachgewiesen. Diese Entdeckung regte mich zu eigenen Untersuchungen in diesem Neuland an. Da stieß ich zunächst auf eine sehr große Schwierigkeit: die von NOGUCHI angegebene Methode zum Spirochätennachweis im Gehirn zeigte große Mängel. Sie ist eine Versilberungsmethode, und da das Silber nicht bloß an den Spirochäten sich niederschlägt, sondern auch an den faserigen Bestandteilen des Nerven-

systems, so zeigten die von mir hergestellten Präparate in der Regel ein dichtes Fasergewirr, in welchem natürlich die eine ähnliche spiralförmige Form aufweisenden Syphilis-Spirochäten nicht zu erkennen waren. Dies lag nicht etwa daran, daß in meinen Händen die Methodik fehlerhaft funktionierte, sondern es erging anderen Untersuchern auch nicht anders. Ich erkannte bald, daß man nur weiterkommen konnte, wenn eine Methode gefunden würde, die die Mitfärbung von Nervenfasern und anderen Gewebsbestandteilen unterdrückt, ohne die Silberimprägnation der im gleichen Gewebe vorhandenen Spirochäten zu gefährden. Nach vielen Fehlschlägen ist es mir dann gelungen, eine Methode zu finden, die eine ausschließliche, „elektive“ Darstellung der Spirochäten im nervösen Gewebe gestattet. Mit Hilfe dieser Methode habe ich Erhebungen über die Verteilung der Spirochäten im Zentralnervensystem bei Paralyse, ihre Beziehungen zum Krankheitsprozeß angestellt, und es haben auch andere Untersucher, in deren Händen sich die von mir ausgearbeitete Methodik durchaus bewährt hat, manche Beiträge zur Aufklärung des paralytischen Krankheitsvorganges geliefert. In München habe ich diese Untersuchungen fortgesetzt und dauernd daran gearbeitet, die Methodik noch weiter zu verbessern. Es gelang mir übrigens auch der Nachweis, daß die Rückfallfieberspirochäten beim Menschen sich nicht nur in den Hirnhäuten niederlassen, sondern auch ins Hirngewebe selbst vordringen. Meine gesamten Erfahrungen über die Spirochäten bei Paralyse, Tabes und Hirnsyphilis im engeren Sinne habe ich in einem Handbuchbeitrag (Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie der Syphilis des Nervensystems. Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten, herausgeg. von JADASSOHN, Bd. 17, I) niedergelegt. Speziell mit den Spirochäten im Paralytikerhirn befaßt sich in ausführlicher Weise ein weiterer Handbuchbeitrag (Pathologische Anatomie der progressiven Paralyse im Handbuch der Geisteskrankheiten, herausgeg. von BUMKE, Bd. 11)<sup>1</sup>. Außerdem habe ich zu einschlägigen Fragen in verschiedenen Einzelveröffentlichungen Stellung genommen.

NIETO, ein Schüler von HORTEGA in Madrid, hat in meinem Laboratorium eine einfache Methode zur Versilberung der Spirochäten in einzelnen Schnitten ausgearbeitet.

Bei der Maus verläuft die Syphilisinfektion, wie KOLLE und SCHLOSSBERGER gezeigt haben, erscheinungsfrei (latent), was auch bei manchen Menschen der Fall ist. Daß die mit Syphilis experimentell infizierten Mäuse wirklich den Syphiliserreger enthalten, haben KOLLE und SCHLOSSBERGER dadurch nachgewiesen, daß sie Organe solcher Mäuse auf den Kaninchenhoden verimpften, wo dann spirochätenhaltige Syphilome entstanden. Es war aber noch nicht gelungen, Syphiliserreger in den Organen solcher Mäuse nachzuweisen, und manche Forscher, welche die Hypothese aufgestellt hatten (LEVADITI, SCHOEN und SANCHIS-BAYARRI), daß es außer der Spiralförmigkeit des Syphiliserregers noch andere, etwa unsichtbare Stadien desselben gebe, sahen gerade in der Mäusesyphilis eine wichtige Stütze für

<sup>1</sup> Ein neuer Handbuchbeitrag über Paralyse (Handbuch der Neurologie, 2. Aufl., herausgeg. von BUMKE und FOERSTER, Bd. XII) befindet sich im Druck.

diese ihre Anschauung. Da gelang es mir, in gemeinsam mit Professor PRIGGE (Staatliches Institut für experimentelle Therapie in Frankfurt a. M.) durchgeführten Untersuchungen den Nachweis zu erbringen, daß in den Lymphdrüsen syphilitischer Mäuse sich durch geeignete Versilberungsmethoden einwandfreie Spirochäten darstellen lassen. Die Richtigkeit dieser Befunde wurde zuerst von den Forschern des Pariser Pasteurinstituts bestritten, dann aber in weiteren Nachforschungen vollkommen bestätigt. In mehreren Arbeiten habe ich gemeinsam mit PRIGGE und ROTHERMUNDT zu der Frage Stellung genommen, ob es außer der Spiralgestalt des Syphiliserregers noch andere, uncharakteristisch dimensionierte oder äußerst kleine, unter der Grenze der mikroskopischen Sichtbarkeit liegende Formen gibt. Wir haben vergleichende Untersuchungen an Rekurrensspirochäten angestellt und dabei gefunden, daß bestimmte Blutverdünnungen, die Rekurrensspirochäten enthielten, noch infektiös waren, obzwar sich Spirochäten mikroskopisch nicht mehr nachweisen ließen. Daraus konnten aber nicht auf das Vorkommen anderer Formen Schlüsse gezogen werden, denn wir konnten auf Grund von Zählungen, die an der Ausgangsemulsion des verwendeten Blutes vorgenommen worden waren, ausrechnen, daß in stärkeren Verdünnungen immer noch Spirochäten vorhanden sein mußten. Es ist dies nur ein Spezialfall einer Gesetzmäßigkeit, daß Mikroorganismen im Mikroskop nur dann aufgefunden werden können, wenn sie in einer bestimmten Menge vorhanden sind. Sinkt diese Zahl unter einen bestimmten Grenzwert, dann fallen alle Nachforschungen nach den Mikroorganismen so gut wie immer negativ aus. Die Grenzen, die hiermit dem mikroskopischen Nachweis vieler Mikroorganismen gesetzt sind, können aber damit durchbrochen werden, daß man die Keime zur Vermehrung bringt, sei es auf einem toten Nährboden, sei es in einem dafür empfänglichen und mit der zu untersuchenden Materie geimpften Tier. Wir haben also solche anscheinend spirochätenfreie Rekurrensspirochätenemulsionen auf Mäuse verimpft, wo sich die Parasiten allmählich vermehrten und später im Blute dieser Tiere erschienen. Auch das morphologische Studium der Syphilisspirochäten im Paralytikergehirn, mit dem ich mich seit über 20 Jahren befaßt habe, hat keine Anhaltspunkte für die Existenz besonderer Formen des Syphilisvirus geliefert. Wohl kommen mannigfaltige Abweichungen von der Spiralgestalt vor, es handelt sich aber hier stets um Degenerationsformen, niemals um Dauerformen der *Spirochaeta pallida*. Wir sind daher zu dem Ergebnis gelangt, daß keine Veranlassung besteht, außer den Spiralgestalten des Syphiliserregers noch andere Formen anzunehmen. In den Fällen, wo ein Gewebe infektiös ist, obwohl sich Spirochäten darin nicht nachweisen lassen, muß man annehmen, daß die Zahl dieser Parasiten in einem bestimmten, zur Untersuchung gelangenden Volumen zu klein ist, um im Mikroskop hervorzutreten.

Gemeinsam mit Prof. W. H. HOFFMANN (Havanna) angestellte Nachforschungen nach Spirochäten in den Organen von an Gelbfieber verstorbenen Menschen lieferten ein negatives Ergebnis. Andere Forscher haben auch festgestellt, daß entgegen der Ansicht von NOGUCHI der Erreger des

Gelbfiebers keine Spirochäte, sondern ein invisibles Virus ist. Trotz eifriger Bemühungen konnten auch die Angaben STEINERS über Spirochätenbefunde bei der multiplen Sklerose nicht bestätigt werden.

Ausgehend von der Tatsache der günstigen Beeinflussung der Paralyse durch Infektionen (Malaria) ist mir der Gedanke gekommen, zu untersuchen, wie auf die Paralyse eine Krankheit einwirkt, die der Syphilis am nächsten steht: die tropische Frambösie. Diese Spirochäteninfektion ist ebenso wie die Syphilis auf Kaninchen übertragbar; es war mir aber lange Zeit nicht möglich gewesen, Untersuchungen über diesen Gegenstand anzustellen, weil in Europa kein Frambösiestamm erhältlich war. Es gelang mir schließlich, Frambösiestämme zu bekommen. In Herrn Prof. LANGE, Direktor der Psychiatrischen und Nervenlinik in Breslau, damals Leiter der Klinischen Abteilung der Forschungsanstalt, fand ich einen Mitarbeiter, welcher für diese Frage, für die übrigens auch KRAEPELIN sehr interessiert war, großes Verständnis zeigte. Mit LANGE habe ich dann gemeinsam Versuche unternommen, die Frambösie auf Paralytiker zu übertragen. Leider ging, wie so oft in der Wissenschaft, unser Wunsch nicht in Erfüllung; der Erreger der Syphilis und der tropischen Frambösie sind so nahe miteinander verwandt, daß Paralytiker sich für Frambösieimpfungen völlig unempfänglich erwiesen. Als Frucht dieser Untersuchungen konnten LANGE und ich über die Frambösieimmunität der Paralytiker berichten, eine übrigens für die Erforschung der Beziehungen zwischen tropischer Frambösie und Syphilis nicht unwichtige Tatsache. Wir konnten diese Untersuchungen mit drei Frambösiestämmen ausführen: zwei aus Mittelamerika, von Herrn Dr. NICHOLS bzw. Frl. Dr. PEARCE überlassen, einem aus Sumatra, von Herrn Prof. SCHÜFFNER besorgt. Nur eine einzige, malariabehandelte Paralyse zeigte ein schwach positives Ergebnis bei der Impfung mit der Sumatraframbösie; viele andere Paralytiker verhielten sich auch diesem Stamme gegenüber völlig refraktär. Es wäre für uns von großem Interesse gewesen, den Beziehungen zwischen Framboesie und Syphilis bzw. Frambösie und Paralyse an Ort und Stelle nachzugehen, ein Plan, der auch im Rahmen der von Geheimrat KRAEPELIN und Prof. LANGE beabsichtigten Indienreise lag, aber leider durch das allzu frühe Hinscheiden KRAEPELINS vereitelt wurde.

In gleicher Richtung wie die Versuche, durch Einimpfung von Frambösi Spirochäten den Verlauf der paralytischen Erkrankung günstig zu beeinflussen, liegen Bestrebungen, dieses Ziel durch Übertragung von Syphilisspirochäten zu erreichen. Derartige Versuche sind schon öfters vorgenommen worden. Spirochätenkulturen lassen sich zu diesem Zwecke kaum verwenden, weil wir über einwandfreie Kulturen der *Spirochaeta pallida* noch nicht verfügen und es auch im Tierexperiment noch nicht gelungen ist, Kaninchen gegen Einimpfungen virulenter *Pallidae* zu immunisieren. Nach meiner Ansicht kommen für derartige Versuche nur virulente und lebende Erreger in Frage, etwa wie die Lyssaschutzimpfung mit einem allerdings abgeschwächten, aber doch noch lebenden Virus arbeitet. Untersuchungen von KOLLE hatten ergeben, daß verschie-

dene, auf Kaninchen gehaltene, von Menschen stammende Syphilisstämme immunbiologisch nicht gleich sind. Es erhob sich nun die Frage, wie sich Paralytiker in dieser Hinsicht verhalten: ob sie nur gegen den einen oder anderen Stamm — geprüft wurde der Truffi- und der Nicholsstamm — refraktär sind. Hätte für einen der beiden Syphilisstämme eine gewisse Empfänglichkeit bestanden, dann hätte immer die Möglichkeit bestanden, eine solche Superinfektion therapeutisch auszunutzen. Es zeigte sich aber, daß Paralytiker mit positiven Blut- und Liquorreaktionen gegen beide von uns untersuchte Syphilisstämme sich refraktär verhielten, d. h. nicht mit einem Primäraffekt reagierten. Also ist dieser Weg der Paralysebehandlung vorerst nicht gangbar.

In einer Festschrift für WAGNER-JAUREGG, an der ich mich auf Aufforderung beteiligt habe, habe ich meine Anschauungen darüber niedergelegt, inwieweit Paralytiker und Tabiker, welche ja nach unserer modernen Auffassung Spirochätenträger sind, die Syphilisinfektion auf gesunde Personen übertragen können. Ich bin zu dem Ergebnis gelangt, daß einwandfreie Beobachtungen über Syphilisansteckungen durch Paralytiker und Tabiker nicht vorliegen, mit einer Ausnahme: das gelegentliche Vorkommen von Fruchtsinfektionen bei paralytischen Frauen.

In meinem Laboratorium wurden ferner morphologische Studien an verschiedenen Spirochätenarten angestellt. So untersuchte B. SCHARER einen eigentümlichen Unterschied zwischen Rekurrens- und Hühnerspirochäten im lebenden Zustand. Mit Hilfe einer bestimmten Optik zeigen jedoch die Rekurrensspirochäten eine Doppelkonturierung, die Hühnerspirochäten nicht. Diese Erscheinung beruht darauf, daß die Rekurrensspirochäten um einen geringen Betrag dicker sind als die Hühnerspirochäten, obzwar sich der Dickenunterschied bei gewöhnlicher mikroskopischer Betrachtung nicht deutlich erkennen läßt. Diese Doppelkonturierungen treten bei Anwendung verschiedener Dunkelfeldkondensoren in Erscheinung, und es hat sich daraus eine Methode der optischen Dickenmessung mikroskopischer Objekte ergeben. Die Untersuchungen wurden an 3 verschiedenen Hühnerspirochätenstämmen und 9 verschiedenen Rekurrensspirochätenstämmen ausgeführt. Bei diesen und anderen morphologischen Untersuchungen an lebenden Spirochäten gelangte eine von mir benutzte, zwar schon länger bekannte, aber sonst nur wenig gebräuchliche Methodik der vergleichenden Betrachtung zur Anwendung. Wenn man lebende mikroskopische Objekte, die man miteinander vergleichen will, nacheinander ins Mikroskop einstellt, ist man auf Erinnerungsbilder angewiesen und mancherlei Täuschungen ausgesetzt. Die einzige exakte Methode der vergleichenden Betrachtung besteht darin, daß man die zu untersuchenden Objekte gewissermaßen nebeneinander im Mikroskop ansieht, also gleichzeitig in zwei Mikroskope hineinblickt. Das ist dadurch möglich, daß man die beiden Präparate in zwei Mikroskope einstellt und durch ein Vergleichsokular betrachtet. Mit dieser Technik habe ich die Unterschiede zwischen Syphilisspirochäten aus den Kaninchenschankern und den Spirochäten sog. Pallidakulturen sowie saprophytischer Spirochäten genau feststellen können. S. KITAMURA-Mukden

hat sich ebenfalls dieser Methodik bedient und in unserem Laboratorium festgestellt, daß die 4 von uns gehaltenen Frambösiestämme von Syphilispirochäten morphologisch nicht zu unterscheiden sind, ein weiterer Beleg für die außerordentlich nahe Verwandtschaft dieser beiden Krankheiten.

Für das Studium der Eigenschaften des Syphiliserregers sind vergleichende Untersuchungen an anderen Spirochäten unerlässlich. Wir haben viele Untersuchungen an Hühnerspirochäten angestellt, weil bei dieser Spirochätenart die biologischen Eigenschaften nicht so kompliziert liegen wie beim Syphiliserreger, wobei wir uns natürlich auch bewußt waren, daß etwaige, an Geflügelpirochäten und anderen Spirochätenarten gewonnene Ergebnisse nicht ohne weiteres auf das Verhalten der Syphilispirochäten übertragen werden können. Es gelang mir der Nachweis, daß Geflügelpirochäten ins Gehirn eindringen, daß sie aber im Gegensatz zu anderen Spirochäten (z. B. des Rückfallfiebers) nicht zu einer dauernden Persistenz in den nervösen Zentralorganen befähigt sind. Nicht nur beim Huhn, dem natürlichen Wirt, zeigen die Geflügelpirochäten das gleiche Verhalten, sondern auch bei unnatürlichen Wirten (im Kaninchen, Meerschweinchen oder der weißen Maus). Diese meine Feststellungen wurden von B. SCHARRE an 2 anderen Geflügelpirochätenstämmen bestätigt und dahin ergänzt, daß auch bei Tauben der Aufenthalt der Geflügelpirochäten im Zentralnervensystem nur ein befristeter ist. Zahlreiche Untersuchungen aus meinem Laboratorium beschäftigten sich mit dem Infektionsproblem, namentlich mit den unnatürlichen Infektionen. Bekanntlich treten, wie LEVADITI zuerst bei Kaninchen und DEUTZ bei weißen Mäusen gezeigt hat, Hühnerspirochäten im Blut dieser Tiere auf, wenn sie in großer Menge einverleibt worden waren. Doch ist es zum Unterschied von der natürlichen Infektion, wo eine regelrechte Vermehrung der Parasiten erfolgt, nicht möglich, diese unnatürlichen Infektionen beliebig oft in Passagen weiterzuführen; sie erlöschen sehr bald. PENTSCHEW (Professor in Sofia) konnte nun zeigen, daß Hühnerspirochäten auf Mäusen viel länger in Passagen fortgeführt werden konnten, wenn das Retikuloendothel durch intravenöse Vorbehandlung mit kolloidalen Metallen blockiert worden war. Im Rahmen dieser Untersuchung hat PENTSCHEW beobachtet, daß auch artfremde Hühnerblutkörperchen nach Einspritzung in die Bauchhöhle von Mäusen im Blutkreislauf auftreten können, wenn bei diesen Tieren das Retikuloendothel durch Eisenzucker oder andere geeignete Stoffe blockiert worden war. Ich konnte gemeinsam mit PENTSCHEW zeigen, daß bei Kanarienvögeln und Reissvögeln eine unnatürliche Infektion mit Rückfallfieberspirochäten und Trypanosomen künstlich hervorgerufen werden kann. Weitere von BODECHTEL angestellte Untersuchungen ergaben, daß sich Rekurrens- und Hühnerspirochäten auch auf Vertreter anderer Tierklassen (Kaltblüter) übertragen lassen. Nach Einspritzung von Rekurrens- oder Hühnerspirochäten in die Bauchhöhle oder Muskulatur von Eidechsen, Schildkröten, Fröschen und Fischen erschienen die Parasiten im Blutkreislauf. Die Entstehung solcher markanter Scheininfektionen ist an die Ein-

führung eines großen Quantums von für die betreffende Tierart an sich apathogenen Spirochäten gebunden. Hierher gehören auch Versuche von BODECHTEL, die menschliche Malaria auf Versuchstiere zu übertragen. Nachdem vorher die Übertragung der menschlichen Malaria auf Tiere nicht gelungen war, konnte BODECHTEL bei weißen Mäusen zwar keine echten Infektionen erzeugen, aber nach Blockierung des Retikuloendothels mit Eisenzucker das Phänomen der unechten Infektion hervorrufen. Wurde solchen Tieren Blut menschlicher Malariafälle in die Bauchhöhle gespritzt und 24 Stunden später Mäuseblut auf Paralytiker übertragen, so entwickelte sich bei diesen eine Malaria. Eine sehr bemerkenswerte Feststellung konnte RICHARD WAGNER (Leiter der Universitätspoliklinik für Hautkrankheiten an der deutschen Universität in Prag) machen. Während Geflügelspirochäten im Körper des Huhnes und Rekurrenspi-rochäten im Organismus der Maus prompt durch Salvarsan sowie durch Goldpräparate (Solganal) vernichtet werden, zeigte es sich, daß bei der unnatürlichen Infektion der weißen Maus mit Hühnerspirochäten sowohl Neosalvarsan als auch Solganal nahezu wirkungslos waren, eine für den Mechanismus der chemotherapeutischen Wirkung sehr wichtige Beobachtung. Neuerdings hat B. SCHARER Untersuchungen darüber angestellt, ob bei der Taube, welche nach Literaturangaben für Geflügelspirochäten wenig oder gar nicht empfänglich sein soll, auch unnatürliche Infektionen vorkommen. Sie konnte zeigen, daß ein Geflügelspirochätenstamm natürliche Infektionen erzeugte, während andere Stämme gewissermaßen ein Mittelding zwischen unnatürlicher und natürlicher Infektion verkörperten.

Untersuchungen von WERTHAM-New York führten zur Aufdeckung einer eigenartigen Spontanerkrankung des Zentralnervensystems bei Hühnern. Zunächst an den Gehirnen spirochätenkranker Hühner vorgenommene Untersuchungen deckten histologische Veränderungen auf, die mit dem Bild der menschlichen Paralyse eine große Ähnlichkeit aufwiesen. Auffallenderweise ergaben bei anscheinend gesunden Kontrollhühnern angestellte Untersuchungen dasselbe Resultat. Wie bei Kaninchen und anderen Tieren kommen also auch bei Hühnern Spontanenzephalitiden vor, die sich nicht durch besondere klinische Symptome bemerkbar zu machen brauchen. Die Spontanenzephalitis der Hühner ist durch ihre weitgehende Übereinstimmung mit den Befunden bei der menschlichen Paralyse sehr interessant. Vor allem konnte WERTHAM auch bei Hühnern eine positive SPATZsche Eisenreaktion nachweisen, wie sie sonst nur bei der menschlichen Paralyse bekannt war. Immerhin zeigt diese Beobachtung, wie wichtig die vergleichende Untersuchung des Zentralnervensystems bei Tieren ist, und daß man Trugschlüsse nur durch Kontrolluntersuchungen, wie sie WERTHAM vorgenommen hatte, vermeiden kann.

Wiederholt wurde in meinem Laboratorium die Einwirkung von Heilmitteln auf Spirochäten untersucht. Es wurden verschiedene, von MÜLLER (chemisches Institut der Forschungsanstalt) auf meine Veranlassung hergestellte Wismutverbindungen auf ihre Heilwirkung bei der experimentellen Syphilis geprüft. Bekanntlich lassen sich Spirochäten, welche in das Gehirn eingedrungen sind, viel schwerer durch Arzneistoffe

beeinflussen als die gleichen Parasiten in der Blutbahn oder in den anderen Organen des Organismus. Ich konnte zeigen, daß dies auch für die ins Gehirn eingedrungenen Geflügelspirochäten beim Huhn gilt. Hier zeigte zwar Solganal (ein Goldpräparat) in hohen Dosen eine geringe Wirksamkeit, Salvarsan vermochte jedoch die Hühnerspirochäten im Gehirn nicht zu beeinflussen. Im Verlaufe von chemotherapeutischen Studien über die Wirksamkeit des Tellurs bei der experimentellen Syphilis, eines chemischen Elements, dessen antisyphilitische Eigenschaften zuerst von LEVADITI und NICOLAU festgestellt worden waren, machte ich eine sehr merkwürdige Beobachtung. Als ein Kaninchen, das längere Zeit der Tellurwirkung ausgesetzt worden war, getötet wurde, beobachtete ich eine blaugraue Verfärbung des Zentralnervensystems, die ausschließlich auf die graue Substanz beschränkt war. Eine solche Verfärbung war wohl schon an anderen Organen nach Tellureinverleibung beobachtet worden, am Zentralnervensystem jedoch noch nicht, weil man früher bei Tieren nur akute Tellurvergiftungen erzeugt hatte, während ich eine ständige chronische Tellurresorption hervorzurufen bestrebt war. Meine chemischen Mitarbeiter, PAGE und MÜLLER, stellten fest, daß diese Verfärbung im Zentralnervensystem auf der Anwesenheit von Tellur beruht, das namentlich in der Hirnrinde in großen Mengen gespeichert wird. Demnach müßte das Tellur ein ausgezeichnetes Heilmittel gegen die Spirochäten der progressiven Paralyse sein, die sich ebenfalls in der Hirnrinde aufhalten. Leider besitzt aber das Tellur so unangenehme Nebenwirkungen, daß die Anwendung dieses Mittels beim Menschen nicht möglich ist: es verfärben sich die Haut, die Haare und die Atemluft riecht lange Zeit fürchterlich nach Knoblauch. Die Anwendung des Tellurs in der Behandlung der Paralyse erübrigt sich schon aus dem Grunde, weil wir jetzt dank der von WAGNER-JAUREGG inaugurierten Infektionstherapie der Paralyse nicht mehr machtlos gegenüberstehen. Sollte es aber einmal gelingen, Tellurpräparate herzustellen, welche die erwähnte Nebenwirkung nicht besitzen, dann könnten Untersuchungen über eine derartige Arzneibehandlung der Syphilis des Zentralnervensystems wieder aufgenommen werden.

In den letzten Jahren beschäftigte ich mich eingehend mit der Herstellung und dem Studium von Spirochätenkulturen. Wir begannen zunächst mit der Kultivierung von Hühnerspirochäten, weil diese relativ einfach ist und Hühnerspirochätenkulturen gerade in dieser Hinsicht zu Modellversuchen sich besonders eignen. Dabei konnte ich eine interessante Feststellung erheben. Manche Kulturröhrchen waren nicht mehr imstande, bei Hühnern Infektionen hervorzurufen, obzwar sich in denselben zahlreiche und gut bewegliche Spirochäten befanden. Es ist mir dann gelungen, aufzuklären, unter welchen Umständen Spirochätenkulturen ihre Pathogenität einbüßen. Ich konnte nun willkürlich Hühnerspirochätenkulturen apathogen machen und umgekehrt apathogen gewordenen Kulturen wieder zu ihren ursprünglichen krankmachenden Eigenschaften verhelfen. Es zeigte sich nämlich, daß in Kulturröhrchen, die älter als 4 Tage waren, die Pathogenität verloren ging, obzwar die Spirochäten ihre volle Beweglichkeit

behielten und auch bei Übertragung auf frische Kulturröhrchen gut weiterwuchsen. Man muß also, wenn man Hühnerspirochätenkulturen pathogen erhalten will, in nicht zu großen Zwischenräumen auf frische Röhrchen weiterimpfen. An diesen Hühnerspirochätenkulturen konnten manche interessante Einzelheiten festgestellt werden. Zur sterilen Blutentnahme bei Hühnern hat meine verstorbene technische Assistentin Fräulein GLAENZ eine leicht zu handhabende Methodik der Blutentnahme aus dem Vogelherzen ausgearbeitet. Wir haben dann auch von nahezu allen uns erreichbaren Stämmen von Rückfallfieberspirochäten Kulturen angelegt, die schon seit vielen Jahren auf künstlichen Nährböden weitergeführt werden. Morphologische Veränderungen sind dabei nicht zutage getreten, hingegen wurde durch die Kultivierung außerhalb des Tierkörpers die Virulenz vielfach abgeschwächt. Die bei Hühnerspirochäten von uns festgestellte Gesetzmäßigkeit konnte an Rückfallfieberspirochäten nicht so klar herausgearbeitet werden, weil die Rückfallfieberspirochäten an sich nicht so zum Virulenzverlust neigen wie die Geflügelspirochäten, und vor allem weil die Lebensdauer der einzelnen Kultur keine so große ist wie bei Hühnerspirochäten. Immerhin ist es uns zuweilen gelungen, allmählich zu Kulturen zu gelangen, die für Mäuse vollkommen apathogen geworden sind. Vielfach konnten wir auch die Feststellungen von H. REITER über die stumme Infektion bestätigen, die dieser Forscher auch mit Hilfe von Rekurrensspirochätenkulturen gemacht hat.

Es wurden ferner zahlreiche Versuche unternommen, die *Spirochaeta pallida* zu kultivieren; leider ist uns auf diesem Gebiet noch kein Fortschritt beschieden gewesen. Wir haben verschiedene, von anderen Forschern gewonnene sog. Pallidakulturen genau untersucht und sind zu dem Ergebnis gekommen, daß diese „Pallidakulturen“ keine Pallidakulturen sind, sondern daß es sich hier um saprophytische Arten handelt. Allerdings ist das Problem der Kultivierbarkeit des Syphiliserregers von solcher Bedeutung, daß es trotz aller bisherigen Mißerfolge immer wieder in Angriff genommen werden muß. Auch haben wir viele Kulturen von saprophytischen Spirochäten und von Mundspirochäten angelegt. Bei der Herstellung von Kulturen der Mundspirochäten haben uns insbesondere die Erfahrungen H. REITERS große Dienste geleistet. Für die Kultivierung von Hühnerspirochäten hat sich der von LI für Rekurrensspirochäten angegebene serumfreie Nährboden in den Händen meiner Mitarbeiterin SCHARRER bewährt.

Bekanntlich gehen beim Kaninchen Syphilisspirochäten nicht in das Gehirn über. R. WAGNER (Prag) hat untersucht, ob nach Impfung in die Hornhaut Syphilisspirochäten eher ins Kaninchengehirn eindringen; aber auch durch diese Impfungsart ließ sich der Übertritt von Syphilisspirochäten ins Zentralnervensystem des Kaninchens nicht ermöglichen. Ferner untersuchte R. WAGNER, ob sich Syphilisspirochäten im Blutegel zu halten vermögen, was aber nicht der Fall war.

Zum Teil in Gemeinschaft mit SCHARRER untersuchte ich die Syphilisempfindlichkeit verschiedener wild lebender Tiere, insbesondere Mäusearten. Es zeigte sich, daß die Hausmaus und die Waldmaus in gleicher

Weise syphilisempfindlich sind wie die weiße Maus. Wir konnten ferner zeigen, daß die von SCHLOSSBERGER bei der weißen Maus erhobene Feststellung (Eindringen von Syphilisspirochäten ins Zentralnervensystem) auch für die Waldmaus und die Hausmaus gilt. Dieser Nachweis erfolgte auf indirektem Wege durch Verimpfung von Organ- bzw. Gehirnbrei auf den Kaninchenhoden. Bisher hat man fast nur die Syphilisempfindlichkeit von Tieren geprüft, die als Laboratoriums- oder Haustiere eine Rolle spielen. Es erscheint auch wünschenswert, andere Tiere in dieser Hinsicht zu untersuchen, weil sich vielleicht unter den wild lebenden manche finden, welche zu Aufklärungen über die allgemeine Pathologie der Syphilis und insbesondere der syphilitischen Erkrankungen des Zentralnervensystems geeignet sind.

Ganz besonders beschäftigte ich mich mit Untersuchungen über das Verhalten von Syphilisspirochäten bei winterschlafenden Tieren. Dr. SCHOTTKY hatte mir in dankenswerter Weise einen von ihm gefangenen Siebenschläfer zur Verfügung gestellt. Ich konnte zeigen, daß der Siebenschläfer (*Myoxus glis*) in gleicher Weise für Syphilis empfänglich ist wie die weiße Maus, und daß bei dieser Tierart Syphilisspirochäten ebenso regelmäßig ins Gehirn eindringen, wie dies SCHLOSSBERGER zuerst bei weißen Mäusen nachgewiesen hatte. Diese Tierart eignet sich daher auch zum Studium der Spirochäten im Nervengewebe sowie zur Prüfung der Wirkung von Arzneimitteln auf die in das Gehirn eingedrungenen Syphiliserreger. Bereits im Jahre 1919 hatten WEICHBRODT und ich gezeigt, daß bei syphilitischen Kaninchen die Schanker zurückgingen und die Spirochäten daraus verschwanden, wenn bei diesen Tieren durch Überhitzung eine starke Erhöhung der Körpertemperatur erzeugt worden war. Die Versuchsergebnisse sind bei Nachprüfungen bestätigt worden und haben neuerdings auch dazu geführt, bei Paralyse die Wirksamkeit von auf rein physikalischem Wege erzeugten Temperatursteigerungen zu prüfen (z. B. Diathermie). Nach den bisherigen mit dieser Methode gewonnenen Erfahrungen scheinen aber die Behandlungsergebnisse nicht ganz denen der Malaria zu entsprechen. Die Syphilisempfindlichkeit des Siebenschläfers (und des Tiroler Baumschläfers) gab mir die Möglichkeit, zu prüfen, wie sich die Syphilisspirochäten in einem Zustande von reduziertem Stoffwechsel und stark herabgesetzter Körpertemperatur, wie er im Winterschlaf vorliegt, verhalten. Es zeigte sich, daß Siebenschläfer und Baumschläfer, welche nach der Syphilisinfektion ihren normalen Winterschlaf gehalten hatten, und bei denen die Körpertemperatur bis auf  $+ 4^{\circ}$  und  $+ 2^{\circ}$  gesunken war, die Syphilisspirochäten aus den inneren Organen und dem Gehirn verloren hatten. Andere winterschlafende Tiere (das Ziesel, das Murmeltier) haben sich für die Syphilisinfektion refraktär gezeigt, so daß sich zu solchen Versuchen am besten Siebenschläfer eignen. Leider ist die Fähigkeit des Winterschlafes auf nur wenige Säugetierarten beschränkt; Menschen können nicht in den Winterschlaf versenkt werden. Es muß freilich noch näher studiert werden, mit welcher Teilerscheinung des Winterschlafes das Verschwinden der Spirochäten zusammenhängt. Es könnte sein, daß die lange Zeit stark herabgesetzte Körpertemperatur

den Syphilisspirochäten nicht bekommt, oder daß der darniederliegende Stoffwechsel ihnen nicht zusagt. Es ist schließlich auch möglich, daß ein innersekretorischer Vorgang auf die Spirochäten von Einfluß ist, denn man nimmt ja auch vielfach an, daß der Winterschlaf endokrin gesteuert wird. Eine starke Herabsetzung der Körpertemperatur und des Stoffwechsels ist natürlich beim Menschen ohne Gefährdung des Lebens nicht möglich. Sollte aber das spirochätenschädigende Prinzip in einem innersekretorischen Mechanismus gelegen sein, dann ist es vielleicht nicht ganz ausgeschlossen, durch weitere Verfolgung dieses Weges zu einem Heilmittel gegen die menschliche Syphilis zu gelangen. Unser Streben muß überhaupt dahin gehen, die Heilmethoden gegen die Syphilis zu erweitern und zu verbessern, und auch durch geeignete Maßnahmen der weiteren Verbreitung der Krankheit entgegenzutreten. Eine allmähliche Ausrottung der Syphilis liegt durchaus im Bereiche der Möglichkeiten und muß auch angestrebt werden, um das Menschengeschlecht vor den schwersten Folgen dieses Leidens (Paralyse und Tabes) zu bewahren.

F. JAHNEL.

#### Chemische Abteilung.

Die chemische Abteilung hatte während ihres Bestehens eine Reihe von Mitarbeitern aus In- und Ausland. Es seien genannt: A. E. ALLEN, H. RUDY, L. PASTERNAK, M. L. BURT, M. BÜLOW, W. MENSCHICK, E. MÜLLER, K. BOSSERT.

Der Arbeitsplan wurde von dem Leiter der Abteilung, Herrn Dr. J. H. PAGE aufgestellt, der als wissenschaftlicher Gast 3 Jahre lang der Abteilung vorstand und dann nach seiner Rückkehr an das Rockefeller Institut in New York von dort aus die im Gang befindlichen Arbeiten weiterleitete.

Die Arbeiten beschäftigten sich mit der Chemie des Gehirns, der Chemie der wichtigsten im Nervengewebe vorkommenden Stoffe und ihrem Stoffwechsel.

Darstellungsmethoden für die Phosphatide und Cerebroside wurden ausgearbeitet und verbessert. Eine Titrationsmethode zur Bestimmung des Kephalin wurde ausgearbeitet, die die gleiche Genauigkeit besitzt wie die alte Methode der Aminogruppenbestimmung nach VAN SLYKE und den Vorteil der viel einfacheren und schnelleren Ausführungsmöglichkeit hat. Mit Hilfe dieser Methode gelang es, ein neues Kephalin aufzufinden, das alkohollöslich ist. Veränderungen des Kephalin durch Säureeinfluß und Oxydation wurden untersucht. Es ließ sich hierbei nie das Auftreten von niedermolekularen Säuren, wohl aber geringer Mengen von Oxysäuren beweisen. Versuche über Oxydation bei Gegenwart von Katalysatoren zeigten keine erhöhte Geschwindigkeit der Sauerstoffaufnahme bei Phosphatiden, verglichen mit dem Gemisch der aus ihnen abgespaltenen Fettsäuren. Alle diese Versuche sprechen gegen die Hypothese, daß die Phosphatide eine Rolle im Fettstoffwechsel spielen, in dem Sinne, daß die Fettsäuren durch Zusammentritt zum Phosphatidmolekül für Oxydationen leichter angreifbar und dem Abbau leichter zugänglich werden.

Auch auf physiologischem Wege wurde diese Frage in Angriff genommen. So beschäftigten sich eine Reihe von Arbeiten mit dem Fettstoffwechsel unter normalen und pathologischen Bedingungen. Nach Fettmahlzeiten (Olivenöl, Cholesterin) ließ sich keine eindeutige Wirkung auf die Phosphatide des Serums erkennen. Insulin und Adrenalin bewirken ein Absinken aller Lipoidfraktionen des Serums, die Wirkung auf den Fettgehalt der Organe ist nicht so eindeutig. Nach Thyroxin sieht man beim Kaninchen eine Steigerung im Phosphatidgehalt von Muskel und Gehirn. Bei Leber sind die Werte sehr schwankend, ebenso bei Blut, wohl infolge einer gesteigerten Geschwindigkeit des Fetttransportes. Kephalininjektionen bei Kaninchen führten zu einem erhöhten Auftreten von Fettsäuren in der Leber. In keinem Organ wurden die Phosphatide als solche abgelagert. Intravenöse Injektionen von Fettsäureseifen bei Ratten riefen eine Erniedrigung des Blutdruckes hervor und regten die Atmung an. Diäthanolaminrizinoleat erhöhte die Permeabilität der Blut-Liquorschranke für Farbstoffe bei Kaninchen.

Die Untersuchungen über die Sterine des Gehirns brachten die Entdeckung und Reindarstellung eines neuen Sterins. Um nähere Kenntnisse über die Ester des Cholesterins zu erhalten, wurde eine Reihe Fettsäureester synthetisiert und näher charakterisiert. Der Nachweis von Ergosterin neben Cholesterin im normalen Gehirn gelang auf spektrographischem Wege. Die Methode wurde verbessert und verfeinert. Das Gehirn des Fetus ist reich an Ergosterin (0,05 % des Cholesteringehaltes). Der Gehalt vermindert sich nach der Geburt stark, bereits bei Kindern von 1 $\frac{1}{2}$  Jahren ist es kaum mehr nachweisbar (weniger als 0,01 %). Der Absolutwert war am höchsten bei Säuglingen unter einem Jahr (etwa 1 mg). Fütterungsversuche am Huhn zeigten den Übergang des Ergosterins in die Eier.

In verkalkten Aorten ließ sich außer Cholesterin auf spektrographischem Wege noch ein weiteres Sterin nachweisen, in dem anfangs Cholestenon vermutet wurde. Untersuchungen über reines Cholestenon führten dann zu einer Revision der Formel des Cholestenons, das als ein ungesättigtes  $\alpha$ - $\beta$ - und nicht als  $\beta$ - $\gamma$ -Keton angesehen werden muß. Ein Vergleich des Eisen- und Phosphorgehaltes dieser sklerotischen Aorten mit normalen zeigte eine Erhöhung des gebundenen Phosphors, aber keine Beziehung des Eisengehaltes zur Stärke der Verkalkung.

Atmungsversuche mit Gehirngewebe im BARCROFT-Apparat zeigten einen starken Sauerstoffverbrauch unter normalen Bedingungen. Die Gegenwart von narkotischen Gasgemischen in Konzentrationen, wie sie eine tiefe Narkose bei Mäusen hervorrufen, setzte die Geschwindigkeit der Eigenatmung der Gewebe nicht herab. Auch bei Zusatz von Glukose, Milchsäure oder Bernsteinsäure zu gewaschenem Gehirngewebe trat keine Hemmung der durch diese Stoffe bewirkten Zusatzatmung ein. Wenn ein Gas die Sauerstoffaufnahme deutlich beeinflusste, so war diese Hemmung irreversibel. Wie die Atmung wurde auch der Ammoniakstoffwechsel des Gehirns durch narkotische Gasgemische nicht beeinflusst.

M. BÜLOW.

### 30. Mit Mitteln der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft ausgeführte physiologische Forschungen des Geh. Med.-Rats Prof. Dr. EML ABDERHALDEN, Halle.

Die vergleichende Untersuchung zahlreicher Eiweißkörper des Tier- und Pflanzenreiches hat im Gegensatz zu früheren Vorstellungen ergeben, daß bei der totalen Hydrolyse die gleichen Bausteine, nämlich Aminosäuren, erhalten werden. Groß sind dagegen die Unterschiede in den Mengen, in denen sie in den Angehörigen der einzelnen Eiweißgruppen enthalten sind. Es kommt auch vor, daß bestimmte Bausteine einzelnen Eiweißkörpern vollkommen fehlen. Der Unterschied in der biologischen Wertigkeit der einzelnen Proteine als Nahrungsstoffe ist im wesentlichen durch die mehr oder weniger günstige Zusammensetzung an einzelnen Aminosäuren bedingt. Leider verfügen wir zur Zeit noch nicht über Methoden, die ganz allgemein gestatten, jeden einzelnen Eiweißbaustein quantitativ zu bestimmen. Dieser Umstand erschwert an und für sich die Entscheidung der Frage, ob Eiweißkörper, die sich auf Grund ähnlicher oder gleicher physikalischer und physikalisch-chemischer Eigenschaften als verwandt erweisen, sich auch in chemischer Hinsicht nahestehen. Der Ausfall biologischer Reaktionen, es sei z. B. die Präzipitinreaktion genannt, beweist, daß die Zahl der in der Natur vorhandenen Eiweißstoffe eine außerordentlich große sein muß. Es konnte der Artcharakter von Eiweißstoffen bewiesen werden, die auf Grund der Erforschung ihrer Eigenschaften und ihres chemischen Aufbaues sich ohne Zweifel sehr nahe stehen, und zwar auch in Hinsicht auf die biologische Funktion. So lassen sich mit Albuminen, Globulinen des Blutplasmas verschiedener Tierarten spezifische Präzipitinreaktionen auslösen. Nun darf man nicht übersehen, daß Eiweißstoffe, die bei der Hydrolyse genau die gleichen Mengen an einzelnen Aminosäuren liefern, dennoch nicht identisch zu sein brauchen, weil in der Anordnung der einzelnen Bausteine eine unendliche Mannigfaltigkeit möglich ist.

Neuere Forschungen haben nun gezeigt, daß die Differenzierung von Eiweißstoffen bestimmter Herkunft sich noch viel weiter treiben läßt, als es bisher mittels der gebräuchlichen biologischen Reaktionen möglich war. Das neue Verfahren der Eiweißdifferenzierung baut sich auf folgendem einfachen Versuche auf. Bringt man Blutserum oder den Azetonniederschlag aus Harn mit in bestimmter Weise hergestellten Eiweißsubstraten zusammen, dann bleiben diese unverändert. Man kann dies mittels verschiedenartiger Methoden beweisen. Man kann z. B. Serum für sich in einer Dialysierhülse ansetzen und in einer zweiten dieselbe Menge Serum + dem Eiweißsubstrat. Es wird gegen Wasser oder 0,9%ige Kochsalzlösung dialysiert. Das Dialysat zeigt bei beiden Versuchen denselben Gehalt an stickstoffhaltigen bzw. amino-stickstoffhaltigen Produkten. Man kann aber auch ohne Dialyse arbeiten und das Substrat unmittelbar mit Serum oder dem Azetonniederschlag aus Harn zusammenbringen. Man bewahrt dann das Gemisch bei 37° auf; nach 16 Stunden wird zentrifugiert. Die überstehende Flüssigkeit wird zur Anstellung der Ninhydrinreaktion verwendet. Ganz

anders fallen die Versuche aus, wenn man dem Tier (z. B. Kaninchen) zuvor ein bestimmtes Eiweißsubstrat unter die Haut spritzt. *Jetzt baut das Serum bzw. der Azetonniederschlag aus Harn das gespritzte Eiweiß ab, und zwar nur dieses und nicht auch andere Eiweißsubstrate anderer Herkunft.* Erwähnt sei, daß die in Frage kommenden Fermente, *Abwehrproteinasen* genannt, aus dem Serum und dem Harn abgetrennt worden sind (Absorptions- und Elutionsverfahren nach WILLSTÄTTER); ferner konnte gezeigt werden, daß sie unter anderen Bedingungen wirken als die bekannten Proteinase. Der Umstand, daß die Fermente nicht nur im Blutplasma, sondern auch im Harn erscheinen, hat die Anwendungsmöglichkeiten der Abwehrfermentreaktion außerordentlich erweitert. Ferner ist die Methode unter Weglassung der Dialyse jetzt so vereinfacht, daß ihrer allgemeinen Verwendung nichts mehr im Wege steht. Hervorgehoben sei noch, daß in besonderen Versuchen gezeigt werden konnte, daß bei einer positiven Abwehrfermentreaktion das dem Azetonniederschlag zugesetzte Substrat so viel an stickstoffhaltigen Substanzen einbüßt, wie die Zunahme an solchen in der abzentrifugierten Flüssigkeit, verglichen mit dem Kontrollversuch ohne Substrat, ausmacht. Es lassen sich Eiweißstoffe aus dem Blut von *Syphilitikern, Krebsträgern* usw. unterscheiden. Ferner konnte bewiesen werden, daß im *Präzipitat*, das bei der Ausführung der Präzipitinreaktion erhalten wird, kein einheitlicher Eiweißkörper vorliegt. Es wurden ferner Eiweißstoffe bestimmter Art mit bestimmten Gruppen (*Jod-, Nitro-,  $\beta$ -Naphthalinsulfo-* usw. Gruppen) besetzt. In jedem einzelnen Fall erfolgte nach parenteraler Zufuhr des einzelnen Derivates ein spezifischer Abbau desselben durch Serum bzw. den Azetonniederschlag des Harns, während alle übrigen nicht gespritzten Eiweißderivate sowie das nicht gekuppelte Eiweiß nicht angegriffen wurden.

Es ist von Interesse zu wissen, ob nach der *Einwirkung ultravioletter Strahlen* auf den Organismus Eiweißstoffe verändert werden. Es ist bekannt, daß unter dem Einfluß der erwähnten Strahlen aus Aminosäuren und auch aus Eiweißstoffen Ammoniak abgespalten wird. Zunächst wurden Serumeiweißkörper direkt bestrahlt und der bestrahlte und der unbestrahlte Eiweißkörper für sich Kaninchen subkutan zugeführt. Es ließen sich so ohne weiteres unbestrahlte und bestrahlte Proteine unterscheiden, ja es ergaben sich sogar Unterschiede je nach der Dauer der Bestrahlung. Wurden ganze Tiere bestrahlt, dann traten auch ohne parenterale Zufuhr von Proteinen im Harn Abwehrproteinase auf, ein Zeichen dafür, daß Eiweißstoffe, und zwar insbesondere solche der Haut, eine Veränderung erlitten hatten. Es unterliegt keinem Zweifel, daß man mittels der Abwehrfermentreaktion den Einfluß der verschiedenartigsten Strahlenarten auf den Organismus auf eine sehr einfache Weise verfolgen kann.

Weiterhin wurden Eiweißstoffe von Menschen und Tieren *verschiedenen Alters* verglichen und ferner auch geprüft, ob *das Geschlecht von Einfluß auf die Zusammensetzung von Eiweißstoffen derselben Art ist.* Es zeigte sich, daß in der Tat Unterschiede vorhanden sind, d. h. es ließen sich Eiweißstoffe von ein und derselben Tierart (und derselben Rasse und

desselben Wurfes), jedoch verschiedenen Geschlechts mittels der Abwehrfermentreaktion unterscheiden.

Von ganz besonderer Bedeutung sind sehr umfassende Untersuchungen über das Verhalten von Eiweißstoffen von Meerschweinchen, die Mutationen aufwiesen. Es zeigte sich, daß die den einzelnen Mutationsgruppen angehörenden Tiere Eiweißstoffe des Blutes und der Gewebe aufwiesen, mit Hilfe derer man streng spezifische Abwehrfermentreaktionen auslösen konnte. Das bedeutet, daß die Angehörigen der einzelnen Mutationen Eiweißstoffe eigener Art besitzen. Es wird von großem Interesse sein, auf dem gleichen Wege Bastarde zu untersuchen und zu prüfen, wie sich die Eiweißkörper des Blutes und der Gewebe der Eltern und der Nachkommen verhalten.

Wie aus den angeführten Beispielen hervorgeht, übertrifft die Abwehrfermentreaktion bei der Prüfung auf feinste Strukturunterschiede in Proteinen an Feinheit die bisher üblichen biologischen Reaktionen bei weitem. Der Umstand, daß nach parenteraler Zufuhr von zell- und blutfremden Proteinen in kürzester Zeit Abwehrfermente zur Auslösung kommen, läßt erkennen, daß der Organismus sich der Fremdstoffe durch Abbau entledigt. Ohne jeden Zweifel spielen Abwehrfermente bei Infektionskrankheiten und den Immunitätsreaktionen eine ganz wesentliche Rolle. Die beim Abbau der fremdartigen Eiweißkörper entstehenden Abbaustufen lösen im Organismus ohne Zweifel bestimmte Wirkungen aus. Bei jeder Betrachtung von pathologischen Prozessen im Organismus muß an das Auftreten von Abwehrfermenten mit ihren Auswirkungen gedacht werden.

E. ABDERHALDEN.