

# Physiologisches Praktikum

Von

**Dr. med. Ferdinand Scheminzky**

Professor für Physiologie und Direktor des Physiologischen Institutes  
an der Universität in Innsbruck

Dritte, umgearbeitete Auflage

Mit 108 Textabbildungen



Springer-Verlag Wien GmbH

ISBN 978-3-662-01755-5      ISBN 978-3-662-02050-0 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-02050-0

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten  
Copyright 1930, 1940 and 1944 by Springer-Verlag Wien  
Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag OHG 1944

## Vorwort zur dritten Auflage.

Die Notwendigkeit einer Neuauflage des Praktikums nach kaum mehr als zwei Jahren darf wohl als Anerkennung des Bestrebens gewertet werden, mit diesem Buch nicht bloß eine Sammlung von Handgriffen zu geben, sondern auch die Grundlagen und das Verständnis für die auszuführenden Versuche wieder in Erinnerung zurückzurufen. Gleich der zweiten hat auch die dritte Auflage wieder eine Umarbeitung erfahren. Die wichtigste Änderung stellt wohl die Streichung des ersten Abschnittes mit den elektrischen Schaltaufgaben dar, womit der Einführung des physikalischen Praktikums in den vorklinischen Unterricht der Mediziner Rechnung getragen, oder vielleicht richtiger das physikalische Praktikum aufgerufen wird, dem Studierenden auch wirklich die Grundlagen elektrischer Schaltungen zu vermitteln; denn auch heute noch sind die Kenntnisse darüber bei den Praktikanten erschreckend gering, gleichgültig von welcher Universität sie kommen. Zu einem gänzlichen Weglassen der Elektrizitäts- und Schaltungslehre konnte ich mich allerdings nicht entschließen; maßgebend dafür war nicht nur, daß gerade dieser Abschnitt des Buches in der Mehrzahl aller Besprechungen besonders anerkennend hervorgehoben wurde, sondern auch, daß es mir richtiger schien, statt rücksichts- aber erfolglos elektrische Kenntnisse zu fordern, lieber den derzeit gegebenen Tatsachen Rechnung zu tragen. So ist dieser Abschnitt mit einigen Kürzungen und Zusätzen zu einem Anhang geworden, der dem Praktikanten, vielleicht aber auch dem schon fertig gewordenen Arzt ein Nachschlagen und damit eine schnelle Wiederholung der Elemente aus Elektrizitäts- und Schaltungslehre ermöglicht; spielen doch unter allen physikalischen Methoden gerade die elektrischen auch in der praktischen Medizin die größte Rolle.

Mit der Wandlung des physiologischen Wissens und der physiologischen Methodik muß sich auch die Stoffauswahl des physiologischen Praktikums ändern; freilich nicht ganz im gleichen Schritt, da auf einen gewissen Bestand an Grundversuchen kaum verzichtet werden darf. Manche Verbesserungswünsche des Verfassers konnten auf Grund der Erfahrungen am Innsbrucker Institut schon hier

eine Berücksichtigung finden; andere mit größeren Anforderungen an Sachbedarf, Raum und Lehrkräften mußten jedoch auf eine spätere Zeit zurückgestellt werden. Größere Änderungen erfolgten vor allem in den nunmehr ersten beiden Abschnitten. Bei der „Untersuchung des Blutes“ wurde neben einigen Streichungen eine bessere Färbemethode eingeführt, die Differentialzählung unter Beigabe einer Übersichtstabelle hinzugenommen, der Abschnitt über die osmotischen Eigenschaften der Erythrozyten umgearbeitet, das auf der Klinik häufig benützte Zeiss-Ikon-Häometer berücksichtigt, auf die Blutgerinnung und Gerinnungshemmung eingegangen und insbesondere die Blutgruppenbestimmung auf die von der gerichtlichen Medizin und der Chirurgie immer wieder geforderte Untersuchung mit Gegenprobe umgestellt; da gerade das Verständnis für die Blutgruppen und die Bluttransfusion immer wieder auf Schwierigkeiten stößt und auch sehr viele Lehrbücher darüber nur kurz hinweggehen, wurden hier die theoretischen Hinweise verbreitert. Im Abschnitt „Herz, Kreislauf und Atmung“ ist die Anordnung zur Temperaturbeeinflussung der Herzfrequenz etwas abgeändert und gleichzeitig die Gelegenheit wahrgenommen worden, Versuchsergebnisse in eine graphische Kurve zu übertragen; neben sonstigen zweckmäßigen Umgestaltungen mancher Versuchsanordnung ist hier vor allem die für Unterrichtszwecke besonders wertvolle Auskultation mit elektrischen Stethoskopen eingefügt, sowie die Aufzeichnung des menschlichen Elektrokardiogrammes, der Herztöne und die Darstellung beider als Summenkurve. Es sind ferner die elektrotonischen Erscheinungen am Herzen berücksichtigt, dafür die weit weniger eindrucksvollen Elektrotonusversuche am Nerven aus dem 3. Abschnitt gestrichen worden. Auch die übrigen Abschnitte wurden durchgesehen, überarbeitet, z. T. auch gekürzt; eingefügt wurden Bemerkungen über neuzeitliche Elektrotherapiegeräte, im optischen Teil sind die einfachen und zusammengesetzten optischen Systeme in einer besonderen Übung zusammengefaßt, da man erfahrungsgemäß auch hier immer wieder auf Verständnisschwierigkeiten stößt.

Durch Mitwirkung beim Ausbau von Versuchsanordnungen und der Herstellung neuer Abbildungen haben mich Oberassistent Privatdozent Dr. Dr. TH. VON DER WENSE und Assistentin Frau Dr. E. STRASSER, ferner beim Lesen der Korrekturen meine Frau tatkräftig unterstützt, denen ich hier herzlich danke. Dank gebührt auch wiederum dem Verlag, der trotz mancher Schwierigkeiten die rasche Ausgabe der Neuauflage möglich machte und der auf alle meine Wünsche hinsichtlich Umgestaltung des Buches sowie Aus-

wechslung oder Neuankfertigung von Abbildungen bereitwilligst einging.

So schicke ich die Neuaufgabe wieder mit dem Wunsche hinaus, daß sie auch in der neuen Gestalt den Studierenden ein treuer Helfer sein möge.

Reichenau, N.-D., im April 1944.

F. SCHEMNZKY.

## Vorwort zur zweiten Auflage.

Gegenüber der ersten Ausgabe erscheint das vorliegende Praktikum in mannigfacher Hinsicht umgearbeitet und verändert. Der physiologisch-chemische Teil wurde — entsprechend der Abhaltung eines gesonderten physiologisch-chemischen Praktikums an den physiologisch-chemischen Instituten — gestrichen; der dadurch frei gewordene Raum konnte zur Ausgestaltung der übrigen Abschnitte verwendet werden. Einzelne Übungsaufgaben wurden in eine neue, zweckentsprechendere Form gebracht und manche weniger wichtige Versuche fallen gelassen. Die früher in einem eigenen Abschnitt zusammengefaßten Froschversuche wurden auf die einzelnen Stoffgebiete aufgeteilt; dadurch konnte eine straffere Gliederung des Ganzen gewonnen werden. War der Leitfaden in seiner alten Gestalt im wesentlichen auf die früheren Bedürfnisse des Wiener Physiologischen Institutes zugeschnitten und daher vorwiegend nur dort verwendbar, so ist er nunmehr in der Stoffauswahl dem üblichen Praktikum des Reiches angepaßt und nicht mehr ortsgebunden. Trotz der ins einzelne gehenden Versuchsbeschreibung wurde daher auch die Darstellung so gehalten, daß sie den im allgemeinen an Instituten vorhandenen Versuchsbehelfen angepaßt ist.

Ungeändert blieb jedoch der Aufbau der Darstellung, ungeändert das Bestreben des Verfassers, nicht bloß eine Sammlung von Handgriffen zu geben, sondern die Beschreibung der Versuche mit Hinweisen auf die theoretischen Grundlagen zu verbinden; es soll dadurch den Studierenden nicht bloß die mechanische Durchführung der Versuche, sondern auch das Verständnis für diese erleichtert werden. Nachdruck wurde auch auf die Darstellung jener Punkte gelegt, die hinsichtlich Verständnis oder Handhabung erfahrungsgemäß immer besondere Schwierigkeiten bereiten. Die Erfahrung von nunmehr 15 Jahren, in denen der Verfasser mit der Vorbereitung der Übungen und mit der Abhaltung der einführenden Vorlesung betraut war, hat stets gezeigt, daß die Studierenden nicht immer die notwendigen Voraussetzungen für die sinnvolle Ausführung der einzelnen Versuche mitbringen; oft ist der zeitliche Abstand zwischen der Besprechung

des betreffenden Stoffes in der Vorlesung über allgemeine Physiologie und der Ausführung der zugehörigen Versuche im Praktikum zu groß, um ohne eingehende Vorbereitung die erforderlichen Grundlagen gegenwärtig zu haben, und nicht immer besteht für die Studierenden auch die Möglichkeit, vor der einzelnen Übungsstunde eine Wiederholung vorzunehmen. In der einführenden Vorlesung zum Praktikum verbietet sich ein näheres Eingehen auf die theoretischen Grundlagen schon durch die begrenzte Zeit und auch während der Übungen selbst muß sich die Tätigkeit der Lehrkräfte — insbesondere bei einer größeren Hörerzahl — naturgemäß auf die Leitung und Richtigstellung der Versuchsausführung beschränken. Es besteht daher, wie die Erfahrung zeigte, bei den Studierenden vielfach der Wunsch nach einem Führer, der Versuchsbeschreibung mit kurzer Wiederholung der Versuchsgrundlagen verbindet. Der vorliegende Leitfaden ist daher als Übungsbehelf für jene aufzufassen, die über die einführende Vorlesung hinaus noch eine erweiterte Unterlage für das Praktikum wünschen. Daß die schon für die erste Auflage maßgebenden Bestrebungen des Verfassers in diesem Belange richtig waren, bestätigte sich erfreulicherweise dadurch, daß sie sowohl in den Besprechungen der ersten Auflage als auch bei den Benutzern des Buches volle Anerkennung fanden.

Die Bearbeitung des Leitfadens in seiner neuen Gestalt ist mir durch mannigfache Hilfe ermöglicht worden. In erster Linie muß ich Herrn Univ.-Prof. Dr. F. PLATTNER für die Durchsicht des Manuskripts und für vielfache Beratung danken; Dank schulde ich auch den Kollegen Dr. W. HOLZER und Dr. F. K. KÖLLENER für ihre Mitwirkung bei der Neugestaltung und Erprobung von Versuchsanordnungen. Dr. A. SCHÖGER für manche Beratung über die Ausführung einzelner Versuche an anderen Universitäten des Reiches; Dank gebührt aber nicht zuletzt auch dem Verlag, der wie bei der ersten Auflage verständnisvoll auf alle meine Wünsche einging und so mithalf, das Buch zu möglichst großem Nutzen der Studierenden auszugestalten.

So möge denn der Leitfaden in seiner neuen Gestalt wieder hinausgehen und die gleiche freundliche Aufnahme wie früher finden; den Studierenden aber möge er wieder ein Behelf sein, die physiologischen Übungen sinn- und nützlich auszuführen und sich damit einen Teil jener Grundlagen anzueignen, die für den Beruf des verantwortungsbewußten Arztes unerlässlich sind.

Wien, im September 1940.

F. SCHEMINZKY.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>I. Untersuchung des Blutes</b> . . . . .	1
Einleitung (Mikroskop, Blutgewinnung) . . . . .	1
1. Untersuchung eines ungefärbten Ausstriches von Menschen- bzw. Froschblut . . . . .	4
2. Herstellung eines gefärbten Blutaussstriches; Differential- zählung . . . . .	8
3. Beobachtung lebender Froschleukozyten . . . . .	10
4. Beobachtung der Hämokonien im Dunkelfeld . . . . .	12
5. Zählung der roten und weißen Blutkörperchen . . . . .	14
6. Die Erythrozytenmembran; osmotische Eigenschaften der Erythrozyten; Schrumpfung und Hämolyse . . . . .	20
7. Bestimmung der Erythrozytenresistenz gegen Hypotonie . . . . .	22
8. Hämoglobinbestimmung mit dem Hämometer nach SAHLI . . . . .	23
9. Hämoglobinbestimmung mit dem ZEISS-IKON-Hämometer . . . . .	26
10. Blutnachweis mittels der TEICHMANN'schen Chlorhäminkristalle . . . . .	28
11. Spektroskopie des Blutes . . . . .	30
12. Eiweißfällung im Blutserum . . . . .	36
13. Blutgerinnung und Gerinnungshemmung . . . . .	38
14. Bestimmung der Gerinnungszeit . . . . .	39
15. Bestimmung der Blutungszeit . . . . .	40
16. Bestimmung des spez. Gewichtes des Blutes . . . . .	40
17. Blutgruppenbestimmung . . . . .	42
<b>II. Herz, Kreislauf und Atmung</b> . . . . .	49
Einleitung (Registrierung, Kymographion, Zeitschreibung und Reizmarkierung, allgemeine Reizgesetze, physiologisches Präpa- rieren, Narkose, Curare, Dekapitieren) . . . . .	49
18. Freilegung und Beobachtung des Froschherzens . . . . .	61
19. Einfluß von Abkühlung und Erwärmung auf die Schlagfre- quenz des Froschherzens . . . . .	63
20. Beobachtung der coccygealen Lymphherzen des Frosches; Einfluß des Zentralnervensystems auf die Tätigkeit der Lymphherzen und des Blutherzens . . . . .	65
21. Primäre und sekundäre Reizbildungszentren; STANNIUS'sche Ligaturen . . . . .	66
22. Aufnahme der Schlagfrequenz-Temperatur-Kurve des Frosch- herzens . . . . .	69
23. Grundversuche über die galvanische und faradische Reizung des Muskels . . . . .	74
24. Wirkung des galvanischen Stromes auf das Froschherz; elektro- tonische Erscheinungen; anodische und postkathodische Beule . . . . .	77
25. Auslösung und Aufzeichnung von Extrasystolen . . . . .	80
26. Faradische Reizung des stillstehenden Herzens; Alles- oder Nichts-Gesetz; Nachweis der Refraktärzeit; Nichttetanisier- barkeit des Herzmuskels (Wühlen und Wogen) . . . . .	83
27. Vagusreizung am Froschherzen . . . . .	85

## Inhaltsverzeichnis.

IX

	Seite
28. Wirkung von Acetylcholin und Adrenalin auf das ausgeschnittene Froschherz . . . . .	87
29. Perkussion der Lungen-Leber-Grenze und der absoluten Herzdämpfung . . . . .	88
30. Auskultation der Lunge und des Herzens . . . . .	92
31. Beobachtung der Lungen und des Herzens bei Röntgendurchleuchtung . . . . .	95
32. Beobachtung der Aktionsströme des schlagenden Froschherzens . . . . .	97
33. Aufzeichnung des Elektrokardiogrammes und der Herztöne beim Menschen . . . . .	101
34. Palpation des Pulses . . . . .	107
35. Aufzeichnung des Karotispulses auf dem Kypmographion. . . . .	107
36. Nachweis des Volumpulses mit dem Fingerplethysmographen . . . . .	110
37. Messung des arteriellen Blutdruckes beim Menschen . . . . .	110
38. Beobachtung des Blutkreislaufes beim Frosch . . . . .	114
39. Beobachtung der Kapillaren am Nagelfalz . . . . .	117
40. Aufzeichnung der Atmungsbewegungen beim Menschen . . . . .	119
41. Bestimmung der Vitalkapazität beim Menschen . . . . .	122
<b>III. Allgemeine Physiologie der Nerven und Muskeln . . . . .</b>	<b>123</b>
42. Herstellung eines Unterschenkelpräparates, eines Nerv-Muskelpräparates oder eines einfachen Muskelpräparates . . . . .	123
43. Direkte galvanische Reizung eines Muskelpräparates . . . . .	128
44. Direkte Reizung eines Muskelpräparates mit einzelnen Schließungs- und Öffnungsschlägen des Schlittenapparates . . . . .	132
45. Direkte frequente Reizung des Muskelpräparates; Auslösung tetanischer Kontraktionen . . . . .	133
46. Aufzeichnung einer Ermüdungskurve bei direkter Muskelreizung . . . . .	134
47. Nachweis der Milchsäurebildung im Muskel . . . . .	135
48. Aufzeichnung der Bewegungen des Säugerdarmes; Wirkung von Acetylcholin und Adrenalin auf die Darmmotorik . . . . .	136
49. Mechanische, osmotische und elektrische Reizung des Froschnerven . . . . .	137
50. Pflügersches Zuckungsgesetz . . . . .	138
51. Nachweis der Muskelaktionsströme mit der sekundären Zuckung . . . . .	140
<b>IV. Reizversuche an Nerven und Muskeln beim Menschen . . . . .</b>	<b>141</b>
Einleitung (Motorische Reizpunkte, Reizung in situ, differente und indifferente Elektrode, Elektrotherapiegeräte) . . . . .	141
52. Faradische Reizung menschlicher Muskeln . . . . .	146
53. Galvanische Reizung menschlicher Muskeln . . . . .	148
<b>V. Allgemeine Physiologie des Zentralnervensystems . . . . .</b>	<b>150</b>
54. Prüfung von Reflexen beim Menschen; Rolle der Aufmerksamkeit . . . . .	150
55. Reflexauslösung am Rückenmarksfrosch . . . . .	154
56. Untersuchung des Brondgeestschen Reflextonus . . . . .	155
57. Bestimmung der Reaktionszeit für Schallreize, Lichtreize und elektrische Schläge . . . . .	156
58. Prüfung der Tiefensensibilität, der Muskelkoordination und der Stereognosie . . . . .	158

	Seite
<b>VI. Physiologie der Sinnesorgane</b> . . . . .	160
59. Aufsuchen von Druck-, Schmerz- und Temperaturpunkten auf der Haut . . . . .	160
60. Bestimmung der Simultanschwelle für Druckreize . . . . .	162
61. Untersuchung der Hörweite . . . . .	162
62. Bestimmung der unteren und oberen Hörgrenze . . . . .	165
63. Nachweis des Abströmens von Schall durch den äußeren Gehörgang . . . . .	170
64. Stimmgabelversuche von Rinne, Weber und Schwabach . . . . .	170
65. Versuche über erzwungenes Mitschwingen und Resonanz; Erzeugung von Schwebungen . . . . .	173
66. Auslösung des Drehnystagmus . . . . .	175
67. Strahlenbrechung in optischen Medien; Strahlengang durch einfache und zusammengesetzte optische Systeme . . . . .	178
68. Strahlengang, Bildkonstruktion und Untersuchung von Linsen . . . . .	184
69. Strahlengang und Bildkonstruktion im Auge; Akkommodation; Refraktionsfehler . . . . .	193
70. Scheinerscher Versuch; Bestimmung des Nahpunktes . . . . .	200
71. Einfache Nahpunktbestimmung mit der Nadel oder mit kleiner Druckschrift . . . . .	202
72. Bestimmung der Akkommodationsbreite (der dynamischen Refraktion); Erkennung der Emmetropie, Myopie und Hypermetropie . . . . .	202
73. Prüfung auf Astigmatismus . . . . .	204
74. Bestimmung der Schleistung . . . . .	206
75. Sehen durch enge Blenden (stenopäisches Sehen) . . . . .	207
76. Beobachtung der Gefäßschattenfigur im eigenen Auge . . . . .	209
77. Übungen mit dem Augenspiegel . . . . .	209
78. Bestimmung des Gesichtsfeldes mit dem Perimeter . . . . .	215
<b>Anhang: Die Grundzüge der Elektrizitäts- und Schaltungslehre</b> . . . . .	217
Allgemeine Grundgesetze . . . . .	218
Häufig vorkommende Schaltungsaufgaben . . . . .	231
1. Polbestimmung an elektrischen Leitungen; Unterscheidung von Gleich- und Wechselstrom . . . . .	231
2. Gebrauch des Stromwenders . . . . .	232
3. Gebrauch von Widerständen und Meßinstrumenten . . . . .	233
4. Messung eines Widerstandes . . . . .	237
5. Schaltungen mit der Wippe (Doppelschlüssel) . . . . .	238
6. Widerstände als Spannungsteiler; Einschleichen eines Stromes (Nebenschlußschaltung) . . . . .	241
7. Messung einer elektromotorischen Kraft mittels Kompensation . . . . .	245
8. Messung einer elektromotorischen Kraft mit dem Brückenverfahren . . . . .	247
9. Verwendung des Stromschlüssels als Kurzschluß . . . . .	249
10. Der Schlittenapparat (Induktorium) . . . . .	250
Rhythmische Kondensatorentladungen . . . . .	254
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	255

## I. Untersuchung des Blutes.

Das Blut besteht aus dem flüssigen *Blutplasma*, sowie mikroskopisch kleinen *geformten Elementen*, den roten Blutkörperchen (*Erythrozyten*), den weißen Blutkörperchen (*Leukozyten* im weiteren Sinn), den Blutplättchen (*Thrombozyten*) und dem Blutstaub (*Hämokonien*). Durch Ausfällung eines der gelösten Bluteiweißkörper, des Fibrinogens, wird aus dem Blutplasma das *Blutserum*.

Größere Blutmengen für die folgend beschriebenen Versuche werden in Form von Schlachthaus- oder frischem Kaninchenblut beige stellt; kleinere Blutmengen haben die Praktikanten durch Einstich in die Fingerbeere oder in das Ohrläppchen zu gewinnen. Zum *Einstich* benützt man eine lanzettförmige Nadel, über die eine Kappe zur Einstellung einer bestimmten Stichtiefe geschraubt ist („Schnepfer“, FRANKSche Nadel). Durch Herausziehen des Knopfes am oberen Ende wird eine Feder gespannt; nach Aufsetzen dieses Schnepfers wird auf den seitlichen Hebel gedrückt, worauf die Nadel durch die Federkraft selbsttätig in die Haut eingestoßen wird. Die Einstichstelle und das Instrument sind vorher durch Abreiben mit einem in Äther, Alkohol oder Toluol getauchten Wattebausch gründlich zu reinigen. Der Einstich darf aber erst erfolgen, wenn die Reinigungsflüssigkeit vollständig verdunstet ist, weil schon geringe Spuren dieser die Blutkörperchen zerstören würden. Man legt den Finger mit der Rückseite auf eine harte Unterlage, beim Einstich in das Ohrläppchen stützt man dieses durch Unterlegen eines Fingers. Der erste aus der Wunde austretende Blut tropfen wird mit einem trockenen Wattebausch abgewischt, da er mit Gewebsflüssigkeit und auch mit Resten der in den Hautfurchen etwa zurückgebliebenen Reinigungsflüssigkeit gemischt sein kann. Erst das nach dem Abwischen austretende Blut wird verwendet. Die Blutung aus der kleinen Wunde steht sehr rasch; durch Aufdrücken eines reinen Wattebausches kann dies noch beschleunigt werden.

**Bau und Gebrauch des Mikroskopes** (Abb. 1): Der Tisch *e* dient zum Auflegen des Präparates, das dort mit den Klammern *m* befestigt werden kann. Unterhalb des Tisches befindet sich ein System von Konvexlinsen, der Beleuchtungsapparat *f* (ABBEScher Kondensator). Er kann mit einem seitlichen Trieb *l* gehoben und

gesenkt werden und trägt unten zur Einstellung der Beleuchtungsstärke eine Irisblende, die durch den kleinen runden Knopf *g* geöffnet oder zugezogen werden kann. Mit Hilfe des nach allen

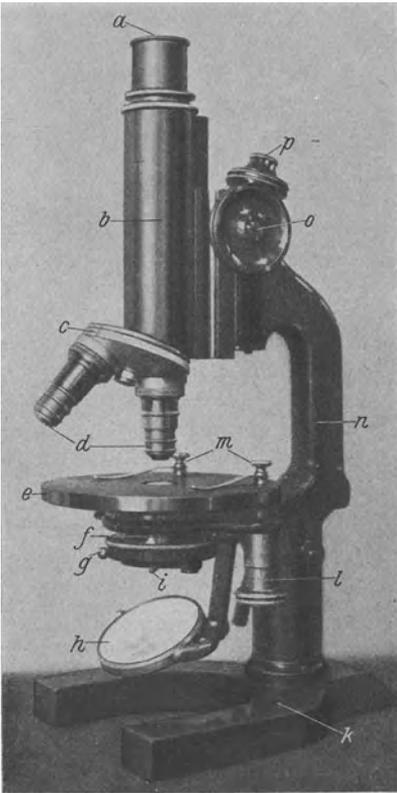


Abb. 1. Das Mikroskop und seine Teile.

*a* Okular; *b* Tubus; *c* Revolver; *d* Objektive; *e* Tisch; *f* ABBEScher Beleuchtungskondensator; *g* Knopf zur Einstellung der Irisblende; *h* Spiegel; *i* Griff des Ringes zum Einlegen einer Mattscheibe bei künstlicher Beleuchtung; *k* Fuß; *l* Schraube zum Heben und Senken des Objektträgers; *m* Klammern zur Befestigung des Stativs; *n* Griff zum Tragen des Stativs; *o* Triebrad (Grobeinstellung); *p* Mikrometerschraube (Feineinstellung).

Seiten beweglichen Hohl- und Planspiegels *h* wird das Licht in den Beleuchtungsapparat geworfen. Oberhalb des Tisches befindet sich der Mikroskoptubus *b* mit den nach unten gerichteten Objektiven *d* und dem oben eingesetzten Okular *a*. Das Okular kann herausgezogen und ausgewechselt werden; das zu benützte Objektiv wird mit Hilfe des drehbaren Revolvers *c* in die optische Achse des Mikroskops gebracht. Der Tubus läßt sich mit einer Zahnleiste und einem Trieb *o* heben und senken und so in die Nähe des Präparates bringen (*Grobeinstellung*). Eine im Stativ eingebaute Mikrometerschraube *p* erlaubt eine *Feinbewegung* des Tubus, um das Präparat in verschiedenen Tiefen durchmustern zu können. Da die einzelnen Beobachter oft eine verschiedene Refraktion haben und die einzelnen Teile des Präparates immer in verschiedenen Ebenen liegen, so muß beim Mikroskopieren, insbesondere mit starker Vergrößerung, immer wieder die Mikrometerschraube bedient werden.

Zum Mikroskopieren öffnet man die Irisblende und wendet, während man in das Okular blickt, den Hohl- oder Planspiegel der Lichtquelle zu und bewegt ihn so lange, bis das Gesichtsfeld

gleichmäßig hell erscheint. Bei Tageslicht und bei starken Vergrößerungen verwendet man im allgemeinen den *Planspiegel*, bei künstlichem Licht den *Hohlspiegel*, wobei jedoch von Fall zu Fall zu prüfen ist, ob nicht der andere Spiegel eine noch günstigere Beleuchtung ergibt. Ist das Gesichtsfeld unregelmäßig beleuchtet (besonders bei künstlichem Licht), so kann durch Senken des ABBE-Kondensors (auch durch Einlegen einer Mattscheibe in den Ring am Kondensator) die Beleuchtung gleichmäßiger gemacht werden. Bei künstlichem Licht wird das Suchen der richtigen Spiegelstellung nach Herausziehen des Okulars aus dem Tubus durch Blicken auf das Objektiv erleichtert, worauf das Okular wieder einzusetzen ist. Man bringt nun den Objektträger, auf dem sich (vom Deckglas bedeckt) das Präparat befindet, auf den Mikroskopisch unmittelbar über den Kondensator; Befestigung des Objektträgers mit den Präparatklammern *m*. Man beginnt die Einstellung mit dem *schwachen* Objektiv, indem man durch Bewegen des Tubus mit dem Trieb *o* die unterste Linse des Objektivs (*Frontlinse*) in den richtigen Abstand vom Präparat bringt. Das ins Okular blickende Auge sieht plötzlich das Bild des Präparates auftauchen, das durch Benützen der Mikrometerschraube *p* scharf eingestellt wird. Bei ungefärbten Präparaten ist die Irisblende vorher stark *zuzuziehen*, weil man sonst oft das Bild übersieht. Soll eine Stelle dann mit starker Vergrößerung untersucht werden, so wird sie in die Gesichtsfeldmitte gerückt und das stärkere Objektiv durch Drehen des Revolvers in die optische Achse des Mikroskops gebracht, wobei auch das Bild wieder annähernd scharf ist, Anpassung der Objektive an den Revolver vorausgesetzt. Schließlich erfolgt die endgültige Scharfeinstellung wieder mit der Mikrometerschraube *p*. Man muß sich vor dem Objektivwechsel stets vergewissern, ob der Revolver der Objektivlänge angepaßt ist, damit nicht etwa das stärkere Objektiv beim Vorüberdrehen das Präparat berührt und beschädigt. Bei nicht an den Revolver angepaßten zu langen Objektiven muß der Tubus mit dem Trieb *o* vorher ein wenig gehoben oder bei zu kurzem Objektiv nachher gesenkt werden. Da bei der stärkeren Vergrößerung das Objektiv ganz nahe an das Präparat herankommt, so müssen alle Bewegungen mit dem Trieb *o* oder der Mikrometerschraube *p* besonders vorsichtig ausgeführt werden. Erfolgt die Untersuchung nicht mit einem starken Trockensystem, sondern mit einem Immersionsobjektiv, so ist das Präparat mit einem Tröpfchen dünnflüssigem Zedernöl zu bedecken; in das Zedernöl ist die Frontlinse des Immersionsobjektivs vorsichtig einzusenken. Das Öl wird nachher vom Präparat und vom Objektiv mit Benzin entfernt.

Nach der Scharfeinstellung des Präparates muß noch die Beleuchtung entsprechend nachgeregelt werden, um alle Einzelheiten genügend erkennen zu lassen. Als allgemeine Regel gilt, daß bei ungefärbten Präparaten (z. B. bei Untersuchung eines ungefärbten Blutaussstriches) die Irisblende etwas verengt oder der Kondensor gesenkt werden soll; gefärbte Präparate werden dagegen besser mit weiter geöffneter Blende oder höher gestelltem Kondensor untersucht, doch ist die günstigste Blendenöffnung jedesmal auszuprobieren. Da starke Vergrößerungen mehr Licht erfordern als schwache, so ist beim Übergang zum stärkeren Objektiv die Blende wieder etwas zu erweitern. Sollte nach der Scharfeinstellung des Präparates das Gesichtsfeld wieder ungleichmäßig beleuchtet sein, so muß man durch Senken des Kondensors oder durch Verändern der Spiegelstellung wieder eine gleichmäßige Helligkeit zu erzielen trachten. Auch nach der Scharfeinstellung muß man bei der Durchmusterung ständig die Mikrometerschraube bewegen, weil nur so die verschiedenen Schichten des Präparates untersucht werden können.

Erscheint das Präparat verschmutzt oder treten im Gesichtsfeld Flecken auf oder sind die Einzelheiten verschleiert, so ist zunächst das *Präparat* (durch Verschieben), das *Okular* (durch Drehen) sowie die *Frontlinse* (nach Abschrauben des Objektivs) auf Reinheit zu untersuchen. Besonders die Frontlinse ist leicht der Verschmutzung ausgesetzt. Sie wird mit einem reinen Läppchen und einem Tropfen destillierten Wassers gereinigt oder mit etwas Benzin, wenn wasserunlösliche Substanzen, besonders Harzreste, an ihr haften. Das Objektiv muß, schräg gegen das Licht gehalten, eine gleichmäßig spiegelnde Frontlinse zeigen.

In neuerer Zeit werden die Objektive und Okulare durch Angabe ihrer sog. *Eigenvergrößerung* gekennzeichnet. Durch Multiplikation der Vergrößerungszahl des Objektivs (z. B. „45 ×“) mit der des Okulares (z. B. „10 ×“) ergibt sich dann die *Gesamtvergrößerung des zusammengesetzten Mikroskopes* (z. B.  $45 \times 10 = 450$ ), bezogen auf die deutliche Sehweite von 250 mm.

## 1. Untersuchung eines ungefärbten Ausstriches von Menschen- bzw. Froschblut.

*Aufgabe:* Im ungefärbten Blutaussstrich sind bei starker Vergrößerung die verschiedenen Arten der geformten Elemente zu suchen.

*Erforderlich:* Schnepfer, Froschblut, Objektträger, Deckgläser, Mikroskop, Watte, Alkohol, Äther oder Toluol, Filtrierpapier, Putztuch.

Die Deckgläser und die Objektträger werden mit einem Läppchen und gewöhnlichem Leitungswasser gereinigt; sind sie fett —

was sich dadurch äußert, daß sich das Wasser nicht gleichmäßig auf ihnen ausbreitet, sondern sich zu kleinen, einzeln stehenden Tropfen zusammenzieht —, so muß man zur Reinigung 60 bis 90%igen Alkohol verwenden.

Das aus dem kleinen Einstich am eigenen Finger austretende Blut sammelt sich auf der Fingerbeere an; ein vorher sorgfältig gereinigtes Deckgläschen wird in waagerechter Lage mit der Kuppe des Blutropfens in Berührung gebracht, sofort wieder abgehoben und auf ein gleichfalls sorgfältig gereinigtes zweites Deckglas gelegt.

Der Blutropfen breitet sich zwischen den beiden Deckgläschen infolge kapillarer Kräfte sofort zu einer dünnen Schicht aus. Die Deckgläser sind nach Abb. 2 etwa um 45° gegeneinander verdreht aufeinander zu legen. Je ein Deckglas wird nun mit zwei Fingern der linken bzw. rechten Hand erfaßt; hierauf werden die beiden Deckgläser rasch auseinandergesogen. Man legt sie hierauf mit der noch feuchten Blutseite nach *oben* auf ein Stück Filtrierpapier und läßt das Blut eintrocknen. Erst die lufttrockenen Ausstriche dürfen weiter verwendet werden.

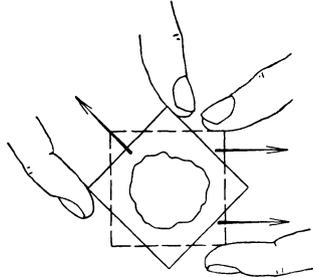


Abb. 2. Lage der beiden Deckgläschen vor dem Auseinanderziehen beim Anfertigen des Blutausstriches.

Der eine der beiden lufttrockenen Blutausstriche wird mit der Blutseite nach *unten* auf einen gereinigten Objektträger gelegt und mit diesem auf den Mikroskoptisch gebracht. Zwischen Objektträger und Deckglas befindet sich daher *nur Luft*. Die mit Blut bestrichene Seite des Deckgläschens ist durch Schräghalten und Spiegellassen leicht zu erkennen; die „Glasseite“ glänzt, die „Blutseite“ erscheint matt.

Die **Untersuchung des Präparates** erfolgt bei vorher eingestellter Beleuchtung zunächst mit dem schwachen Objektiv, dann erst wird die stärkere Vergrößerung benützt. Das mikroskopische Bild läßt die drei wesentlichsten Elemente des Blutes, die roten Blutkörperchen, die weißen Blutkörperchen und die Blutplättchen erkennen (Abb. 3 oben).

Die **roten Blutkörperchen** (Erythrozyten) sind weitaus in der Überzahl (*E* in Abb. 3 oben); es sind leicht gelbgrün gefärbte, runde Scheibchen mit einem Durchmesser von etwa  $7,5 \mu$ . Ihr Inneres läßt im allgemeinen keine Einzelheiten erkennen. Sie zeigen bei *hoher* Einstellung der Mikrometerschraube (Drehen *entgegen* dem Uhrzeigersinn) eine hellere, schmale Randzone und

einen dunkleren Mittelteil, bei *tiefer* Einstellung der Mikrometerschraube (Drehen *im Sinn* des Uhrzeigers) dagegen einen hellen Mittelteil und eine dunkle Randzone. Dies hängt mit dem biskuit-

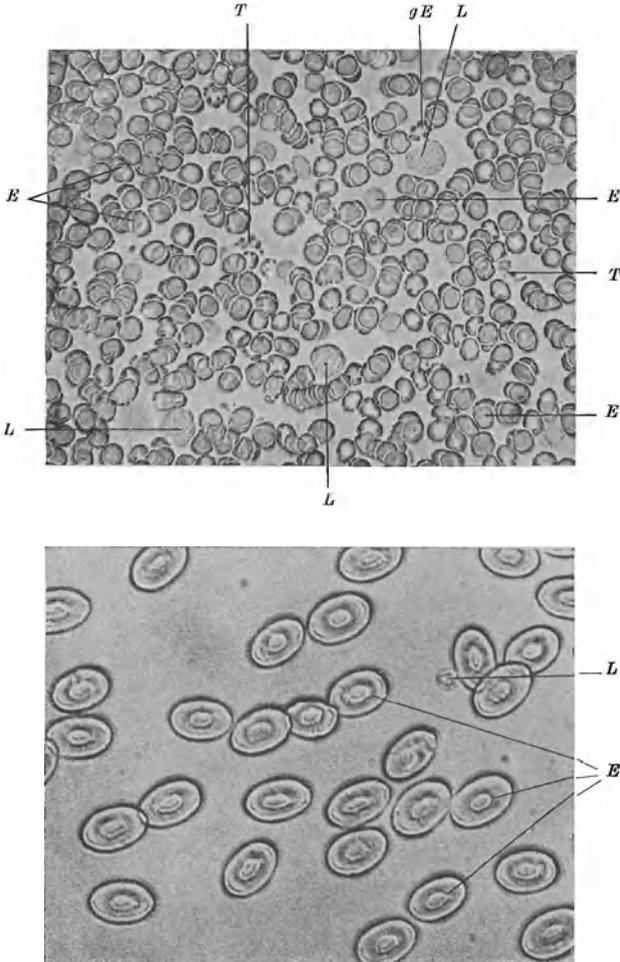


Abb. 3. Ungefärbter Blutausschlag vom Menschen (oben) bzw. vom Frosch (unten) bei gleichem Abbildungsmaßstab (rund 500 : 1)  
*E* Erythrozyten; *gE* geschrumpftes rotes Blutkörperchen; *L* Leukozyten; *T* Thrombozyten  
 förmigen Querschnitt dieser Elemente zusammen. Die Randzone wirkt wie eine Sammellinse; bei hoher Einstellung erscheint der Rand, der das Licht sammelt, heller als die lichtzerstreuende, wie

eine Konkavlinse wirkende Mitte, bei tiefer Einstellung ist dies umgekehrt.

Die **weißen Blutkörperchen** sind im Blut in viel geringerer Zahl vorhanden, sie verschwinden im Präparat gegen die große Menge von Erythrozyten, man muß sie daher besonders suchen; sie unterscheiden sich von den Erythrozyten durch das Fehlen des Farbstoffes, sind daher nicht gelblichgrün, sondern farblos bzw. grau. In ihrem Innern kann man den Zellkern mit seinen verschiedenen Strukturen und oft auch eine zarte Punktierung im Zelleib (*Granula*) erkennen. Bei hoher Einstellung der Mikrometerschraube leuchten diese Einzelheiten zart bläulichgrün auf. Obwohl die weißen Blutzellen erst im gefärbten Präparat genauer voneinander zu unterscheiden sind, kann man die Hauptformen schon an der *Größe* der Zellen auch im ungefärbten Präparat erkennen. Die *Leukozyten* im engeren Sinn (*L* in Abb. 3 oben) haben einen Durchmesser von 9—12  $\mu$ , der also ungefähr doppelt so groß ist wie der eines roten Blutkörperchens. Die *Lymphozyten* sind ungefähr gleich groß wie die roten Blutkörperchen (7—9  $\mu$ ). Die *Monozyten* stellen mit einem Durchmesser von 12—20  $\mu$  (gleich 2—3 Erythrozytendurchmessern) die größten Elemente des Blutausstriches dar.

Die **Blutplättchen** (Thrombozyten) haben ungefähr ein Fünftel des Durchmessers eines roten Blutkörperchens (0,5—3,0  $\mu$ ) und liegen entweder einzeln oder in kleineren Gruppen beisammen in den Lücken zwischen den Erythrozyten (*T* in Abb. 3 oben). Die Plättchen sind nicht rundlich, sondern haben eine mehr zackige, eckige Form. Gleich den weißen Blutkörperchen sind sie farblos und leuchten wie diese bei hoher Einstellung bläulichgrün auf, wie übrigens auch die anderen farblosen mikroskopischen Gebilde, z. B. Bakterien.

Gelegentlich findet man im Präparat auch einzelne rote Blutkörperchen, die nicht rundlich sind, sondern verbogen, zackig oder stachelig (z. B. *gE* in Abb. 3 oben). Es handelt sich dabei um Schrumpfformen durch Austrocknung. Ebenso kann man auch weiße Blutkörperchen finden, die beim Auseinanderziehen der Deckgläser gedrückt wurden und nun eine ovale oder unregelmäßige Form aufweisen.

Der **Froschblutausstrich** wird in gleicher Weise wie der vom Menschenblut zwischen zwei Deckgläsern hergestellt und nach dem Trockenwerden untersucht; Froschblut ist bereits vorbereitet und durch einen Zusatz von Natriumzitrat vor Gerinnung bewahrt. Beim Vergleich des Frosch- und Menschenblutes (Abb. 3) fällt auf: 1. die *ovale* Form der Erythrozyten beim Frosch, die ferner

einen *Zellkern* enthalten, während die Menschenerythrozyten so wie die der Säugetiere *rund* und *kernlos* sind; 2. die *Größe* der Froscherythrozyten, die mit rund  $23 \mu$  in der Längsrichtung einen dreimal so großen Durchmesser wie die Menschenerythrozyten aufweisen; 3. das andere *Größenverhältnis von Erythrozyten und Leukozyten*: große Erythrozyten und kleinere Leukozyten beim *Frosch* (*E* bzw. *L* in Abb. 3 unten), kleine Erythrozyten und größere Leukozyten beim *Menschen*.

## 2. Herstellung eines gefärbten Blutausstriches; Differentialzählung.

*Aufgabe*: Es sind durch Färbung des Blutausstriches die verschiedenen Formen der weißen Blutkörperchen im menschlichen Blut zu untersuchen und deren relative Anzahl zu bestimmen.

*Erforderlich*: Lufttrockene Ausstriche von Menschen- und Froschblut, MAY-GRÜNWALD-Lösung, GIEMSA-Lösung, destilliertes Wasser, Pipette für 2 cm<sup>3</sup>, Methylalkohol, Färbeschälchen, Objektträger, Filtrierpapier, Einschlußmittel (Kanadabalsam, Dammarharz oder Caedax), kleiner Spatel, Mikroskop, Putztuch.

Für das Färbepreparat wird der zweite Blutausstrich benützt, der bei der Herstellung des ungefärbt betrachteten Menschen- bzw. Froschblutes gewonnen wurde. Besonders gute Bilder gibt die kombinierte Färbung nach PAPPENHEIM mit MAY-GRÜNWALD- und mit GIEMSA-Lösung. Die erstgenannte Farblösung, die eosinsaures Methylenblau in Methylalkohol enthält, wird zuerst zur Einwirkung gebracht und führt zugleich auch die Fixation des Blutausstriches herbei. Die GIEMSA-Lösung, bestehend aus Methylalkohol und Glyzerin mit darin gelöstem Methylenazur, Methylenviolett, Methylenblau und Eosin, dient zur Nachfärbung. *Färberegebnis* bei normalem Blut: Zellkerne rötlich violett oder blauviolett; Protoplasma der Lymphozyten lichtblau, der Monozyten graublau, sonst leicht rötlich; neutrale Granula bräunlich bis bläulich rosa, eosinophile Granula bräunlich orange bis ziegelrot, basophile Granula ultramarinblau; Erythrozyten rosa; Thrombozyten graublau.

Zur Färbung wird der lufttrockene Deckglasausstrich, Schicht nach unten, in ein Färbeschälchen gelegt und mit MAY-GRÜNWALD-Lösung bis zur Berührung von Flüssigkeit und Deckglas unterschichtet. Nach einer Färbezeit von 3 min wird eine gleiche Menge destilliertes Wasser zugefügt und eine Minute lang weiter gefärbt. Hierauf ist das Deckglas mit einem Spatel aus der Farblösung zu nehmen, mit einer Kante auf Filtrierpapier bis zum Abfließen der Farblösung zu stellen und dann wieder in das Färbeschälchen

zurückzubringen, in welchem aber inzwischen die MAY-GRÜNWALD-Lösung entfernt und durch 2 cm<sup>3</sup> Apua dest. (Pipette) + 3 Tropfen GIEMSA-Lösung ersetzt worden ist. Nach einer Färbezeit von 10 min wird das Deckglas endgültig aus der Farblösung genommen, mit destilliertem Wasser kräftig abgespült und unter leichtem Druck zwischen einem gefalteten Stück Filtrierpapier abgetrocknet; es bleibt dann mit der Blutseite nach *oben* noch ein paar Minuten an der Luft zur vollständigen Austrocknung liegen. Schließlich wird das Deckglas auf seiner „*Glasseite*“ mit etwas Methylalkohol gereinigt und dann mit der „*Blutseite*“ nach *unten* mit einem Tropfen eines Einschlußmittels auf einem Objektträger aufgekittet. Da sich die Einschlußmittel schon bei Gegenwart geringer Spuren von Wasser trüben, muß das Präparat gut trocken sein. Die zum Aufkitten benützten Harze sind meist in Xylol gelöst. Ist das Harz zu dickflüssig, so hält man den Objektträger für einen Augenblick über eine Flamme, worauf es sofort dünnflüssig wird und sich ausbreitet. Das Harztröpfchen soll nur so groß sein, daß nicht überschüssige Mengen unter dem Deckglasrand hervorquellen. Durch Verdunsten des Lösungsmittels trocknet das Harz im Verlaufe von einigen Tagen vollkommen ein, das Deckglas haftet dann unverrückbar fest und der Blutausrich kann als Dauerpräparat aufbewahrt werden.

Die **mikroskopische Untersuchung** des Präparates mit der *starken Vergrößerung* soll vorerst mit den Formen der *weißen Blutkörperchen* vertraut machen, deren Aussehen (Färbung), Größe und Häufigkeit in der Übersicht auf S. 10 zusammengestellt sind. Steht kein Immersionsobjektiv, sondern bloß ein starkes Trockensystem zur Verfügung, so sind allerdings nur die groben Granula der eosinophilen und basophilen Leukozyten zu erkennen, während die neutrophilen Granula nicht aufgelöst werden.

An das Aufsuchen der verschiedenen Leukozytenformen im weiteren Sinn schließt sich die **Differentialzählung** an, deren Aufgabe in der Feststellung der relativen Häufigkeit besteht. Zu diesem Zweck schreibt man sich die Namen der in der Übersicht angeführten Formen untereinander in das Protokollheft, prüft durch Verschieben des Präparates eine Reihe von Gesichtsfeldern durch und macht im Heft bei jeder beobachteten Leukozytenform einen Strich. Sind in dieser Weise insgesamt 100 Leukozyten gezählt, so ergibt die Summe der Striche sofort das Zahlenverhältnis der betreffenden Form in Prozenten an. Die so gefundenen Häufigkeitswerte werden dann mit den in der Übersicht angeführten Normalzahlen verglichen.

Übersicht über die Leukozytenformen im menschlichen Blut.  
(Normales weißes Blutbild.)

Bezeichnung	Aussehen im Präparat	Größe (Durchmesser) $\mu$	Häufigkeit des Vorkommens: %
Leukozyten im engeren Sinne	Neutrophile Leukozyten	<i>Kern</i> (stabförmig bei jungen, segmentiert bei alten Zellen): rotviolett <i>Protoplasma</i> : blaurosa <i>Granula</i> (fein): bräunlich bis bläulich rosa	9—12  65—70 (stabkernige 3—5)
	Eosinophile Leukozyten	<i>Kern</i> (stabförmig oder segmentiert): rotviolett <i>Protoplasma</i> : blaßrosa <i>Granula</i> (grob): bräunlich-orange bis ziegelrot	9—12  2—4
	Basophile Leukozyten	<i>Kern</i> : durch Granula meist verdeckt <i>Protoplasma</i> : violett-rosa, durch Granula meist verdeckt <i>Granula</i> (grob): ultramarinblau	9—12  0,5
Lymphozyten	<i>Kern</i> (rund): blauviolett <i>Protoplasma</i> (nur schmaler Saum): lichtblau	7—9  20—25	
Monozyten	<i>Kern</i> (nierenförmig oder gelappt): blauviolett <i>Protoplasma</i> : hellblau	12—20  6—8	

In gleicher Weise wird auch der **Froschblutausstrich** gefärbt und aufgekittet; bei diesem Präparat genügt eine kurze Durchmusterung zur Feststellung, daß die Froscherythrozyten *Kerne* besitzen, daß ferner in diesem Blut die Leukozyten *kleiner* als die Erythrozyten sind.

### 3. Beobachtung lebender Froschleukozyten.

*Aufgabe*: Es ist die amöboide Bewegung der Froschleukozyten durch Anfertigung von Umrißzeichnungen zu verfolgen.

*Erforderlich*: Froschllymphe, Objektträger, Deckglas, Mikroskop, Putztuch.

Die rundlichen Formen, welche die Leukozyten des menschlichen Blutes im ungefärbten oder gefärbten Präparat zeigen, entsprechen nicht den Formen der Zellen im strömenden Blut oder im Gewebe, da sie die Fähigkeit der Eigenbewegung besitzen. Sie können aus ihrem Körper Protoplasmafortsätze, die *Pseudo-*

*podien*, ausstrecken, in die der Zellkörper hineinfließt und sich so von der Stelle bewegt: *amöboide Bewegung*, da sie gleichartig wie die Fortbewegung der zu den Urtieren gehörenden Amöben erfolgt. Leukozyten vom Warmblüter zeigen außerhalb des Körpers die Pseudopodienbildung und die Fortbewegung nur bei Körpertemperatur, Leukozyten der Kaltblüter jedoch auch schon bei Zimmertemperatur.

Die Leukozyten werden dem *Rückenlymphsack* des Frosches entnommen, einem großen, unmittelbar unter der Rückenhaut liegenden spaltförmigen Hohlraum. Dieser wird durch einen kleinen Einschnitt in der Höhe der Axilla eröffnet; ihm wird ein Tropfen Rückenlymphe mit einer fein ausgezogenen Glasröhre (*Pipette*)

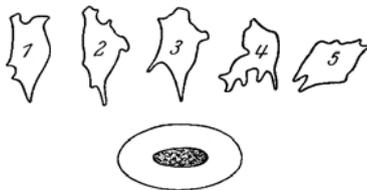


Abb. 4. Verschiedene Formen des gleichen Froschleukozyten in kurzen Zeitabständen gezeichnet; darunter ein Froscherythrozyt zum Vergleich der Größe.

entnommen. Da sich gewöhnlich nur wenig Lymphe und wenig Zellen im Rückenlymphsack befinden, so bringt man 12—24 Stunden vor der Entnahme einige Tropfen Milch oder Milch-Karmin-gemisch in diesen, wodurch eine starke Flüssigkeits- und Zellenansammlung bewirkt wird.

Zur **Beobachtung der Leukozytenbewegung** wird auf einen Objektträger ein Tropfen Rückenlymphe gebracht und mit einem Deckglas bedeckt. Zuerst wird bei schwacher Vergrößerung das Licht eingestellt und dann die Blende stark zugezogen, da sonst die weißen Blutkörperchen als ungefärbte Elemente nur schwer sichtbar sind. Zunächst sieht man im Gesichtsfeld einzelne der roten Blutkörperchen des Frosches, die an ihrer grünlichgelben Färbung, der ovalen Form und dem gleichfalls ovalen Zellkern leicht erkannt werden können. Sie kommen durch Verletzungen von Blutgefäßen in die Lymphe hinein. Nannmehr erfolgt der Übergang zur *starken* Vergrößerung. Die weißen Blutkörperchen des Frosches sind kleiner als die roten, etwa  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ . Sie sind nach der Herstellung des Präparates zunächst durch die Reizwirkung bei der Übertragung auf den Objektträger zu abgerundeten Kügelchen kontrahiert; sie beginnen aber sehr bald ihre Pseudopodien auszustrecken und eine unregelmäßige Form anzunehmen. Im

Verlauf von wenigen Minuten ändern sie unaufhörlich ihre Form. Wird ein Leukozyt z. B. zur Spitze des Zeigers im Okular gebracht, so läßt sich die langsame Fortbewegung beobachten. Zeichnet man etwa jede Minute den Umriß der Zelle auf, so kann man auch die Formänderungen feststellen (s. Abb. 4). Die Zelle selbst zeigt den Zellkern und eine Reihe von feineren oder gröberem Einschlüssen. Bei Verwendung von Milch als Reizmittel findet man in den Leukozyten feine Fetttröpfchen, die bei hoher Einstellung der Mikrometerschraube aufleuchten; sie sind durch Phagozytose von den Leukozyten aufgenommen worden. In gleicher Weise gelangte auch in den Rückenlymphsack gebrachtes Karminpulver in die Zellen.

#### 4. Beobachtung der Hämokonien im Dunkelfeld.

*Aufgabe:* Kontrastreiche Darstellung der bei gewöhnlicher Hellfeldbeleuchtung kaum sichtbaren Blutstäubchen.

*Erforderlich:* Mikroskop (mit starkem Trockensystem oder Immersionsobjektiv und zugehöriger Dunkelfeldblende), Dunkelfeldkondensator (Paraboloidkondensator oder besser Kardiodkondensator), starke Lichtquelle (Gleichstrombogenlampe oder Niedervoltmikroskopierlampe), Objektträger mit einer dem Dunkelfeldkondensator angepaßten Dicke, Deckgläser, Zedernöl, Schälchen, Glasstäbchen, 0,9% ige NaCl-Lösung, frisch einem Einstich entnommenes Blut, Äther, Alkohol oder Toluol, Schnepfer, Paraffin, Löffel feder mit Halter, Gasbrenner, Filtrierpapierstreifen, Putztuch.

Die *Hämokonien* oder Blutstäubchen stellen keine eigentlichen geformten Elemente, also Zellen oder Zellabkömmlinge, sondern bloß feinste Fetttröpfchen dar, die stets im Blut vorhanden, nach Nahrungsaufnahme, insbesondere nach fettreichen Mahlzeiten aber vermehrt sind. Bei der gewöhnlichen Hellfeldbeleuchtung treten sie wegen ihrer Kleinheit und mangels einer Eigenfärbung kaum hervor, lassen sich jedoch durch Dunkelfeldbeleuchtung sehr deutlich sichtbar machen.

Während die vom Kondensator des Mikroskopes kommenden Strahlen bei der gewöhnlichen *Hellfeldbeleuchtung* durch das Objektiv unmittelbar zum Auge gelangen und sich die Struktureinheiten mehr oder weniger dunkel vom hellen Untergrund abheben, werden bei der *Dunkelfeldbeleuchtung* die einfallenden Strahlen vom Kondensator seitlich am Objektiv vorbeigelenkt; ist das Medium zwischen Objektträger und Deckglas „optisch leer“, so trifft überhaupt kein Licht in das Objektiv und Auge. Nur wenn sich Strukturen im Präparat vorfinden, an denen die Lichtstrahlen durch Reflexion, Brechung oder Beugung aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, gelangt auch Licht in das mikroskopische Objektiv und die Strukturen leuchten *hell* auf *dunklem*

Untergrund auf. Für die Dunkelfeldbeleuchtung ist daher eine starke Lichtquelle erforderlich, da nur ein Bruchteil des Beleuchtungslichtes für die Entstehung des optischen Bildes ausgenützt werden kann. Notwendig ist ferner ein besonderer *Dunkelfeldkondensator*, von welchem die Zentralstrahlen durch eine Zentralblende abgehalten werden, und der nur die am Rand einfallenden Strahlen in der Präparatenebene zum Schnitt bringt; da die Zentralstrahlen fehlen und die Randstrahlen bloß unter einem flachen Winkel austreten, gelangt von diesem Licht ohne eine Streuung an Strukturen im Präparat *nichts* in das Objektiv. Um den Strahlengang zwischen der Frontlinse des Kondensors und dem Objektträger nicht zu stören, sind beide durch ein Medium mit gleichem Brechungsvermögen, z. B. einem Tropfen Zedernöl miteinander zu verbinden, wobei die Frontlinse des Dunkelfeldkondensors dem Objektträger *dicht* anliegen muß. Damit der Schnittpunkt der Beleuchtungsstrahlen gerade in die Präparatenebene fällt, sind für eine Dunkelfeldbeleuchtung auch Objektträger ganz bestimmter Dicke — meistens zwischen 0,9 und 1,1 mm — erforderlich, die für jeden Kondensator besonders vorgeschrieben ist. Mit Hilfe einer dem Kondensator beigegebenen Lehre oder mit einer Mikrometerschraube werden die passenden Objektträger ausgewählt. Die für die Hellfeldbeleuchtung bestimmten Objektive geben aber nur dann ein kontrastreiches Dunkelfeld, wenn durch Einsetzen einer Trichterblende in das Objektiv dessen num. Apertur verkleinert wird.

Zur *Herstellung des Präparates* wird Blut einem frischen Einstich entnommen und mit einigen Tropfen 0,9%iger NaCl-Lösung im Schälchen verdünnt. Einen Tropfen dieser Verdünnung überträgt man dann mit einem Glasstäbchen auf einen Objektträger geeigneter Dicke, der vorher mit Alkohol und einem reinen Lappen besonders gesäubert worden ist; die geringste Verschmutzung macht sich im Dunkelfeld höchst störend bemerkbar. Nach Auflegen eines gleichfalls besonders sorgfältig mit Alkohol gereinigten Deckglases wird durch Andrücken und gegebenenfalls durch Absaugen mit einem Filtrierpapierstreifen eine möglichst *dünne* Flüssigkeitsschicht hergestellt, deren Verdunstung man durch eine Paraffinumrandung des Präparates verhindert; zur Herstellung dieser Umrandung ist etwas Paraffin mit einer Löffelfeder abzuschaben, in der Flamme zu schmelzen und über die vier Ränder des Deckglases zu verstreichen. Die Frontlinse des Dunkelfeldkondensors versieht man hierauf mit einem Tropfen Zedernöl, setzt den Objektträger auf, stellt den Spiegel des Mikroskopes so ein, daß im Präparat ein Lichtring oder Lichtfleck erscheint und

beobachtet schließlich mit der schwachen, dann mit der starken Vergrößerung. Der Untergrund muß vollkommen dunkel sein — gegebenenfalls Spiegelstellung oder Zentrierung des Kondensors verbessern —, die Elemente des Blutes müssen sich leuchtend von ihm abheben. Von den Erythrozyten leuchtet nur der Rand, sie stellen also nur leuchtende Ringe dar oder zeigen im Falle der Schrumpfung Höcker am Rand und Leuchtflecke im Inneren. Die Leukozyten lassen deutlich die Granula erkennen, zwischen denen der Zellkern als dunklere Stelle ausgespart ist. Die *Hämokonien* werden durch feinste leuchtende Pünktchen dargestellt, die z. T. am Objektträger, z. T. am Deckglas haften, in mittleren Schichten des Präparates aber in zitternder Bewegung (BROWNSCHE WIMMELBEWEGUNG) sind, die durch das Anstoßen der in Bewegung befindlichen unsichtbaren Flüssigkeitsmoleküle verursacht wird.

### 5. Zählung der roten und weißen Blutkörperchen.

*Erforderlich:* Schnepper, Watte, Äther, Alkohol oder Toluol, 3%ige Kochsalzlösung, Gantianaviolett-Essigsäure, Mischpipetten für Zählung der roten und weißen Blutkörperchen, Zählkammer nach THOMA-ZEISS oder BÜRCKER-TÜRCK, Schälchen, Mikroskop.

Das normale Blut des Menschen enthält im Kubikmillimeter beim Mann 5000000, bei der Frau 4500000 Erythrozyten sowie 5000—100000 Leukozyten. Zur Zählung wird das Blut verdünnt.

Als Verdünnungsflüssigkeit zur **Zählung der roten Blutkörperchen** wird eine 3%ige Kochsalzlösung verwendet. In dieser *hypertonischen* Lösung schrumpfen die Erythrozyten, der Blutfarbstoff wird auf einen kleineren Raum zusammengedrängt, die Erythrozyten werden so deutlicher sichtbar. Zur Verdünnung wird eine Mischpipette nach Abb. 5 A verwendet. Das längere und unten leicht zugespitzte Ende der Pipette wird in den Blutstropfen eingetaucht, während an das kürzere obere Ende ein Stück Gummischlauch *s* mit einem Mundstück gesteckt wird. Vor Beginn der Zählung wird die Kochsalzlösung in ein Schälchen gegossen. Dann hat man sich zu überzeugen, daß die Mischpipette innen trocken ist, was daran leicht erkannt werden kann, daß in den Kapillaren keine Flüssigkeitströpfchen zu sehen sind und sich auch zwischen der Glasperle *p* (s. Abb. 5 A) und der Glaswand keine Flüssigkeit befindet. In einer feuchten Pipette würden die Blutkörperchen hämolysieren und die Zählergebnisse gefälscht. Schließlich wird das Mundstück mit Alkohol oder Toluol gereinigt. Der Einstich in den Finger wird in der früher beschriebenen Art vorgenommen, nach Abwischen des ersten Tropfens die Spitze der Mischpipette in das Blut eingetaucht und dieses durch ganz langsames, *besonders*

*vorsichtiges* Saugen in die Kapillare bis zur Marke 0,5 aufgezogen. Dabei dürfen keine Luftblasen die Blutsäule in der Kapillare unterbrechen, was leicht zu vermeiden ist, wenn der Einstich so vorgenommen wird, daß ein großer Blutstropfen zur Verfügung steht. Hierauf wird die Pipette aus dem Blutstropfen herausgezogen und die Spitze außen mit einem kleinen Wattebausch derart vom Blut gereinigt, daß man die Watte etwa in der Mitte der langen Kapillare aufsetzt und die Kapillare entlang über deren Spitze hinweggleiten läßt. Unmittelbar an die Spitze darf die Watte nicht angesetzt werden, weil sie sonst das Blut aus der Kapillare wieder heraussaugen würde. Ein solches Absaugen darf nur dann angewendet werden, wenn die Blutsäule etwas über der Marke 0,5 endigt. Ist *zu wenig* Blut in die Kapillare gekommen oder hat man doch etwas herausgesaugt, so kann man durch nochmaliges Einsetzen der Pipettenspitze in den Blutstropfen versuchen, das fehlende Blut noch aufzusaugen. Die außen gereinigte Mischpipette wird sodann lotrecht in das Schälchen mit der vorbereiteten 3%igen Kochsalzlösung eingetaucht und die Flüssigkeit durch *sofortiges* Nachsaugen bis zur unmittelbar über der Erweiterung liegenden Marke 101 aufgezogen. Der Gummischlauch wird sodann von der Pipette abgenommen; die beiden Enden der Pipette werden hierauf zwischen Daumen und Zeigefinger gefaßt und die Pipette zur guten Mischung des Blutes mit der Kochsalzlösung etwa 5 Minuten lang *senkrecht zu ihrer Längsrichtung* geschüttelt. Zur besseren Durchmischung ist im Inneren des erweiterten Teiles der Pipette die schon früher erwähnte Glasperle *p* enthalten.

Sollten die Mischpipette bei Beginn sich als nicht trocken erwiesen haben, Luftblasen während des Aufsaugens zwischen die Blutsäule gekommen oder schließlich bei zu kräftigem Saugen Blut in den Beginn des kugelförmig erweiterten Teiles gelangt oder schließlich das Blut durch zu langsame Handhabung in der Kapillare geronnen sein, so muß die Pipette neuerlich gereinigt und ausgetrocknet werden. Man verwendet dazu eine Wasserstrahlpumpe. An deren mit einem dickwandigen Schlauch versehenen Seitenrohr wird die Mischpipette mit dem kurzen Ende angesteckt und durch Eintauchen der Spitze in ein Schälchen mit destilliertem Wasser durchgespült und dann durch anschließendes Durchsaugen von ein wenig Alkohol und Äther getrocknet. Die Trocknung kann auch durch längeres Durchsaugen von Luft vorgenommen werden. Das Luftdurchsaugen darf jedoch erst beginnen, wenn alles Blut aus der Kapillare und dem erweiterten Hohlraum ausgewaschen worden ist. Die Trocknung ohne Alkohol

dauert einige Minuten; es ist zweckmäßig, während dieser Zeit mit dem Finger einige Male gegen den erweiterten Teil der Pipette zu klopfen, damit die kleine Glasperle im Inneren von der Wand abspringt und das zwischen ihr und der Wand haftende Wasser verdunsten kann. Als Zeichen sicherer Trockenheit dient das Tanzen der Glaskugel auf dem durch die lange Kapillare eingesaugten Luftstrahl, wenn man die Pipette mit der Spitze nach unten hält und mit dem Finger gegen die Erweiterung klopft; ist die Pipette innen noch feucht, so tanzt die Kugel nicht, sondern bleibt sofort an der Wand kleben. Mit Wasser nicht entferbares geronnenes Blut an der Wand löst sich rasch, wenn zunächst ein wenig Kalilauge durchgesaugt und dann mit Wasser nachgespült wird.

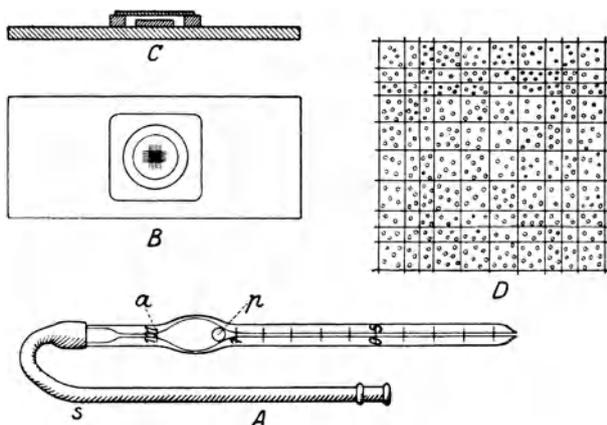


Abb. 5. Zählkammer nach THOMA-ZEISS.

A Mischpipette; B Zählkammer von oben; C Zählkammer im Schnitt; D Bild der Zählkammer bei starker Vergrößerung; a die obere Marke an der Pipette; p Glasperle zum Mischen; s Gummischlauch.

Die **Zählkammer nach THOMA-ZEISS** (Abb. 5 B u. C)<sup>1</sup> besteht aus einem dicken Objektträger, auf den, wie der Schnitt in Abb. 5 C zeigt, ein Glasrahmen mit einem runden Loch aufge kittet ist. Im Inneren dieses Loches ist ein kreisrundes Plättchen mit kleinerem Durchmesser konzentrisch aufge kittet, so daß von oben gesehen (Abb. 5 B) eine kreisförmige Rinne entsteht. Das innere Plättchen ist um  $\frac{1}{10}$  mm niedriger als der Rahmen, so daß nach Auflegen eines Deckglases zwischen der unteren Deckglasfläche

<sup>1</sup> Über die neue ZEISS-Kammer und die Zählkammer nach TÜRK siehe S. 19 und 20.

und der Oberfläche des mittleren Plättchens eine Schichthöhe von  $\frac{1}{10}$  mm Höhe verbleibt. Die mittlere runde Glasscheibe trägt ein Netz von Quadraten, die je eine Seitenlänge von  $\frac{1}{20}$  mm haben. Bevor man das verdünnte Blut in die Zählkammer bringt, stellt man zweckmäßig zuerst mit der schwachen und dann mit der starken Vergrößerung (*bei starker Abblendung*, also mit *enger Irisblende*) auf das Liniennetz ein. Wenn dann die Zählkammer weggezogen und nach der Einfüllung des Blutes mit dem Deckglas versehen wieder auf den Tisch des Mikroskops gebracht wird, so hat man dann sofort wieder das Quadratnetz im Gesichtsfeld, ohne besonders einstellen zu müssen.

Da der lange Teil der Kapillare nur die zur Verdünnung aufgezugene Kochsalzlösung enthält, die sich mit dem Blut in der Kugel nicht gemischt hat, so wird der erste Tropfen herausgeblasen. Erst der *zweite* Tropfen ist zur Zählung zu verwenden. Das Füllen der Kammer muß unmittelbar nach Beendigung des Schüttelns vorgenommen werden, weil sonst durch Senkung der Blutkörperchen und Entmischung eine ungleiche Verteilung zustande kommt. Beim Einfüllen des verdünnten Blutes in die Kammer muß man darauf achten, daß sich die Flüssigkeit nur zwischen dem Deckglas und dem mittleren Glasplättchen befindet und der Überschuß nur in die Glasrinne abfließt. Keinesfalls darf Flüssigkeit

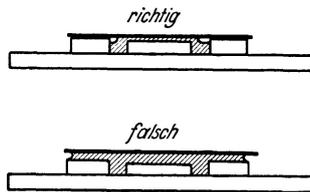


Abb. 6. Richtige und falsche Füllung der Zählkammer (das verdünnte Blut ist schraffiert gezeichnet).

auch zwischen dem äußeren Rahmen und dem Deckglas sein, weil sonst die Höhe der Kammer mehr als  $\frac{1}{10}$  mm betragen würde. Abb. 6 zeigt oben die richtige und unten die falsche Art der Füllung im Schnitt: um diesen großen Fehler zu vermeiden, drückt man das Deckglas fest auf die leere und vorher auf ihre Reinheit und Trockenheit geprüfte Kammer, daß nur ein kleiner Abschnitt des mittleren kreisförmigen Plättchens unbedeckt bleibt. Auf diesen Abschnitt stützt man leicht die Spitze der Mischpipette, wobei man vermeiden muß, daß an ihr ein allzu großer Tropfen hängt. Die Flüssigkeit läuft aus der aufgesetzten Spitze leicht von selbst in den Spalt hinein; nach Abheben der Pipettenspitze

wird das Deckglas mit einem Ruck über die ganze Kammer geschoben. Sollte dennoch Flüssigkeit zwischen Glasrahmen und Deckglas gelangt sein, so spült man die Kammer und das Deckglas mit Wasser ab, trocknet beide mit einem weichen Leinwandläppchen und füllt noch einmal.

Die *starke* Vergrößerung zeigt das in Abb. 5 D dargestellte Bild. Wir finden Gruppen von je 16 Quadraten durch Mittelstriche hervorgehoben. Jedes einzelne der 16 Quadrate, die gerade innerhalb des Gesichtsfeldes bei starker Vergrößerung Platz haben, hat — wie schon erwähnt — eine Seitenlänge von  $\frac{1}{20}$  mm und daher einen Flächeninhalt von  $\frac{1}{400}$  mm<sup>2</sup>. Man zählt zunächst die *innerhalb* eines solchen Quadrates liegenden Blutkörperchen. Einzelne von ihnen liegen aber auch auf den Grenzstrichen zwischen zwei Quadraten; um hier eine Doppelzählung zu vermeiden, rechnet man von den auf den Randlinien liegenden Blutkörperchen nur jene von bloß *zwei* Seiten zum Quadrat dazu. Welche Seiten man nimmt, ist natürlich gleichgültig, man pflegt aber gewöhnlich die auf der *linken* und *oberen* Kante liegenden Blutkörperchen mitzuzählen. Zur Erzielung eines genauen *Mittelwertes* zählt man die Blutkörperchen in 80—100 Quadraten, addiert die einzelnen Werte und dividiert durch die Zahl der gezählten Quadrate. Eine Zählung ist nur dann brauchbar, wenn in allen Quadraten annähernd die *gleiche Zahl* von Blutkörperchen gefunden wurde. Stark abweichende Zahlen in den einzelnen Quadraten deuten auf schlechte Mischung, zu kurzes Schütteln oder Sedimentierung hin; es muß dann die Zählung von Anfang an nochmals begonnen werden. Beim normalen, gesunden Menschen findet man als Mittelwert für ein Quadrat 6—6,25 Blutkörperchen beim Mann und rund 5,5 Blutkörperchen bei der Frau. Diese Blutkörperchen befinden sich in einem Raum von  $\frac{1}{20} \times \frac{1}{20}$  mm<sup>2</sup> Grundfläche mit  $\frac{1}{10}$  mm Höhe, also in  $\frac{1}{4000}$  mm<sup>3</sup> Volumen des verdünnten Blutes. Im Kubikmillimeter sind daher 4000 mal mehr rote Blutkörperchen enthalten. Da aber außerdem das Blut im Verhältnis 1 : 200 verdünnt wurde, so hat man den gefundenen Mittelwert mit 800 000 zu multiplizieren, um die Zahl der Blutkörperchen im Kubikmillimeter unverdünnten Blutes zu erhalten.

Zählt man genau 100 Quadrate, so kann man sich die Rechnung *vereinfachen*; statt durch 100 — wegen der Mittelwertbildung — zu dividieren und diese Zahl dann mit 800 000 zu multiplizieren, wird die Summe für alle 100 Quadrate gleich mit 8000 multipliziert.

Grundsätzlich in gleicher Art vollzieht sich auch die **Zählung der weißen Blutkörperchen**. Als Verdünnungsflüssigkeit benützt

man jedoch Gentianaviolett-Essigsäure. Die gebrauchsfertig gemischte Lösung enthält 3% Essigsäure und  $0,1\text{‰}$  Gentianaviolett; sie zerstört die roten Blutkörperchen (Essigsäure), während die Kerne der weißen Blutkörperchen violett gefärbt (Gentianaviolett) und dadurch gut sichtbar werden. Aufziehen, Mischen und Einbringen des verdünnten Blutes in die Kammer erfolgen in der gleichen Weise wie bei der Zählung der roten Blutkörperchen mit dem Unterschied, daß die Pipette *bis zur Marke 1,0* mit Blut gefüllt wird. Verdünnt wird aber nur im Verhältnis 1 : 10, weshalb eine *andere* Mischpipette als bei der Zählung der Erythrozyten verwendet werden muß, die mit den Marken I und II versehen ist. Da die weißen Blutkörperchen infolge der Kernfärbung gut sichtbar sind, kann diese Zählung bei *schwacher* Vergrößerung vorgenommen werden; dies bietet die Vereinfachung, daß das ganze durch die Kreuzung der zueinander senkrechten Netzlinien entstehende Feld von Quadraten (vgl. Abb. 5B) *auf einmal* überblickt werden kann. Da dieses Mittelfeld genau  $1\text{ mm}^2$  groß ist, befinden sich die in ihm vorhandenen Leukozyten in einem Raum von  $1 \times 0,1 = 0,1\text{ mm}^3$ ; zur Umrechnung auf den ganzen *Kubikmillimeter unverdünnten* Blutes ist die gefundene Zahl also mit 10 wegen des Raumverhältnisses und dann noch einmal mit 10 wegen der Verdünnung, d. h. mit 100 zu multiplizieren.

Während bei der Zählung der weißen Blutkörperchen die roten durch die Essigsäure zerstört und unsichtbar werden, sind bei der Zählung der roten Blutkörperchen die weißen auch sichtbar und können, wenn man nicht sehr genau auf die Struktur eines jeden gezählten Teilchens achtet, leicht mitgezählt werden. Da im normalen Blut jedoch durchschnittlich auf 500—1000 rote Blutkörperchen nur 1 weißes Blutkörperchen entfällt, so ist der dadurch bedingte Fehler nicht groß. In pathologischen Fällen, in denen die Zahl der weißen Blutzellen gegenüber der normalen Zahl beträchtlich *erhöht* ist, rechnet man bei Zählung der roten Blutkörperchen die weißen zunächst mit, zieht jedoch vom Endergebnis die Zahl der weißen Blutzellen ab, die man in einer nachfolgenden Bestimmung gefunden hat.

Bei einer *neueren Ausführung der THOMA-ZEISS-Zählkammer* befinden sich auf dem Objektträger — durch zwei Furchen getrennt — drei Glasleisten. Die mittlere Leiste ist um  $\frac{1}{10}\text{ mm}$  niedriger und trägt die Teilung, die beiden äußeren dienen als Auflage für das Deckglas. Überschüssiges Blut kann sich in den Furchen ansammeln, darf aber *niemals* zwischen Deckglas und seitlichen Glasleisten liegen. Diese Kammer ist leichter zu füllen

als die ältere Form, da der Spalt für die Flüssigkeitsfüllung von außen leicht zugänglich ist.

Bei der **Zählkammer nach TÜRK** sind gleichfalls drei durch Furchen getrennte Glasleisten vorhanden, die mittlere (um  $\frac{1}{10}$  mm niedrigere) ist jedoch durch eine Querfurche in *zwei* Abschnitte geteilt, von denen *jeder* ein Zählnetz trägt. Die ganze Kammer wird mit *einem* Deckglas bedeckt, das zur sicheren Erzielung einer Flüssigkeitshöhe von  $\frac{1}{10}$  mm mit zwei Metallfedern niedergedrückt wird. Unter das Deckglas kann *gleichzeitig* mit Kochsalzlösung verdünntes Blut zur Zählung der roten Blutkörperchen über das eine Netz gebracht werden, über das andere mit Gentianaviolett-Essigsäure verdünntes Blut zur Zählung der weißen. Die Bestimmung der Zahl der Erythrozyten und Leukozyten kann daher unmittelbar hintereinander nach Verschiebung des Objektträgers vorgenommen werden.

## 6. Die Erythrozytenmembran; osmotische Eigenschaften der Erythrozyten; Schrumpfung und Hämolyse.

*Aufgabe:* Untersuchung des Verhaltens der Erythrozyten in hyper-tonischen, isotonischen und hypotonischen Lösungen.

*Erforderlich:* Säugerblut (1:30 mit 0,9% NaCl verdünnt), Harn, 0,9% ige Kochsalzlösung, 1,5% ige (isotonische) Harnstofflösung, destilliertes Wasser, Chloroform, gesättigte Glykocholsäurelösung, Reagensgläser, Reagensglas-gestell, Mikroskop, Objektträger, Deckgläser, Putztuch.

Nach den Befunden bei Anstichversuchen mit dem Mikro-manipulator sowie den der Elektronenmikroskopie kann man die Erythrozyten als mit Flüssigkeit gefüllte Bläschen auffassen, deren Inhalt, u. a. das Hämoglobin, von einer dünnen Haut, der Erythrozytenmembran oder „Ballonhaut“ umschlossen wird. Diese Haut ist semipermeabel (halbdurchlässig), d. h. sie ist wohl für Wasser, aber nicht für Salze durchgängig; sie besteht aus einem Mosaik von Eiweiß und Lipoiden (etwa  $\frac{2}{3} : \frac{1}{3}$ ). Der Erythrozyteninhalt hat gleichen osmotischen Druck wie eine Kochsalzlösung von 0,9% (Mensch- und Säugetiere) bzw. 0,65% (Frosch), die daher als *isotonische* Lösungen bezeichnet werden. Eine Lösung mit größerem osmotischen Druck ist *hypertonisch*, eine Lösung mit geringerem osmotischen Druck oder reines Wasser ist *hypotonisch*. *Hypertonische* Lösungen entziehen den Erythrozyten Wasser, wodurch diese schrumpfen und Stechapfel-, Maulbeer-, Glocken- oder Backschüsselform annehmen. Schon bei der Verdünnung des Blutes mit 3% iger Kochsalzlösung beim Zählen der roten Blutkörperchen ist diese Schrumpfung aufgetreten und im Mikroskop beobachtet worden. Da auch der Harn *hyper-*

tonisch ist, zeigen die bei Blutungen in den Harn gelangenden roten Blutkörperchen gleichfalls keine normale Gestalt mehr, sondern Schrumpfformen, meist Stechapfelform. In *isotonischen* Lösungen (z. B. 0,9% Kochsalz für Menschen- oder Säugerblut) bleiben die Erythrozyten unverändert, sofern der gelöste Stoff durch die Membran nicht in das Innere eindringen kann. In *hypotonischen* Lösungen dagegen wird Wasser vom Erythrozyteninhalt angesaugt und die damit verbundene Volumzunahme führt zur Dehnung und zum Aufreißen der Membran; der flüssige Inhalt tritt aus und löst sich in der Außenflüssigkeit (*Hämolyse*), während die „Ballonhaut“ also sog. *Blutschatten* (unter dem Mikroskop unter bestimmten Bedingungen sichtbar) zurückbleibt. So wie eine *hypotonische* Lösung wirkt reines Wasser, ebenso aber auch eine selbst *isotonische* Lösung von Harnstoff. Daß die letztere zur Hämolyse führt, hängt mit dem guten Permeierungsvermögen des Harnstoffes zusammen, für welchen die Erythrozytenmembran nicht semi-, sondern voll permeabel ist; das Außenwasser kann daher nicht zurückgehalten werden. Hämolyse kann ferner auch durch eiweißlösende Stoffe (z. B. Gallensäuren) bzw. lipoidlösende Mittel (z. B. Chloroform, Äther usw.) herbeigeführt werden, weil in beiden Fällen die Erythrozytenmembran durch Zerstörung der „Eiweißfenster“ bzw. der „Lipoidfenster“ in der Mosaikstruktur aufgerissen und der flüssige Inhalt zum Auslaufen gebracht wird. Ob in einer Aufschwemmung die Erythrozyten noch erhalten sind oder nicht, ist dem optischen Verhalten der Flüssigkeit zu entnehmen. Eine Blutkörperchenaufschwemmung in einer hypertonischen Lösung und ebenso in einer isotonischen eines nicht permeierenden gelösten Stoffes ist *deckfarbig*, d. h. undurchsichtig, weil die noch erhaltenen Blutkörperchen die einfallenden Lichtstrahlen abschwächen; eine Blutkörperchenaufschwemmung, die durch Hypotonie oder durch sonstige Membranzerstörung hämolysiert worden ist, zeigt *Lackfarbe*, d. h. sie ist durchsichtig. Bei konzentrierteren Blutkörperchenaufschwemmungen ist der Unterschied von deckfarbig und lackfarbig sowohl im auffallenden wie im durchfallenden Licht deutlich, bei geringer Konzentration dagegen schwerer zu unterscheiden. Mit Sicherheit ist Hämolyse feststellbar, wenn hinter die Reagensgläser mit den Blutkörperchenaufschwemmungen ein Stück bedruckten oder beschriebenen Papiere gehalten wird; bei deckfarbiger Flüssigkeit sind die Schriftzeichen unleserlich oder verschwommen, bei Hämolyse dagegen deutlich erkennbar.

Zur Feststellung des Verhaltens der Erythrozytenmembran gegen Eingriffe der beschriebenen Art werden sechs Reagensgläser A,

*B, C, D, E* und *F* mit je sechs Tropfen 1 : 30 verdünnten Säugerblutes versehen. Zur Blutprobe *A* kommen ein paar Tropfen Chloroform, zur Blutprobe *B* ein paar Tropfen einer gesättigten filtrierten Glykocholsäurelösung; beide Proben werden sofort geschüttelt und abgestellt. Hierauf füllt man die Blutproben *A, B* und *C* mit 0,9%iger NaCl-Lösung bis auf etwa ein Drittel der Reagensglashöhe auf, die Probe *D* dann gleich hoch mit destilliertem Wasser, die Probe *E* mit 1,5%iger Harnstofflösung, die Probe *F* schließlich mit Harn. Schon die unmittelbare Betrachtung des optischen Verhaltens der Flüssigkeit in den Reagensgläsern, noch besser die Prüfung auf Durchsichtigkeit mit Schrift oder Druck läßt erkennen, daß die Erythrozyten nur in den Proben *C* (0,9%ige NaCl-Lösung) und *F* (Harn) erhalten geblieben sind, während in allen anderen Hämolyse eintrat. Schließlich wird ein Tropfen der Blutkörperchenaufschwemmung im Harn auf einen Objektträger gebracht, mit einem Deckglas bedeckt und zur Feststellung der im *hypertonischen* Harn eingetretenen Erythrozytenschrumpfung mit starker Vergrößerung unter dem Mikroskop untersucht.

### 7. Bestimmung der Erythrozytenresistenz gegen Hypotonie.

*Aufgabe:* Feststellung, bei welcher Grenzkonzentration in einer Verdünnungsreihe von Kochsalzlösungen eben Hämolyse eintritt.

*Erforderlich:* Ungerinnbar gemachtes Säugerblut, 1%ige Kochsalzlösung, destilliertes Wasser, Pipette (für 10 cm<sup>3</sup> in cm<sup>3</sup> und 0,1 cm<sup>3</sup> geteilt), Reagensgläser, Reagensglasgestell.

In jeder hypotonischen Lösung findet eine Wasseraufnahme und damit eine Volumvermehrung der Erythrozyten statt, die jedoch nicht immer auch zu einer Zerstörung der roten Blutkörperchen führen muß. Weicht die Konzentration der Außenlösung nicht zu sehr von der Isotonie ab, dann ist die Wasseraufnahme gering und die Volumvermehrung bleibt in einem Bereich, in welchem sich die Erythrozytenmembran noch dehnen kann. Erst wenn durch zu starke Volumvergrößerung, entsprechend einer sehr *kleinen* Konzentration der Außenlösung, der Volumzuwachs zum Überschreiten der Festigkeitsgrenze der Membran führt, tritt Hämolyse ein. Daher sind die normalen Säugererythrozyten, ebenso wie die des Menschen, in *hypotonischen* Lösungen von 0,9 bis 0,45% „resistent“, d. h. die Hämolyse tritt in verdünnten Kochsalzlösungen erst bei einer Konzentration *unter* 0,45% ein. Da in pathologischen Fällen sich die hämolytische Grenzkonzentration verschiebt, stellt die „Resistenzbestimmung der Erythrozyten“ auch eine klinisch wertvolle Untersuchungsmethode dar.

Als Ausgangslösung zur **Herstellung der Verdünnungen** benützt man am einfachsten eine 1%ige Kochsalzlösung. In einem Reagensglasgestell werden 6 Reagensgläser untergebracht, in jedes mit einer in  $\text{cm}^3$  und  $0,1 \text{ cm}^3$  geteilten Pipette, einer sog. *bakteriologischen Pipette*, eine bestimmte Menge der 1%igen Stammlösung eingefüllt und dann die auf  $10 \text{ cm}^3$  fehlende Menge destillierten Wassers hinzugefügt. In der folgenden Tabelle sind zunächst die Kubikzentimeter der Stammlösung angegeben, darunter die Zahl der Kubikzentimeter für das destillierte Wasser, darunter schließlich der Prozentgehalt der dadurch erzielten verdünnten Kochsalzlösung.

1%ige Kochsalzlösung	8	7	6	5	4	3 $\text{cm}^3$
Destilliertes Wasser. .	2	3	4	5	6	7 $\text{cm}^3$
Gehalt der verdünnten Lösung	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3%

In jedes der Reagensgläser werden nun 5—10 Tropfen von frisch entnommenem, ungerinnbar gemachten Säugetierblut gebracht und durch Schütteln gut verteilt. Während die konzentrierteren Lösungen dieser Reihe *deckfarbig* bleiben, tritt in den schwächer konzentrierten Lösungen sehr bald Hämolyse ein (Lackfarbe). Die Grenzkonzentration liegt, wie schon erwähnt, für normales Säuger- oder Menschenblut zwischen 0,4 und 0,5%.

Bei der *klinischen Prüfung der Blutkörperchenresistenz* verwendet man nicht so große Stufen wie bei dem soeben beschriebenen Versuch. Man kann aber auch hier weitere Stufen einschalten. Wurde im ersten Versuch bei 0,5% noch keine Hämolyse, bei 0,4% jedoch eine solche gefunden, so stellt man sich eine neue Reihe mit folgenden Verdünnungsgraden her:

1%ige Kochsalzlösung	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0 $\text{cm}^3$
Destilliertes Wasser. .	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0 $\text{cm}^3$
Gehalt der verdünnten Lösung . . . . .	0,5	0,48	0,46	0,44	0,42	0,40%

Mit dieser Reihe ist nun der genaue Hämolysepunkt festzustellen.

### 8. Hämoglobinbestimmung mit dem Hämometer nach SAHLI.

*Erforderlich:* Schnepfer, Watte, Äther, Alkohol oder Toluol, Hämometer,  $\frac{1}{10}$  normale Salzsäure, destilliertes Wasser, Pipetten, Glasstäbchen.

Der Hämoglobingehalt eines *einzelnen* Erythrozyten beträgt im Mittel  $32 \times 10^{-12} \text{ g}$  (physiologische Schwankungsbreite 28 bis  $36 \times 10^{-12} \text{ g}$ ); in  $100 \text{ cm}^3$  des „normalen“ Blutes sind 16 g Hämoglobin enthalten. Dieser Normalgehalt an Hämoglobin ist beim SAHLI-Apparat gleich 100 Teilen gesetzt. Bei *gesunden Männern*

kann der Hämoglobingehalt zwischen 14 und 18 g in 100 cm<sup>3</sup> Blut, gleich 90—110 SAHLI-Einheiten<sup>1</sup> schwanken (mit einem am häufigsten vorkommenden Wert von 16 g gleich 100 SAHLI-Einheiten<sup>1</sup>), bei *gesunden Frauen* zwischen 13,6 und 16,5 g in 100 cm<sup>3</sup> Blut, gleich 80—100 SAHLI-Einheiten<sup>1</sup> (mit einem am häufigsten vorkommenden Wert von 14,5 g, gleich 90 SAHLI-Einheiten<sup>1</sup>). Beim SAHLI-Apparat wird zur Bestimmung der Hämoglobinmenge ein kolorimetrisches Verfahren benützt, bei welchem eine Blutprobe bis zur gleichen Farbstärke wie eine Vergleichsprobe zu verdünnen ist; aus dem Flüssigkeitsstand im Reagensglas wird dann der Hämoglobingehalt in den genannten Einheiten unmittelbar abgelesen. Da das Hämoglobin selbst je nach seinem Sauerstoffgehalt einen verschiedenen Farbton zeigt, wird nicht die ursprüngliche Blutprobe, sondern erst das durch Salzsäurezusatz entstandene Hämoglobinderivat *Chlorhämין* verdünnt. Da sich auch das Chlorhämין bei längerer Aufbewahrung, insbesondere durch Lichteinwirkung verändert, werden in neueren Ausführungen des Hämometers nach SAHLI nicht mehr Chlorhämיןlösungen, sondern entsprechend braun gefärbte, unbegrenzt haltbare Glasstreifen oder Glasstäbe als Vergleichsnormal benützt.

Der SAHLI-Apparat besteht aus einem kleinen Kästchen, das vorne mit einem Längsschlitz, rückwärts mit einer Milchglasscheibe als Hinterwand versehen ist. In eine von oben nach unten verlaufende Bohrung des Kästchens läßt sich ein kleines Reagensglas einführen, das im Schlitz der Vorderwand sichtbar wird und sowohl eine Teilung in Gramm-Hämoglobin als auch in SAHLI-Einheiten trägt. Seitlich von diesem Reagensglas befindet sich bei *älteren* Ausführungen ein zweites zugeschmolzenes Röhrchen mit einer Vergleichs-Chlorhämין-Lösung, bei *neueren* Ausführungen aber der schon erwähnte gleichgefärbte Glasstab oder Glasstreifen. Besonders zweckmäßig sind jene Apparate, die zu *beiden* Seiten des Reagensglases je einen Vergleichsstreifen besitzen.

Zur Ausführung der Hämoglobinbestimmung wird mit der größeren der beiden dem Apparat beigegebenen Pipetten n/10 Salzsäure in das Reagensglas bis zur Marke 10 eingefüllt. Die zur Untersuchung erforderliche Menge von 20 mm<sup>3</sup> Blut ist anschließend von einem frischen Einstich in die zweite Pipette, eine Kapillarpipette mit einer Marke, einzusaugen und dann nach vorsichtiger Reinigung der Pipettenspitze (vgl. S. 15) in die Salzsäure einzublasen; die Pipettenspitze muß dabei in die Salzsäure eingetaucht werden. Der Zeitpunkt der Mischung von Blut und

<sup>1</sup> Bezogen auf den Farbvergleich bei Tageslicht.

Salzsäure ist an der Uhr abzulesen. Durch mehrmaliges Ansaugen und Ausblasen der Flüssigkeit sind anschließend alle Blutreste aus der Kapillarpipette in das Reagensglas zu spülen. Nach kurzer Zeit ist die Flüssigkeit durch Chlorhämoglobinbildung braun geworden; sollte durch zu langsames Arbeiten das Blut in der Kapillarpipette geronnen sein oder sich auch nach Übertragung in die Salzsäure nicht sofort auflösen, dann muß nach vorheriger Reinigung des Reagensglases und der Pipette nochmals mit der Bestimmung begonnen werden. Die entstandene dunkelbraune Chlorhämoglobinlösung ist nun durch Verdünnen mit destilliertem Wasser auf gleiche Farbstärke wie das Vergleichsnormal zu bringen. Nach Herausnahme des Reagensglases aus dem Hämometer wird mit der größeren Pipette das Wasser in kleinen Mengen zugesetzt und eine gute Mischung durch vorsichtiges Neigen des Röhrchens oder auch mit einem feinen Glasstäbchen herbeigeführt. Von Zeit zu Zeit wird die Farbstärke durch Einsetzen des Reagensglases in das Hämometer geprüft, wobei der Apparat gegen den Himmel (am besten gegen weiße Wolken) oder gegen eine künstliche, jedoch möglichst weiß leuchtende Lichtquelle zu halten ist; bei diesem Vergleich muß das Reagensglas so gedreht werden, daß seine Teilungen *seitlich* liegen und die Beurteilung der Farbe nicht stören. Ist die Chlorhämoglobinlösung im Reagensglas noch zu dunkel, so wird mit der Verdünnung bis zur schließlichen Farbgleichheit fortgesetzt. Die Ablesung des Flüssigkeitsstandes (am unteren Rand des Flüssigkeitsmeniskus) soll genau 3 min nach der Mischung von Blut und Salzsäure erfolgen; hat man zu schnell gearbeitet, so muß diese Zeit abgewartet und eine allfällige Nachdunkelung durch weiteren Wasserzusatz behoben werden. Da eine genaue Ablesung des Flüssigkeitsstandes nur möglich ist, wenn sich keine Luftblasen an der Flüssigkeitsoberfläche befinden, so muß man beim Mischen alles vermeiden, was zur Schaumbildung führen könnte.

Aus dem SAHLIwert und der vor- oder nachher ausgeführten Zählung der roten Blutkörperchen läßt sich auch eine Verhältniszahl gewinnen, die etwas über die Hämoglobinmenge im einzelnen Erythrozyten aussagt. Diese Zahl wird **Färbeindex** genannt. Der Färbeindex ist der Quotient aus dem SAHLIwert und der Blutkörperchenzahl je Kubikmillimeter, ausgedrückt in Prozenten des normalen Wertes. Hat man für männliches Blut z. B. 4,600000 Erythrozyten in  $\text{mm}^3$  gefunden, so wird die Prozentzahl (vom Normalwert = 5000000/ $\text{mm}^3$ ) am einfachsten durch Multiplikation der Millionenzahl des Zählergebnisses mit 20 gefunden, in unserem Beispiel also gleich  $4,6 \times 20 = 92\%$ . Wurde bei der gleichen

Person ein SAHLIwert von 90 festgestellt, so wäre der Färbeindex  $F$ :

$$F = \frac{92}{90} = \text{abgerundet } 1,0.$$

Infolge der früher angegebenen physiologischen Schwankungen des Hämoglobingehaltes wird auch der Färbeindex nicht immer gerade 1,0 sein; seine physiologischen Schwankungen liegen zwischen 0,9 und 1,1. *Unter* diesen Werten liegt er bei *hypochromen*, *über* diesen Werten bei *hyperchromen* Anämien. Soll der *absolute* Hämoglobingehalt des einzelnen Erythrozyten berechnet werden, so dividiert man den zehnfachen Hämoglobinwert in Gramm durch die Erythrozytenzahl in Millionen.

### 9. Hämoglobinbestimmung mit dem ZEISS-IKON-Hämometer.

*Erforderlich:* ZEISS-IKON-Hämometer, Mischpipette, Vierkantröhrchen, Reinigungsstäbchen mit Vierkantgummi, Uhrsälchen,  $n/_{10}$  Salzsäure, zweckmäßig auch eine Sanduhr für 5 min, ferner Schnepfer, Watte, Äther, Alkohol oder Toluol.

Auch beim ZEISS-IKON-Hämometer wird der Hämoglobingehalt nach Umwandlung des Hämoglobins in Chlorhämmin kolorimetrisch festgestellt, nicht aber wie beim SAHLI-Hämometer durch Angleichen der ursprünglichen Lösung an ein Vergleichsnormal, sondern umgekehrt durch Angleichen des Vergleichsnormales an die durch Mischen von Blut und  $n/_{10}$  Salzsäure entstandene braune Flüssigkeit. Das Vergleichsnormal besteht hier aus einem ringförmigen Vergleichs*farbkeil*, von dem ein Ausschnitt neben der Chlorhämminlösung sichtbar wird und der bis zur Gleichheit beider Gesichtsfelder gedreht werden muß; der Hämoglobingehalt kann an einer sich mit dem Farbkeil drehenden Skala je nach der Ausführung des Gerätes *in Gramm-Hämoglobin* oder *in Prozenten des Normalwertes* (16 g Hämoglobin auf 100 cm<sup>3</sup> Blut) abgelesen werden. Mit Hilfe einer dem Instrument beigegebenen Tabelle ist eine Umrechnung der Grammwerte in Prozente und umgekehrt möglich.

Das ZEISS-IKON-Hämometer besteht nach Abb. 7 aus einem runden Kästchen, dem ein Einblickrohr mit Lupe aufgesetzt ist und das von einem Fußteil getragen wird. Zur **Hämoglobinbestimmung** wird vorerst die Salzsäure in ein Schälchen gegossen, dann mit der Mischpipette — ähnlich jener zur Verdünnung bei der Erythrozytenzählung nach Abb. 5 A — eine Blutmenge von 30 mm<sup>3</sup> bis zur unteren Marke der Pipette luftblasenfrei aufgezogen, die Pipettenspitze gereinigt (vgl. S. 15) und schließlich die Salzsäure bis zur oberen Pipettenmarke nachgesaugt. Der Zeit-

punkt der Mischung von Blut und Salzsäure ist abzulesen oder es wird die Sanduhr umgedreht und dann eine gleichmäßige Lösung durch kräftiges Schütteln der Pipette während  $\frac{1}{2}$  min hergestellt. Der gesamte Pipetteninhalt wird nun in das — vorher fallweise mit dem Vierkantgummi gereinigte — Vierkantröhrchen eingefüllt und das Röhrchen in das Kolorimeter so eingeschoben, daß sein schwarzer Längsstreifen *seitlich* zu liegen kommt. Bei gutem Licht oder nur schwach gefärbter Lösung stellt man das Kolorimeter hierauf auf einen Bogen weißes Papier, bei schlechtem Licht oder sehr dunkler Lösung nimmt man das Instrument in die Hand und blickt nach dem Fenster oder einer Lichtquelle; allzu große Helligkeit im Gesichtsfeld ist zu vermeiden, da bei einer solchen die Ablesegenauigkeit sinkt. Nun wird die Lupe im Einblickrohr so eingestellt, daß der Trennungstrich zwischen den beiden Gesichtsfeldern — Chlorhämיןlösung bzw. Farbkeil — *scharf* erscheint. Während des Einblickens ist mit dem linken Zeigefinger die Klappe der Lichteintrittsöffnung (unter dem Instrument links) geöffnet zu halten (Abb. 8 rechts). Durch Drehen an dem kleinen Rädchen wird der Farbkeil verschoben und auf Gleichheit mit der Chlorhämיןlösung eingestellt. Zur Ablesung des Hämoglobingehaltes, die hier *genau 5 min* nach der Mischung von Blut und Salzsäure stattfinden muß, wird der kleine Hebel am Einblickrohr zur Seite geschoben; es öffnet sich dabei neben den beiden Gesichtsfeldern im Einblickrohr ein Fenster, in welchem die *Skala* und die *Ablesemarke* sichtbar wird. Beim ZEISS-IKON-Hämometer besteht die Möglichkeit, zur Erhöhung der Genauigkeit mehrere Bestimmungen schnell hintereinander an der *gleichen* Probe vorzunehmen. Obwohl auch nach 5 min, vom Augenblick der Mischung an gerechnet, noch eine geringe Nachdunklung der Chlorhämיןlösung eintritt, kann man bei schnellem Arbeiten doch 3—5 mal hintereinander dem Vergleichskeil neu einstellen und die Ablesung so 3—5 mal

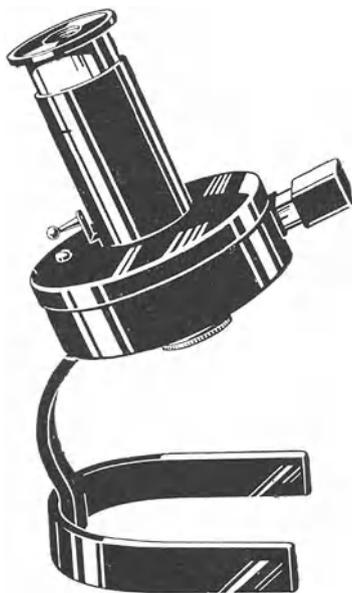


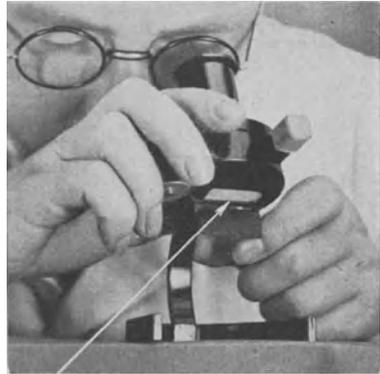
Abb. 7. ZEISS-IKON-Hämometer.

zur Bildung eines Mittelwertes wiederholen. Die *Berechnung des Färbeindex* erfolgt wie auf S. 25 beschrieben, wobei im Fall eines die Hämoglobinmenge in Gramm anzeigenden Hämometers vorerst der Prozentwert der beigegebenen Tabelle zu entnehmen ist.

Die gleichmäßige Aufhellung des Gesichtsfeldes ist die Voraussetzung für den richtigen Farbvergleich im Kolorimeter und damit für das Ablesen genauer Werte. Beim Halten der Klappe vor der Lichteintrittsöffnung ist daher darauf zu achten, daß weder die Finger vor der Lichteintrittsöffnung liegen, noch die Hand durch eine falsche Lage den Lichteinfall beeinträchtigt (vgl. Abb. 8 links und rechts).



falsch



richtig

Abb. 8. Falsche und richtige Stellung der linken Hand beim Halten der Klappe vor der Lichteintrittsöffnung des ZEISS-IKON-Hämometers.

## 10. Blutnachweis mittels der TEICHMANNschen Chlorhäminkristalle.

*Aufgabe:* Nachweis von Blut beim Vorliegen der Probe in Form eines trockenen Pulvers.

*Erforderlich:* Objektträger, Deckglas, Glasspatel, Blutprobe (getrocknetes Blut), Kochsalz, Eisessig, destilliertes Wasser, Gasbrenner, Mikroskop, Putztuch.

Das unter Salzsäureeinwirkung aus Hämoglobin entstehende *Chlorhäm*in kann bei geeigneter Versuchsanordnung leicht in Kristallen erhalten werden, die leicht zu erkennen und auch für Blut kennzeichnend sind. Die Chlorhäminkristalle sind stäbchenförmig, von hellbrauner bis schwarzbrauner Farbe und zeigen schräg abgeschnittene Enden. Die Reaktion läßt sich mit frischem, aber auch mit getrocknetem Blut ausführen, weshalb diese Probe

in der gerichtlichen Medizin zur Feststellung benützt werden kann, ob etwa verdächtige Flecken an Kleidungsstücken, Werkzeugen u. dgl. aus Blut bestehen. Die Probe zeigt allerdings nur das Vorhandensein von Blut schlechthin an; um welches Blut es sich handelt, ist allerdings nur in anderer Weise (mit Hilfe der Präzipitinreaktion) festzustellen. Die Chlorhäminkristalle werden auf dem Objektträger hergestellt, wobei man die fragile Probe jedoch nicht mit Salzsäure selbst zusammenbringt, sondern die letztere aus Kochsalz und Eisessig unter Erwärmen frei werden läßt; der Eisessig dient gleichzeitig als Lösungsmittel für das gebildete Chlorhäm in und läßt bei seinem Verdunsten den genannten Stoff in Kristallform zur Abscheidung kommen. Die Kristalle sind dann im Präparat mit *starker* Vergrößerung unter dem Mikroskop zu suchen. Im Praktikum wird die Herstellung dieser Kristalle mit getrocknetem Blut durchgeführt.

Zur Herstellung der Chlorhäminkristalle bringt man mit dem Metallspatel eine winzige Menge (etwa von Stecknadelkopfgröße) vom getrockneten Blut auf die Mitte eines Objektträgers. Nach Zufügen einer gleich großen Menge Kochsalz werden beide Stoffe mit Hilfe des stumpfen Endes des Glasspatels so lange zerdrückt und zerrieben, bis ein feines graubraunes Pulver entsteht, in dem mit freiem Auge weder Blut- noch Kochsalzteilchen unterschieden werden können. Das Pulver wird hierauf flach ausgebreitet, mit einem Tropfen Eisessig und dann mit einem Deckglas bedeckt. Da der erste Eisessigtropfen gewöhnlich nicht ausreicht, den ganzen Raum zwischen Deckglas und Objektträger zu füllen, so bringt man an den Rand des Deckglases noch weiter so viel Eisessig, daß alle Luft zwischen Objektträger und Deckglas verdrängt wird. Der Objektträger wird hierauf vorsichtig über die ganz klein gestellte Flamme des Bunsenbrenners gehalten (Luftzuführung eng machen, sonst schlägt der Brenner durch!), bis im Eisessig die ersten Gasblasen als Zeichen des Kochens auftreten. Man bringt in diesem Augenblick den Objektträger neben die Flamme und wartet so lange, bis die Gasblasenbildung aufgehört hat. Man erwärmt dann neuerlich, bis wieder Gasblasen auftreten, geht wieder aus der Flamme usw. Auf diese Weise findet die Erhitzung und Verdunstung des Eisessigs ganz allmählich statt, so daß auch die Abscheidung der Chlorhäminkristalle nur ganz langsam erfolgt, wodurch sie viel größer werden, als wenn die Erhitzung schnell und überstürzt geschieht. Ist der gesamte Eisessig verdunstet, legt man den Objektträger auf den Tisch und läßt ihn einige Minuten auskühlen. Man bringt sodann an den Rand des Deckglases einige Tropfen destilliertes Wasser (mit Hilfe des am Stopfen des Fläsch-

chens angeschmolzenen Glasstabes), das nun rasch zwischen Objektträger und Deckglas eindringt und als Aufhellungsmittel eine gute Beobachtung der Kristalle ermöglicht. Sollte das destillierte Wasser wegen Krustenbildung am Rande des Deckglases nicht sofort eindringen, so genügt ein leichtes Schaben mit dem Glasstäbchen, um die Kruste zu entfernen.

Die **mikroskopische Beobachtung der Kristalle** erfolgt wie sonst zunächst bei schwacher, dann bei starker Vergrößerung (Irisblende etwas verengen). Man findet im Präparat zunächst würfelförmige oder verästelte Kristalle, die *farblos* sind und teils aus Kochsalz, teils aus essigsauerm Natrium bestehen. Von Wichtigkeit sind jedoch nur die feinen braunen bis schwarzen Stäbchen, die zum Teil einzeln liegen, zum Teil gekreuzt sind oder strahlenförmige Gruppen bilden und meist in der Nähe von braunroten Flecken und Klumpen gefunden werden, die nichtzersetzte Reste des Blutes darstellen. Die Größe der Chlorhäminkristalle schwankt sehr, entspricht aber im Mittel etwa dem Durchmesser von 1—2 roten Blutkörperchen.

## 11. Spektroskopie des Blutes.

*Aufgaben:* 1. Betrachtung des Tageslichtspektrums bzw. der Spektren verschiedener künstlicher Lichtquellen.

2. Untersuchung der Abhängigkeit des Oxyhämoglobinspektrums von der Konzentration.

3. Herstellung von Kohlenoxydhämoglobin.

4. Reduktionsversuch mit Oxy- und Kohlenoxydhämoglobin.

*Erforderlich:* Verschiedene Lichtquellen, Handspektroskop, hämolyisiertes Schlachthausblut (so verdünnt, daß es im Reagensglas bloß den Rotanteil des Spektrums durchläßt), Reagensgläser, Reagensglasgestell, Einrichtung zur Durchströmung mit Leuchtgas, Natriumhydrosulfit, Becher mit Wasser, große Glasschale, Putztuch.

Fällt ein Bündel von „weißen“ Lichtstrahlen auf ein *Prisma* auf, so wird es nicht nur aus seinem geradlinigen Verlauf abgelenkt, also *gebrochen*, sondern es kommt auch zu einer *Farbenzerstreuung*, weil die Brechungswinkel für die einzelnen Wellenlängen verschieden sind. Am schwächsten wird rot, am stärksten violett gebrochen; hinter dem Prisma entsteht ein Band mit kontinuierlichen Farbenübergängen (**Spektrum**). Glühende feste Körper (Sonne, Glühlampe, Auernetz) haben ein *kontinuierliches Spektrum*. Glühende gasförmige Körper (z. B. Natriumlicht, Glimmlicht der Geißleröhren und der mit Neon gefüllten Glimmlampen) liefern *diskontinuierliche Spektren*, in welchen nur einzelne voneinander getrennte Linien enthalten sind (*Linienpektren*). Diese kommen dadurch zustande, daß von den leuchtenden Gasen nicht

wie von glühenden festen Körpern ein Kontinuum von Wellenlängen ausgesendet wird, sondern nur eine Auswahl von Wellenlängen. Kontinuierliche und diskontinuierliche Spektren werden zusammen als *Emissionsspektren* bezeichnet, weil sie durch *Aussendung* der Wellen seitens des leuchtenden Körpers zustande kommen. Schaltet man in den Gang des weißen Lichtes vor dem Prisma einen gefärbten durchsichtigen Körper ein, so wird nur ein bestimmter Teil des Lichtes durchgelassen, ein anderer absorbiert. Im Spektrum fehlen dann verschiedene Wellenlängen, das ursprünglich kontinuierliche Spektrum zeigt schwarze Lücken: *Absorptionsspektrum*. Oxyhämoglobin, reduziertes Hämoglobin und Kohlenoxydhämoglobin haben z. B. kennzeichnende Absorptionsspektren. So ist die Spektralanalyse ein einfaches, rasch anwendbares Mittel zum Nachweis von Kohlenoxydhämoglobin, was besonders für die gerichtliche Medizin zur Feststellung von Leuchtgasvergiftungen von Bedeutung ist. Das Spektrum des Sonnenlichtes ist übrigens nicht nur ein Emissions-, sondern auch ein Absorptionsspektrum, weil der Sonnenball gleichzeitig Strahlen aussendet und von diesen wieder mit seiner äußeren Dampfschicht (Sonnenatmosphäre) eine Reihe von Wellenlängen absorbiert, was sich durch das Auftreten schwarzer Linien, der sog. *Fraunhoferschen Linien*, im Spektrum des Tageslichtes bemerkbar macht. Diese Linien treten immer an den gleichen Stellen im Spektrum auf und werden mit bestimmten Buchstaben bezeichnet. Abb. 11 zeigt nebst den drei wichtigsten Blutspektren auch die Verteilung und Bezeichnung der FRAUNHOFERSchen Linien.

Um die Absorptionslinien und Absorptionsstreifen gut zu sehen, muß man ein schmales Lichtbündel durch einen Spalt abgrenzen und von diesem ein Bild mit Hilfe eines Linsensystems in der Unendlichkeit entwerfen, das man mit Hilfe eines auf Unendlich eingestellten Fernrohres betrachtet. Derartige Apparate heißen Spektroskope. Das **BUNSENSche Spektroskop** wird in seinem Aufbau durch Abb. 9 dargestellt. Zur Erzeugung des Spektrums dient das im Mittelpunkt gelegene Prisma *P*. Die von der Lichtquelle *Q* ausgehenden Strahlen werden durch den Spalt *S* abgeblendet; er befindet sich im Brennpunkt des Linsensystems *L*, so daß die zum Prisma gelangenden Strahlen zueinander parallel sind. Das den Spalt und das Linsensystem *L* enthaltende Rohr *K* wird auch als *Kollimator* bezeichnet. Die aus *L* austretenden Strahlen werden durch das Prisma *P* unter Farbenzerstreuung gebrochen. Das Fernrohrobjektiv *Ob* bildet nun in seinem Brennpunkt den zu einer Farbenreihe auseinandergezogenen Spalt in *BS* ab, da die (voll gezeichneten) blauen Strahlen vom Prisma

eben stärker gebrochen werden als die (gestrichelten) roten. Das farbige Bild des Spaltes  $BS$  wird mit dem Okular  $Ok$  vergrößert betrachtet. Die untere oder obere Hälfte des stets lotrecht gestellten Spaltes  $S$  kann durch ein totalreflektierendes Prisma  $p$  so verdeckt werden, daß die Strahlen der Lichtquelle  $Q$  nur durch die andere Hälfte des Spaltes treten können. Durch den verdeckten Teil des Spaltes lassen sich aber über das Prisma  $p$  auch Strahlen einer zweiten, seitlich angebrachten Lichtquelle  $Q'$  in das

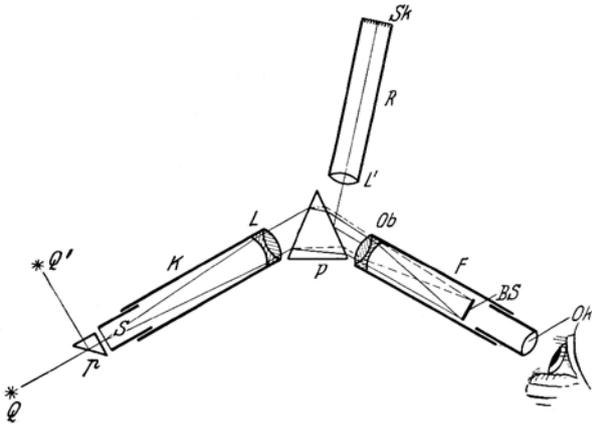


Abb. 9. Strahlengang beim BUNSENSchen Spektroskop.

$BS'$  Bild der Spektren von  $Q$  und  $Q'$ ;  $P$  Fernrohr;  $K$  Kollimatorrohr;  $L, L'$  Linsensysteme;  $Ob$  Fernrohrobjektiv;  $Ok$  Okular;  $P$  Prisma zur Farbenzerstreuung;  $Q, Q'$  Lichtquellen;  $R$  Rohr mit der Wellenlängenskala;  $S$  Spalt.

Kollimatorrohr werfen, so daß das Spaltbild  $BS$  aus einem oberen und unteren Teil, dem Spektrum von  $Q$  und dem Spektrum von  $Q'$  besteht. Man kann so das Spektrum zweier verschiedener Lichtquellen unmittelbar miteinander vergleichen oder bei  $Q$  und  $Q'$  gleichartige Lichtquellen einschalten, aber in den Strahlengang der einen eine absorbierende Farblösung bringen, so daß Emissions- und Absorptionsspektrum übereinander stehen. Das BUNSENSche Spektroskop hat noch eine Einrichtung, um in das Spektrum eine Wellenlängenteilung einzuprojizieren. Diese Skala  $Sk$  befindet sich im Rohr  $R$  und wird von rückwärts durch eine (nicht gezeichnete) Lichtquelle beleuchtet. Die Skala ist im Brennpunkt der Linse  $L'$ , die parallele Strahlen auf die dem Fernrohr zugewandte, als Spiegel wirkende Prismenseite fallen läßt; die ins Fernrohr  $F$  reflektierten Strahlen liefern dann in der Ebene des Spektrumbildes  $BS$  auch ein scharfes Bild der Wellenlängenskala  $Sk$ .

Wie Abb. 9 zeigt, müssen das Kollimatorrohr und das Fernrohr infolge der Strahlenbrechung gegeneinander geneigt sein. Man kann jedoch durch Hintereinanderschalten mehrerer Prismen aus verschiedenem Glas die Ablenkung der Strahlen aufheben, ohne die Farbenzerstreuung zu verändern. Das vom Spalt ausgehende Bündel von Lichtstrahlen durchsetzt dann das ganze Spektroskop in einer geraden Linie: **geradsichtiges Spektroskop**. Ein Schnitt

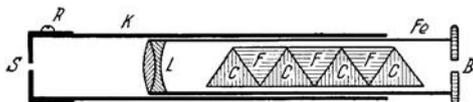


Abb. 10. Schema des geradsichtigen Spektroskops nach BROWNING.  
*B* Augenblende; *C* Prismen aus Crownglas; *F* Prismen aus Flintglas;  
*Fe* Prismenrohr; *K* Kollimatorrohr; *L* Linsensystem; *R* Ring zur Einstellung der Spaltbreite; *S* Spalt.

durch ein solches kleines Handspektroskop (Spektroskop nach BROWNING) ist in Abb. 10 dargestellt. Das Kollimatorrohr besteht hier bloß aus der äußeren Hülse *K*, deren Abschlußfläche den Spalt *S* trägt. Die Breite des Spaltes kann durch Drehen am Ring *R* verändert werden. Im äußeren Rohr *K* ist ein zweites Rohr *Fe* verschieblich, das ein Linsensystem *L* enthält. Auf der anderen Seite ist das Rohr *Fe* durch eine kreisförmige Blende *B* abgeschlossen. Zwischen dem Linsensystem *L* und der Blende *B* befindet sich der Prismensatz, der aus den abwechselnd aufeinanderfolgenden Glassorten *C* und *F* (Crown- und Flintglas) besteht. Blickt man durch die Blende *B* in das gegen eine Lichtquelle gehaltene Spektroskop, so erscheint das Spektrum der Lichtquelle. Um z. B. ein Absorptionsspektrum zu untersuchen, wird die gefärbte Flüssigkeit zwischen die Lichtquelle und den Spalt *S* gebracht.

Zur **Bedienung** des für medizinische Zwecke vor allem in Betracht kommenden **geradsichtigen Spektroskops** nimmt man das Gerät wie ein Fernrohr in die Hand und blickt nach Verengen des Spaltes auf einige Zehntel Millimeter — Drehen am Ring *R* (Abb. 10) — durch die Blende *B* in das Spektroskop, das man gegen eine weiße Hauswand, eine weiße Wolke oder auch gegen eine elektrische Glühlampe richtet. Die Scharfeinstellung erfolgt hier durch vorsichtiges Herausziehen und Hineinschieben des Fernrohres *Fe* im Kollimatorrohr *K*. Man stellt auf den oberen und unteren Rand des waagrecht liegenden Spektrums scharf ein, wobei man das Spektroskop so dreht, daß das rote Ende wie üblich *links* zu liegen kommt. Verwendet man Tageslicht, so sind im Spektrum die parallel zu den Farbenübergängen (senkrecht

zur oberen und unteren Begrenzung) verlaufenden FRAUNHOFER'schen Linien zu beobachten (enger Spalt!). Neuere Ausführungen kleiner Handspektroskope (z. B. von C. ZEISS) haben eine enge Blende *fest* eingebaut, so daß der Ring *R* (Abb. 10) und damit die Notwendigkeit einer Blendeneinstellung entfällt.

Abb. 11 zeigt oben zunächst die **Farbenverteilung im normalen Sonnenspektrum**. Außerdem sind die wichtigsten FRAUNHOFER'schen Linien eingezeichnet und die Wellenlängen der farbigen

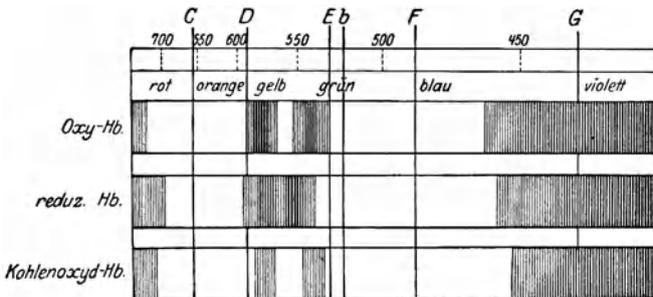


Abb. 11. Spektren von Oxyhämoglobin, reduziertem Hämoglobin und Kohlenoxydhämoglobin sowie Verteilung der FRAUNHOFER'schen Linien; Wellenlängenangaben in  $m\mu$ .

Lichter angegeben. Darunter ist das Spektrum des Oxyhämoglobins abgebildet, das in Lösungen *mittlerer* Konzentration zwei Absorptionsstreifen zwischen den Linien *D* (=  $589 m\mu$ ) und *E* (=  $527 m\mu$ ) aufweist. Wie das unterste Spektrum zeigt, liefert auch das *Kohlenoxydhämoglobin* in mittlerer Konzentration zwei solche Absorptionsstreifen, die recht ähnlich wie die des Oxyhämoglobins liegen. Zur Feststellung, ob Oxyhämoglobin oder Kohlenoxydhämoglobin vorliegt, muß man einen Kunstgriff anwenden, der darauf beruht, daß das Oxyhämoglobin durch Reduktion in reduziertes Hämoglobin umgewandelt wird, das Kohlenoxydhämoglobin dagegen nicht. Das reduzierte Hämoglobin gibt in mittlerer Konzentration nach Abb. 11 Mitte einen *einzigsten* breiten Streifen zwischen den Linien *D* und *E*.

Für die Aufgabe 1 — **Beobachtung verschiedener Spektren** — wird zuerst das Tageslichtspektrum angesehen und dabei auf die FRAUNHOFER'schen Linien geachtet. Es sind ferner die in einer Reihe aufgestellten künstlichen Lichtquellen: elektrische Glühlampe, Gaslampe mit Auernetz, Natriumdampf Lampe und elektrische Glimmlampe zu spektroskopieren. Die ersten beiden der

künstlichen Lichtquellen zeigen ein kontinuierliches Spektrum, die beiden letzten ein Linienspektrum. Das Licht der Natriumdampfampe ist *monochromatisch*, d. h. es enthält nur Licht *einer* Wellenlänge, die sich im Spektroskop an der besonders kräftigen, für das Natrium kennzeichnenden Linie an der Stelle der FRAUNHOFERSchen Linie *D* bemerkbar macht. Die *D*-Linie besteht allerdings aus zwei Linien mit einem Wellenlängenunterschied von  $0,4 \mu$ , doch werden diese bei der subjektiven Betrachtung nicht aufgelöst. Das Spektrum der Glimmlampe enthält einzelne Linien im Rot, Orange, Grün und Blau, von denen die in den ersten beiden Farbgebieten von dem zur Füllung dienenden Neogas herrühren, die grünen Linien vom Quecksilberdampf, der dem Neon beigemischt ist, die blauen Linien schließlich vorwiegend vom Fluoreszenzlicht an der Glaswand.

Für die Aufgabe 2 — **Prüfung der Abhängigkeit des Oxyhämoglobinspektrums von der Konzentration** — ist ein Reagensglas 2 cm hoch mit der vorbereiteten hämolysierten Blutverdünnung zu füllen; diese Blutverdünnung ist so abgestimmt, daß sie gerade nur das rote Ende des Spektrums durchläßt, die anderen Wellenlängen aber absorbiert. Durch *schnellstes, sturzartiges* Eingießen von Wasser in dieses Reagensglas, das dabei über die große Glasschale zu halten ist, wird eine weitere Verdünnung der Blutlösung erzielt, bei der jedoch nur eine teilweise Mischung erfolgt und die *unten* noch praktisch unveränderte Blutlösung, nach *oben* zu aber immer stärker verdünntes Blut bis zur praktischen Farblosigkeit nahe der Flüssigkeitsoberfläche aufweist. Nun wird das Reagensglas vor den Spalt des gegen eine Lichtquelle gerichteten Spektroskopes gehalten und langsam *von oben nach unten* mit dem Gerät untersucht. Nahe der Flüssigkeitsoberfläche ist von den beiden Absorptionsstreifen des Oxyhämoglobins nichts zu erkennen, das Spektrum erscheint bis auf eine geringe Verkürzung im Violett noch unverändert; je dunkler die gerade vor dem Spalt befindliche Oxyhämoglobinlösung ist, um so mehr treten aber die beiden Absorptionsstreifen hervor, die bei mittlerer Konzentration sehr deutlich werden, mit weiterer Konzentrationserhöhung durch Verschieben des Reagensglases aber schließlich miteinander zu einem breiten, sehr dunklen Streifen verschmelzen. Bei noch größerer Konzentration wird schließlich das ganze kurz- und mittelwellige Bereich ausgelöscht und es treten nur mehr die roten Strahlen allein durch die Flüssigkeit hindurch. Das Ergebnis dieser Untersuchung erklärt, wieso ein im Mikroskop einzeln betrachteter Erythrozyt *gelbgrün*, das makroskopisch betrachtete Blut dagegen *rot* ist. Der einzelne Erythrozyt ist einer Hämoglobinlösung

schwächster Konzentration vergleichbar, die alle Wellenlängen bis auf das Violett durchläßt; im durchgetretenen Licht mischen sich die Farbpaare: Grün—Rot, Blau—Gelb usw. als Komplementärfarben zu *Weiß*, nur aus dem Farbpaar: Violett—Gelbgrün fehlt die erstgenannte Komponente und die zweite, das Gelbgrün, bleibt übrig und prägt dem durchtretenden Licht seinen Farbton auf. Das makroskopisch betrachtete Blut läßt dagegen wegen der hohen Hämoglobinkonzentration nur die roten Strahlen allein durch und muß uns deshalb als rot erscheinen.

Zur **Herstellung von Kohlenoxydhämoglobin** (Aufgabe 3) wird in einem Reagensglas aus der bereitgestellten Oxyhämoglobininlösung eine mittlere Verdünnung bereitet, welche also deutlich die beiden Absorptionsstreifen zeigen muß. Die Probe wird hierauf in zwei gleiche Teile geteilt, die eine als Kontrolle abgestellt, die andere mit Hilfe eines fein ausgezogenen Glasrohres im Abzug für 1—2 min mit Leuchtgas durchperlt. Nach dieser Zeit ist die Lösung durch Kohlenoxydhämoglobinbildung *kirschrot* geworden, zeigt im Spektroskop betrachtet jedoch noch immer zwei Absorptionsstreifen, die zwar gegen die des Oxyhämoglobins etwas verschoben sind, ohne Wellenlängenteilung aber nicht als dem Kohlenoxydhämoglobin zugehörig zu erkennen sind.

Die **Unterscheidung von Oxy- und Kohlenoxydhämoglobin** (Aufgabe 4) ermöglicht der *Reduktionsversuch*. Zu den beiden Proben wird je eine Messerspitze Natriumhydrosulfit zugesetzt und kräftig durchgeschüttelt. Die Probe mit Oxyhämoglobin ändert praktisch sofort ihre Farbe in Rosaviolett, da sich reduziertes Hämoglobin bildet; die Probe mit Kohlenoxydhämoglobin bleibt unverändert. Dementsprechend zeigt die erste Flüssigkeit im Spektroskop jetzt nur mehr ein einziges, breites und verwaschenes Absorptionsband, die zweite jedoch noch unverändert das Absorptionsstreifenpaar.

## 12. Eiweißfällung im Blutserum.

*Aufgabe:* Nachweis des Eiweißes im Blutserum durch Zustandsänderung und Trennung der Albumin- und Globulinfraktion.

*Erforderlich:* Meßzylinder für 100 cm<sup>3</sup> mit 50 cm<sup>3</sup> Blutserum, Stativ mit Trichter, Filtrierpapier, zwei Erlmeyerkolben für 200 cm<sup>3</sup>, Glasstab, gesättigte Ammonsulfatlösung, Ammonsulfat in Pulverform, Reagensgläser, Reagensglasgestell, destilliertes Wasser, Kochsalzpulver, Gasbrenner.

Der mengenmäßig bedeutendste Bestandteil des Blutplasmas wird durch Eiweißkörper dargestellt, die aus den Serumalbuminen, den Serumglobulinen und dem Fibrinogen bestehen; wird das Fibrinogen als Fibrin zur Ausfällung gebracht, so geht das Plasma in das *Serum* über. Die Serumeiweißkörper: Albumine und Globuline

verhalten sich gegen Einwirkung von Neutralsalzen verschieden, so daß sie mit deren Hilfe *getrennt* zur Abscheidung gebracht werden können (*fraktionierte Eiweißfällung*); durch Erhitzen werden *beide* in gleicher Weise gefällt.

Die Trennung von Albuminen und Globulinen ist durch **Aus-salzen** möglich, da die Globuline schon bei Halbsättigung, die Albumine erst bei Ganszsättigung aus der Flüssigkeit ausfallen. Ein Meßzylinder mit 50 cm<sup>3</sup> Serum, aus Schlachthausblut durch Fibrinfällung mittels Schlagen sowie Entfernung der Blutkörperchen durch Zentrifugieren gewonnen, wird bis zur Marke 100 mit gesättigter Ammonsulfatlösung aufgefüllt; die gesamte Flüssigkeit ist dadurch *halbgesättigt* und wird durch *Ausfall der Globuline* trüb. Der Niederschlag ist nun durch Filtrieren der Flüssigkeit im Fall eines noch trüben Filtrates ein zweites Mal durch das *gleiche* Filter, abzutrennen; das klare Filtrat enthält nur mehr die Albumine, deren Vorhandensein an der gelblichen Färbung der Flüssigkeit und dem Opaleszieren zu erkennen ist. Durch *sehr reichlichen* Zusatz von Ammonsulfat in Pulverform zur Flüssigkeit im Erlmeyerkolben und ständiges Umrühren mit dem Glasstab wird nun *Ganszsättigung* bewirkt, die neuerlich eine Trübung der Flüssigkeit (*Ausfall der Albumine*) herbeiführt; um eine sichere Ganszsättigung und damit den vollständigen Albuminausfall zu erreichen, muß so viel Ammonsulfat zugesetzt werden, daß ein Teil des Salzes noch ungelöst bleibt. Die getrübe Flüssigkeit wird schließlich in den zweiten Erlmeyerkolben filtriert, im Fall eines zunächst trüben Filtrates zweimal hintereinander durch das gleiche Filter, dessen Poren sich durch den Niederschlag verengen und daher weniger durchlässig werden; das Filtrat ist jetzt wasserklar, nicht mehr opaleszierend und stellt eine *eweißfreie* Flüssigkeit dar. War im Schlachthausblut schon eine teilweise Hämolyse eingetreten, was durch *rötliche* Färbung des Serums zu erkennen ist, dann ist auch das Schlußfiltrat nicht wasserklar, sondern rötlich.

Eine Trennung der Albumine und Globuline kann auch im **Verdünnungsversuch** erzielt werden, da wohl die Serumalbumine, nicht aber die Serumglobuline in reinem Wasser löslich sind; die letzteren brauchen eine gewisse Mindestkonzentration an Neutralsalzen. In ein Reagensglas wird 2 cm hoch Serum eingefüllt und mit destilliertem Wasser bis zum Reagensglasrand verdünnt; die Serumglobuline fallen infolge der verminderten Salzkonzentration aus und bewirken eine leichte Trübung der Flüssigkeit. Diese wird nun auf zwei Reagensgläser verteilt; die eine Probe kann als Kontrolle abgestellt werden, zur zweiten fügt man eine Messer-

spitze Kochsalzpulver zu und schüttelt gut durch. Beim Vergleich der beiden Proben ist zu erkennen, daß der Salzzusatz die Trübung zum Verschwinden, also die ausgefallenen Globuline wieder in Lösung brachte: die Globulinfällung durch Verdünnen ist also *reversibel*.

Zur **Hitzekoagulation** wird etwas Blutserum im Reagensglas mit der 5fachen Menge destillierten Wassers verdünnt; beim Aufkochen wird die Flüssigkeit durch die Koagulation der Eiweißkörper *opak*; diese Abscheidung ist *irreversibel*. Die Fällung wird vollständiger, wenn der Flüssigkeit vor dem Kochen etwas *verdünnte* Essigsäure zugesetzt wird; dabei ist Vorsicht notwendig, da ein Zuviel an Essigsäure zur Bildung von Acidproteinen führt, die sich der Hitzekoagulation entziehen. Diese „Kochprobe“ findet auch zum Eiweißnachweis im Harn Verwendung.

### 13. Blutgerinnung und Gerinnungshemmung.

*Aufgabe:* Prüfung des Einflusses der Calciumionen auf die Blutgerinnung.

*Erforderlich:* Kaninchen in Narkose, mit freigelegter und mit einer Kanüle versehener Carotis; kleine Reagensgläser, darunter zwei mit je einer Marke für 3 cm<sup>3</sup>, ein Reagensglas leer, das zweite mit 0,75 cm<sup>3</sup> einer 1%igen Natriumzitratlösung gefüllt; Reagensglasgestell; 5%ige Calciumchloridlösung; Pipette mit Gummihütchen.

Die **Blutgerinnung** ist ein komplexer Vorgang, bei welchem das Fibrinogen des Blutplasmas als Fibrin in Form feinsten Fäden ausfällt; die Fäden bilden ein dichtes Netzwerk, in welchem die geformten Elemente zurückgehalten werden. Fibrinfäden und geformte Elemente stellen das Blutgerinnsel dar. Die Fibrinabscheidung vollzieht sich nach Seite 39 in mehreren Stufen.

Eingeleitet wird die Blutgerinnung durch den Zerfall oder die Zerstörung der geformten Elemente, vor allem der Thrombozyten sowie der Körperzellen, wobei *Thrombokinase* frei wird (1). Thrombokinase und das im Plasma vorhandene *Thromogen* lassen zusammen mit den *Calciumionen* des Blutes das eigentliche Gerinnungsferment, das *Thrombin* entstehen (2). Das Thrombin endlich führt die Fibrinabscheidung herbei (3). Zur *Verzögerung oder Hemmung der Blutgerinnung* kann in allen drei Stufen eingegriffen werden: bei (1) durch Hemmung des Thrombozytenzerfalles (glatte Oberfläche, Verhinderung der Flüssigkeitsverdunstung) oder durch Abfangen der Thrombokinase (Heparin, Vetren); bei (2) durch Abfangen der Calciumionen (Bildung unlöslicher, nichtionisierter Calciumsalze durch Zusatz von löslichen Fluoriden, Oxalaten, Zitraten); bei (3) durch Schlagen des Blutes, das zwar zur raschen



schließlich Fäden des bei der Blutgerinnung sich abscheidenden Fibrins an der Borste hängen bleiben. In diesem Augenblick wird die Zeit abgelesen und damit die Gerinnungszeit bestimmt. Bei Zimmertemperatur liegt diese für normales Blut gewöhnlich bei 5—6 Minuten. Die Benützung einer paraffinierten Glasplatte ist erforderlich, weil eine Paraffinoberfläche vom Blut *nicht benetzt* wird; dadurch fehlen an der Grenze eines Tropfens die sonst vorhandenen kapillaren Übergangsschichten, in denen Austrocknung, Thrombozytenzerfall und damit vorzeitige Gerinnung einsetzen würde. Mehrere Blutstropfen sind erforderlich, damit alle 45 bis 60 sec ein *neuer noch unberührter* Tropfen zur Verfügung steht; das Durchfahren mit der Borste stellt ja eine Störung (Beschleunigung) des spontan sich entwickelnden Gerinnungsvorganges dar, so daß ein bereits berührter Tropfen für eine zweite Untersuchung nicht mehr brauchbar ist.

### 15. Bestimmung der Blutungszeit.

*Erforderlich:* Schnepfer, Äther, Alkohol oder Toluol, Watte, langer Filtrierpapierstreifen, Taschenuhr.

In das Ohr läppchen wird mit dem Schnepfer in üblicher Art eingestochen, worauf der erste aus der Wunde tretende Tropfen Blut sofort mit dem Ende eines langen Filtrierpapierstreifens abgetupft wird. Der Zeitpunkt dieses Abtupfens ist an der Taschenuhr abzulesen. Dann ist weiterhin alle 30 sec die Wunde mit dem Filtrierpapier abzutupfen, bis die Blutung steht, d. h. das Filtrierpapier kein Blut mehr abnehmen kann. Die einzelnen abgesaugten Blutstropfen müssen *nebeneinander*, aber *voneinander getrennt* auf dem Filtrierpapier stehen und ermöglichen dann, da zwischen je 2 Tropfen immer der Zeitabstand von 30 sec liegt, die Ausrechnung der gesamten Blutungszeit bis zum Stehen der Blutung. Diese liegt für normales Blut gewöhnlich bei 3 min. Daß die Blutungszeit kleiner als die im vorhergegangenen Versuch bestimmte Gerinnungszeit ist, hängt zusammen: mit vermehrter Thrombokinasbildung (hier auch aus dem beim Einstich verletztem Gewebe), mit der rauheren Oberfläche (dort Paraffin, hier Haut) und schließlich mit der höheren Temperatur (dort Raum-, hier Hauttemperatur).

### 16. Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Blutes.

*Erforderlich:* Schnepfer, Watte, Äther, Alkohol oder Toluol, Benzol-Chloroform-Gemisch, Benzol, Chloroform, Becherglas, hoher Glaszylinder, Glasstab, Trichter, Filtrierpapier, Aräometer.

Das **spezifische Gewicht von Flüssigkeiten** wird am einfachsten mit Hilfe eines Aräometers bestimmt, das in die Flüssigkeit eingesenkt wird und schwimmt. Da je nach dem spezifischen Gewicht der Flüssigkeit der Auftrieb des Aräometers verschieden groß ist, so ändert sich damit die Eintauchtiefe. Im Aräometer ist eine Skala enthalten, auf welcher unmittelbar aus der Eintauchtiefe das spezifische Gewicht abgelesen werden kann. Für das Blut läßt sich dieses Verfahren nicht unmittelbar anwenden, weil zu große Blutmengen dafür erforderlich wären. Man bedient sich jedoch des Kunstgriffes, einen Tropfen Blut in eine mit Blut nicht mischbare Flüssigkeit zu bringen, das spezifische Gewicht dieser Flüssigkeit dem Blut anzugleichen und schließlich mit dem Aräometer das spezifische Gewicht der Hilfsflüssigkeit zu bestimmen. Ist das Blut leichter, so geht der Tropfen an die Oberfläche, ist das spezifische Gewicht des Blutes größer, so sinkt er zu Boden, ist Blut und Flüssigkeit gleich, so schwebt der Tropfen. Als Hilfsflüssigkeit verwendet man ein Gemisch von Benzol und Chloroform. Benzol hat ein spezifisches Gewicht von 0,88, Chloroform von 1,485. Das spezifische Gewicht des Blutes liegt zwischen 1,050 und 1,060. Zur Herstellung einer Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht dem des Blutes annähernd gleich ist, mischt man etwa einen Teil Chloroform mit 2,5 Teilen Benzol. Die Benzol-Chloroform-Mischung, die im richtigen Verhältnis bereits in einer Vorratsflasche vorbereitet ist, soll nach Beendigung des Versuches nicht weggeschüttet werden, sondern ist in die Vorratsflasche zurückzugießen, da das Gemisch immer wieder verwendet werden kann.

Um das **spezifische Gewicht des Blutes zu bestimmen**, füllt man Benzol-Chloroform-Gemisch aus der Vorratsflasche in ein Becherglas und läßt aus der Fingerbeere einen großen Bluttröpfchen in die Flüssigkeit fallen. Schwimmt er, so ist die Flüssigkeit zu schwer, es muß vorsichtig etwas Benzol zugegossen werden; sinkt der Bluttröpfchen, so muß man etwas Chloroform hinzufügen. Nach jedem Hinzufügen von Flüssigkeit muß das Benzol-Chloroform-Gemisch mit einem Glasstäbchen vorsichtig umgerührt werden, wobei man darauf achten muß, den Bluttröpfchen nicht in kleine Teilchen zu zerreißen. Ist nun nach mehr oder weniger oft wiederholtem Zufügen von Benzol oder Chloroform das spezifische Gewicht der Hilfsflüssigkeit so eingestellt worden, daß der Tropfen *auch nach Verschwinden* der beim Umrühren sich stets bildenden kreisenden Flüssigkeitsströmungen *schwebt*, so sind das Blut und die Benzol-Chloroform Mischung von gleichem spezifischen Gewicht. Man gießt nun das Benzol-Chloroform-Gemisch über Trich-

ter und Filter in einen hohen, schmalen Zylinder, in den dann das Aräometer eingesenkt wird und liest in der Höhe des Flüssigkeitsspiegels ab. Die benützte Flüssigkeit ist in die Vorratsflasche zurückzugeben.

Diese Bestimmungsmethode ist nicht sehr genau, weil Benzol und Chloroform in die roten Blutkörperchen etwas eindringen und damit das spezifische Gewicht des Blutes verändern, gibt aber doch annähernd richtige Werte, wenn man sehr rasch arbeitet. Je länger der Bluttröpfchen im Benzol-Chloroform-Gemisch bleibt, um so ungenauer werden die Werte. Bevor man das Blut in die Flüssigkeit bringt, muß man sich daher durch Prüfung mit dem Aräometer davon überzeugen, daß das spezifische Gewicht des Benzol-Chloroform-Gemisches um 1,055 liegt, damit nach dem Einbringen des Blutes nur mehr geringe Mengen von Benzol oder Chloroform hinzuzusetzen sind. Da das spezifische Gewicht von der Zahl der Blutkörperchen abhängt, sind die gefundenen Werte bei Männern und Frauen etwas verschieden. Bei Männern liegen die normalen Werte zwischen 1,055 und 1,060, bei Frauen zwischen 1,050 und 1,055.

### 17. Blutgruppenbestimmung.

*Aufgabe:* Feststellung der Blutgruppe jedes einzelnen Praktikumsnehmers; Berechnung der Blutgruppenverteilung für alle Praktikanten.

*Erforderlich:* Schnepfer, Watte, Alkohol, Äther oder Toluol, Glasplatte (10 × 10 oder 9 × 12 cm) mit vier Feldern und eingezätzten Buchstaben  $\beta$ ,  $\alpha$ , A und B, Objektträger mit vier angeätzten Ecken, mit Zitratlösung gespülte Kapillaren (etwa 12 cm lang mit 1,5—2 mm Lumendurchmesser), kleine gummierte Schildchen, Zentrifuge, Glasfeile, Gasbrenner, Testserum  $\beta$  und  $\alpha$  sowie Testblutkörperchen A und B (in Kochsalzlösung aufgeschwemmt).

Blut verschiedener Menschen läßt sich oft darum nicht für eine Bluttransfusion verwenden, weil die *Erythrozyten des Spenders*, wenn sie mit dem *Serum des Empfängers* in Berührung treten, untereinander verkleben, Klümpchen bilden und ausfallen können. In diesem Falle kommt es zur Verstopfung feiner Gefäße und Ab-sperrung ganzer Organe von der Blutzirkulation. Die Verklumpung wird durch bestimmte Stoffe des Serums, durch die *Agglutinine*, hervorgerufen, die — da sie gegen artgleiches Eiweiß gerichtet sind —, auch als *Isoagglutinine* bezeichnet werden. Der Verklumpungsvorgang selbst heißt *Agglutination*, die Fähigkeit der Blutkörperchen zu verklumpen wird auf die in ihnen enthaltenen *agglutinablen Substanzen* zurückgeführt. Man muß daher vor einer Bluttransfusion die zu mischenden Blutsorten prüfen, ob sie agglutinieren oder sich ohne Schaden für den Blutempfänger mischen

lassen. Jeder Mensch gehört einer von vier Blutgruppen an, die mit den Buchstaben A, B, AB und der Zahl 0 bezeichnet werden („ABO-System“).

Die Blutgruppenbestimmung ist aber nicht bloß für eine Bluttransfusion, sondern auch für die Gerichtsmedizin bzw. für rassenbiologische Untersuchungen wichtig. Für die *Gerichtsmedizin* ist ausschlaggebend, daß jedem Menschen eine bestimmte Blutgruppe angeboren ist, unveränderlich bestehen bleibt und nach bestimmten Regeln vererbt wird; durch Blutgruppenbestimmung ist daher in einer Reihe von Fällen ein *Vaterschaftsausschluß* möglich. Außer den Gruppeneigenschaften des ABO-Systemes werden für diesen Zweck noch die Gruppen M und N herangezogen, die nicht durch Isoagglutinine, sondern durch *Heteroagglutinine* mit dem Serum entsprechend sensibilisierter Kaninchen festgestellt werden. Für die Blutgruppenbestimmung bei *rassenbiologischen Untersuchungen* ist maßgebend, daß das Zahlenverhältnis der einzelnen Blutgruppen zueinander je nach der Zusammensetzung einer Bevölkerung verschieden ist. In Deutschland finden sich in der Gesamtbevölkerung durchschnittlich die Gruppe A zu 44%, die Gruppe B zu 13%, die Gruppe AB zu 5% und die Gruppe 0 zu 38% vor; schon in den einzelnen Landesteilen jedoch ändern sich die Zahlen:

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe AB	Gruppe 0
	%	%	%	%
Westdeutschland . . . . .	46	9	4	41
Süddeutschland . . . . .	44	12	5	39
Mitteldeutschland . . . . .	42	14	6	38
Ostdeutschland . . . . .	42	16	7	35

Am häufigsten sind im Deutschen Reich demnach die Gruppen A und 0 vertreten. Bei der Gruppe B ist ein Ansteigen der Zahlen nach Osten zu schon in Deutschland deutlich festzustellen, desgleichen die Zunahme der Gruppe A in Richtung nach Westen. Bei manchen Völkern kommen bestimmte dieser Gruppen überhaupt nicht vor.

Das *Zustandekommen der Agglutination* bei der Mischung von gruppenverschiedenem Blut wird aus Abb. 12 verständlich. Man bezeichnet die *Blutgruppe* stets nach der im *Erythrozyten enthaltenen agglutinablen Substanz*, von der es nur zwei Formen, A und B gibt, die entweder für sich allein in den roten Blutkörperchen vorhanden sind (Gruppe A oder Gruppe B) oder auch zusammen vorkommen (Gruppe A + B = AB) oder die schließlich ganz fehlen können (Gruppe 0). Das *Blutplasma*, ebenso das nach Defibrinieren verbleibende *Blutserum* enthält dagegen eines der beiden *Agglutinine*: das Blut der A-Gruppe besitzt ein gegen B gerichtetes

Agglutinin, auch als Anti-B oder kürzer als  $\beta$  bezeichnet; im Blut der B-Gruppe findet sich Anti-A oder  $\alpha$  vor; Blut der AB-Gruppe enthält *keines* der beiden Agglutinine, Blut der 0-Gruppe dafür sowohl Anti-A ( $\alpha$ ) als auch Anti-B ( $\beta$ ). Bei einer Mischung unverdünnten Blutes muß daher eine Agglutination immer dann auftreten, wenn A- oder AB-Blutkörperchen mit Anti-A ( $\alpha$ ) bzw. B- oder AB-Blutkörperchen mit Anti-B ( $\beta$ ) zusammentreffen; auf Abb. 12 bezogen, kommt es immer dann zur Agglutination, wenn ein durch *doppelte* Schraffierung gekennzeichnetes Blutkörperchen mit einem *doppelt* schraffierten Pfeil bzw. ein *einfach* schraffiertes Blutkörperchen mit einem *einfach* schraffierten Pfeil zusammentrifft.

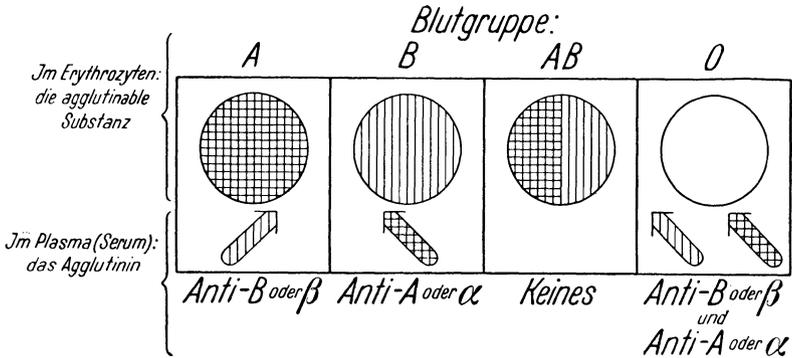


Abb. 12. Verteilung der agglutinablen Substanz und der Agglutinine bei den vier Blutgruppen des ABO-Systemes.

Zur **Bestimmung der Blutgruppe** eines bestimmten Menschen kann man daher auf einem Objektträger je einen Tropfen seines Blutes mit einem Tropfen Serum, das  $\beta$  enthält („Testserum- $\beta$ “) und mit einem Tropfen Serum, das  $\alpha$  enthält („Testserum- $\alpha$ “), zusammenmischen. Gehört z. B. das zu prüfende Blut der Gruppe A an, so wird im ersten Fall, wie in Abb. 16 links oben bei  $\beta$ , keine *Entmischung*, d. h. *keine* Agglutination eintreten, da A und  $\beta$  nicht miteinander reagieren können; im zweiten Fall aber treffen A und  $\alpha$  zusammen, es muß Agglutination d. h. Entmischung des Blutes unter Bildung kleiner, mit freiem Auge bereits sichtbarer Erythrozytenanhäufungen (Klumpchen) wie in Abb. 16 links oben bei  $\alpha$  zustandekommen. Sinngemäß wird die Blutgruppe B daran erkannt, daß nur das Testserum- $\beta$  eine Agglutination hervorbringt; die Gruppe AB liegt vor, wenn *mit jedem* der beiden Testsera eine Agglutination entsteht, die Gruppe 0 schließlich dann, wenn weder mit Testserum- $\beta$  noch mit Testserum- $\alpha$  eine Agglutination zustande kommt.

Diese einfache Objektträgermethode kann jedoch zu manchen *Irrtümern* führen, insbesondere bei zu *dichter* Blutkörperchenaufschwemmung im Testserum bei solchen Blutsorten, die stark zu *Geldrollenbildung* neigen; es besteht dann die Möglichkeit, daß eine *unspezifische Pseudoagglutination* mit der echten gruppenspezifischen Agglutination verwechselt wird. Die A-Gruppe besteht ferner aus mehreren Untergruppen:  $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$ ; bei  $A_2$  und  $A_3$  reagiert wohl das Plasma bzw. Serum normal wie bei der Gruppe A, die Blutkörperchen  $A_2$  und  $A_3$  enthalten jedoch nur eine *schwach* wirkende agglutinable Substanz A, so daß die *auch nur schwache* Agglutination mit dem Testserum- $\alpha$  übersehen und das nur auf das Verhalten der Blutkörperchen hin geprüfte Blut dann der 0-Gruppe zugerechnet werden könnte. Aus diesen und weiteren Gründen ist es zweckmäßig, nicht bloß die Eigenschaften

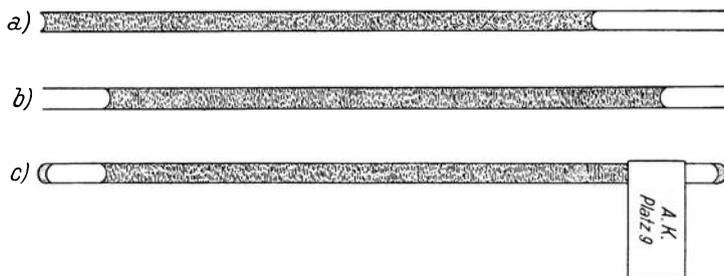


Abb. 13. Die Kapillare zur Gewinnung des Plasmas bei der Blutgruppenbestimmung mit Gegenprobe.

a unmittelbar nach dem Aufsaugen; b nach Verschiebung der Blutsäule in die Mitte des Röhrchens; c Enden zugeschmolzen und Kapillare mit beschrifteter Fahne versehen, zum Zentrifugieren bereit.

der Blutkörperchen mittels der Testsera  $\beta$  und  $\alpha$ , sondern auch die des abgetrennten Plasmas mit Hilfe von Testblutkörperchen A und B zu prüfen (*Blutgruppenbestimmung mit Gegenprobe*). Testsera bzw. Testblutkörperchen (in physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt) werden zweckmäßig von einem gerichtsmmedizinischen Institut beschafft.

Zur Gewinnung des Plasmas für die Durchführung der Gruppenbestimmung mit Gegenprobe wird eine — zur Verhinderung der Blutgerinnung — vorher mit 5%iger Zitratlösung gespülte und wieder getrocknete Kapillare nach Abb. 13a von einem kräftigen Einstich in der Fingerbeere aus mit Blut bis etwa 3 cm vor dem oberen Ende gefüllt; die Füllung kann durch Aufsaugen erfolgen oder — wenn schon etwas Blut in die Kapillare gesaugt worden war —, auch durch einfaches Einfließenlassen in das leicht nach unten

geneigte Röhrechen. Größere Luftblasen dürfen die Füllung *nicht* unterbrechen. Durch entsprechendes Neigen wird dann die Flüssigkeit wie bei Abb. 13 b in die Mitte des Röhrechens gebracht, so daß die Blutsäule von beiden Enden etwa 1,5 cm absteht. Das eine Ende der waagrecht gehaltenen Kapillare ist nun vorsichtig dem Saum der Gasflamme zu nähern und in ihm unter dauerndem Drehen zuzuschmelzen; nach kurzem Warten wird das andere Ende in der gleichen Weise verschlossen, die Kapillare mit einer Papierfahne (enthaltend Kennbuchstaben und die Arbeitsplatznummer) versehen und in dem durch Abb. 13 c dargestellten Zustand zum Zentrifugieren abgegeben. Nimmt bei einer großen Zahl von Praktikumsmitgliedern das Zentrifugieren viel Zeit in Anspruch, so können die Röhrechen im Eisschrank aufbewahrt und erst in der nächsten Praktikumsstunde weiter verwendet werden.

Zur eigentlichen **Ausführung der Blutgruppenbestimmung mit Gegenprobe** dient eine Glasplatte nach Abb. 16, die durch ein Kreuz in vier Felder mit den Buchstabenbezeichnungen  $\beta$ ,  $\alpha$ , A und B geteilt ist; die linke Hälfte der Platte dient zur Untersuchung der Blutkörperchen, die rechte zur Prüfung des Plasmas aus dem unbekanntem Blut. Kreuz und Buchstabenbezeichnungen sind zweckmäßig mit Glasätzfarbe unverwischbar hergestellt worden. Bei  $\beta$  wird dann ein Tropfen Testserum- $\beta$  mit einer Pipette aufgebracht, bei  $\alpha$  ein Tropfen Testserum- $\alpha$  mit einer *anderen* Pipette; die Felder A und B werden mit je einem Tropfen Blutkörperchenaufschwemmung A bzw. B versehen (neuerlich verschiedene Pipetten!). Mit zwei Ecken eines Objektträgers, die



Abb. 14. Objektträger (O) mit bei B durch Anätzen aufgerauten Ecken.

nach Abb. 14 durch Anätzen aufgeraut sind, nimmt man hierauf Blut aus einem frischen Einstich in der Fingerbeere auf und rührt es in je einen Tropfen der Testsera ein; dabei ist streng darauf zu achten, daß nicht etwa Serum von einem Tropfen zum anderen gelangt oder daß man nicht etwa mit der *gleichen* Ecke des Objektträgers hintereinander in beide Serومتropfen eintaucht. Hierauf wird die vom Zentrifugieren zurückerhaltene Kapillare, in der die Blutkörperchen von dem darüberstehenden Plasma abgetrennt worden sind, an den in Abb. 15 mit Pfeilen gekennzeichneten Stellen angefeilt und aufgebrochen; durch zartes Auftupfen der mit Plasma gefüllten Hälfte der Kapillare auf die Glasplatte ist in die Felder A und B *neben* die Blutkörperchenaufschwemmungen je ein Plasmatrophen

zu bringen; mit den beiden *anderen* Ecken des genannten Objektträgers werden Plasma und Blutkörperchenaufschwemmung schnell miteinander gemischt, wobei auch hier jedes Hinüberbringen von Flüssigkeit aus einem Feld in das andere peinlich vermieden werden muß. Die Glasplatte bleibt hierauf 2—3 min ruhig liegen, dann wird sie zwecks Verstärkung der Agglutination leicht hin- und hergeschwenkt; nach 5—10 min ist das Ergebnis bereits deutlich, nach 10—15 min immer mit Sicherheit schon mit dem unbewaffneten Auge abzulesen. Das Aussehen der Glasplatte mit den Tropfen für alle vier Blutgruppen gibt Abb. 16 wieder; eine Blutgruppenbestimmung kann nur dann als richtig angesehen werden, wenn das Ergebnis auf der linken Plattenhälfte mit dem auf der rechten *übereinstimmt*, sonst ist die Untersuchung zu wiederholen. Zur schnellen Beurteilung über die Richtigkeit des Untersuchungsergebnisses merke man sich, daß die agglutinierenden bzw. nicht agglutinierenden Tropfen wie in Abb. 16 immer nur durch eine waagrechte oder lotrechte Linie, *niemals aber durch eine Diagonale* verbunden werden können.

Die Blutgruppenbestimmung ist grundsätzlich von *jedem* Praktikumsteilnehmer für das eigene Blut durchzuführen. In einer folgenden Besprechung werden dann die Praktikumsteilnehmer zur Bekanntgabe ihrer Blutgruppe aufgerufen; dazu bereitet jeder Praktikant in seinem Protokollheft vier Felder mit den Überschriften „A“, „B“, „AB“ und „0“ vor und trägt bei jeder angesagten Gruppe einen Strich ein. Am Schluß wird dann die Summe in jedem Feld gebildet, die Gesamtzahl der Blutgruppenbestimmungen festgestellt, gleich 100 gesetzt, die prozentuelle Häufigkeit der einzelnen Gruppen berechnet und mit den früher angegebenen Zahlen verglichen.

Nach den früheren Erörterungen könnte es so scheinen, als ob zur **Bluttransfusion** nur gruppengleiches Blut allein geeignet wäre. Die Agglutinine des *Spender*plasmas werden im Körper des *Empfängers* jedoch *verdünnt* (z. B. auf 1 : 10 bei der Transfusion von 400 cm<sup>3</sup> in einen Empfänger, der selbst noch 4000 cm<sup>3</sup> Blut

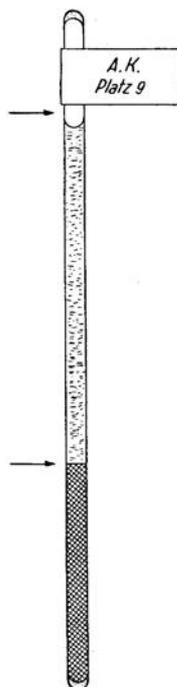


Abb. 15. Die Kapillare nach dem Zentrifugieren: Trennung der geformten Elemente (doppelt schraffiert) vom Plasma (punktiert). Zur Entnahme des Plasmas wird das Röhrchen an den durch die Pfeile gekennzeichneten Stellen angefeilt und aufgebogen.

besitzt) und die Agglutination ist außerdem bei Körpertemperatur deutlich abgeschwächt; unter zwei — später angeführten — Einschränkungen braucht man daher die Rückwirkung der Spenderagglutinine auf die Blutkörperchen des Empfängers nicht zu

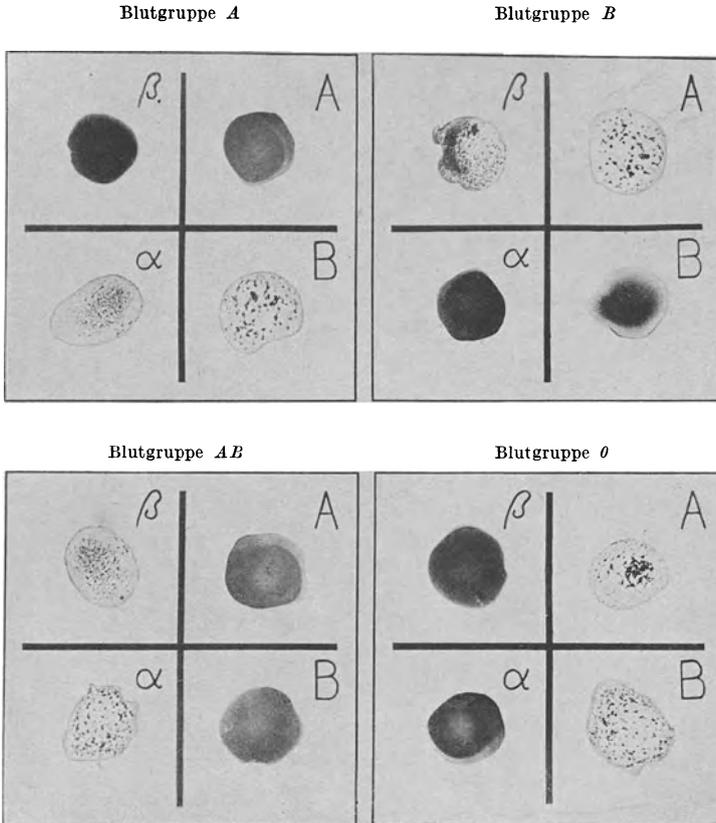


Abb. 16. Ausfall der Blutgruppenbestimmung mit Gegenprobe.

fürchten und bloß die *Agglutination der Spendererythrozyten durch die Agglutinine des Empfängers* zu berücksichtigen. Unter diesem Gesichtspunkt sind die in Abb. 17 durch Pfeile dargestellten Transfusionsrichtungen zulässig; man kann also nicht bloß *gruppen-gleiches Blut* (voll gezeichnete Pfeile), sondern auch 0-Blut auf Empfänger der Gruppe A, B und AB oder A-Blut bzw. B-Blut auf

Empfänger der AB-Gruppe (gestrichelte Pfeile) übertragen. Man nennt die 0-Gruppe daher auch *Universalspender*, die AB-Gruppe auch *Universalempfänger*. Nur wenn das Spenderplasma die Agglutinine in *sehr großer Konzentration* enthält („hoher Titer“) oder *an sich große Blutmengen* übertragen werden sollen, dann ist die Verdünnung des Spenderplasmas im Empfängerblut zur Verhinderung einer rückwirkenden Agglutination *unzureichend*; in diesen beiden Fällen ist die Transfusionsmöglichkeit auf *gruppen-gleiches* Blut (voll gezeichnete Pfeile in Abb. 17) *eingeschränkt*.

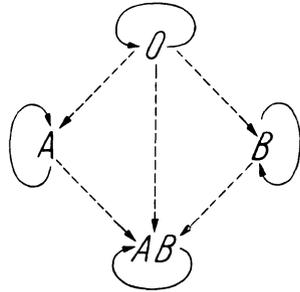


Abb. 17. Schematische Darstellung der zulässigen Transfusionsrichtungen. Übertragung *kleiner* Blutmengen oder von Blut mit *niedrigem* Titer: voll und gestrichelt ausgezogene Pfeile; Übertragung *großer* Blutmengen oder von Blut mit *hohem* Titer: bloß voll ausgezogene Pfeile (nur *gruppen-gleiches* Blut).

## II. Herz, Kreislauf und Atmung.

Bei der Untersuchung von Bewegungsvorgängen — die uns in diesem Abschnitt zum erstenmal entgegentritt — begnügt man sich nur selten mit der einfachen Beobachtung, man strebt vielmehr die Gewinnung von *Zeitkurven* des *Bewegungsvorganges* durch *Registrierung* an. Bei einer solchen Aufzeichnung wird der Bewegungsvorgang mittels eines geeigneten Hebels als *Ordinate* aufgetragen, während die Registrierfläche in der *Abszissenachse* (*Zeitachse*) verschoben wird. Durch *gleichzeitige* Niederschrift von Zeitmarken z. B. mit einem *elektromagnetischen Schreiber* ergibt sich die Möglichkeit, die Ablaufgeschwindigkeit und damit die zeitlichen Verhältnisse des Bewegungsvorganges zu verfolgen, durch gleichzeitige Aufzeichnung weiterer Marken z. B. den Reizaugenblick in die Niederschrift einzutragen, + um die Beziehungen zwischen Reizung und Reizerfolg zu überblicken usw. Die Aufzeichnung selbst kann am einfachsten auf einer mit weißem Papier bespannten, von einem Federwerk gedrehten Trommel (*Kymographion*) durchgeführt werden, wobei der Schreibhebel z. B. mit einer Tintenfeder ausgestattet ist (*Tintenschreibung*) oder bloß mit einer feinen Spitze den auf das Schreibpapier aufgebrachten Ruß wegkratzt (*Rußschreibung*); im ersten Fall entsteht ein dunkler Kurvenzug auf weißem Grund, der keiner weiteren Nachbehandlung bedarf, im zweiten ein weißer Kurvenzug auf schwarzem Grund, der jedoch erst durch Behandlung des Papieres mit einer

alkoholischen Schellacklösung o. dgl. und anschließendes Trocknen haltbar gemacht werden muß („*Fixieren der Kurven*“). Bei der *optisch-photographischen Registrierung* dient als Schreibhebel ein Lichtstrahl, der seinen Weg auf einem abrollenden lichtempfindlichen Papier oder Film verzeichnet; der Kurvenzug muß allerdings erst durch photographische Entwicklung sichtbar, durch anschließendes photographisches Fixieren, Wässern und Trocknen haltbar gemacht werden. Welche Aufzeichnungsmethode in einem bestimmten Fall zweckmäßig zur Anwendung gelangt, hängt von der Art des Anzeigeapparates für den Bewegungsvorgang ab, von der verlangten Genauigkeit, vom Zweck der Aufzeichnung, von den zur Verfügung stehenden Mitteln und von anderen Umständen. Unbestrittene Vorteile der rein mechanisch arbeitenden Tinten- bzw. Rußschreibung sind die Einfachheit der Anordnung, die Aufstellungsmöglichkeit in jedem beliebigen Raum und die Möglichkeit, die geschriebene Kurve schon im Augenblick ihrer Entstehung zu sehen und daher auch in den Versuchsablauf sofort eingreifen zu können; Nachteile dieser Verfahren sind, daß der Aufzeichnungsvorgang schon durch die Reibung zwischen Schreiber und Schreibfläche sowie durch die Trägheit, Eigenfrequenz und meist ungenügende Dämpfung der mechanischen Schreibhebel gestört werden kann. Bei der optisch-photographischen Aufzeichnung fallen diese Nachteile größtenteils weg, da der Lichthebel selbst auch bei starker Vergrößerung des Ausschlages trägheitslos verzeichnet und die mit Beseitigung der Trägheit, Verschiebung der Eigenfrequenz und ausreichender Dämpfung des Anzeigeapparates verbundene Empfindlichkeitsherabsetzung durch Verlängerung des Lichthebels, Einführung elektrischer Verstärker u. dgl. wieder kompensiert werden kann; dafür ergibt sich wieder der Nachteil, daß der Kurvenzug erst nach der photographischen Entwicklung sichtbar wird und in manchen Fällen die Anordnung auch an das Vorhandensein eines verdunkelbaren Raumes gebunden ist. Für das physiologische Praktikum kommt daher in erster Linie die Rußschreibung in Frage.

Das **Kymographion** besteht aus einer zylindrischen Metalltrommel, über die weißes Glanzpapier, das zu beruhen ist, gespannt wird. Die beruhte Trommel *Tr* ist, wie Abb. 18 zeigt, in einem eigenen Gestell mit lotrecht gestellter Achse eingespannt. Zum Antrieb dient das Federwerk *F*, das durch den Schlüssel *S* aufgezogen wird. Eine Schnur *Sch* treibt die Trommel *Tr* an. Die Geschwindigkeit der Umdrehung kann durch Verstellen der Windflügel *W* am Federwerk geändert werden. Ein an der Achse der Windflügel angreifender Anhaltehebel *A* hemmt die Drehung des

Kymographions; wird der Hebel *A* abgehoben, so beginnt sich die Trommel *Tr* zu bewegen. Die aufzuzeichnenden Bewegungen werden auf die Trommel *Tr* mit einem Aluminium- oder Papierschreiber *Schr* übertragen; die Schreiberspitze kratzt den Ruß in dünner Linie weg, so daß der weiße Untergrund zum Vorschein kommt. Derartige Kurven sind demnach weiß auf schwarzem

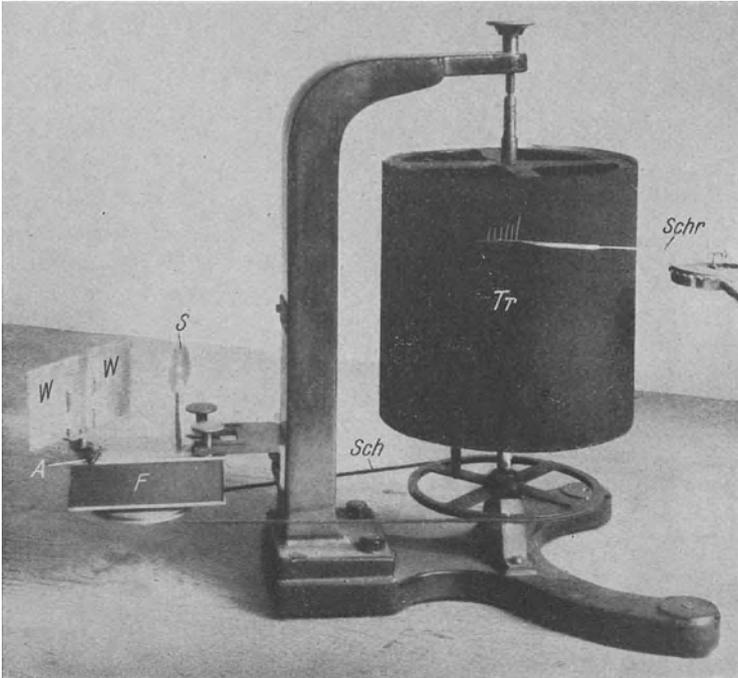


Abb. 18. Kymographion.

*A* Anhaltehebel; *F* Federwerk; *S* Schlüssel zum Aufziehen; *Sch* Übertragungsschnur; *Schr* Schreiber einer MAREYSchen Kapsel; *Tr* berußte Trommel; *W* Windflügel zur Regelung der Geschwindigkeit.

Grund. Das vollbeschriebene Papier wird dann von der Trommel abgenommen und durch Eintauchen in alkoholische Schellacklösung haltbar gemacht.

Zum **Bespannen der Kymographiontrommel** sind Streifen aus Hochglanzpapier geeigneter Länge bereits vorbereitet; sie werden vorerst auf der *Rückseite* mit einem feuchten Tuch überstrichen, dann straff und faltenlos über die aus dem Gestell herausgenommene Trommel gelegt. Die beiden einander etwa 1—2 cm über-

greifenden Enden des Streifens sind — wie Abb. 20 zeigt — so aufeinanderzulegen, daß die Schreiberspitze während des Umlaufes der Trommel von der Duplikatur her über die Naht gleiten kann; in dieser Lage sind die Streifenenden unter Spannung des Papiers durch Klebstoff miteinander zu verbinden. Zum **Berußen** wird dann die Trommel mit waagerechter Achse über einer rußenden Flamme gedreht (Leuchtgas, das durch eine Benzolvorlage strömt), wobei die Höhe der Trommel über der Flamme so zu wählen ist, daß sich nicht eine dicke, tiefschwarze, sondern bloß eine dünne, braunschwarze Rußschicht abscheidet. Während der Berußung trocknet das befeuchtete Papier wieder aus, zieht sich zusammen und sitzt dann straff auf der Trommel, so daß es von

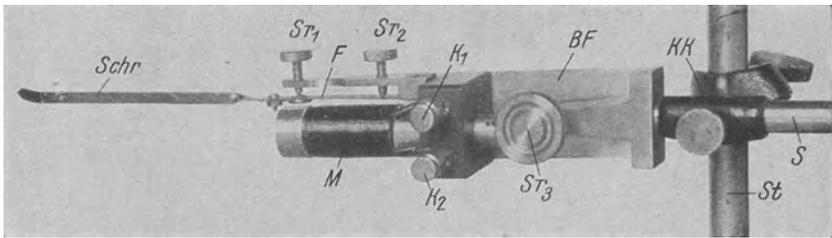


Abb. 19. Elektromagnetischer Reiz- und Zeitschreiber.

*BF* Blattfeder zur Feinbewegung des Schreibers gegen die Kymographiontrommel; *F* Feder, die vom Magnetfeld bewegt wird; *K<sub>1</sub>*, *K<sub>2</sub>* Klemmen für den Stromanschluß; *KK* Kreuzkopf; *M* Magnetspule; *S* Befestigungsstab; *Sr<sub>1</sub>*, *Sr<sub>2</sub>* Stellschraube für die Dämpfung und Ausschlagsbegrenzung; *Sr<sub>3</sub>* Stellschraube für die Empfindlichkeit; *Schr* Aluminiumschreiber; *St* Stativ.

dieser auch bei lotrecht stehender Trommelachse nicht mehr nach abwärts gleiten kann.

Zur **Fixierung der Rußkurven** wird das Papier nach Beendigung des Versuches dicht neben der Klebestelle mit einer Rasierklinge durchschnitten. Es ist zweckmäßig, den Schnitt nur von einem Rand der Trommel bis auf 1 cm Abstand vom anderen zu ziehen, um ein vorzeitiges Herunterfallen des Blattes und ein Verwischen der Kurven zu verhüten; nach Fassen der beiden Schnittträger mit je einer Holzklammer wird erst das letzte Stück des noch zusammenhängenden Papiers durchgerissen. Die Trommel wird dabei von einer zweiten Person gehalten. Die an den Holzklammern hängende Rußkurve wird nun mit der beschriebenen Seite *nach oben* in das Becken mit alkoholischer Schellacklösung getaucht, einmal durchgezogen, über der Schale abtropfen gelassen und dann an ihrem oberen Ende mit einer Stoßnadel an einem

Holzgestell so befestigt, daß sie, frei nach unten hängend, gut trocknen kann. Dazu ist etwa eine Stunde erforderlich; durch Anblasen der Kurven mit dem warmen Luftstrahl eines „Föhn“ läßt sich das Trocknen in etwa 10 min erreichen. Gut gelungene Stücke der aufgezeichneten Kurven werden dann ausgeschnitten und in das Protokollheft eingeklebt.

Der **elektromagnetische Schreiber** besteht, wie Abb. 19 zeigt, z. B. aus einer waagrecht gelagerten Magnetspule  $M$ , welcher der zu verzeichnende Strom über die Klemmen  $K_1$  und  $K_2$  zugeführt wird. Der Strom magnetisiert den eisernen Spulenkörper und zieht dadurch die über der Spule angebrachte Blattfeder  $F$  mit ihrem vorderen Ende nach unten; der an der Feder  $F$  befestigte Aluminium-

schreiber  $Schr$  macht dabei auf dem Kymographion eine Marke. Durch die Schraube  $Sr_1$  läßt sich die Feder  $F$  dem vorderen Ende des Spulenkörpers mehr oder weniger nähern und dadurch in ihrer Empfindlichkeit einstellen. Die Schraube  $Sr_2$  dient dazu, die Eigenschwingung der Feder zu dämpfen und die Ausschlagsgröße zu beschränken. Der Schreiber wird mit seinem Stab  $S$  unter Vermittlung des Kreuz-

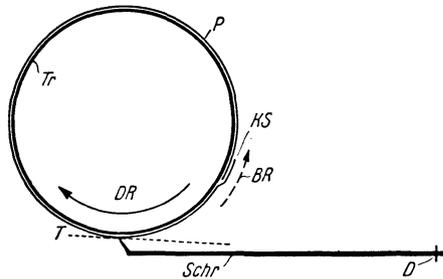


Abb. 20. Stellung von Schreibhebel und Kymographiontrommel (Ansicht von oben).  $BR$  Bewegungsrichtung des Schreibers über die Klebestelle des Papiers;  $D$  Drehachse des Schreibers;  $DR$  übliche Drehrichtung des Kymographions bei Schreibrichtung von links nach rechts;  $KS$  Klebestelle mit richtiger Anordnung der Papierenden;  $P$  berußtes Papier;  $Schr$  Schreiber;  $T$  Tangente zur Kymographiontrommel (Verbindungsline von Schreiberspitze und Drehpunkt);  $Tr$  Kymographiontrommel.

kopfes  $KK$  an einem lotrechten Stativ  $St$  in geeigneter Höhe befestigt. Um den Schreiber  $Schr$  zart und mit möglichst geringer Reibung an die Trommel anlegen zu können, ist das Gerät an einer starken Blattfeder  $BF$  befestigt; das ganze Gerät wird zunächst am Stativ so angebracht, daß die Schreiberspitze von der Trommel noch etwa 1 mm absteht; erst durch Drehen an der Schraube  $Sr_3$  wird dann die Blattfeder  $BF$  durchgebogen und die Schreiberspitze zart der Trommel angelegt.

Beim **Anlegen eines Schreibers**, z. B. des elektromagnetischen Reiz- und Zeitschreibers, an die Trommel ist folgendes zu beachten: 1. Der Schreiber muß wie in Abb. 20 tangential zur Trommel gerichtet sein und diese mit seiner Spitze im Tangierungspunkt berühren (richtiger, wie in Abb. 20 dort, wo die Verbindungs-

linie  $T$  von Schreiberspitzte und Schreibhebel drehpunkt tangiert); 2. die Drehachse des Schreibhebels muß waagrecht sein, damit die Schreiberspitzte sich bei Ausschlägen nach oben oder unten nicht von der Trommel abhebt; 3. der Schreibhebel selbst muß in der Ausgangsstellung praktisch waagrecht sein; das letztere ist durch den Bau des elektromagnetischen Schreibers von selbst gegeben, nicht aber, wenn ein Hebel zur Aufzeichnung von Muskelkontraktionen benützt wird oder eine Schreibung z. B. mit der MAREYSchen Kapsel erfolgt; in diesen Fällen ist auch eine Einstellung nach Punkt 3 vorzunehmen; 4. die Schreiberspitzte darf nur mit geringem Druck, d. h. mit geringer Reibung der Trommeloberfläche anliegen.

Beim Aufbau einer Versuchsanordnung unter Verwendung des elektromagnetischen Schreibers wird zunächst das Kymographion aufgestellt, dann rechts von diesem das Stativ mit dem Schreiber. Da das Stativ — zur Aufzeichnung mehrerer Kurven *untereinander* — in seiner Höhe verstellbar ist, wird der Schreiber vorerst ganz unten am Stativ, unter Berücksichtigung der oben angeführten Gesichtspunkte, befestigt. Der Schreibhebel zur Aufzeichnung des Bewegungsvorganges ist unmittelbar darüber anzubringen, derart, daß die Spitzten *beider* Schreiber *genau übereinander* stehen. Begonnen wird jede Aufzeichnung unmittelbar neben der Klebestelle, so daß beim späteren Durchtrennen des Papiertes wichtige Kurvenstellen nicht zerschnitten werden. Nach einer Umdrehung der Trommel wird der Stativstab mit den Schreibern in der Höhe entsprechend verstellt. Zur Aufzeichnung z. B. der Ein- und Ausschaltung des Primärstromes im Induktorium wird der elektromagnetische Schreiber mit seinen Klemmen  $K_1$  und  $K_2$  (Abb. 19) unmittelbar mit dem Schlittenapparat (Klemmen  $ESK$ , Abb. 106) und dem Stromschlüssel in Reihe an die Batterie geschaltet; bei zunächst stillstehendem Kymographion wird durch Regelung an der Schraube  $Sr_1$  (Abb. 19) die Empfindlichkeit so eingestellt, daß jede Schließung oder Öffnung des Primärkreises vom Schreiber angezeigt wird; durch Verstellen an der Schraube  $Sr_2$  (Abb. 19) wird die Ausschlagsgröße auf etwa 3—4 mm verringert. Während des Umlaufes der Trommel führt dann jede Einschaltung und Ausschaltung des Primärstromes zu einem rechteckförmigen Ausschlag (Zeile 1 in Abb. 21), wobei die *Abwärts* bewegung der Schreiberspitzte der *Einschaltung* ( $E$ ) und dem Augenblick der Entstehung des *Schließungsschlages*, die *Aufwärts* bewegung der *Ausschaltung* ( $A$ ) und dem Augenblick der Entstehung des *Öffnungsschlages* entspricht. Zur Aufzeichnung der Dauer einer Faradisierung wird der elektromagnetische Schreiber gleichfalls mit dem

Schlittenapparat in Reihe geschaltet, wobei aber diesmal die Klemmen  $PSK_1$  und  $PSK_2$  (Abb. 106) zur Mitverwendung des WAGNERSchen Hammers zu benützen sind; bei richtiger Einstellung schwirrt der Schreiber im Rhythmus der Unterbrechungen des Primärstromes mit und verzeichnet für die Dauer der Faradisierung auf dem Kymographion eine breite Linie (Zeile 2 in Abb. 21). Zur Aufzeichnung von Zeitmarken in Sekundenabständen muß dem Zeitschreiber ein Strom zugeführt werden, der durch ein geeignetes Schaltwerk in Einzelstöße je Sekunde zerlegt wird. Ist eine gemeinsame „Uhr“-Leitung vorhanden, in der solche Stromstöße fließen, so erfolgt der Anschluß an diese; steht eine

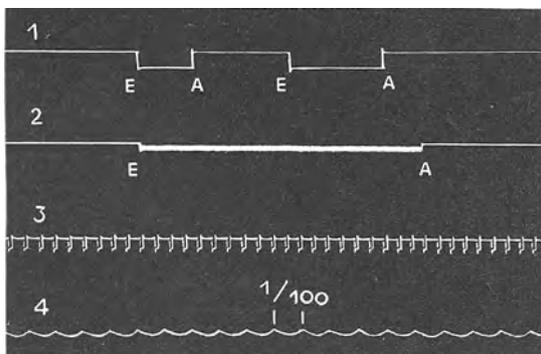


Abb. 21. Beispiele von Aufzeichnungen mit dem elektromagnetischen Reiz- und Zeitschreiber.

Zeile 1: Einschaltung (E) und Ausschaltung (A) des Primärstromes vom Schlittenapparat, zugleich Augenblick der Entstehung von Schließungsschlag (E) und Öffnungsschlag (A); Zeile 2: Dauer einer Faradisierung (E Beginn, A Ende); Zeile 3: Sekundenmarken; Zeile 4: Wechselstrom von 50 Hz auf schnellbewegter Trommel, vom Zeitschreiber mit *doppelter* Frequenz verzeichnet.

solche Leitung nicht zur Verfügung, dann wird unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels und einer Einschaltvorrichtung dem Schreiber der Strom einer Akkumulatorenzelle zugeleitet. Als Einschaltvorrichtung kann ein Metronom Verwendung finden, das bei jedem Sekundenschlag einen an der Pendelachse befestigten Metallbügel in einen Quecksilbernapf eintaucht, oder man benützt eine BOWDITCHSche Uhr, bei der ein Rad mit aufgesetzten Stiften rhythmisch den Stromschluß herstellt. Bei richtiger Einstellung der Schrauben  $Sr_1$  und  $Sr_2$  (Abb. 19) werden Marken wie in der Zeile 3 von Abb. 21 verzeichnet; der räumliche Abstand der Zeitmarken voneinander ist nicht bloß vom Zeitintervall zwischen den Stromstößen, sondern natürlich auch von der Trommelgeschwin-

digkeit abhängig. Bei manchen Untersuchungen, z. B. der Latenzzeitbestimmung am Muskel u. dergl., ist eine Weglänge von 30 cm und mehr je Sekunde erforderlich. In solchen Fällen sind Zeitmarken in bloß Sekundenabständen unbrauchbar; man betreibt daher den Zeitschreiber mit Wechselstrom von 50 Hz, wodurch auf der Kymographiontrommel, wie in Zeile 4 von Abb. 21, eine Wellenlinie verzeichnet wird. Es wäre zu erwarten, daß der Schreiber — entsprechend der Zahl von 50 Perioden des Wechselstromes in der Sekunde — eine Wellenlinie mit der Frequenz 50 Hz liefert. Da der Schreiber jedoch nicht vormagnetisiert ist, wird er von *jedem einzelnen Wechsel* (vgl. S. 221 und Abb. 88) angezogen und zu einer vollen Schwingung gebracht; er führt daher soviele Schwingungen aus, als Wechsel in der Sekunde aufeinander folgen (bei 50 Perioden daher 100 Wechsel) und schreibt also eine Wellenlinie mit *doppelter Frequenz* im Vergleich zur Periodenzahl des Stromes. *Punkte gleicher Phase*, z. B. je zwei Wellenberggipfel wie in Abb. 21 Zeile 4, sind also  $\frac{1}{100}$  sec voneinander entfernt. Der Anschluß des Zeitschreibers erfolgt dabei zweckmäßig an den 8-V-Klemmen eines Klingeltransformators. Die Schrauben  $Sr_1$  und  $Sr_2$  (Abb. 19) werden stark zurückgedreht, so daß die Feder *frei* schwingen kann und eine richtige Wellenlinie ohne Nebenzacken entsteht. Um die erforderliche große Drehgeschwindigkeit der Trommel zu erreichen, wird die Antriebsschnur von der Kymographiontrommel abgenommen, also auf den Federwerksantrieb verzichtet und eine „Schleudereinrichtung“ in Betrieb gesetzt; falls eine solche nicht vorgesehen ist, wird die Trommel mit einem in die Speichen der Trommelbefestigung gesteckten Finger schnell im Verlauf von 1—2 sec einmal herumgedreht.

\*

Bei den Herzversuchen wird zum erstenmal ein lebendes Organ gereizt und damit nicht nur das Verhalten des lebenden Gewebes eingehender verfolgt, sondern im Zusammenhang mit den später besprochenen Versuchen an den Muskeln des Frosches und des Menschen auch Verständnis für die Anwendung des elektrischen Stromes in Elektrodiagnostik und Elektrotherapie gewonnen. Wenn das Herz, die Nerven oder die Muskeln auch durch osmotische, chemische oder Wärmereize erregbar sind, so erweist sich doch der elektrische Strom als das beste Reizmittel, da er — mit entsprechender Vorsicht angewandt — *unschädlich* ist; auch kann gerade bei dieser Art der Erregungsauslösung die Reizstärke, die Reizdauer sowie die Anstiegs- bzw. Abstiegsteilheit leicht eingestellt und gemessen werden. Es seien daher hier kurz **die allgemeinen Reizgesetze** wiederholt. Erregend wirkt ein Reiz nur

dann, wenn er eine gewisse Mindeststärke (*Schwellenwert*) besitzt; man spricht daher von *unterschwelligem* (unwirksamen) und *überschwelligem* (wirksamen) Reizen. Wenn ein Organ als Ganzes — wie z. B. das Herz, vgl. Versuch 26 auf S. 83 — dem Alles-oder-Nichts-Gesetz gehorcht, dann wird eine *maximale* Reaktion schon durch den Schwellenreiz ausgelöst und jede Reizverstärkung ist *ohne* Einfluß auf Größe des Reizerfolges; gilt das Alles-oder-Nichts-Gesetz aber nicht für das ganze Organ, wie dies beim Nerven und beim Muskel der Fall ist, dann wird beim Schwellenreiz nur ein gerade eben merklicher Reizerfolg erzielt, der aber mit Reizverstärkung an Größe *zunimmt*. Die Reizverstärkung ist aber nur in einem engen Bereich wirksam; von einer bestimmten Reizgröße an, dem *maximalen Reiz*, bleibt der Reizerfolg auch bei weiterer Reizverstärkung (*übermaximale Reize*) auf dem bereits erreichten größten Wert bestehen. Das Verhältnis von maximaler Reizstärke und Schwellenreizstärke wird *Erregungsspielraum* genannt; dieser ist beim Herzmuskel 1 : 1, beim Skelettmuskel 1 : 3 bis 1 : 10.

Abgesehen von der Reizstärke hängt die Reizwirkung auch von den **zeitlichen Verhältnissen** (Reizdauer, ferner Anstiegs- bzw. Abstiegssteilheit) ab. Damit ein Stromstoß eine Reizwirkung entfalten kann, muß er eine *Mindestzeit* auf das Gewebe eingewirkt haben; diese Mindestzeit oder *Minimalzeit* ist vom Erregbarkeitsgrad des betreffenden Organs abhängig und kann zur Messung der Erregbarkeit (*Chronaxie*, vgl. S. 150) verwendet werden. Für das Eintreten der Reizwirkung ist ferner erforderlich, daß ein Stromstoß die notwendige Stärke *schnell* erreicht. Die stärkste Reizwirkung entfaltet ein Strom — wenigstens bei einem Organ mit nicht zu großer Chronaxie —, wenn er beim Einschalten *sofort* auf die volle Stärke springt, seine Stromkurve also einen *lotrechten* Anstieg zeigt (*Rechteckstoß*); das gleiche gilt für die Reizwirkung beim Ausschalten. Ist die Stromstärkeänderung (beim Einschalten von Null auf den größten Wert, beim Ausschalten vom Höchstwert auf Null) eine *allmähliche*, verzögerte, so daß sich in der Stromkurve ein schräger Anstieg bzw. schräger Abstieg zeigt, so ist die Reizwirkung *geringer* und kann sogar gänzlich *ausbleiben*, wenn die Anstiegs- bzw. Abstiegssteilheit den für das betreffende Organ gültigen Grenzwert *unterschreitet* (*Ein-* bzw. *Ausschleichen*, vgl. S. 244 und Versuch 43 auf S. 128). Auf der geringeren Anstiegssteilheit beruht zum Teil auch die geringere Reizwirkung der Schließungsschläge des Schlittenapparates (S. 132). Nach dem Besprochenen ist es auch verständlich, daß ein galvanischer Strom *nur beim Ein- und Ausschalten* erregend wirkt, *nicht aber während*

*seines dauernden Fließens*; nur bei ganz großer Stärke ruft auch der konstante galvanische Strom eine Reizwirkung hervor (*Kathodenschließungstetanus*, vgl. S. 148). Das Ein- und Ausschleichen eines galvanischen Stromes findet praktische Verwendung, wenn nicht die Reizwirkung (Wirkung einer Stromstärkeänderung), sondern die Dauerwirkung des galvanischen Stromes untersucht bzw. angewandt werden soll (vgl. Elektrotonusversuch auf S. 77).

Bei der Beurteilung eines Reizerfolges ist ferner das **polare Erregungsgesetz** zu beachten: bei der Einschaltung eines Stromstoßes geht die Erregung von der *Kathode* aus (*Kathodenschließungserregung*), bei der Ausschaltung von der *Anode* (*Anodenöffnungserregung*). Die Einschaltung ist ferner stets *wirksamer* als die Ausschaltung; daraus erklären sich folgende Besonderheiten bei der *galvanischen* Reizung: 1. Die Reizschwelle für die Schließungserregung ist *kleiner* als für die Öffnungserregung; ein schwacher galvanischer Strom gibt daher nur eine Schließungs-, aber noch keine Öffnungserregung; 2. bei Stromverstärkung ist neben der Schließung auch bereits die Öffnung wirksam, doch ist der Reizerfolg der Schließung *größer*; 3. die Stromstärke für *maximale* Schließungswirkung ist *kleiner* als diejenige für *maximale* Öffnungswirkung. Die Abweichungen von diesen Gesetzen, die sich bei *starken* Strömen infolge der elektrotonischen Erscheinungen ergeben, werden später erörtert (*PELÜGERSches Zuckungsgesetz*, vgl. Versuch 50 auf S. 138). Bei **galvanischer Reizung in situ** sind die Verhältnisse gegenüber denen am ausgeschnittenen Muskel oder Nerven dadurch verwickelter, daß zu der *reellen* Kathode bzw. Anode noch eine *virtuelle* Kathode bzw. Anode hinzutritt; es kommen daher bei der Reizung in situ auch *Kathodenöffnungs-* und *Anodenschließungserregungen* (vgl. S. 142 und Versuch 53 auf S. 148) zustande. Die eingehende Untersuchung hat im übrigen ergeben, daß die Erregung sowohl beim Schließen wie beim Öffnen — beim ausgeschnittenen Präparat wie bei der Reizung in situ — *immer nur von der Kathode* ausgeht; beim Schließen ist es die Kathode des eigentlichen Reizstromes, beim Öffnen kann man in vereinfachter Darstellung die Kathode des nach der Ausschaltung des Reizstromes auftretenden *Polarisationsstromes* (S. 219 u. 220), der umgekehrte Stromrichtung besitzt und daher seine Kathode an der Stelle der früheren *Anode* hat, verantwortlich machen. Die sog. Anodenreizwirkungen sind also in Wirklichkeit *Kathodenreizwirkungen*. Da für die Entstehung eines Polarisationsstromes der Reizstrom, der sog. *polarisierende Strom*, eine gewisse Zeit durch das erregbare Organ fließen muß, so ist verständlich, daß *kurz dauernde galvanische Stromstöße* bloß

eine Kathodenschließungserregung, aber *keine* Anodenöffnungserregung geben, weil sie keine genügend starke Polarisation hinterlassen. Auch die Reizwirkungen, die z. B. die kurzdauernden Schließungs- und Öffnungsschläge eines Schlittenapparates hervorrufen, entsprechen bloß einer Kathodenschließungswirkung.

Wenn der Reizstrom einem erregbaren Organ, z. B. einem Muskel oder einem Nerven, unmittelbar zugeführt wird, spricht man von **direkter Reizung**. Eine **indirekte Reizung** liegt vor, wenn ein Organ infolge der direkten Reizung eines anderen zur Tätigkeit gebracht wird; trifft ein Stromstoß z. B. den Nerven eines Nerv-Muskel-Präparates, so wird der Nerv selbst *direkt*, der Muskel aber *indirekt* gereizt, weil der Strom den Muskel nicht erreicht, dieser vielmehr nur durch die Erregungsfortleitung über den Nerven zur Kontraktion gebracht wird.

Die **Erregung eines Muskels** zeigt sich durch eine Muskelkontraktion an, die auf der berußten Trommel eines Kymographions aufgezeichnet werden kann. Die **Erregung eines Nerven** ist von außen her nicht ohne weiteres zu erkennen; durch Ableitung der *Aktionsströme*, einfacher aber durch Verwendung eines Nerv-Muskel-Präparates — bei welchem der Muskel die Nervenerrregung durch seine Kontraktion sichtbar macht —, lassen sich aber auch die Erregungserscheinungen am Nerven verfolgen. Bei der Muskelerrregung — gleichgültig ob direkt oder indirekt — ist ferner zu beachten, daß die Kontraktionsform von der Zahl der Reize, die hintereinander den Muskel treffen, abhängig ist. Ein einzelner Stromstoß (Schließungs- oder Öffnungsschlag eines Schlittenapparates) oder eine einzelne Schließung bzw. Öffnung eines galvanischen Stromes führt zu einer schnell vorübergehenden Kontraktion (**Zuckung**). Folgen mehrere solcher Einzelreize in *größerem* Zeitabstand aufeinander, so führt der Muskel eine entsprechende Zahl von einzelnen Zuckungen hintereinander aus, wobei er aber in den Reizpausen immer wieder vollständig erschläft; wird der Zeitabstand zwischen den Einzelreizen so *verkürzt*, daß dem Muskel nicht mehr genügend Zeit zur Erschlaffung bleibt, so tritt eine **Dauerkontraktion** (*Tetanus*) ein, die erst mit dem Aufhören der Reizerie wieder verschwindet. Der Herzmuskel ist infolge seiner langen Refraktärperiode allerdings *nicht tetanisierbar*. Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß der Reizerfolg (Aktionsstrom, Zuckung oder Dauerkontraktion) nicht sofort im Augenblick der Reizung einsetzt, sondern daß zwischen Reizung und Beginn des Reizerfolges eine gewisse Zeit verfließt, die als **Latenzzeit** (*elektrische* bzw. *mechanische Latenz*) bezeichnet wird.

Vom Physiologen wird das Freilegen von Organen meistens mit der *Schere* vorgenommen. Das **physiologische Präparierbesteck** enthält daher kein Messer, gewöhnlich aber eine *grobe* (sog. anatomische) und eine *feine* (sog. mikroskopische) *Schere*, ferner eine *grobe* (anatomische) und eine *feine* (*mikroskopische*) *Pinzette* (Spitzpinzette) sowie schließlich eine *Sonde*. Die *grobe* Schere und die grobe Pinzette werden stets zuerst zur Ausführung des Hautschnittes, zur Eröffnung der Körperhöhle, zur Entfernung von Muskeln, zum Durchtrennen von Knochen u. dgl. gebraucht; die *feinen* Instrumente treten nur bei Eingriffen an den bereits freigelegten Organen selbst, z. B. zur Spaltung des Perikards, zur Ablösung der Nerven von der Unterlage usw. in Funktion. Würden sie schon für die einleitenden Schnitte herangezogen, so würden diese Instrumente bald stumpf und für die Operationen an den Organen unbrauchbar werden; als Grundregel gilt daher, die *feinen* Instrumente weitgehend zu schonen und sie erst dann heranzuziehen, wenn man mit den groben Instrumenten allein nicht mehr weiter kommt. Eine zweite Grundregel besteht darin, nach Ausführung der Hautschnitte alle Instrumente ebenso wie die Hände mit einem Tuch gründlich zu reinigen, weil sonst das ihnen anhaftende *Sekret der Froschhaut* die Erregbarkeit der inneren Organe beeinträchtigen würde. Eine dritte Grundregel bei Versuchen an überlebenden Organen verpflichtet schließlich zu wiederholter *Befeuchtung* mit einem Pinsel (bei Froschorganen 0,65% NaCl-Lösung oder Froschringer), da sich sonst mit der Austrocknung die Erregbarkeit und die Reaktion der Organe verändert.

Bei Eingriffen im Tierversuch ist selbstverständlich eine vollkommene Unbeweglichkeit erforderlich. Diese kann durch **Narkose** herbeigeführt werden, wobei man für den Frosch zweckmäßig Äthylurethan in 25%iger Lösung benützt; je nach der Größe des Tieres werden 0,5—1,0 cm<sup>3</sup> in den Rückenlymphsack (S. 11) eingespritzt. Die Lähmung tritt nach 10—15 min ein; ist die Urethanarkose unvollständig, was sich an Bewegungen des Tieres bei Ausführung der Schnitte zeigt, so kann durch Vorhalten eines mit Äther getränkten Wattebausches vor die Schnauze schnell eine Narkosevertiefung erzielt werden. In manchen Versuchen muß die Unbeweglichkeit durch Lähmung der motorischen Endplatten mittels einer Lösung von **Curare** (Pfeilgift der südamerikanischen Indianer) herbeigeführt werden; die Curarelösung wird durch halbstündiges Kochen von 1 g gut gepulvertem Curare („auf Wirksamkeit geprüft“ von E. MERCK-Darmstadt bezogen) in 100 cm<sup>3</sup> Wasser auf einem Wasserbad mit anschließender Filtration hergestellt. Je nach der Größe des Frosches werden 1—3 cm<sup>3</sup> in

den Rückenlymphsack eingespritzt, die nach etwa einer halben Stunde die motorische Lähmung herbeiführen. Ist bei den Froschversuchen das Erhalten des Zentralnervensystemes nicht erforderlich, dann wird zweckmäßig die **Dekapitierung und das Ausbohren des Rückenmarkes** vorgenommen. Der unbetäubte oder durch Aufschlagen des Kopfes auf eine Tischkante schnell betäubte Frosch wird dabei mit der linken Hand gehalten, während die rechte mit dem stumpfen Blatt der *groben* Schere in das Maul eingeht; durch einen Scherenschlag wird der Hirnschädel etwa in der Verbindungslinie der beiden Kiefergelenke abgetrennt. Anschließend erfolgt die Ausbohrung des Rückenmarkes durch Einführen der Sonde des Präparierbesteckes in den Wirbelkanal und mehrfaches Herausziehen und Wiedereinstoßen; durch die mit der Zerstörung verbundene starke Reizung der Rückenmarkselemente treten dabei vorübergehend *allgemeine Streckkrämpfe* auf.

### 18. Freilegung und Beobachtung des Froschherzens.

*Erforderlich:* Narkotisierter Frosch, Präparierbesteck, Glasplatte, 0,65%ige NaCl-Lösung oder Froschringer, Schälchen, Pinsel, Watte, Äther, Abfallschale, Froschtuch, Fäden.

Zur Freilegung des Herzens wird das gut betäubte Tier in Rückenlage auf die Glasplatte gebracht. Nach Abb. 22 wird nun die Bauchhaut durch einen Rundschnitt (*H. S.*) entfernt. Durch leichtes Eindrücken der Bauchdecke springt der unten herzförmig begrenzte Processus xyphoideus (*P. x.*) deutlich vor; etwas oberhalb seiner herzförmigen Einkerbung wird nun ein Schnitt in querer Richtung ( $F_1$ ) durch die Brustwand geführt; der Schnitt muß oberhalb der genannten Stelle angelegt werden, um die bis zur Einkerbung an der Bauchwandinnenseite verlaufende Vena abdominalis (*V. a.*) zu schonen, deren Verletzung zu einer starken Blutung führen würde. Hierauf sind die beiden Längsschnitte  $F_2$  und  $F_3$  auszuführen, wobei man das *stumpfe* Scherenblatt seitlich vom Brustbein bis über die Clavi-

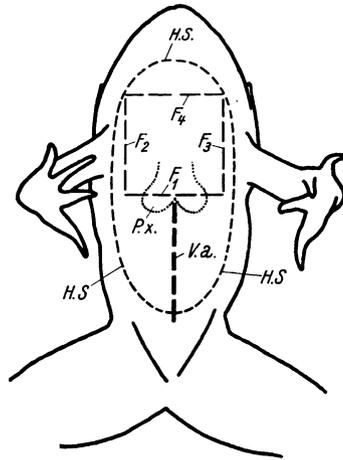


Abb. 22. Ausführung der Schnitte beim Freilegen des Froschherzens.

*H. S.* Rundschnitt in der Haut;  $F_1$ — $F_3$  Fensterschnitte durch die Körperwand; *P. x.* Lage des Processus xyphoideus; *V. a.* Lage der Vena abdominalis an der Innenseite der Bauchwand.

cula vorschiebt und sich, um Verletzungen der großen Blutgefäße zu vermeiden, dicht an die vordere Brustwand hält. Dann wird der Brustwandlappen nach oben umgeklappt und mit einem Scherschlag ganz abgetrennt ( $F_4$ ). Das nun freiliegende Herz ist vom grauen, durchscheinenden Perikard überzogen, das vorsichtig mit der Spitzpinzette erfaßt und mit der *kleinen* Schere der Länge nach bis zur Umschlagstelle an den Aortenbögen gespalten und nach beiden Seiten zurückgeschlagen wird. Zu beachten ist, daß nach dem Ausführen des Hautrundschnittes alle

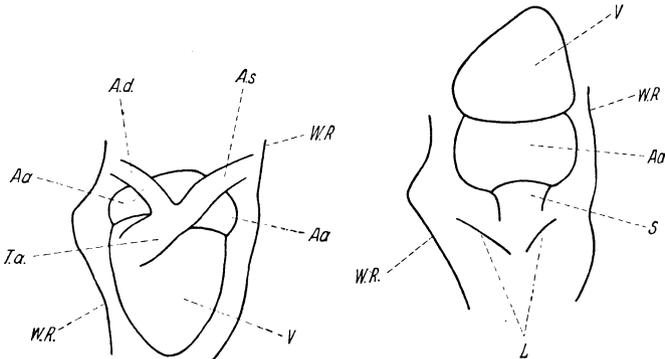


Abb. 23. Schematische Darstellung des Froschherzens (Pausen nach einer kinematographischen Aufnahme); a Vorderansicht; b Hinteransicht nach Umlegen des Ventrikels nach aufwärts.

Aa Vorhöfe; Ad, As rechte und linke Aorta; L Lebertrand; S Sinus; Ta Truncus arteriosus; V Ventrikel; WR Wundrand.

mit der Haut in Berührung gekommenen Instrumente am Froschtuch sorgfältig abgewischt werden müssen; kommt Hautsekret auf die inneren Organe, so wird deren Erregbarkeit stets beeinträchtigt.

Das **Froschherz** (vgl. Abb. 23a und b) hat zwei Vorhöfe Aa, aber nur *einen* Ventrikel V. In den linken Vorhof münden die Lungenvenen, dieser führt daher arterialisiertes Blut und ist hellrot. Die Körpervenen vereinigen sich zunächst zum Venensinus S, der in den rechten Vorhof mündet; dieser führt venöses Blut und hat daher eine dunkle Farbe. In der Kammer werden beide Blutarten gemischt, so daß der Körper stets nur teilweise arterialisiertes Blut bekommt. Aus dem Ventrikel entspringt der Truncus arteriosus Ta, der sich in die beiden Aortenbögen Ad und As teilt. Diese geben die Gefäße für die obere Körperhälfte und die Lungenarterien ab und vereinigen sich an der Rückwand der Leibeshöhle zur unpaarigen Aorta communis.

Nach der Freilegung lassen sich Vorhöfe und Ventrikel in ihrer Tätigkeit gut beobachten. Die normale Frequenz beträgt 40 in der Minute. Man beachte die Schlagfolge: Vorhof—Kammer, die Farbenunterschiede zwischen den beiden Vorhöfen, die Formänderungen der Kammer und ihre Farbänderungen bei Systole und Diastole. Durch Beklopfen der Baueingeweide (flaches Auffallenlassen eines Bleistiftes oder eines Skalpellstieles auf die Bauchdecken) läßt sich ein Herzreflex auslösen, der in einer *Verlangsamung*, ja sogar *Herzstillstand* in Diastole besteht (**GOLTZscher Klopfversuch**). Die Reflexbahn ist: N. splanchnicus—Medulla oblongata—Nervus vagus.

Ein Umlegen zur **Beobachtung der Hinterseite des Froschherzens** wird durch das Vorhandensein eines Gefäßbändchens (Frenulum) behindert, das von der Hinterseite des Ventrikels — etwa von dort, wo in Abb. 23 b die Hinweislinie zum Buchstaben V beginnt — nach unten gegen das Perikard zieht; dieses Frenulum muß daher zunächst durchschnitten werden, doch ist *vorher* an ihm ein Faden anzubinden, mit dem das Herz umgelegt werden kann. Zu diesem Zweck fährt man mit der *geschlossenen* Spitzpinzette, die wie eine Sonde benützt wird, unter dem Herzen quer durch und hebt das Organ vorsichtig ein wenig in die Höhe; das sich jetzt anspannende Frenulum wird dabei sichtbar und man erkennt, ob man mit der Pinzette *hinter* das Frenulum gelangt ist. Trifft dies zu, dann legt man neben die Pinzettenspitze das Ende eines etwa 30 cm langen Fadens, öffnet die Pinzette, erfaßt das Fadenende und zieht es unter dem Herzen durch. Hierauf wird möglichst *dicht am Ventrikel* ein doppelter Knoten um das Frenulum gelegt, die eine Fadenhälfte neben dem Knoten abgeschnitten und schließlich das Frenulum jenseits des Knotens durchtrennt. Nun kann das Froschherz wie in Abb. 23 b mit Hilfe des am Ventrikel hängenden Fadenstückes nach oben umgeschlagen werden. Außer dem Ventrikel und den beiden Vorhöfen wird nun auch der **Sinus** sichtbar, der sich gegen den rechten Vorhof durch eine gebogene Grenzlinie und durch seine mehr graublau gefärbte Färbung absetzt. Da die Erregung im Sinus entsteht, beginnt dieser Herzabschnitt *zuerst* zu schlagen; beachte daher die Schlagfolge: Sinus—Vorhöfe—Kammer.

### 19. Einfluß von Abkühlung und Erwärmung auf die Schlagfrequenz des Froschherzens.

*Erforderlich:* Präparat von Versuch 18, Schälchen mit kleinen Eisstücken, Glasstäbchen (3—4 mm dick, 10 cm lang, rund geschmolzene Enden), Gasbrenner, Taschenuhr.

Mit Hilfe der Taschenuhr wird zunächst die *Herzfrequenz bei Zimmertemperatur* festgestellt und ins Protokollheft eingetragen. Bei jeder Art einer **Frequenzbestimmung** (Herz, Puls, Atmung usw.) darf man nicht wie sonst etwa „1, 2, 3 . . .“ zählen, sondern muß im Augenblick der ersten Zeitablesung mit „0“ beginnen, da man sonst um *eine ganze Periode zu wenig* erfassen würde. Man zählt gewöhnlich die Schläge während einer *halben* Minute und rechnet auf die *ganze* Minute um; hätte man mit „1“ zu zählen begonnen, so würde der Fehler nach der Umrechnung schon zwei Schläge betragen.

Hierauf wird mit der Pinzette ein kleines Eisstückchen zur **Abkühlung** auf den *Ventrikel* gelegt, sofort mit einer neuen Frequenzzählung für eine halbe Minute begonnen und das Eisstückchen dann wieder schnell entfernt. Bei Eintragung des Zählergebnisses in das Protokollheft wird sich ergeben, daß die Herzfrequenz durch die Abkühlung des Ventrikels praktisch gar nicht oder nur geringfügig verändert wurde. Man schiebt jetzt nach Hochziehen des Ventrikels am Frenulumfaden ein neues Eisstückchen *unter das Herz*, so daß die Abkühlung nun den *Sinus* trifft. Eine neue Frequenzzählung läßt jetzt eine beträchtliche *Verlangsamung* der Herztätigkeit erkennen, die übrigens auch schon durch die bloße Beobachtung der Schlagfolge deutlich wird. Die Erklärung der beiden Befunde ist einfach: der führende, die Schlagfrequenz bestimmende Teil des Froschherzens ist der *Sinus*, die Kammer muß sich — normale Reizleitung vorausgesetzt —, immer zwangsläufig dann kontrahieren, wenn ihr ein Reiz zufließt; erfolgt durch *Abkühlung des Sinus* eine langsamere Reizbildung, so ist auch die am Ventrikel gezählte Schlagfolge *geringer*; wird jedoch bloß die Kammer abgekühlt, so kann damit keine Frequenzverminderung erzielt werden, da die Reizbildung im Sinus unverändert bleibt. Nur dann, wenn kaltes Schmelzwasser zu beiden Seiten des Ventrikels nach unten läuft und auch zum Sinus gelangen kann, wird eine kleine Frequenzverminderung beobachtet, die aber nicht mehr auf die Abkühlung der Kammer, sondern auf die des Sinus zurückzuführen ist.

Aus den gleichen Gründen ist auch das Ergebnis der **Erwärmung** von Ventrikel bzw. Sinus verschieden. Die Erwärmung wird mit einem Glasstäbchen durchgeführt, das man kurz in die Gasflamme hält; vor der Berührung des Organes hat man sich durch Anfassen mit den Fingern davon zu überzeugen, daß das Stäbchen merkbar *warm*, aber nicht ausgesprochen *heiß* ist, weil sonst eine Schädigung des Herzens bewirkt würde. Das Stäbchen wird zuerst auf den *Ventrikel* aufgesetzt, nach Frequenzzählung und Protokollierung

nochmals erwärmt, auf seine Temperatur geprüft und nun *unter das Herz* bis zum Sinus vorgeschoben; die Frequenzzählung zeigt jetzt deutliche *Beschleunigung*, die bei der bloßen Erwärmung des Ventrikels fehlte.

**20. Beobachtung der coccygealen Lymphherzen des Frosches; Einfluß des Zentralnervensystems auf die Tätigkeit der Lymphherzen und des Blutherzens.**

*Aufgabe:* Freilegung der beiden coccygealen Lymphherzen und Frequenzzählung; Beobachtung der Lymphherzen und des Blutherzens nach Ausbohren des Rückenmarkes.

*Erforderlich:* Präparat von Versuch 18 oder neuer, narkotisierter Frosch mit freigelegtem Blutherzen, Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, 0,65%ige NaCl-Lösung oder Froschringer, Schälchen, Pinsel, Watte, Äther, Abfallschale, zwei Streifen aus steifem Papier (etwa 2 mm breit, 20—30 mm lang), Taschenuhr.

Zur Freilegung der coccygealen Lymphherzen wird das Präparat von Versuch 18 und 19 benützt oder ein neuer, narkotisierter Frosch mit freigelegtem Blutherzen; das Präparat wird mit der *Bauchseite* auf die Glasplatte gelegt. Die coccygealen Lymphherzen liegen am Rücken zu beiden Seiten des unteren Steißbeinendes. Bei genauer Besichtigung der Steißbeinregion ist die Tätigkeit der Lymphherzen schon *durch die Haut hindurch* zu erkennen, wenn der Beobachter seinen

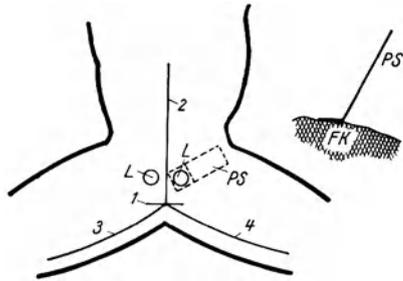


Abb. 24. Links: Schnittführung zur Freilegung der coccygealen Lymphherzen (Ansicht von oben): 1 Querschnitt; 2 Längsschnitt; 3, 4 Schnitte an der Schenkelinnenseite; L Lage der Lymphherzen; PS aufgesetzter Papierstreifen. — Rechts oben: Querschnitt durch den Froschkörper FK im Bereich des rechten Lymphherzens zur Darstellung der Lage des aufgesetzten, am unteren Ende geknickten Papierstreifens PS.

Kopf in eine solche Lage bringt, daß Glanzlichter auf den Hautstellen neben dem Steißbein liegen; das Schlagen der Herzen ist dann an der Bewegung der Glanzlichter zu erkennen. Noch besser ist die Tätigkeit nach Entfernung der Haut zu sehen, wobei die Schnitte nach Abb. 24 auszuführen sind: zuerst kleiner Querschnitt durch eine median aufgehobene Längsfalte am unteren Ende des Steißbeines (1), dann medianer Hautlängsschnitt (2) etwa 2 cm lang in der Richtung gegen den Kopf, schließlich zwei Schnitte nach unten an der Schenkelinnenseite (3) und (4). Nun können die beiden Hautlappen nach außen umgeschlagen werden, wobei nach der Haut ziehende Bindegewebsstränge im Gebiete des unteren

Steißbeinendes vorsichtig durchtrennt werden müssen (feine Schere und Spitzpinzette). Die Lymphherzen *L* treten hierauf als stecknadelkopfgroße, pulsierende Pünktchen zu beiden Seiten des unteren Steißbeinendes hervor. Noch deutlicher ist das Schlagen zu erkennen, wenn auf jedes Herz ein etwa 2mm breiter und 20—30mm langer Streifen aus steifem Papier (*PS*) aufgesetzt wird, dessen unteres Ende — wie in Abb. 24 rechts erkennbar — scharf umgebogen ist. Auf dem Lymphherzen sitzt nur das umgebogene Ende auf, während der übrige Teil des Streifens schräg nach oben in die Luft ragt und als Hebel mit seinem freien Ende das Schlagen vergrößert anzeigt.

Es ist vorerst für beide Herzen die Minutenfrequenz mit der Taschenuhr zu bestimmen und durch gleichzeitige Beobachtung der beiden Streifen festzustellen, daß die Schlagfrequenz der beiden Herzen voneinander *unabhängig* ist. Schließlich wird dekapitiert und das Rückenmark mit der Sonde des Präparierbesteckes ausgebohrt; hierauf sind die Lymphherzen unter Wiederaufsetzen der Papierstreifen neuerlich zu beobachten. Sie stehen jetzt still, da sie im Gegensatz zum Herzen des Blutkreislaufes *keine Eigenautomatie* besitzen, sondern die Erregungen vom Rückenmark her bekommen. Dementsprechend zeigt sich nach *Umdrehen des Präparates*, daß das *Blutherz* nach wie vor rhythmisch tätig ist.

## 21. Primäre und sekundäre Reizbildungszentren; STANNIUSsche Ligaturen.

*Aufgaben:* 1. Nachweis, daß Vorhof und Ventrikel nach Abtrennung vom Sinus nicht mehr schlagen (erste Ligatur).

2. Beobachtung der rückläufigen Erregungsleitung am stillstehenden Herzen.

3. Nachweis, daß Vorhöfe und Ventrikel durch Reizung des sekundären Zentrums wieder in Tätigkeit treten (zweite Ligatur); Vergleich der Herzfrequenz nach Ausführung der Ligatur mit der Frequenz des normal schlagenden Herzens.

4. Nachweis, daß die Herzspitze kein Automatiezentrum besitzt (dritte Ligatur).

*Erforderlich:* Präparat von Versuch 18 oder neuer narkotisierter Frosch mit freigelegtem Herzen, Präparierbesteck, Faden, Glasplatte, 0,65%ige NaCl-Lösung oder Froschringer, Schälchen, Pinsel, Watte, Äther, Froschtuch, Abfallschale, Taschenuhr.

Beim Froschherzen erfolgt die Reizbildung im Sinus, in dessen Wand sich das *REMAKSche Ganglion* befindet. Der Sinus ist deshalb der *führende* Teil des Froschherzens und beginnt mit dem Schlagen, worauf durch Überleitung des Reizes zuerst die Vorhöfe und dann erst die Kammer in Tätigkeit treten. Wird die Reizüberleitung durch eine Ligatur an der Sinus-Vorhof-Grenze

unterbrochen (1. STANNIUSsche *Ligatur*), so kommt das Herz zum Stillstand; nach längerer Zeit kann aber neuerlich wieder regelmäßige Herztätigkeit auftreten, weil an Stelle des *primären* Reizbildungszentrums (REMAKSches Ganglion) ein *sekundäres* Reizbildungszentrum, der *Atrioventrikulartrichter* an der Vorhof-Kammer-Grenze, die Führung übernimmt. Durch einen Schnitt oder besser durch eine *Ligatur* an der Vorhof-Kammer-Grenze kann jedoch die Reizbildung im Atrioventrikulartrichter *sofort* angeregt und daher das Herz *sogleich* zum Schlagen gebracht werden (2. STANNIUSsche *Ligatur*). Der Atrioventrikulartrichter reicht wohl von der Vorhof-Kammer-Grenze ein Stück in die Ventrikelmuskulatur hinein, erstreckt sich aber *nicht* bis zur Herzspitze; die zwischen oberem und mittlerem Drittel abgetrennte *Herzspitze* (3. STANNIUSsche *Ligatur*) zeigt daher *keine Automatie*.

Zur *Ausführung der ersten STANNIUSschen Ligatur* wird der Frosch aus den Versuchen 18—20 verwendet oder, falls das Herz nicht mehr ordentlich schlägt, ein neues Präparat angefertigt. Hierauf ist die Schlagzahl in der Minute zu bestimmen und zu protokollieren, um sie später mit der Schlagzahl nach Ausführung der 2. *Ligatur* vergleichen zu können. Dann wird ein Faden von etwa 30 cm Länge *unter den beiden Aorten* so durchgezogen, daß er quer zur Längsachse des Tieres liegt und auf beiden Seiten gleich lang ist. Nun wird das Herz mit dem am Frenulum angebundenen Faden nach oben umgelegt und in dieser Lage dadurch festgehalten, daß man nach entsprechendem vorsichtigem Anspannen des Fadens diesen durch Daraufstellen irgendeines schweren Gegenstandes am Zurückgleiten verhindert. Die Grenze zwischen Sinus und rechtem Vorhof ist nun sichtbar; die beiden Enden des vorher unter den Aorten durchgezogenen Fadens werden jetzt zu einem Knoten geschlungen und dieser allmählich zusammengezogen, wobei darauf zu achten ist, daß im Augenblick der festen Abschnürung die *Ligatur* wirklich an der Sinus-Vorhof-Grenze liegt. Vom Augenblick der Abschnürung an stehen Vorhöfe und Kammer still (Aufgabe 1); sollte dies nicht der Fall sein, so bedeutet dies, daß die *Ligatur* unrichtig angelegt wurde.

Die stillstehende *Kammer* wird nun durch Berührung mit der Sonde *mechanisch* gereizt; die daraufhin *einmalig* zustande kommende Kammerkontraktion zeigt an, daß die Erregbarkeit für Reize erhalten geblieben ist. Es kontrahiert sich aber auf eine solche Reizung der Kammer hin auch der *Vorhof*, allerdings knapp *nach* der Kammerkontraktion; diese Beobachtung (Aufgabe 2) läßt erkennen, daß eine Reizleitung auch von der *Kammer gegen den Vorhof* hin möglich ist (**rückläufiger Erregungsablauf**) und

nicht bloß vom Vorhof zur Kammer, wie bei der normalen Schlagfolge. Wie viele andere erregbare Organe zeigt also auch das Herz unter *künstlichen* Bedingungen die Fähigkeit zur *doppelsinnigen* Erregungsleitung, die physiologisch allerdings meist deshalb *nicht* in Erscheinung tritt, weil der Entstehungsort der natürlichen Erregung ein für allemal festgelegt ist (*Sinus* beim Froschherzen, *Sinusknoten* beim Säuger- und Menschenherzen, *Vorderhornzelle* beim motorischen Rückenmarksnerven, *Sinnesorgan* beim sensiblen Nerven usf.).

Für die **zweite STANNIUSsche Ligatur** (Aufgabe 3) wird nun ein neuer Faden von 30 cm Länge quer über den Froschkörper in der Höhe der ersten Ligatur gelegt und das Froschherz hierauf wieder in die *Normallage zurückgebracht*. Die Fadenenden werden wieder zu einem Knoten geschlungen und so zusammengezogen, daß nun die Abschnürung an der *Vorhof-Kammer-Grenze* erfolgt. Je nach der Lage der Abschnürung können nun *Vorhöfe und Ventrikel* zu schlagen beginnen, oder die *Vorhöfe allein*, bzw. der *Ventrikel allein*. Im ersten Fall ist der Atrioventrikulartrichter in der Mitte getroffen worden und kann nach der Erregung durch die Einschnürung von seinen beiden Teilen aus Reize sowohl an die Vorhöfe als auch an den Ventrikel abgeben; im zweiten Fall (Schlagen der Vorhöfe allein) hat die Ligatur das untere Ende des Trichters getroffen, so daß eine Reizbildung nur auf der Vorhofseite erfolgen kann (die Überleitung gegen den Ventrikel ist durch die Ligatur blockiert); im dritten Fall (Schlagen des Ventrikels allein) hat die Ligatur das obere Ende des Trichters getroffen, die Reizleitung zum Ventrikel ist möglich, gegen die Vorhöfe aber blockiert.

Die **Schlagfrequenz nach Ausführung der zweiten Ligatur** ist *niedriger* als die Ausgangsfrequenz des unversehrten Herzens, was durch neuerliches Auszählen der Schlagfolge nachzuweisen ist (Aufgabe 3). Schlagen bei der zweiten Ligatur *Vorhöfe und Kammer*, so fällt auf, daß die Vorhofkontraktion — im Gegensatz zur normalen Schlagfolge — der Ventrikelkontraktion *nicht vorausgeht*, sondern daß beide Herzabschnitte praktisch *gleichzeitig* schlagen. Beim normalen Schlagen durch den Reiz vom REMAKschen Ganglion erfolgt die Erregung des Ventrikels durch Überleitung vom Vorhof her, der demnach mit seiner Kontraktion *vorangehen* muß; nach Ausführung der zweiten Ligatur in mittlerer Lage geht dagegen der Reiz sowohl für den Vorhof wie für die Kammer von einem dazwischen gelegenen Reizbildungszentrum aus, so daß also der Schlag *beider* Herzabschnitte ungefähr zur selben Zeit erfolgt (*atrio-ventrikulärer Rhythmus*).

Schließlich wird die *Herzspitze* mit einem Scherenschlag etwa in der Mitte der Herzkammer abgetrennt (**dritte STANNIUSsche Liga-tur**). Die isolierte Herzspitze schlägt nicht mehr von selbst, da sie kein sekundäres Automatiezentrum besitzt. Sie ist jedoch für mechanische Reize noch erregbar, was durch Berühren mit der Sonde nachgewiesen werden kann (Aufgabe 4). Dieser Versuch ist allerdings nur bei *großen* Herzen ausführbar.

## 22. Aufnahme der Schlagfrequenz-Temperatur-Kurve des Froschherzens.

*Erforderlich:* Frosch, Präparierbesteck, Faden, Glasplatte, Abfall-schale, Froschtuch, Froschringer von Zimmertemperatur, eisgekühlter Froschringer (etwa 4—5° C), Gasbrenner, kleines Thermometer von 0 bis 50°, in der Höhe verstellbares Stativ mit Suspensionsanordnung in Flüssigkeit nach Abb. 25, kleine Stecknadeln, Kymographion mit berufter Trommel, elektromagnetischer Zeitschreiber und Anordnung zur Abgabe von Stromstößen in Sekundenabständen, Leitungsdrähte, Zirkel, Bleistift, Millimeterpapier.

Die im Versuch 19 nur qualitativ geprüfte Abhängigkeit der Schlagfrequenz des Froschherzens von der Temperatur soll im folgenden Versuch *quantitativ* bestimmt, ausgewertet und in Form einer graphischen Kurve dargestellt werden. Zu diesem Zweck ist die Tätigkeit des Herzens in einer Suspensionsanordnung in Ringerlösung bei genau bekannten Temperaturstufen auf einem Kymographion aufzuzeichnen und gleichzeitig eine Zeitschreibung unter der Herzkurve anzubringen. Zunächst wird das Kymo-graphion und rechts davon das Stativ bereitgestellt; auf dem letzteren sind vier Kreuzköpfe zu befestigen, welche zum Aufbau der in Abb. 25 dargestellten Suspensionseinrichtung dienen. Der obere Kreuzkopf trägt den Schreibhebel *H* mit dem Schreiber *Sch* und ist über den Faden *F* mit der Herzklammer *HK* verbunden; Fadenbefestigung am Schreibhebel *rechts* von der Achse, damit die Schreiberspitze nach *oben* ausschlägt. Zum Halten des Herzens dient der gebogene Stab *St*, der an seinem unteren Ende einen Ring mit eingesetzter Korkscheibe *Ko* trägt. Auf dieser wird später das ausgeschnittene Herz *H<sub>z</sub>* mittels der Nadeln *N*, mit der Basis nach unten, befestigt. Von unten her wird dann über die Anordnung das mit Ringerlösung von *Zimmertemperatur* gefüllte Becherglas *B* geschoben, das von einem Stab mit Ring *R* getragen wird. Mit einem vierten Kreuzkopf ist schließlich der elektro-magnetische Zeitschreiber so zu befestigen, daß seine Spitze der Kymographiontrommel genau unter der Spitze des Schreibhebel*Sch* anliegt. Der Zeitschreiber wird mit Stromstößen im Sekundenrhythmus betrieben (Anschluß an eine „Uhr“-Leitung

oder an einen Akkumulator unter Zwischenschaltung eines Metro-  
noms bzw. einer BOWDITCHSchen Uhr) und zeichnet — wie in  
Zeile 3 von Abb. 21 (S. 55) — Marken in Sekundenabständen auf.  
Ist die Anordnung in dieser Weise vorbereitet, dann wird der  
Frosch dekapitiert, das Rückenmark ausgebohrt und das Herz,  
wie auf S. 61 beschrieben, freigelegt. Nach Anbinden des Frenu-  
lums an einen Faden wird der Ventrikel an diesem hochgezogen

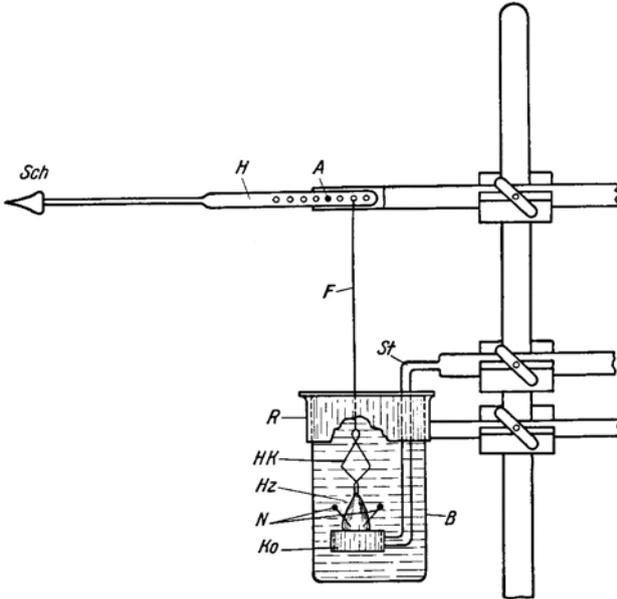


Abb. 25. Anordnung zur Aufzeichnung der Herztätigkeit bei Suspension in Flüssigkeit.  
A Drehachse des Hebels; B Becherglas mit Ringerlösung gefüllt; F Faden; H Hebel;  
HK Herzklammer; Hz Froschherz; Ko Korkscheibe; N Nadeln; R Tragring für das  
Becherglas; Sch Schreiber; St Tragstab für die Korkscheibe.

und das ganze Herz mit einem Scherenschlag ausgeschnitten, wobei  
auf die *Mitnahme des Sinus* peinlich genau zu achten ist, damit  
das ausgeschnittene Herz auch von selbst weiterschlägt. Nach  
Abb. 25 ist dann das Organ auf die Korkscheibe *Ko* zu bringen,  
dort mit der Basis nach unten mittels zweier schräg durch den  
Ventrikelrand nahe der Vorhof-Kammer-Grenze gesteckter Nadeln  
*N* zu befestigen und durch Anklempfen der Herzklammer *HK*  
an der Herzspitze mit dem Schreibhebel zu verbinden; durch ge-  
eignete Einstellung des Kreuzkopfes mit dem Schreibhebel wird  
der Faden *F* gespannt, so daß der Schreiber waagrecht liegt. Nach

Kontrolle, ob auch die auf S. 53 angeführten anderen Gesichtspunkte für Lage und Bewegung der Schreiberspitze gegeben sind, bzw. nach entsprechender Richtigstellung kann mit dem Versuch begonnen werden. Aufgezeichnet wird bei *langsam* Drehung des Kymographions, bei der die Sekundenmarken etwa 2 bis 3 mm voneinander entfernt sind.

Der Versuch verläuft wie in Abb. 26 dargestellt. Es werden zuerst eine Reihe von Kontraktionen bei Zimmertemperatur der Ringerlösung aufgezeichnet, dann das Kymographion zum Stillstand gebracht, die Temperatur der Ringerlösung durch Eintauchen des Thermometers abgelesen und diese dann unter den aufgezeichneten

Herzkontraktionen mit einem Bleistift oder der Sonde auf das Kurvenblatt geschrieben (z. B. 22°C). Nach Senken und Herausnehmen des Becherglases (*B* in

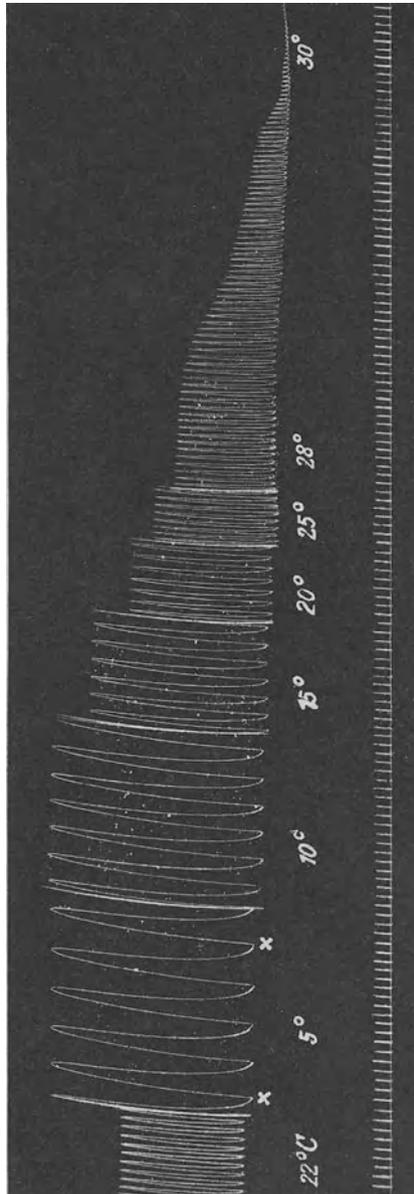


Abb. 26. Die Kontraktionen des ausgeschnittenen Froschherzens bei verschiedener Temperatur der Suspensionsflüssigkeit. Unten: Zeitmarken in Sekundenabständen.

Abb. 25) aus der Anordnung wird die Ringerlösung *weggegossen* und durch *gekühlte Ringerlösung* („Eisringer“, aufbewahrt in einer Mischung von Eis und Salz) ersetzt. Nach Rückbringen des Becherglases in die Anordnung und Messung der Temperatur (gewöhnlich 4—5°C) wird das Kymographion für die Dauer von etwa 5 Systolen wieder in Gang gesetzt und nach Stillstand die abgelesene Temperatur unter den aufgezeichneten Ausschlägen vermerkt. Hierauf erwärmt man die Flüssigkeit im Becherglas mittels der *klein gestellten* und hin und her bewegten Flamme eines Gasbrenners auf etwa 10°C, wobei ein zweiter Praktikums Teilnehmer die Ringerlösung mit dem Thermometer dauernd bewegen muß, um einen Temperaturausgleich zwischen den unteren und oberen Flüssigkeitsschichten herbeizuführen; ist die Temperatur von 10°C gerade erreicht, dann werden wieder 5 Systolen aufgezeichnet und die abgelesenen Temperaturgrade unter den Ausschlägen eingetragen. Die Erwärmung wird fortgesetzt, das Kymographion bei 15, 20 und 25°C wieder für die Dauer von 5 Systolen in Gang gesetzt und die zugehörige Versuchstemperatur wieder unter den Ausschlägen aufgeschrieben. Von 28°C an wird das Kymographion während der fortgesetzten Erwärmung *dauernd* laufen gelassen; die Herzkontraktionen nehmen an Größe weiterhin ab, um im Bereich von 30°C schnell sehr klein zu werden und schließlich ganz zu verschwinden (**Wärmelähmung des Herzens**, Abb. 26). Während dieses letzten Versuchsabschnittes hat ein Praktikums Teilnehmer frischen Eisringer geholt; ist die Wärmelähmung eingetreten, so wird die Gasflamme entfernt, das Becherglas schnell aus der Anordnung genommen, entleert, mit *Eisringer* gefüllt und sofort wieder in die Anordnung gebracht. Das Herz beginnt nach kurzer Zeit wieder zu schlagen; die Wärmelähmung erweist sich daher als *reversibel*.

Bei Temperaturen zwischen 40 und 50°C geht die Wärmelähmung in die **irreversible Wärmestarre** der Muskulatur über. Um diese zu beobachten, wird neuerlich bis etwa 28°C bei noch still stehendem Kymographion erwärmt; von 28°C aufwärts wird das Kymographion wieder in Gang gesetzt. Unter fortgesetzter Erwärmung mit Bewegen der Flüssigkeit wird um 30°C wieder die *Wärmelähmung*, dann zwischen 40 und 50°C die **Wärmestarre** erreicht, die sich durch einen *Anstieg* der vom Schreiber gezeichneten Linie bemerkbar macht; häufig zeigt dieser Anstieg eine Stufe, da die Gerinnungstemperatur der beiden Muskeleiweißkörper (Myosin und Myogen) etwas voneinander abweicht.

Nach Beendigung dieses Versuches wird das Blatt abgenommen und fixiert; nach dem Trocknen beginnt die **Auswertung der Kurven**. Zu diesem Zweck wird im Protokollheft eine Tabelle

nach dem unten abgedruckten Muster angefertigt, welche 3 Stäbe (Temperaturstufen, Dauer von 4 Systolen und Minutenfrequenz) besitzt. Im ersten Stab werden die Versuchstemperaturen (entsprechend der Abb. 26

z. B. 5—28°C) eingetragen. Dann mißt man mit dem Zirkel die Strecke zwischen 4 Systolen ab (am besten an den sich scharf absetzenden Fußpunkten der Kontraktionskurven, z. B. zwischen den bei „5“ mit × bezeichneten Stellen), setzt

Temperaturstufe °	Dauer für 4 Systolen sec	Minutenfrequenz (auf ganze Zahlen abgerundet)
5	16,5	15
10	12	20
15	8	30
20	5,3	45
25	3,9	62
28	3,4	70

hierauf den Zirkel ohne jede Veränderung des eingestellten Abstandes auf die unter dem gemessenen Kurvenstück gelegene Zeitschreibung und liest ab, wievielen Sekunden (und Sekunden-

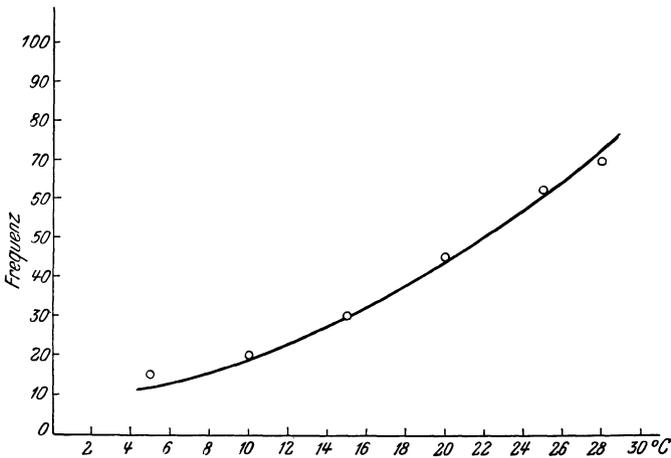


Abb. 27. Schlagfrequenz-Temperaturkurve des Froschherzens, gezeichnet nach Ausmessung der Kurve von Abb. 26.

bruchteilen) die Dauer von 4 Systolen entspricht. Diese Sekundenzahl wird in den zweiten Stab der Tabelle für jede geprüfte Temperaturstufe eingetragen. Schließlich hat man aus diesen Zeitangaben

auf die Herzfrequenz in der Minute umzurechnen und die gefundene Zahl im dritten Stab der Tabelle zu vermerken. Es kann dabei gelegentlich vorkommen, daß man bei der Temperaturstufe von 25 oder 28° eine *kleinere* Frequenz findet, als vorher. In diesem Fall hat das Herz allerdings nicht etwa langsamer geschlagen, sondern es ist durch Wärmeschädigung bloß ein *Herzblock* 2 : 1 eingetreten; da in diesem Fall die Kammer, deren Kontraktionen allein auf dem Kymographion geschrieben worden sind, nur die *halbe* tatsächliche Frequenz anzeigt, müßte im dritten Stab dann das *Doppelte* der berechneten Herzfrequenz eingesetzt werden.

Die *Schlagfrequenz-Temperaturkurve* wird anschließend auf einem Blatt Millimeterpapier gezeichnet, wobei wie in Abb. 27 die *Versuchstemperatur in der Abszissenachse* (zweckmäßig 1° = 5 mm), die *Herzfrequenz in der Ordinatenachse* (zweckmäßig 1 Schlag = 1 mm) aufgetragen wird. Da jede Temperaturablesung und Frequenzbestimmung mit einem gewissen Fehler behaftet ist, würde die unmittelbare Verbindung der einzelnen Kurvenpunkte zu einer eckigen Linie führen und nicht die *wahre* Kurve ergeben; man zieht diese vielmehr wie in Abb. 27 mit *glattem* Verlauf *zwischen* den experimentell bestimmten Punkten durch. Aus einer solchen Kurve kann für das untersuchte Herz auch die Frequenz für eine nicht geprüfte Temperatur-Zwischenstufe durch Interpolation gefunden werden.

### 23. Grundversuche über die galvanische und faradische Reizung des Muskels.

*Aufgaben:* 1. Beobachtung der Schließungswirkung eines galvanischen Stromes.

2. Beobachtung der Muskelzuckungen durch Schließungs- und Öffnungsinduktionsschläge und Aufsuchen der Reizschwelle.

3. Auslösung einer Dauerkontraktion durch frequente faradische Reizung.

*Erforderlich:* Froschmuskel (Gastrocnemius oder Teile der Oberschenkelmuskulatur, bereits vorpräpariert), Glasplatte, Schälchen, Froschringer, Pinsel, Filtrierpapier, Abfallschale, Froschtuch, feuchte Kammer (Glaschale mit ringergetränktem Filtrierpapier ausgekleidet und mit Deckel), Akkumulator, Quecksilberschlüssel, gewöhnlicher Stromschlüssel, Wippe mit Kreuz, Induktorium, Wachsdrähte, zwei biegsame Drähte mit versteiften Enden, zwei feine Kupferdrähte mit angelötetem Stift an einem, angelöteter Stecknadel am anderen Ende.

Für die späteren Versuche über die galvanische und faradische Reizung des Herzens ist es zweckmäßig, vorher einige Grundversuche an bereits vorpräparierten Froschmuskelstückchen auszuführen; die Präparation von Froschmuskeln wird dann später bei der Muskelphysiologie geübt. Die Grundtatsachen der Reizphysiologie sind bereits auf S. 56 ff. besprochen worden.

Zur **galvanischen Reizung** wird eine Schaltung nach Abb. 28 aufgebaut, die aus einem Akkumulator *A*, einem Quecksilberschlüssel *Hg* und einer Wippe *W* als Wender besteht. Die Verbindung der Schaltelemente untereinander erfolgt durch Wachsdrahtstücke, zur Stromzuleitung zum Muskel werden dünne, biegsame Kupferdrähte benützt, von denen ein Ende mit einem Stift zur Befestigung an der Wippe, das andere Ende mit einer Stecknadel versehen ist; die beiden Stecknadeln *N* werden an den Enden des auf einer Glasplatte *Gl* liegenden Muskels *M* eingestochen. Unabhängig von der Stellung der Wippe, d. h. unabhängig von der Stromrichtung wird hier beim Schließen von *Hg* stets eine *Kathodenschließungszuckung* erzielt. Die Öffnung von *Hg* ist bei dieser Anordnung gewöhnlich wirkungslos; aber auch solange der galvanische Strom *geschlossen bleibt*, ist eine Erregung des Muskels *nicht* zu beobachten, da der konstant fließende Strom im allgemeinen *keine* Erregungswirkung hervorbringt. Nach Abschluß dieser Beobachtungen wird der Muskel aus der Anordnung genommen und in die feuchte Kammer übertragen.

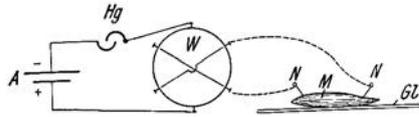


Abb. 28. Anordnung zur galvanischen Reizung.  
*A* Akkumulator; *Gl* Glasplatte; *Hg* Quecksilberschlüssel; *M* Froschmuskel; *N* Nadeln mit angelöteten Drähten; *W* Wippe als Stromwender. *Voll* gezeichnete Verbindungslinien: Wachsdrähte; *gestrichelt* gezeichnete Verbindungslinien: weiche, biegsame Drähte.

sehen ist; die beiden Stecknadeln *N* werden an den Enden des auf einer Glasplatte *Gl* liegenden Muskels *M* eingestochen. Unabhängig von der Stellung der Wippe, d. h. unabhängig von der Stromrichtung wird hier beim Schließen von *Hg* stets eine *Kathodenschließungszuckung* erzielt. Die Öffnung von *Hg* ist bei dieser Anordnung gewöhnlich wirkungslos; aber auch solange der galvanische Strom *geschlossen bleibt*, ist eine Erregung des Muskels *nicht* zu beobachten, da der konstant fließende Strom im allgemeinen *keine* Erregungswirkung hervorbringt. Nach Abschluß dieser Beobachtungen wird der Muskel aus der Anordnung genommen und in die feuchte Kammer übertragen.

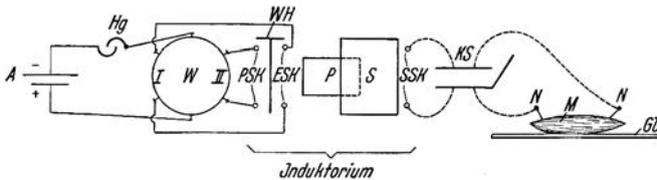


Abb. 29. Anordnung zur faradischen Reizung.  
*A* Akkumulator; *ESK obere* Klemmen des Induktatoriums („Extrastromklemmen“); *Gl* Glasplatte; *Hg* Quecksilberschlüssel; *KS* gewöhnlicher Stromschlüssel als Kurzschlußschlüssel geschaltet; *M* Froschmuskel; *N* Nadeln mit angelöteten Drähten; *P* Primärspule des Induktatoriums; *PSK untere* Klemmen des Induktatoriums („Primärstromklemmen“); *S* Sekundärspule des Induktatoriums; *SSK* Klemmen der Sekundärspule; *W* Wippe als Umschalter (Stellung I: Einzelreizung, Stellung II: frequente Reizung); *WH* WAGNERscher Hammer. *Voll* gezeichnete Verbindungslinien: Wachsdrähte; *gestrichelt* gezeichnete Verbindungslinien: weiche, biegsame Drähte.

Zur **faradischen Reizung** wird anschließend die Schaltung nach Abb. 29 zusammengestellt. Sie besteht zunächst aus dem Akkumulator *A*, dem Quecksilberschlüssel *Hg*, der als Umschalter benützt

Wippe *W* (Kreuz entfernen!) und dem Induktorium; bei der Stellung I der Wippe *W* erfolgt die Stromzuleitung zur Primärspule *P* des Induktoriums über die *oberen* Klemmen *ESK*, d. h. der WAGNERSche Hammer *WH* bleibt zum Zwecke der Einzelreizung außer Betrieb; bei der Stellung II der Wippe *W* ist jedoch die Stromverbindung zu den *unteren* Klemmen *PSK* der Primärspule *P* hergestellt, der WAGNERSche Hammer läuft und das Induktorium ist für *frequente Reizung* geschaltet. An die Klemmen *SSK* der Sekundärspule *S* ist ein Kurzschlußschlüssel *KS* angeschlossen, von dem schließlich die dünnen biegsamen Kupferdrähte zu den Nadeln *N* führen, die wieder in den Muskel *M* eingestochen werden. Nach Fertigstellung der Schaltung wird der Muskel der feuchten Kammer entnommen und wieder auf die Glasplatte gelegt. Bei der Stellung I der Wippe wird zunächst bei *Einzelreizung* (Schließung und Öffnung von *Hg* bei *offenem* Schlüssel *KS*) der *Rollenabstand* zwischen Primär- und Sekundärspule für die *Schwelle* des Öffnungsschlages, dann für die Schwelle des Schließungsschlages aufgesucht; man beginnt zunächst bei *großem* Rollenabstand, prüft die Wirkung des primären Stromschlusses bzw. der primären Stromöffnung und nähert in der Strompause die beiden Spulen in Stufen von je einem halben Zentimeter. Sind die Schwellen gefunden, schließt man *Hg* bei Stellung II der Wippe (*frequente Reizung*) und stellt gegebenenfalls den WAGNERSchen Hammer richtig ein, wobei *KS geschlossen* sein muß; bei *großem* Rollenabstand wird nun *KS* kurzzeitig geöffnet, der Muskel beobachtet und während der Reizpausen der Rollenabstand jeweils um je einen halben Zentimeter verkleinert. In dieser Weise ist wieder der Rollenabstand für die *Schwelle* bei frequenter Reizung festzustellen. Es ergibt sich aus diesen Versuchen, daß die *Einzelreizung* mit Schließungs- und Öffnungsschlägen beim Skelettmuskel immer nur zu einer *Zuckung*, die *frequente* Reizung dagegen zu einer *Dauerkontraktion* (Tetanus) führt.

Damit der Muskel während dieser Versuche nicht durch Austrocknung seine Erregbarkeit verliert, ist er zwischen den einzelnen Versuchsreihen (galvanische Reizung, Reizung mit Einzelschlägen und frequente Reizung) mit Ringerlösung zu bepinseln. Nach dem Aufbringen der Flüssigkeit muß jedoch die seitlich auf die Glasplatte abgeflossene Ringerlösung mit einem Filtrierpapierstreifen wieder sorgfältig abgesaugt werden, weil sonst der Flüssigkeitsnebschluß den Strom vom Muskel fernhalten und damit die Reizwirkung verhindern würde.

## 24. Wirkung des galvanischen Stromes auf das Froschherz; elektrotonische Erscheinungen; anodische und postkathodische Beule.

*Erforderlich:* Narkotisierter Frosch (*Rana temporaria*), Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, Schälchen, 0,65%ige NaCl-Lösung oder Froschringer, Pinsel, Abfallschale, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Wippe mit Kreuz, Halter mit Kugelgelenk und Glasröhrchen für die unpolarisierbaren Elektroden, Stativ, Zinksulfat, Ringer-Tonkugel in Glaschälchen, in Ringer liegender entfetteter Wollfaden, kleine Pipette, auf etwa  $8 \times 8$  cm 4fach zusammengelegtes Filtrierpapier, Wachsdrähte, zwei weiche biegsame Drähte mit versteiften Enden.

Wie früher (S. 57) schon erörtert, ist die *Reizwirkung* des galvanischen Stromes an eine schnelle Stromstärkeschwankung gebunden und zeigt sich daher vor allem im Augenblick der Ein- und Ausschaltung. Daneben übt der galvanische Strom aber unter den Elektroden auch *Dauerwirkungen* aus, die als **Elektrotonus** bezeichnet werden und sich vor allem bei *größerer* Stromstärke bemerkbar machen. Unter der Kathode ist die Erregbarkeit des Organs, ebenso wie die Fähigkeit Erregungen weiterzuleiten, *erhöht* (**Katelektrotonus**), unter der Anode sind Erregbarkeit und Fähigkeit zur Erregungsleitung *vermindert* (**Anelektrotonus**). Nach der *Stromausschaltung* schlagen diese Veränderungen für kurze Zeit in ihr *Gegenteil* um, so daß jetzt unter der *Kathode* vorübergehend *Hemmung*, unter der *Anode* vorübergehend *Förderung* der Erregbarkeit und Leitfähigkeit beobachtet wird. So wie die Öffnungserregung kann in vereinfachter Darstellung auch das Umschlagen der elektrotonischen Erscheinungen nach Stromausschaltung auf das Fließen des Polarisationsstromes zurückgeführt werden, bei welchem die Pole gegenüber dem ursprünglichen elektrotonisierenden Strom vertauscht sind; die Hemmung unter der Kathode sowie die Förderung unter der Anode nach der Stromausschaltung sind daher als Anelektrotonus bzw. Katelektrotonus durch den Polarisationsstrom aufzufassen und verschwinden erst, wenn die Polarisationsspannungen sich ausgeglichen haben. Um die elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen nachzuweisen, muß daher ein Erregungszustand hervorgebracht werden, der durch den zusätzlichen elektrotonisierenden Strom polar verändert wird. Beim schlagenden *Froschherz* ist die Versuchsanordnung besonders einfach, weil der Erregungszustand bei jeder Systole von selbst entsteht und eine Einrichtung zur Reizerzeugung demnach nicht erforderlich ist; an diesem Organ ist die anodische bzw. postkathodische *Hemmung* der Erregbarkeit besonders deutlich zu zeigen. Beim *Froschnerven* ist sowohl die *hemmende* als auch die *fördernde* Wirkung des Elektrotonus nachweisbar; außer der An-

ordnung für den elektrotonisierenden Strom wäre jedoch hier noch eine Anordnung zur Reizerzeugung notwendig.

Beim Versuch am Froschherzen wird durch Aufsetzen einer punktförmigen Elektrode ein lokaler Elektrotonus in der Mitte des Ventrikels erzeugt. Ist diese Elektrode die *Anode*, so bleibt unter ihr — infolge der Hemmung der Erregbarkeit — die Kontraktion der Muskelfasern aus, der schlaff bleibende Teil wird beulenartig vorgewölbt und nimmt an der Farbänderung des Ventrikels bei der Systole nicht teil (*anodische Beule*). Das gleiche wird beobachtet, wenn die punktförmige Elektrode die Kathode

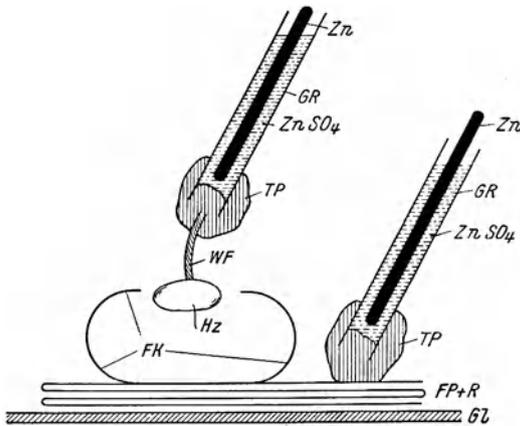


Abb. 30. Versuchsanordnung für die anodische bzw. postkathodische Beule.

*FK* Froschkörper im Querschnitt; *FP + R* mit Ringer getränktes Filterpapier; *Gl* Glasplatte; *GR* Glasrohr der unpolarisierbaren Elektroden; *H<sub>z</sub>* Froschherz; *TP* Tonpipette der unpolarisierbaren Elektroden; *WF* ringergetränkter Wollfaden; *Zn* Zinkstab; *ZnSO<sub>4</sub>* gesättigte Zinksulfatlösung.

ist und der Strom gerade im Augenblick des Systolenbeginnes *unterbrochen* wurde (*postkathodische Beule*). Mit Herzen von *Rana temporaria* gelingt der Versuch besser als mit Herzen von *R. esculenta*.

Vorerst ist die Versuchsanordnung aufzubauen; sie besteht in der Schaltung für galvanische Reizung nach Abb. 28 mit dem Unterschied, daß an die stromwendende Wippe *W* zwei weiche biegsame Drähte zur Verbindung mit den Zinkstäben der **unpolarisierbaren Elektroden** (S. 220) anzuschließen sind. Bei solchen „Tonstiefelektroden“ erfolgt die Berührung des Gewebes nach Abb. 30 mit einer NaCl- oder Ringer-Tonmasse *T*, an die sich die Zinksulfatlösung  $ZnSO_4$  im Glasröhrchen *GR* mit einem einge-

tauchten Zinkstab Zn anschließt. Die Polarisation wird bei dieser Anordnung dadurch vermieden, daß sich an der Übergangsstelle von Ionen- in Elektronenleitung ein Metall in der Lösung eines seiner eigenen Salze (hier Zn in  $\text{ZnSO}_4$ ) befindet. Zur Anfertigung dieser Elektroden wird die vorbereitete, bereits mit Ringerlösung angeknüttete Tonkugel in zwei Hälften geteilt und jede Hälfte als Pfropf an das untere Ende des Glasröhrchens *GR* fest angedrückt; in den einen Pfropf ist jedoch ein mit Ringerlösung gut getränkter Wollfaden *WF* miteinzuknütten. Die Glasröhrchen werden hierauf im Elektrodenhalter am Stativ befestigt, der nicht bloß eine Verstellung der Glasröhrchen gegeneinander ermöglicht, sondern durch das Kugelgelenk seines Befestigungsstabes auch eine beliebige Neigung des Elektrodenpaares gegen das Präparat. Zur Anfertigung solcher Elektroden ist nur der *graue* sog. *Bildhauerton* verwendbar, weil der weiße keramische Ton zu wenig Klebekraft und Festigkeit besitzt. Nach Befestigung der Röhrchen wird mit der Pipette gesättigte Zinksulfatlösung etwa  $\frac{2}{3}$  hoch eingefüllt und der Zinkstab eingesteckt. Die fertigen Elektroden sind nur verwendbar, wenn sie *dicht* halten und kein Zinksulfat austritt, da dieses sonst das Gewebe zerstören würde; erweisen sich die Elektroden als undicht, so müssen sie nach gründlicher Reinigung und vor allem nach *Trocknung* der Glasröhrchen nochmals angefertigt werden.

Ist die Anordnung versuchsbereit, so wird das Herz des narkotisierten Frosches in der bekannten Weise freigelegt und das Tier selbst nach Abb. 30 in Rückenlage auf die Glasplatte *Gl* unter Zwischenlage des 4fach gefalteten Filtrierpapiers *FP* gebracht; das Filtrierpapier ist vorher durch Aufgießen von Ringerlösung *gründlich zu befeuchten*. Die unpolarisierbaren Elektroden werden anschließend so eingestellt, daß die eine dem feuchten Filtrierpapier unmittelbar aufliegt, die andere dagegen sich über der Herzkammer befindet und der vorher mit der Schere auf passende Länge und scharfe Spitze zugeschnittene Wollfaden die Kammeroberfläche nur ganz *leicht* und *zart* berührt. Diese letztere Elektrode dient als *differente*, die andere zusammen mit dem feuchten Filtrierpapier als *indifferent* Elektrode (vgl. hierzu S. 142).

Zur *Ausführung des Versuches* wird der Wollfaden durch geeignete Stellung der Wippe zur *Anode* gemacht. Nach Einschalten des Stromes (Schließen von *Hg*) tritt bei allen Systolen die *anodische Beule* auf. Nach Stromöffnung wird gewendet, so daß der Wollfaden jetzt die *Kathode* darstellt. Wird nun der Strom neuerlich geschlossen, so kann als Folge der Kathodenschließungserregung eine Extrasystole zustande kommen; während des dauernden

Fließens des galvanischen Stromes sind am Herzen aber besondere Wirkungen im allgemeinen *nicht* zu sehen. Wird der Strom jedoch knapp vor dem Eintritt der Kammerystole *unterbrochen*, dann wird im Augenblick der Systole die *postkathodische Beule* sichtbar. Während aber, wie schon erwähnt, die *anodische Beule* in *allen* aufeinanderfolgenden Systolen während der ganzen Stromflußzeit zu sehen ist, läßt sich die *postkathodische Beule* meistens nur während jener Systole deutlich beobachten, vor welcher die Stromöffnung erfolgte; oft ist auch noch in der nächstfolgenden Systole die postkathodische Beule, wenn auch schwächer, zu sehen, bleibt aber dann fort, weil die postkathodische Erregbarkeitshemmung mit der Abnahme des Polarisationsstromes schnell verschwindet. Gelegentlich können neben diesen Erscheinungen während der galvanischen Durchströmung auch Frequenzänderungen beobachtet werden, die einander entgegengesetzt gerichtet sind, je nachdem, ob die *differente* Elektrode durch die Anode oder Kathode dargestellt wird; in diesen Fällen handelt es sich um elektrotonische Wirkungen auf die Reizbildungsstelle im Sinus des Froschherzens.

## 25. Auslösung und Aufzeichnung von Extrasystolen.

*Aufgabe:* Mit dem Suspensionsverfahren sind die Kontraktionen des ausgeschnittenen Froschherzens auf dem Kymographion zu verzeichnen; es sind Extrasystolen mittels Induktionsöffnungsschlägen auszulösen.

*Erforderlich:* Präparat vom Versuch 24 oder narkotisierter Frosch, Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, Abfallschale, Watte, Äther, Faden, Schälchen, Froschringer, Pinsel, Kymographion, in der Höhe verstellbares Stativ mit Anordnung für das Suspensionsverfahren nach Abb. 31, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Wippe ohne Kreuz, Induktorium, gegebenenfalls elektromagnetischer Schreiber, gewöhnlicher Stromschlüssel, Wachsdrähte, zwei weiche biegsame Drähte mit versteiften Enden, zwei dünne Kupferdrähte mit Stift und Nadel.

Zur **Aufzeichnung der Herzbewegungen** wird rechts neben dem Kymographion das Stativ aufgestellt und mit zwei Kreuzköpfen versehen; der untere Kreuzkopf dient zur Befestigung der Tragstange des Herzbrettchens, der obere zur Befestigung der Tragstange des Schreibhebels. Wie Abb. 31 zeigt, trägt das Herzbrettchen eine Korkauflage *Ko*. Auf dieser wird später das ausgeschnittene Herz *Hz* mit der Basis nach unten an der Vorhof-Kammer-Grenze mit Hilfe der beiden Nadeln *N* festgesteckt. Die Nadeln sind durch die biegsamen Drähte  $D_1$  und  $D_2$  mit dem Kurzschlüssel *KS* der Schaltung nach Abb. 29 zu verbinden, die auch hier wieder benutzt wird; obwohl für den vorliegenden Versuch nur die Einzelreizung in Frage kommt, ist es zweckmäßig, gleich auch die Wippe *W* einzuschalten, weil dann die Anord-

nung ohne Änderung auch für den Versuch 26 benutzt werden kann. Die Spitze des Herzens wird dann mit einer Herzklammer *KH* gefaßt und mit dem Hebel *H* durch den Faden *F* verbunden. Bei der zunächst ohne Präparat erfolgenden Einstellung ist der Schreibhebel so weit über dem Herzbrettchen anzubringen, daß bei waagerechter Hebellage die Spitzen der Herzklammer *HK* etwa 15 mm über dem Korkbelag hängen. Die genaue Einstellung des Abstandes von Herzbrettchen und Schreibhebel wird dann erst nach Befestigung des Präparates vorgenommen. Der Aufbau der beschriebenen Anordnung erfolgt zweckmäßig bei ganz nach unten gesenktem Stativ, das dann mit der fertig zusammengestellten Anordnung so weit gehoben wird, daß das Schreiben im oberen Teil der Kymographiontrommel erfolgt; es besteht dann die Möglichkeit, nach Vollendung einer Trommelumdrehung die Anordnung sofort so weit zu senken, daß unterhalb der ersten Kurve unmittelbar weitergeschrieben werden kann.

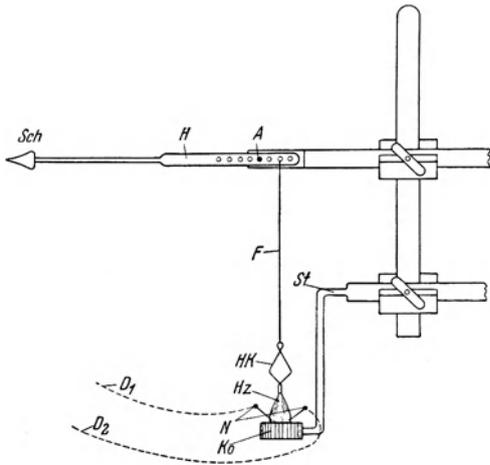


Abb. 31. Anordnung zur Aufzeichnung der Herztätigkeit mit dem Suspensionsverfahren.

*A* Achse des Schreibhebels; *D*<sub>1</sub>, *D*<sub>2</sub> biegsame Drähte; *F* Faden; *H* Schreibhebel; *HK* Herzklammer; *H**z* Froschherz; *Ko* Korkplatte; *N* Nadeln; *Sch* Schreiber; *St* Tragstab des Herzbrettchens.

Zur Auslösung der Extrasystolen werden einzelne Öffnungsschläge verwendet. Soll auch der Reizaugenblick in der Kurve festgehalten werden, so kann man in dem Primärkreis in eine Leitung zur Wippe *W* (Abb. 29) noch einen elektromagnetischen Schreiber einschalten. Er wird dann an einem dritten Kreuzkopf am Stativ so befestigt, daß seine Marken knapp unter der Herzkurve aufgezeichnet werden. Es ist dabei darauf zu sehen, daß die beiden an die Trommel angelegten Schreiberspitzen (vom Herzhebel bzw. vom Reizmarkierer) *genau übereinanderliegen*, da nur in diesem Fall eine eindeutige Zuordnung von Reizmarken und Reizerfolg möglich ist.

Schließlich wird das **Herz** wie früher beschrieben (S. 61) frei-

gelegt — falls nicht das Präparat vom Versuch 24 noch verwendbar ist —, am Frenulumfaden hochgezogen und mit einem Scherenschlag ausgeschnitten, wobei auf das *Verbleiben des Sinus am Herzen* zu achten ist. Das Herz wird dann nach Abb. 31 auf dem Herzbrettchen befestigt; um das Präparat gleich für den folgenden Versuch 26 verwenden zu können, wird dabei die Herzurückseite — erkennbar am Frenulumfaden — nach vorne gerichtet. Schließlich wird die Herzspitze mit der Herzklammer erfaßt und anschließend der richtige Abstand von Herzbrettchen und Schreibhebel (bis zu genau waagerechter Hebellage) hergestellt. Nach entsprechender Nachstellung auch des Reizschreibers (beide Schreiberspitzen *genau* übereinander!) ist bei langsamem Gang des Kymographions schließlich in der Herzpause mit einem Öffnungs-

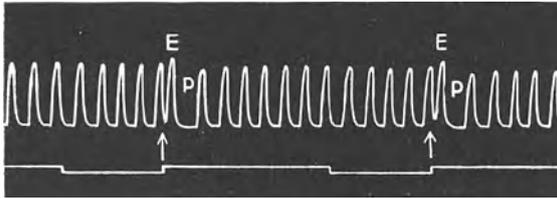


Abb. 32. Auslösung von Extrasystolen.

Obere Zeile: Herzkurven; untere Zeile: Marken des Reizschreibers (Bewegung nach unten = Schließung, Bewegung nach oben = Öffnung des Primärkreises). Die Pfeile geben die Reizaugenblicke (Öffnungsschläge) an. *E* Extrasystole; *P* kompensatorische Pause.

schlag (durch Benützung von *Hg* bei offenem *KS*) zu reizen, wobei — ausgehend von *großem* Spulenabstand — die Sekundärspule der Primärspule immer mehr zu nähern ist, bis schließlich der Öffnungsschlag zu einer Extrasystole führt. Nun wird die Reizung bei dieser Spulenstellung zu *verschiedenen* Zeitpunkten der physiologischen Herzkontraktion wiederholt ausgeführt; dabei zeigt sich, daß nicht jeder Reiz wirksam ist, sondern sich ein Reizerfolg nur einstellt, wenn die Reizung während des absteigenden Schenkels der Kontraktionskurve oder kurz nach dem Ende der Systole, also außerhalb der *Refraktärzeit*, vorgenommen wird. Abb. 32 zeigt als Beispiel einen erfolgreich ausgeführten Versuch: die Reizung durch den Öffnungsschlag erfolgte im Augenblick des Hochgehens der Reizmarke, also in den durch Pfeile angegebenen Zeitpunkten, und führte jedesmal zu einer Extrasystole *E*. Die Extrasystole wird von einer *kompensatorischen Pause P* gefolgt, da der nächste physiologische Herzreiz in die Refraktärphase der Extrasystole fällt und dadurch unwirksam bleiben muß. Bei längerem Versuch muß das Herz durch Befeuchten mit physio-

logischer Kochsalzlösung vor Austrocknung geschützt, überschüssige Flüssigkeit zur Verhinderung eines Nebenschlusses für den Reizstrom jedoch wieder abgesaugt werden.

Nach Aufzeichnung einer entsprechenden Zahl von Versuchen wird das berußte Blatt vom Kymographion abgenommen, fixiert und getrocknet. Ausschnitte mit gut gelungenen Versuchen (solche mit wirksamen *und* — wegen der Refraktärphase — unwirksam gebliebenen Reizen) sind in das Protokollheft einzukleben.

## 26. Faradische Reizung des stillstehenden Herzens; Alles-oder-Nichts-Gesetz; Nachweis der Refraktärzeit; Nichttetanisierbarkeit des Herzmuskels (Wühlen und Wogen).

*Erforderlich:* Präparat und Anordnung von Versuch 25.

Zur Stilllegung der *Herztätigkeit* wird der Sinus mit einem Stückchen des Vorhofes vom Präparat des Versuches 25 abgetrennt, wobei man jedoch der Vorhof-Kammergrenze nicht zu nahekommen darf, da sonst durch einen Stannius II das Herz unter dem Einfluß des sekundären Zentrums wieder zu schlagen beginnt; die Abtrennung ist nicht schwer, wenn man das Herz schon mit seiner Rückseite nach vorne befestigt hat. Das Kymographion bleibt zunächst bei seinem *langsamen* Gang; gereizt wird bei den ersten beiden der folgenden Versuche durch Bedienen des Quecksilberschlüssels *Hg* bei der Stellung I der Wippe *W* (Einzelreizung) und bei offenem Kurzschlußschlüssel *KS* (Schaltung nach Abb. 29).

Zum *Nachweis des Alles-oder-Nichts-Gesetzes* wird in einem Vorversuch ein solcher (kleiner) Rollenabstand hergestellt, daß Schließungs- und Öffnungsschläge wirksam sind. Nach Ingangsetzen des Kymographions werden nun abwechselnd Schließungs- und Öffnungsschläge zur Einwirkung gebracht, wobei der Spulenabstand nach jeder Öffnung des Primärkreises um je 0,5—1 cm *vergrößert* wird; unter jeder aufgezeichneten Kontraktion ist *SS* bzw. *OeS* (Schließungs- bzw. Öffnungsschlag) sowie der zugehörige Rollenabstand zu vermerken. Trotz Sinkens der Reizstärke mit zunehmendem Rollenabstand bleibt die *Höhe der Kontraktionen* zunächst *unverändert*; von einem gewissen Rollenabstand an aber verschwindet plötzlich die Wirkung der Schließungsschläge, von einem zweiten, größeren dann auch die Wirkung der Öffnungsschläge, ohne daß vorher eine Verkleinerung des Reizerfolges festgestellt werden kann (*Alles-oder-Nichts-Gesetz*). Bei umgekehrter Anordnung — Beginn mit *großem* Rollenabstand und zunehmender Reizverstärkung — ist das Alles-oder-Nichts-Gesetz nicht so deut-

lich nachzuweisen, weil das Herz, insbesondere im geschädigten Zustand, so wie der Skelettmuskel die Erscheinung der *Treppe* zeigt; diese äußert sich darin, daß die Kontraktionshöhen schon bei wiederholter *gleich stark bleibender* Reizung einige Zeit hindurch anwachsen, was die Erscheinung des Alles-oder-Nichts-Gesetzes verdeckt.

Zum **Nachweis der Refraktärzeit** ist zunächst wieder jener Spulenabstand aufzusuchen, bei dem *auch die Schließung* des Primärkreises zu einer Herzkontraktion führt. Hierauf wird dem Herzen bei *schnell* laufendem Kymographion (Abnahme der Windflügel, S. 50 und Abb. 18) zunächst ein Schließungsschlag und dann — durch Öffnen des Primärkreises nach etwa 1 Sekunde — auch ein Öffnungsschlag zugeleitet. Beide Schläge führen zu zwei *getrennten* Einzelzuckungen des Herzmuskels. Nun wird der Zeitabstand zwischen der Schließung und Öffnung des Primärkreises — sichtbar gemacht durch den vom elektromagnetischen Reizschreiber verzeichneten Ausschlag — in aufeinanderfolgenden Reizungen *immer mehr verkürzt*, bis schließlich bei schnellster Schließung und Öffnung von *Hg* im Abstand von Sekundenbruchteilen nur mehr *eine einzige Zuckung* des Herzmuskels erfolgt. Der zweite Reiz, der Öffnungsschlag, muß in diesem Falle in die Refraktärphase der vom Schließungsschlag bewirkten Herzkontraktion gefallen sein; die Länge dieser Refraktärphase im Verhältnis zur Herzkontraktion ergibt sich aus dem Vergleich der Marken des Reizschreibers mit der Kontraktionskurve des Herzmuskels.

Zum **Nachweis der Nichttetanisierbarkeit des Herzmuskels** ist *frequente* Reizung erforderlich. Die Wippe *W* der Schaltung von Abb. 29 wird daher in die Stellung II umgelegt, *Hg* geschlossen und die Reizgebung durch Öffnen von *KS* durchgeführt. An einem gegebenenfalls eingeschalteten elektromagnetischen Reizschreiber sind die Stellschrauben *Sr<sub>1</sub>* und *Sr<sub>2</sub>* (Abb. 19, S. 52) so einzustellen, daß während der faradischen Reizung der Schreiber eine breite Marke wie in Abb. 21 Zeile 2 (S. 55) verzeichnet. Zunächst wird bei *langsamen* Gang des Kymographions und *großem* Spulenabstand mit der Faradisierung des Herzens für einige Sekunden Dauer begonnen und in den Reizpausen der Spulenabstand stufenweise verkleinert, bis schließlich die faradische Reizung wirksam wird. Im Gegensatz zum Skelettmuskel (vgl. Versuch 23 S. 74) zeigt das Herz dabei jedoch keine Dauerkontraktion, sondern geht aus dem Stillstand in schnelles, wenn auch unregelmäßiges Schlagen mit dicht aufeinanderfolgenden Einzelkontraktionen („*Wühlen*“ und „*Wogen*“) über, das mit Ausschaltung des faradischen Stromes wieder verschwindet.

### 27. Vagusreizung am Froschherzen.

*Erforderlich:* Frosch, Präparierbesteck, Faden, Glasplatte, Froschtuch, Abfallschale, Schälchen, Froschringer, Pinsel, Kymographion, in der Höhe verstellbares Stativ mit der Suspensionsanordnung nach Abb. 32, gegebenenfalls elektromagnetischer Schreiber, Reizelektroden, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Induktorium, gewöhnlicher Stromschlüssel, Wachsdrähte, vier weiche biegsame Drähte mit versteiften Enden.

Wenn auch das Herz durch den Besitz eines Automatiezentrums selbsttätig schlagen kann, so wird seine Tätigkeit in situ doch dauernd durch die *Herznerven* gesteuert und den jeweiligen Anforderungen des Körpers an den Kreislauf angepaßt. Die Wirkung der Herznerven ist eine komplexe: sie können auf die *Frequenz* Einfluß nehmen (*chronotrope* Wirkung), auf die *Schlaghöhe* (*inotrope* Wirkung), auf die *Erregbarkeit* (*bathmotrope* Wirkung) sowie auf die *Überleitung der Erregung* (*dromotrope* Wirkung). Die vom *Sympathicus* stammenden Fasern (*Nn. accelerantes*) wirkend *fördernd* (*positiv*), die vom *Vagus* kommenden dagegen *hemmend* (*negativ*); beide Faserarten stehen unter einem *Tonus* und die Herztätigkeit ist daher in jedem Augenblick immer nur die Resultierende aus den einander entgegenwirkenden (fördernden und hemmenden) Einflüssen.

Um beim Frosch die Wirkung einer Vagusreizung auf die Herztätigkeit zu verfolgen, ist die für den Anfänger schwierige Freilegung des N. vagus nicht erforderlich. Es genügt, das Herz zusammen mit den beiden Lungen auszuschneiden und den Reizstrom (frequenter faradischer Strom) quer durch eine Lunge fließen zu lassen; es tritt dann eine Erregung der Vagusfasern in der Lunge ein, die sich auch am Herzen auswirkt. Allerdings führt der Vagus des Frosches auch *Sympathicusfasern* („Vagosympathicus“); daher kann der Reizerfolg sowohl in einer hemmenden als auch in einer fördernden Wirkung bestehen. Im Winter sprechen im allgemeinen die eigentlichen *Vagusfasern leichter* auf die Reizung an, während im Sommer die *Sympathicusfasern besser* erregbar sind. Je nach der Elektrodenlage und dem Präparat kann auch die Wirkung auf die Frequenz oder die Wirkung auf die Schlaghöhe vorherrschen. Der Erfolg der Vagosympathicus-Reizung kann daher in einer Frequenzverlangsamung bestehen (rein negativ *chronotrope Vaguswirkung*), in einem Kleinerwerden der Kontraktion (rein negative *inotrope Vaguswirkung*), in der Kombination von Verlangsamung und Amplitudenverkleinerung (vgl. Abb. 34), in einer Frequenzbeschleunigung (rein positive *chronotrope Sympathicuswirkung*), in einem Größerwerden der Kontraktionen (rein positive *inotrope Sympathicuswirkung*) oder schließlich in einer Kombination von Beschleunigung und Amplitudenvergrößerung.

Zur Aufzeichnung der Herzkontraktionen ist wieder das Kymographion und die Anordnung für das Suspensionsverfahren nach Abb. 31 zu benützen, mit dem Unterschied, daß die Herzkammer mit kurzen gewöhnlichen Stecknadeln ohne angelötete Drähte an der Korkscheibe *Ko* befestigt wird; wie Abb. 33 zeigt, ist unmittel-

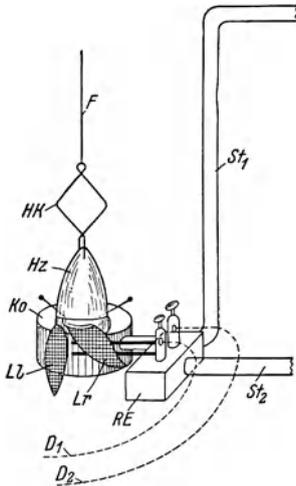


Abb. 33. Anbringung der Reizelektroden bei der Reizung der Vagusfasern in der Lunge.

*D*<sub>1</sub>, *D*<sub>2</sub> weiche, biegsame Zuleitungsdrähte für den Reizstrom; *F* Verbindungsfäden zum Schreibhebel; *HK* Herzklammer; *H**z* Froschherz; *Ko* Korkplatte des Herzbrettchens; *L**l*, *L**r* linke und rechte Froschlunge; *RE* Reizelektrodenpaar (Klotz aus Isolierstoff mit 2 Klemmschrauben und untergeklebten Silberdrähten); *St*<sub>1</sub>, *St*<sub>2</sub> Befestigungsstab für das Herzbrettchen bzw. das Reizelektrodenpaar.

(S. 61), anschließend gleichartiger Rundschnitt durch die Bauch- und Brustwand (einschließlich der Claviculae). Hierauf werden die Bauchorgane, beginnend mit den untersten Darmabschnitten, nach oben zu fortlaufend ausgeräumt, wobei die Leber als *letztes* Organ entfernt wird. Man faßt hierauf die linke Lunge mit der Pinzette, zieht sie hoch und schneidet nun von der linken Froschseite nach rechts zu mit kleinen Scherenschnitten das Bindegewebe zwischen den Lungenstielen und dem Ösophagus durch. Beide Lungen werden so *im Zusammenhang mit dem Herz* heraus-

bar vor dieser das Reizelektrodenpaar *RE* anzubringen, auf welches eine Lunge gelagert wird. Das Reizelektrodenpaar, am Stativ mit einem zweiten Kreuzkopf festgehalten, besteht aus einem Tragstab, einem kleinen Klotz aus Isolierstoff und zwei Klemmschrauben mit untergeklebten Silberdrähten; die Klemmschrauben werden durch biegsame Drähte *D*<sub>1</sub> und *D*<sub>2</sub> mit der Reizelektrodenordnung verbunden. Diese besteht aus der Schaltung für *frequente* Reizung nach Abb. 29, in der die Wippe *W* weggelassen wird und die Stromzuführung zur Primärspule unmittelbar bei den *oberen* Klemmen erfolgt. Soll auch die Reizdauer verzeichnet werden, so schaltet man wie im Versuch 25 noch einen elektromagnetischen Schreiber in den Primärkreis ein.

Zur Herstellung des „Herz-Lungen-Präparates“ wird der Frosch durch Kopfschlag betäubt und dekapitiert. Nach Ausbohren des Rückenmarkes wird das Tier mit der Bauchseite nach oben auf die Glasplatte gelegt. Entfernung der Bauchhaut durch einen Rundschnitt nach Abb. 22

genommen und in die Anordnung nach Abb. 33 eingesetzt. Da die Reizung der rechten Lunge günstiger ist, wird diese auf die Reizelektroden *RE* gelagert. Nach Aufzeichnung einer Reihe von normalen Herzkontraktionen wird nun für die Dauer von 10 bis 20 Sekunden die Lunge faradisiert (*Hg* geschlossen, Reizgebung mit *KS*), wobei zunächst *großer* Spulenabstand benützt wird. Wahrscheinlich wird die Reizung noch wirkungslos bleiben und man hat daher die Faradisierung wiederholt auszuführen, wobei in den Reizpausen der Spulenabstand *stufenweise* immer mehr *verkleinert* wird. Ist die Reizstärke über den Schwellenwert gestiegen, so wird einer der früher beschriebenen Effekte, häufig ein Erfolg wie in Abb. 34, beobachtet. Nach Aussetzen der Reizung tritt nach kürzerer oder längerer Zeit wieder normales Schlagen des Herzens wie vor der Reizung ein. Bei ganz starker Reizung (mit noch kleinerem Spulenabstand) kann auch vollkommener Herzstillstand erzielt werden.

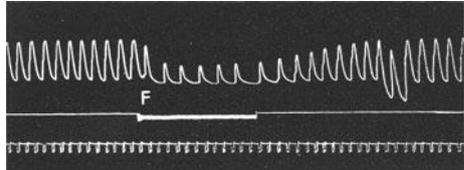


Abb. 34. Frequenzverlangsamung und Abnahme der Kontraktionshöhe am Froschherzen bei Vagusreizung. Obere Zeile: Herzkontraktionen; mittlere Zeile: Linie des Reizschreibers (*F* = Faradisierungsbeginn); untere Zeile: Zeitmarken in Sekundenabständen.

## 28. Wirkung von Acetylcholin und Adrenalin auf das ausgeschnittene Froschherz.

*Aufgabe:* Nachweis der *vagusartigen* Wirkung von Acetylcholin und der *sympathicusartigen* Wirkung von Adrenalin.

*Erforderlich:* Anordnung und Präparat von Versuch 27 (jedoch ohne Reizelektroden und ohne Reizeinrichtung), normale Ringerlösung, Acetylcholin-Ringerlösung (1 : 100 000), Adrenalin-Ringerlösung (1 : 10 000), Pinsel, Becherglas mit Aufschrift „Ringer zum Pinselwaschen“.

Acetylcholin und Adrenalin werden am einfachsten durch Aufpinseln auf das Herz zur Wirkung gebracht, während die Herztätigkeit mit dem Suspensionsverfahren zur Aufzeichnung kommt. Der Versuch wird zweckmäßig an Nr. 27 angeschlossen, wobei die gleiche Versuchsanordnung — nach Entfernung der Reizelektroden und unter Nichtbenützung der Reizanordnung — sowie meistens auch noch das gleiche Herzpräparat benützt werden kann. Nach Aufzeichnung einiger normaler Herzkontraktionen wird das Organ bei langsamen Gang des Kymographions zunächst mit *Acetylcholin*-Ringerlösung 1 : 100 000 bepinselt und der Pinsel an-

schließend im Becherglas mit normaler Ringerlösung sogleich ausgewaschen. Nach Beobachtung der Reaktion wird das Herz mit *normaler* Ringerlösung *aus der Vorratsflasche* bepinselt. Sollte trotz der angewandten hohen Acetylcholinverdünnung Herzstillstand zustande kommen, dann muß man das Acetylcholin besonders schnell mit dem normalen Ringer entfernen; nach einer Wartezeit von einigen Minuten, während welcher das Kymographion zum Stillstand gebracht wird, stellt sich die normale Herztätigkeit wieder ein, worauf die Acetylcholineinwirkung nach Verdünnung der Stammlösung wiederholt werden kann. Anschließend wird mit *Adrenalin*-Ringerlösung 1 : 10 000 gepinselt, der Pinsel gewaschen und dann das Herz wieder mit Normalringer abgespült. *Acetylcholin* kann sowohl Verlangsamung als auch Verminderung der Kontraktionshöhe oder beides hervorbringen, *Adrenalin* Beschleunigung, Vergrößerung der Amplituden oder beides zusammen. Wenn nach jeder Einwirkung eines der beiden Wirkstoffe immer wieder der Pinsel gewaschen und das Herz anschließend mit Normalringer abgepinselt wird, so können die Acetylcholin- oder Adrenalineffekte wiederholt hintereinander am gleichen Präparat hervorgebracht werden.

## 29. Perkussion der Lungen-Leber-Grenze und der absoluten Herzdämpfung.

*Erforderlich:* Hautstift.

Unter **Perkussion** versteht man das Beklopfen des Körpers, hauptsächlich der Brust- und Bauchwand, um aus der Art des dabei entstehenden Schalles Schlüsse auf die Beschaffenheit der unterhalb liegenden Organe zu ziehen. Die Perkussion erfordert viel Übung: das Praktikum will nur die Grunderscheinungen der Perkussion zeigen.

Am meisten üblich ist es, mit einem Finger der rechten Hand auf einen untergelegten Finger der linken zu klopfen (**Finger-Finger-Perkussion**), und zwar mit dem Zeige- oder Mittelfinger der rechten Hand (*Perkussionsfinger*) auf den Zeige- oder Mittelfinger der linken Hand (*Plessimeterfinger*). Der Plessimeterfinger ist *fest* an den Körper anzudrücken, die Kuppe des hakenförmig gekrümmten Perkussionsfingers schlägt auf die Dorsalseite der zweiten Phalange. Die Klopfbewegung soll im Handgelenk erfolgen, nicht etwa im Ellenbogengelenk; der rechte Unterarm ist dabei ganz ruhig zu halten. Der Plessimeterfinger soll stets parallel zu der aufzuschendenden Organgrenze liegen. Soll beispielsweise auf der rechten Thoraxseite die nahezu waagrecht verlaufende Lungen-Leber-Grenze festgestellt werden, so wird der Plessimeterfinger waage-

recht an die rechte Brustseite gelegt, d. i. parallel zu den Rippen, und unter wiederholter Perkussion parallel nach unten verschoben. Liegt das zu untersuchende Organ unmittelbar unter der Körperoberfläche, so wird *leise* perkutiert (z. B. Lungen-Leber-Grenze), ist das Organ von einem anderen bedeckt (z. B. relative Herzdämpfung), so muß die Perkussion mit größerer Kraft, also *laut*, erfolgen.

Zur Erzeugung des Perkussionsschalles genügt an sich ein einmaliges federndes Klopfen gegen den Plessimeterfinger; da aber das Ohr gewöhnlich nicht so rasch die Schallqualität erfassen kann, so klopft man 2—3mal kurz hintereinander. Hat man die Schallqualität erkannt, so wird der Plessimeterfinger etwa um 1 cm verschoben und neuerlich geprüft. Besonders an Organgrenzen — oder bei Feststellung einer pathologischen Schalländerung — wird man mit dem Plessimeterfinger mehrmals nach beiden Seiten hin und her wandern, um wiederholt zu prüfen und zu vergleichen.

Ist das zu untersuchende Organ lufthaltig wie die Lunge, so spricht man von einem *vollen, lauten Schall*; besteht es aus dichtem, luftfreien Gewebe wie die Leber, so liefert es einen *leeren oder gedämpften Schall*. Der volle Schall — der z. B. über der ganzen rechten Lunge leicht gehört wird — ist gleichzeitig auch *tief* und von verhältnismäßig *langer* Dauer. Der leere Schall — der unmittelbar über dem Herzen oder über der Leber zu hören ist — klingt *höher* und ist von *kürzerer* Dauer. Schalltiefe und Schalldauer hängen mit Resonanzerscheinungen zusammen, die im lufthaltigen Gewebe tiefere und auch länger andauernde Schälle bedingen.

Zur **Orientierung am Brustkorb** dienen die *Rippen*. Fährt man mit Mittel- und Zeigefinger das Brustbein entlang, so spürt man deutlich den vorspringenden Winkel zwischen Manubrium und Corpus sterni; an dieser Stelle tritt die *zweite* Rippe an das Sternum heran und von dieser Stelle aus lassen sich durch Zählen die anderen Rippen leicht bestimmen. Da die erste Rippe durch das Schlüsselbein bedeckt ist, beginnt man die Zählung eben bei der zweiten Rippe. Zwischen den Rippen liegen die Interkostalräume, und zwar zwischen der zweiten und dritten Rippe der *zweite* Interkostalraum, zwischen der dritten und vierten der *dritte* usw. Als lotrechte Orientierungslinien dienen der linke und rechte Sternalrand, die als gerade Linien gedacht und als *Parasternallinien* bezeichnet werden. Weitere Linien sind die *Medioklavikularlinien*, die durch die Mitte der Klavikula nach abwärts gezogen werden. Am Rücken richtet man sich nach den Dornfortsätzen der Wirbel; durch leichtes Neigen des Kopfes nach vorn wird der Dornfortsatz

des siebenten Halswirbels (*Vertebra prominens*) deutlich fühlbar, von dem ausgehend die anderen abgezählt werden können. Auch die Schulterblätter werden als Anhaltspunkte benützt.

Am leichtesten ist für den Anfänger die **Feststellung der Lungen-Leber-Grenze** an der *rechten* Brustseite, wobei Versuchsperson und Untersucher am einfachsten stehen. Der Plessimeterfinger der linken Hand wird waagrecht etwa über dem rechten fünften Interkostalraum aufgelegt. Das Beklopfen ergibt unter normalen Verhältnissen noch Lungenschall, im sechsten Interkostalraum dagegen findet man schon gedämpften Leberschall. Man geht bei dieser Bestimmung am zweckmäßigsten entlang der rechten Medioklavikularlinie nach unten. Prüft man dann die Lungen-Leber-Grenze an der rechten Parasternallinie, an der Seitenfläche des Brustkorbes und schließlich am Rücken, so findet man folgenden *Verlauf der unteren Lungengrenze*: am Sternum: oberer Rand der sechsten Rippe; in der rechten Medioklavikularlinie: unterer Rand der sechsten Rippe bzw. sechster Interkostalraum; an der Seitenfläche des Thorax: siebente Rippe; auf dem Rücken: handbreit unter dem Angulus inferior der Scapula und verlaufend zum Dornfortsatz des elften Brustwirbels. Ähnlich liegt auch die untere Grenze der *linken* Lunge, doch läßt sie sich an der Vorderseite des Brustkorbes infolge des Aneinanderstoßens von Leber, Magen und Herz nur schwer bestimmen. Die herausperkutierte Grenze wird mit einem Hautstift auf der Haut angezeichnet. Die beschriebene Grenze gilt für mittlere Atmung, bei der die Organverschiebungen nur gering sind. Läßt man die Versuchsperson tief einatmen und dann für kurze Zeit den Atem anhalten oder stark ausatmen und dann eine kurze Atempause machen, so findet man eine starke Verschiebung der Lungengrenze nach abwärts bzw. aufwärts. Der höchste und der tiefste Stand des Lungenrandes wird mit dem Farbstift angezeichnet; man findet meist einen Abstand von drei Querfingern (etwa 5 cm, „*respiratorische Verschieblichkeit*“). Da die Versuchsperson den Atem nicht unbegrenzt lang anhalten kann, muß die Perkussion recht rasch erfolgen, weil sie sonst durch die zwangsläufig wieder einsetzende Atmung gestört wird.

Beim Herzen liegen die Verhältnisse etwas verwickelter, da ein Teil des Organs vom Lungengewebe bedeckt ist und nur ein kleiner Teil unmittelbar unter der Brustwand liegt. Dieses bei *leicht* aufgelegtem Plessimeterfinger mit *leiser* Perkussion festzustellende, vom Lungengewebe unbedeckte Gebiet des Herzens (in Abb. 35 schraffiert) liefert die sog. *absolute Herzdämpfung*. Der Geübte kann mit stärkerer Perkussion und fest angelegtem Plessimeter-

finger auch ein Dämpfungsgebiet herausfinden, das im großen und ganzen der wirklichen Herzgröße, wie man sie durch die Röntgendurchleuchtung bestimmen kann, entspricht und das als *relative Herzdämpfung* bezeichnet wird.

Für den Anfänger empfiehlt sich vorerst nur die **Feststellung der absoluten Herzdämpfung**. Man beginnt, wie früher beschrieben, bei mittlerer Atmung der Versuchsperson mit der Feststellung der

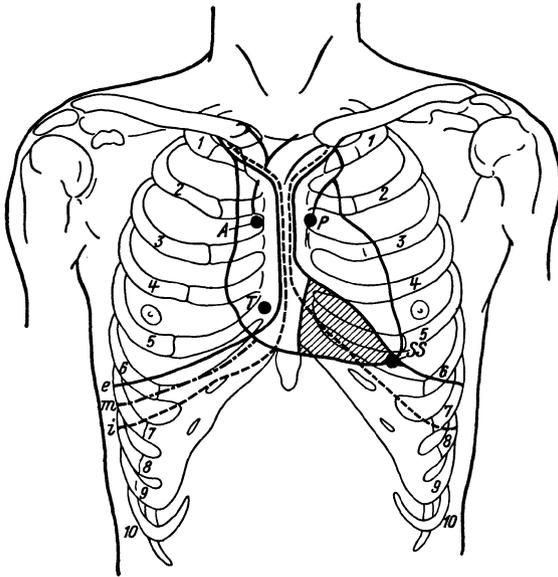


Abb. 35. Schematische Darstellung der Lage des Herzens im Brustraum und der Lage der Lungengrenzen bei maximaler Inspiration (*i*, strichliert gezeichnet), bei maximaler Expiration (*e*, vollgezeichnet) und bei mittlerer Atmungslage (*m*, strichpunktiert). Auskultationspunkte: *A* für die Aorta; *P* für die Pulmonalis; *T* für die Tricuspidalis; *SS* für die Mitralis, zugleich auch Ort des Spitzenstoßes. Das schraffierte Gebiet entspricht der absoluten Herzdämpfung.

rechten Lungen-Leber-Grenze in der Medioklavikularlinie, zeichnet diese mit dem Hautstift auf und *verlängert* die gezogene Linie über das Sternum auch auf die *linke* Thoraxseite. Dann wird der Herzspitzenstoß aufgesucht; er liegt gewöhnlich im fünften Interkostalraum etwas innerhalb von der Medioklavikularlinie (*SS* in Abb. 35). Bei manchen Menschen ist er nicht tastbar, weil die Herzspitze gegen eine der Rippen schlägt. Es kann jedoch meist auch in diesen Fällen der Spitzenstoß festgestellt werden, wenn sich die Versuchsperson nach links beugt oder auf die linke Seite

legt. Die Stelle des Spitzenstoßes wird mit dem Hautstift durch ein Kreuzchen bezeichnet. Das Gebiet der absoluten Herzdämpfung ist sehr klein; es hat als untere Grenze den nach links verlängerten Strich der rechten Lungen-Leber-Grenze und wird median durch den linken Sternalrand abgegrenzt, von dem dann etwa drei Querfinger über der Basislinie, entsprechend dem Ansatz der vierten Rippe, ein leicht konvexer Bogen gegen den bereits gefundenen Punkt des Spitzenstoßes zieht. Das Gebiet der absoluten Herzdämpfung ist demnach ungefähr ein kleines Dreieck mit nur einigen Zentimetern Seitenlänge. Man bestimmt nun die genannte Abgrenzung dieses Gebietes, indem man von links her etwas oberhalb der Lungen-Leber-Grenze mit lotrecht gestelltem Plessimeterfinger vom rechten Sternalrand gegen den linken unter *leiser* Perkussion fortschreitet. Die konvex gegen die Herzspitze ziehende obere Grenzlinie findet man entsprechend, indem man aus dem Gebiet des Lungenschalles radial gegen den Mittelpunkt des Gebietes der absoluten Herzdämpfung fortschreitet und jeweils den Plessimeterfinger senkrecht auf diese radiale Richtung hält, das ist parallel zu der zu erwartenden Grenze. Wichtig ist *leise* Perkussion, besonders bei der Feststellung der linken Begrenzung, weil bei starker Perkussion nicht mehr reiner Lungenschall, sondern ein Gemisch von Lungen- und Herzschatl — entsprechend der relativen Herzdämpfung — zu hören ist, was die Abgrenzung gegen das Gebiet der absoluten Herzdämpfung wenigstens für den Anfänger unmöglich macht. Auch hier wird jeder gefundene Umschlagspunkt von Lungenschall gegen Herzschatl mit dem Hautstift bezeichnet, so daß die nebeneinander gefundenen Punkte zusammen eine geschlossene Linie, eben die Grenze der absoluten Dämpfung, ergeben. In Abb. 35 ist schematisch die Lage des Herzens im Brustkorb dargestellt und das Gebiet der absoluten Herzdämpfung durch Schraffieren herausgehoben.

### 30. Auskultation der Lunge und des Herzens.

*Erforderlich:* Holz- oder Schlauchstethoskop, gegebenenfalls Mikrophon, Verstärker und elektrische Stethoskope.

Ebenso wichtig wie die durch Beklopfen erzeugten Schallerscheinungen sind die Geräusche, welche in der Lunge und im Herzen bei der Eigentätigkeit entstehen. Diese Geräusche erleiden bei Krankheiten dieser Organe Veränderungen, die eine Diagnose ermöglichen. Aufgabe der folgenden Übung ist das Kennenlernen der *normalen* Geräusche.

Zum **Abhören (Auskultieren)** bedient man sich des bloßen Ohres oder eines Hörrohres aus Holz, Hartgummi oder Metall

(*Stethoskop*). Das schmälere, etwas trichterförmig erweiterte Ende wird auf die Brustwand gesetzt und das Ohr des Untersuchers auf das andere, tellerförmige Ende des Rohres gelegt. Während des Abhorchens muß das Stethoskop leicht zwischen Brustwand und Ohr eingeklemmt und darf keinesfalls festgehalten werden, weil sonst die teilweise durch die Wand erfolgende Schalleitung gestört ist. Eine andere Art der Stethoskope besteht aus einer kleinen, unten offenen oder mit einer dünnen, elastischen Membran verschlossenen Metallkapsel, die auf die Brustwand gesetzt wird und von der zwei Schläuche mit Oliven am oberen Ende herausführen. Jede Olive wird in je ein Ohr gesteckt, weshalb diese *Schlauchstethoskope* auch als *binaurale Stethoskope* bezeichnet werden. Die Schalleitung erfolgt hier ausschließlich durch die Luft im Lumen des Schlauches, die Metallkapsel kann daher während des Abhorchens festgehalten werden. Es ist wichtig zu wissen, daß das Holzstethoskop und das Schlauchstethoskop dieselben Geräusche mit etwas *verschiedener* Klangfarbe hören lassen, das Holzstethoskop mit etwas hellerer, das Schlauchstethoskop mit etwas dumpferer Färbung, weil die Schwingungen mit höherer Frequenz durch die weiche Wand des Gummischlauches gedämpft werden.

Die **Schallerscheinungen über der Lunge** beim Atmen sind verschieden, je nachdem, ob man über dem eigentlichen Lungengewebe abhört (*vesikuläres Atmen*) oder über der Trachea bzw. den großen Bronchien (*bronchiales Atmen*). Das *vesikuläre* Atmen ist über der ganzen Lunge, für den Anfänger am besten am Rücken über den Unterlappen, zu hören; es ist ein weiches, schlürfendes Geräusch, Ein- und Ausatmung sind zwar unterscheidbar, die erstere hört man aber viel länger und lauter, die letztere ist nur zart angedeutet. Das *bronchiale* Atmen hört man beim Gesunden am besten über der Trachea, über dem Manubrium sterni oder der Vertebra prominens; es hat einen scharfen, mehr hauchenden Charakter. Im Gegensatz zum vesikulären Atmen ist beim bronchialen Atmen auch das Exspirium *sehr deutlich* zu hören.

Die Atmungsgeräusche kommen durch Reibung der Luft an den Wänden der Bronchien und Alveolen zustande. Die deutlicher ausgeprägte Inspiration beim vesikulären Atmen ergibt sich dadurch, daß die Alveolen durch die angesaugte Luft plötzlich, explosionsartig geöffnet werden, während bei der Expiration die Luft nur langsam und daher nur wenig hörbar ausströmt. Man kann den Klang des vesikulären Atmens ungefähr nachahmen, wenn man die oberen Schneidezähne wie beim „F“ auf die Unterlippe setzt und leicht einatmet. Ein dem Bronchialatmen ähnliches

Geräusch entsteht, wenn man bei der einem „Ch“ entsprechenden Mundstellung aus- und einatmet.

Die **Herztöne** entstehen zum Teil durch die plötzliche Anspannung des Herzmuskels bei der Kontraktion (*Muskelton*), zum Teil durch den plötzlichen Schluß der Klappen (*Klappenton*). Zum Muskelton (*erster Herztton*) kommt vielleicht ein Ton vom Schließen der atrio-venösen Klappen hinzu; der Ton beim Schließen der arteriellen Klappen (*zweiter Herztton*) folgt etwas später, so daß zwei unmittelbar aufeinanderfolgende Schallerscheinungen, eben der erste und der zweite Herztton, gehört werden. Der erste Ton ist dumpf, tief und langgezogen und wird auch als *systolischer Herztton* bezeichnet, der zweite ist kürzer, höher und schärfer und heißt *diastolischer Ton*. Die „Herztöne“ sind übrigens nicht etwa „Töne“ im musikalischen Sinne, sondern machen mehr den Eindruck eines Geräusches. Da man jedoch unter Herzgeräuschen „blasende, gießende, brummende“ Schallerscheinungen usw. versteht, die meistens bei Erkrankungen zu den physiologischen Schallerscheinungen hinzukommen, so trennt man die letzteren als eigentliche Herztöne ab. Wenn auch die Beteiligung der Valvula bicuspidalis (V. mitralis) und der Valvula tricuspidalis bei der Entstehung des ersten Herztones strittig ist, so ist es jedoch gesichert, daß in *pathologischen Fällen* auch von diesen Klappen Geräusche ausgehen.

Die Schallerscheinungen über dem gesunden Herzen bestehen demnach aus einer rhythmischen Aufeinanderfolge des systolischen Tones, des diastolischen Tones und einer Pause. Sowohl der erste wie der zweite Herztton müssen nach dem Besprochenen Schallkomponenten vom linken und vom rechten Herzen enthalten. Da der erste und zweite Ton an *verschiedenen* Stellen im Herzen entstehen, so wird an einem bestimmten Abhorchpunkt derjenige Ton *lauter* erscheinen, dessen Entstehungsort dem Ohre näher liegt. Man hört daher stets einen der beiden Herztöne lauter, *akzentuiert*.

Die für die einzelnen Klappen festgelegten **Abhorchstellen** sind in Abb. 35 eingetragen und durch kleine volle Kreise hervorgehoben. Man horcht die Mitralis an der Herzspitze ab (Punkt *SS*), wohin der Schall durch die Blutmasse des linken Ventrikels besonders gut geleitet wird, die Tricuspidalis am Ansatz der fünften Rippe am rechten Sternalrand (Punkt *T*), Aorta und Pulmonalis im zweiten Interkostalraum unmittelbar neben dem Sternum; infolge der Kreuzung der großen Gefäße wird die Aorta rechts vom Sternum (Punkt *A*), die Pulmonalis links vom Sternum (Punkt *P*) abgehört. Auch am Ansatz des dritten Rippenknorpels am linken Sternalrand kann die Aorta gehört werden (**ERBScher Punkt**).

An den verschiedenen Abhorchstellen ist die Akzentuation verschieden. An der Mitralis und Tricuspidalis ist der *erste* Ton betont, man hört etwa eine Schallerscheinung wie *lúp — tp*; über der Aorta und Pulmonalis liegt die Betonung auf dem *zweiten* Ton, man hört dementsprechend etwa *lup — tp*.

Die normalen Herztöne sind meist nicht sehr laut und liegen fast an der Grenze der Hörbarkeit; es ist deshalb unbedingte Stille im Untersuchungsraum notwendig. Der Anfänger hört die Herztöne am leichtesten mit dem binauralen Stethoskop. Noch leichter ist das Abhören der Herztöne und auch der Schallerscheinungen über der Lunge mit Hilfe eines *Körperschallmikrophones*, Verstärkers und binauraler elektrischer Stethoskope. Es ergibt sich dabei die Möglichkeit, die Schallerscheinungen zunächst so zu verstärken, daß sie auch dem Anfänger deutlich werden; sie können dann anschließend wieder auf normale Lautstärke abgeschwächt werden, ohne daß sie jetzt dem nunmehr Erfahrenen unbemerkt bleiben. Manche Elektrokardiographen, wie z. B. der „*Elektroaudiograph*“ (vgl. S. 102) sind auch als ärztliches Auskultationsgerät mit Verstärkung eingerichtet und können daher zweckmäßig für den Unterricht herangezogen werden.

Hört man die Herztöne einer sitzenden oder ruhig stehenden Versuchsperson ab, läßt diese hierauf eine Reihe tiefer Kniebeugen ausführen und auskultiert wieder, so findet man nach der Arbeitsleistung zweierlei Veränderungen: erstens eine Beschleunigung der Herzfrequenz, die zu einer Verkürzung der Pause führt, so daß die Herztöne *rascher* aufeinanderfolgen; zweitens häufig eine schärfere Akzentuierung des zweiten Tones.

### 31. Beobachtung der Lungen und des Herzens bei Röntgendurchleuchtung.

Die kurzwelligen Röntgenstrahlen haben die Fähigkeit, die Gewebe unseres Körpers je nach ihrer Dichte verschieden stark zu durchdringen. Da die Röntgenstrahlen für unser Auge unsichtbar sind, müssen sie mit einem Fluoreszenzschirm (z. B. Bariumplatinzyanür, grün fluoreszierend, oder Kalziumwolframat, blau fluoreszierend) in sichtbares Licht verwandelt werden. Die Versuchsperson bzw. der Kranke wird zwischen die Röntgenröhre und den Fluoreszenzschirm gestellt und der Schirm möglichst dicht dem Brustkorb angelegt. Dichte Organe, wie Knochen, Herz oder Leber, erscheinen als dunkle Schatten, die Lunge als heller, ausgesparter Raum (normales Durchleuchtungsbild in Abb. 36). In der Mitte liegt die Schattenmasse *H* des Herzens und der großen Gefäße, in die hinein der Schatten des Brustbeines und der Wirbel-

säule fällt. Zu beiden Seiten des Herzens erscheinen die beiden hellen Lungenfelder *Lu*, in denen schräg verlaufend die Rippen sichtbar sind. Die Lungenfelder werden unten durch eine nach oben konvex verlaufende Schattenmasse *Le*, die der Leber und dem Magen angehört, begrenzt. Die Grenzlinie zwischen Lungenfeldern und Leberschatten entspricht dem Zwerchfell *Z*. Ihm sitzt der Schatten des Herzens *H* auf. Die rechte Grenze des Herzschattens wird durch den rechten Vorhof (*r. V.*) und zum Teil

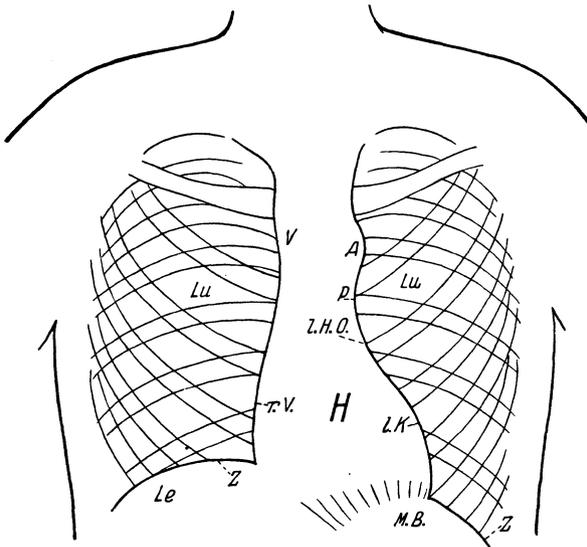


Abb. 36. Schematische Darstellung des Röntgenbildes bei Durchleuchtung des Brustkorbes. *H* Herzschatten; *Le* Leberschatten; *Lu* Lungenfelder; *M.B.* Magenblase; *Z* Zwerchfell. Grenzen des Herzschattens: *A* Aorta; *P* Pulmonalis; *l.H.O.* linkes Herzrohr; *l.K.* linke Kammer; *r.V.* rechter Vorhof; *V* Vena cava sup.

durch die Vena cava sup. (*V*) gebildet, die linke oben durch den Aortenbogen *A*, die Pulmonalis *P*, in der Mitte durch das linke Herzrohr (*l.H.O.*) und gegen die Herzspitze zu durch die linke Kammer (*l.K.*). Unterhalb der Herzspitze erscheint im Leberschatten oft eine rundliche oder ovale helle Stelle, die mit Luft gefüllte „Magenblase“ (*M.B.*).

Die **Beobachtung der Lunge** zeigt zunächst die bei mittlerer Atmung nur geringen respiratorischen Verschiebungen des Zwerchfelles. Bei *maximaler* Ein- bzw. Ausatmung läßt sich unmittelbar die respiratorische Verschieblichkeit ersehen und messen. Das Ergebnis der Perkussion kann so objektiv nachgeprüft werden.

Bei der maximalen Inspiration wird das Lungengewebe infolge seiner Dehnung und auch des größeren Luftgehaltes für die Strahlen durchlässiger, die Lungenfelder werden daher *heller* und *klarer*, die Rippenschatten treten deutlicher hervor; bei maximaler Expiration werden die Lungenfelder *grau* und die Rippenschatten verschwommen. Auch die Bewegung der Rippen während der Atmung ist zu sehen.

**Am Herzen** soll zunächst die Gestalt des Herzschattehs betrachtet werden und die *Pulsation*, die sich besonders deutlich im Gebiet der linken Kammer (*l. K.*) und der Herzspitze zeigt.

Vor dem Röntgenschild lassen sich auch der *MÜLLERSche* und der *VALSALVASche Versuch* ausführen. Beim **MÜLLERSchen Versuch** wird zuerst maximal ausgeatmet und dann versucht, so stark wie möglich einzuatmen, *ohne daß man tatsächlich Luft einströmen läßt*. Die Glottis ist dabei geschlossen. Infolge des Saugzuges füllt sich das rechte Herz besonders stark, was zu einer Erweiterung und Vergrößerung des Organes führt, die im Schattenbild gut zu sehen ist. Bei vielen Menschen kommt es dabei auch zu einer *Pulsbeschleunigung*. Beim **VALSALVASchen Versuch** wird zuerst maximal eingeatmet und dann versucht, die Luft auszupressen, wobei aber die Glottis geschlossen wird, so daß in Wirklichkeit *keine Luft ausströmen kann*. Infolge der Drucksteigerung im Thorax wird das Einströmen des Blutes in das rechte Herz erschwert, die Austreibung aus dem linken erleichtert; der Herzschattehs muß sich daher merkbar verkleinern. Bei manchen Menschen kommt eine *Verlangsamung* der Herztätigkeit hinzu. Die Ausführung des *VALSALVASchen Versuches* (*Preßdruckprobe*) in Verbindung mit Blutdruckmessungen ist auch für den Sportarzt ein wichtiges Untersuchungsverfahren zur Erkennung minder leistungsfähiger Herzen.

### 32. Beobachtung der Aktionsströme des schlagenden Froschherzens.

*Erforderlich:* Frosch, Präparierbesteck, Faden, Froschtuch, Glasplatte, Froschringer, Schälchen, Pinsel, Kapillarelektrometer, unpolarisierbare Elektroden, Ringer-Tonkugel, gesättigte Zinksulfatlösung, Pipette, Leitungsdrähte.

Zur Untersuchung aller bioelektrischen Ströme sind *hochempfindliche*, für die rasch ablaufenden Aktionsströme ferner auch *schnell reagierende* Instrumente nötig, z. B. ein **Kapillarelektrometer**, wie es in einer gebräuchlichen Ausführung durch Abb. 37 schematisch dargestellt wird. Wenn auch das Kapillarelektrometer kein hochwertiges, weil nicht verzerrungsfreies Anzeigeeinstrument darstellt, so bietet es dafür den Vorteil des höchst einfachen Baues,

einfachster Bedienung und einer gewissen Unverwüstlichkeit; es ist daher vor allem für das Praktikum geeignet, um die bioelektrischen Elementarerscheinungen kennenzulernen. Das Kapillarelektrometer besteht aus den beiden Glasröhren  $R_1$  und  $R_2$ , die oben bogenförmig ineinander übergehen und unten durch die Kapillare  $Ka$  miteinander in Verbindung stehen. Die obere Verbindung ist nur für die Füllung der Röhren wichtig, für den Gebrauch des Apparates aber bedeutungslos. Im Rohr  $R_1$  befindet sich Schwefelsäure ( $S$ ), im Rohr  $R_2$  Quecksilber ( $Q$ ). Beide Flüssigkeiten stoßen in der Kapillare zusammen, wobei die Höhe der Quecksilbersäule durch die Ausbildung eines Gleichgewichtszustandes zwischen der Oberflächenspannung des Meniskus  $M$  in der Kapillare und dem Gewicht des Quecksilbers  $Q$  im Rohr  $R_2$  bedingt ist. Der der Schwefelsäure durch die Klemme  $K_1$  unter Vermittlung des Quecksilbertropfens  $QT$ , bzw. dem Quecksilber  $Q$  durch die Klemme  $K_2$  zugeleitete Strom verändert infolge elektrolytischer Polarisation die Oberflächenspannung des Quecksilbermeniskus, wodurch sich plötzlich ein neuerlicher Gleichgewichtszustand unter Verschiebung der Quecksilbersäule ausbildet. Erhöhung der Oberflächenspannung führt zu einer Abwärtsverschiebung des Meniskus, Sinken der Oberflächenspannung zu dessen Steigen. Der

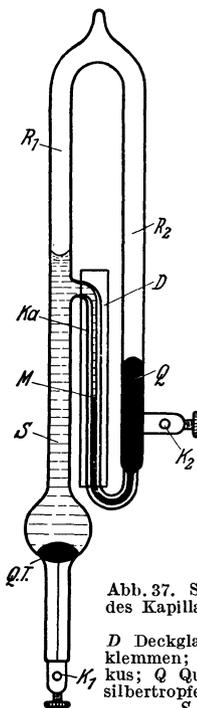


Abb. 37. Schematische Darstellung des Kapillarelektrometers (Dauerkapillare).  
 $D$  Deckglas;  $K_1$ ,  $K_2$  Anschlußklemmen;  $Ka$  Kapillare;  $M$  Meniskus;  $Q$  Quecksilber;  $QT$  Quecksilbertropfen;  $R_1$ ,  $R_2$  Glasröhren;  $S$  Schwefelsäure.

*Meniskus verschiebt sich in der Richtung des Stromes.* Das Kapillarelektrometer ist infolge seines hohen Widerstandes ein Spannungsmesser. Damit die Polarisation wieder verschwindet, der Meniskus in die Ausgangsstellung zurückkehrt, muß das Instrument nach der Messung *kurzgeschlossen* werden.

Die kleinen Verschiebungen des Meniskus werden durch mikroskopische Beobachtung festgestellt.

Abb. 38 zeigt die beobachtungsbereite **Aufstellung eines Kapillarelektrometers**. Zur Verbesserung des mikroskopischen Bildes wird auf die Kapillare  $Ka$  ein Deckgläschen  $D$  (Abb. 37 und 38) aufgeklebt; die Scharfeinstellung des Meniskus erfolgt wie sonst beim Mikroskop durch die Mikrometerschraube  $M$ . Um den Ausschlag des Meniskus genau ablesen zu können, ist das Mikroskop mit

einem Meßokular versehen, das im Inneren eine Meßeinteilung trägt. Vor der Scharfeinstellung des Meniskus ist das Meßokular aus dem Mikroskop zu nehmen, an das Auge zu halten und gleichzeitig gegen das Fenster zu richten; dann dreht man an der Fassung

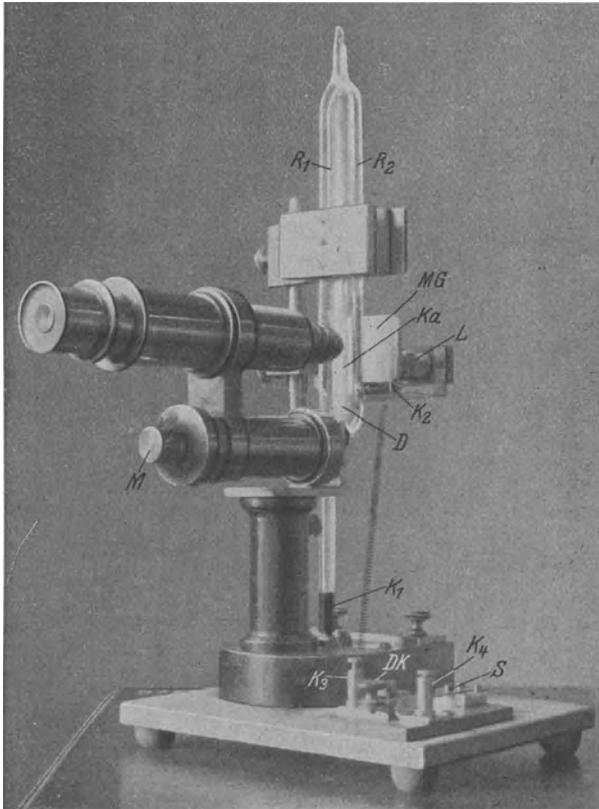


Abb. 38. Aufstellung eines Kapillarelektrometers.

*D* Deckglas an der Kapillare; *DK* Druckknopf; *K<sub>1</sub>*, *K<sub>2</sub>* Anschlußklemmen des Instrumentes; *K<sub>3</sub>*, *K<sub>4</sub>* Anschluß für die Elektroden; *Ka* Kapillare; *L* Niedervoltlämpchen; *M* Mikrometerschraube; *MG* Emailglasscheibe; *R<sub>1</sub>*, *R<sub>2</sub>* Glasröhren des Kapillarelektrometers; *S* Kurzschlußschalter.

der Augenlinse so lange im Sinn des Uhrzeigers oder entgegen diesem, bis die Teilung scharf erscheint. Dann wird das Okular in das Mikroskop zurückgebracht und so gedreht, daß der Meßstab lotrecht und die Zahlen seitenrichtig stehen; wird jetzt das

Mikroskop auf den Meniskus eingestellt, so erscheinen Teilung *und* Meniskus *gleichzeitig scharf*, so daß der Ausschlag des Instruments leicht abgelesen und in Teilstrichen angegeben werden kann. Durch einen auf dem Grundbrett befestigten Schalter *S* ist das Instrument dauernd *kurzgeschlossen*. Der nachzuweisende Strom wird zu den Klemmen  $K_3$  und  $K_4$  geleitet und der Druckknopf *DK* für die Dauer der Beobachtung gedrückt, wodurch der Kurzschluß unterbrochen und eine unmittelbare Verbindung von  $K_3$  und  $K_4$  mit den Klemmen  $K_1$  und  $K_2$  am Instrument selbst hergestellt wird. Zur Beleuchtung genügt gewöhnlich das diffuse Tageslicht; das Instrument ist am besten auf einem Fenstertisch aufzustellen. Zur *künstlichen* Beleuchtung ist am Instrument ein kleines Niedervoltlämpchen *L* mit einer vorgeschalteten Emailglasscheibe *MG*

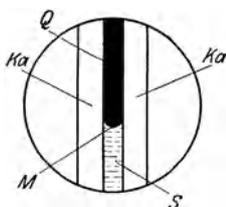


Abb. 39. Schematische Darstellung des Gesichtsfeldes im Mikroskop des Kapillarelektrometers.

*Ka* Wand der Kapillare;  
*M* Meniskus; *Q* Quecksilbersäule; *S* Schwefelsäure.

Um das Lämpchen in Betrieb zu setzen, wird ein Anschluß an einen Akkumulator oder eine Niedervoltleitung vorgenommen, wobei im letzten Fall ein Widerstand (S. 233 und Abb. 92) einzuschalten ist. Vor der Zuleitung des bioelektrischen Stromes muß man sich überzeugen, daß das mikroskopische Bild der Abb. 39 entspricht, d. h. es müssen die Kapillare *Ka* und die Quecksilbersäule *Q* mit ihrem Meniskus *M* im Gesichtsfeld zu sehen sein, anderenfalls ist das Kapillarelektrometer entsprechend zu verschieben. Da das mikroskopische Bild *verkehrt* ist, erscheint das Quecksilber *oben*. In Abb. 39 ist die Teilung des Mersokulares nicht dargestellt; durch Drehen des Okulares bringt man diese in lotrechte Lage, so daß die Meniskusverschiebungen in Teilstrichen abgelesen werden können.

Die **Ableitung der bioelektrischen Ströme** vom Gewebe erfolgt mit unpolarisierbaren Elektroden, deren Herstellung bereits auf S. 78 besprochen wurde. Zwei gleichartig aufgebaute Elektroden werden, wie Abb. 40 zeigt, im Elektrodenhalter so befestigt, daß die Tontiefel gegeneinander gerichtet sind; zwischen diesen wird das aus dem Körper eines dekapitierten Frosches und nach Rückenmarksausschnitt ausgeschnittene Herz *H<sub>z</sub>* gelegt. Der Sinus muß selbstverständlich erhalten bleiben, damit das Herz weiter pulsiert. Die Herzspitze soll auf dem einen Stiefel, die Herzbasis mit dem Vorhof auf dem anderen Stiefel liegen; es ist darauf zu achten, daß die Tontiefel selbst sich nicht berühren (sonst Kurzschluß für die Aktionsströme). Drückt man nun während der mikroskopischen

Beobachtung auf den Knopf *DK* (Abb. 38), so sieht man sofort die ruckweisen Verschiebungen des Meniskus infolge der rhythmischen Aktionsströme des Herzens; man erkennt am Ausschlag des Instruments deutlich einen *kleineren* Impuls (Vorhof) und zumindest *einen größeren* (Kammer).

### 33. Aufzeichnung des Elektrokardiogramms und der Herztöne beim Menschen.

*Erforderlich:* Ruhebett (am zweckmäßigsten der „Siesta-Medizinal-Stuhl“), Elektroaudiograph, Elektrodenbinden, Stanniol- oder Bleielektroden, 10%ige Kochsalzlösung, Körperschallmikrophon, binaurales elektrisches Stethoskop, Zirkel, Maßstab.

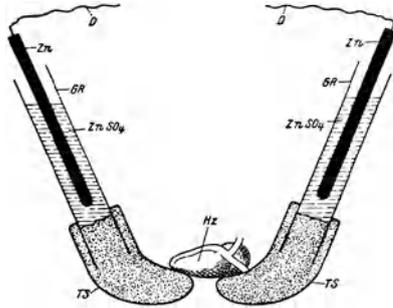


Abb. 40. Unpolarisierbare Tonstiefelektroden zur Ableitung der Herzaktionsströme.

*D* weiche, biegsame Zuleitungsdrähte; *GR* Glasrohr der unpolarisierbaren Elektroden; *HZ* Froschherz; *TS* Tonstiefel; *Zn* Zinkstab; *ZnSO<sub>4</sub>* gesättigte Zinksulfatlösung.

Die elektrischen Begleiterscheinungen der Herztätigkeit sind nicht bloß vom ausgeschrittenen Organ, sondern auch vom unversehrten Organismus, beim Menschen z. B. von den Extremitäten ableitbar. Die gewöhnlich auf dem Wege optisch-photographischer Aufzeichnung erhaltene Kurve wird **Elektrokardiogramm** (*Ekg*) genannt; im *Ekg* sind mehrere Zacken zu unterscheiden, die nach EINTHOVEN mit den Buchstaben *P* bis *T* bezeichnet werden (Abb. 43, oberste Zeile). *P* entspricht der *Vorhof*-kontraktion, von *Q* bis *T* reicht der *Kammerkomplex*. Die Strecke von Anfang *P* bis Anfang *Q* entspricht der Überleitung der Erregung bis zur Kammer und wird *Überleitungszeit* genannt. Gebräuchlich sind drei Ableitungen des *Ekg*, die mit *I*, *II* und *III* bezeichnet werden und deren Elektrodenanordnung aus Abb. 41 hervorgeht. Grundsätzlich zeigt das *Ekg* in allen drei Ableitungen dieselbe Form, es sind jedoch die einzelnen Zacken verschieden groß oder verschieden gerichtet.

Zur *Ableitung des Ekg* werden feuchte Bindenelektroden verwendet, d. s. mit Kochsalzlösung getränkte Streifen, die um die Extremitäten gewickelt werden und in die man biegsame Stanniol- oder Bleibleche *während des Wickelns* einschiebt; an die Bleche ist das Anzeigeelement anzuschließen. Um die Amplituden der stets mitabgeleiteten Muskelaktionsströme, welche die sog. *Verritterung* der Kurven bedingen (vgl. Abb. 43 oberste und unterste

Zeile), möglichst klein zu halten, wählt man zur Ableitung solche Extremitätenstellen, unter denen sich wenig Muskulatur befindet; bei der Ableitung *II* und *III* wird deshalb die eine der Metallfolien

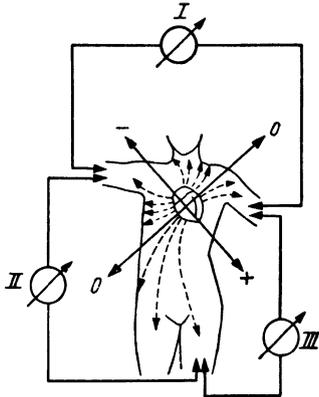


Abb. 41. Schema der drei gebräuchlichen Ableitungen des *Ekg* von den Extremitäten des Menschen.

I. Linker Arm — rechter Arm;  
II. Rechter Arm — linkes Bein;  
III. Linker Arm — linkes Bein.

(Aus H. REIN, Physiologie des Menschen, 5./6. Aufl.)

über der medialen Tibiafläche angebracht. Außerdem wird die Versuchsperson auf ein Ruhebett gelegt und muß während der *Ekg*-Aufnahme ihre Muskeln so weit als möglich entspannen; besonders bewährt hat sich für solche Zwecke der „Siesta-Medizinal-Stuhl“, der in beliebige Stellungen gebracht werden kann und die günstigsten Bedingungen für eine allgemeine Muskelentspannung bietet. Die bei normaler Hautbeschaffenheit von den Extremitäten abgegriffene Spannung für das *Ekg* liegt um 1 mV; beim Myxödem (hoher Hautwiderstand) werden jedoch z. B. viel kleinere Spannungen geliefert („Niedervoltage“). Zur Aufzeichnung sind daher besonders empfindliche, der schnellen Schwankungen wegen auch Instrumente hoher Einstellgeschwindigkeit erforderlich;

zur ersten Registrierung des *Ekg* wurde das Kapillarelektrometer verwendet, sehr bald aber durch das Saitengalvanometer verdrängt. Heute benützt man *Verstärker-Elektrokardiographen*, welche eine Reihe von Vorteilen bieten, u. a.: Vereinigung des Anzeige- und Registriergerätes (Aufnahmekamera) zu einem einheitlichen, leicht tragbaren Instrument (Gewicht 20—30 kg gegen 100—200 kg beim Saitengalvanometer); hoher Eingangswiderstand, daher auch keine Entstellung der Kurven durch Stromentnahme aus dem Körper; Verwendbarkeit wenig empfindlicher, dafür aber praktisch trägheitslos reagierender, genügend gedämpfter Oszillographen, da der eingebaute Verstärker deren geringe Empfindlichkeit kompensiert; Unempfindlichkeit gegen Überlastung und mechanische Beanspruchung.

Abb. 42 zeigt als Beispiel die Schaltplatte eines *Verstärker-Elektrokardiographen*, der auch zur Aufnahme der Herztöne und zu deren gleichzeitiger Niederschrift mit dem *Ekg* eingerichtet ist („*Elektroaudiograph*“). Ein solches Gerät besteht meist aus dem *Apparatekoffer* und dem *Batterie*koffer, die beide durch das *Batterie*-

*kabel* miteinander verbunden werden. Zum Anschluß der Patientenelektroden dient das *Patientenkabel*, das sich in drei Einzelleitungen mit den Bezeichnungen *L. H.*, *R. H.* und *L. B.* (linke Hand, rechte Hand, linkes Bein) auflöst. Die beiden Kabel werden an den Apparatkoffer seitlich mit Vielfachsteckern angeschlossen. Die Frontplatte (Abb. 42) zeigt ein Voltmeter 1 und die beiden Tasten 2 und 3 zur Kontrolle der Batteriespannungen (Heiz- und Anoden-

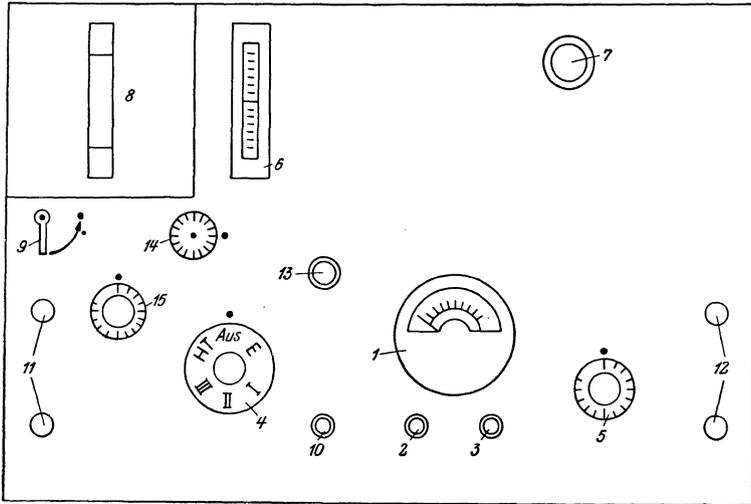


Abb. 42. Schaltplatte des Elektroaudiographen, von oben gesehen.

1 Voltmeter; 2, 3 Schalttasten zur Messung der Batteriespannungen; 4 Einknopfschalter zur Inbetriebsetzung und Ableitungswahl; 5 Regelknopf für die Verstärkung; 6 Beobachtungsfenster für den Kontroll-Lichtpunkt; 7 Regelknopf für die Nullage des Lichtpunktes; 8 Aufnahmekamera; 9 Knebel zur Einschaltung des Laufwerkes; 10 Lichttaste; 11 Anschlüsse für die binauralen elektrischen Stethoskope; 13 Kontroll-Lampe; 14 Zähluhr für den Vorrat an unbelichtetem Registrierpapier; 15 Regelknopf für das Körperschallmikrophon bei Aufnahme von Summenkurven (*Elek* + Herztönen).

batterie), den Einknopfschalter 4 zur Inbetriebsetzung des Gerätes und Wahl der Ableitung sowie den Regelknopf 5 für die Verstärkung, die so eingestellt wird, daß entsprechend große Ausschläge eines Kontroll-Lichtpunktes im Beobachtungsfenster 6 erscheinen. Befindet sich der Kontroll-Lichtpunkt in der Ruhelage nicht in der Fenstermitte, so kann er durch den Stellknopf 7 des Oszillographen dorthin gebracht werden. Zur Aufnahme der Kurven dient die mit einem Querspalt versehene Kamera 8, auf die über den Spiegel des Oszillographen der Lichtspalt einer eingebauten Beleuchtungseinrichtung geworfen wird; ein im Apparat

enthaltenes Federwerk setzt sich beim Verdrehen des Schaltknebels 9 in Gang und zieht das lichtempfindliche Papier hinter dem Kameraspalt vorbei. Gleichzeitig wird eine schwingende Feder eingeschaltet, welche eine zweite, den ganzen Kameraspalt beleuchtende Lichtquelle rhythmisch freigibt; auf diese Weise wird eine Zeitschreibung in Form von Ordinatenstrichen geliefert, deren Abstand wie in Abb. 43 genau  $\frac{1}{20}$  sec entspricht. Zur Be-

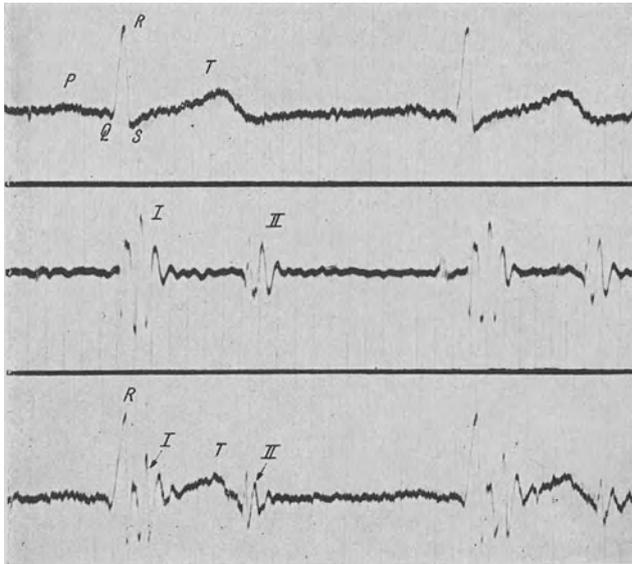


Abb. 43. Aufnahmen mit dem Elektroaudiographen.

*Oben:* Elektrokardiogramm in Ableitung II (*P* Vorhofsacke, *Q* bis *T* Kammerkomplex).  
*Mitte:* Herztöne (*I* erster, *II* zweiter Ton). *Unten:* Summenkurve von Elektrokardiogramm und Herztönen.

In allen Kurvenstücken geben die Ordinaten einen Zeitabstand von  $\frac{1}{20}$  sec an.

urteilung der Ausschlagsgröße ist es erforderlich, während der *Ekg*-Aufnahme eine kleine Spannung bekannter Größe in den Stromkreis zu bringen (*Eichung*); durch Druck auf die Eich Taste 10 verschiebt sich die Ruhelinie um 1 mV, so daß aus diesem Ausschlag die Spannung für die einzelnen *Ekg*-Zacken berechnet werden kann. Zur Aufzeichnung von Herz- und Lungengeräuschen sind bei 11 schließlich Anschlüsse für ein Körperschallmikrophon vorgesehen; soll während der Aufnahme gleichzeitig abgehört oder das Gerät überhaupt nur zum Zweck der Auskultation benützt werden, so

lassen sich binaurale elektrische Stethoskope bei 12 anschließen. Die erfolgte Einschaltung des Gerätes zeigt das Aufleuchten der Lampe 13 an; die Länge des noch im Apparat befindlichen Registrierpapiers kann an der Zähluhr 14 abgelesen werden.

Die **Aufnahme des Ekg** beginnt mit der Einschaltung des Gerätes (Knopf 4 auf „E“ = Eichung allein eingeschaltet), damit sich während der folgenden Vorbereitungen der Verstärker auf Konstanz einstellen kann, was immerhin einige Minuten dauert. Dann werden die Arme und das linke Bein der auf das Ruhebett gelagerten Versuchsperson wie früher beschrieben mit den Bindeelektroden versehen und die Metallplatten an das Patientenkabel angeschlossen. Man prüft hierauf die Ruhelage des Lichtpunktes im Fenster 6, wartet noch zu, falls er langsame Pendelbewegungen zeigt, stellt ihn gegebenenfalls mit dem Knopf 7 auf die Mitte ein und regelt den Verstärker mit dem Knopf 5 so, daß beim Druck auf die Eichaste 10 der Lichtpunkt einen Ausschlag von etwa 1 cm ausführt. Dann können der Hauptschalter 4 auf „I“ gestellt und die Ausschläge des *Ekg* im Fenster 6 beobachtet werden; sind sie dort deutlich zu sehen — im nicht zutreffenden Fall Knopf 5 weiter aufdrehen —, so kann die Aufzeichnung durch Umlegen des Knebels 9 begonnen werden; während dieser Zeit muß die Versuchsperson möglichst ruhig liegen und soll womöglich auch nicht atmen. Nach etwa 5 sec wird die Aufzeichnung unterbrochen, der Hauptschalter 4 auf „II“ gestellt, die Beruhigung des Verstärkers abgewartet (Beobachtung des Lichtpunktes im Fenster 6), und in gleicher Weise dann das *Ekg* in dieser Ableitung für etwa 5 sec registriert, schließlich noch die Ableitung *III* verzeichnet. *Während jeder Registrierung* wird einmal für je eine halbe Sekunde die Eichaste 10 schnell niedergedrückt, um auch einen *Eichausschlag* in die Kurven zu bringen. Wie schon früher erwähnt, ändert sich die Größe der einzelnen *Ekg*-Zacken mit der Lage des Herzens zu den Elektroden; schon bei tiefer Ein- und Ausatmung treten Verlagerungen des Herzens auf, die sich in Änderungen des *Ekg* bemerkbar machen. Man schließt daher an die Aufzeichnung des *Ekg* bei normaler Atmung oder Atemruhe noch Aufnahmen während *tiefer Ein- und Ausatmung* an, die zumindestens mit Ableitung *II*, womöglich aber mit allen 3 Ableitungen durchgeführt werden sollen.

Zur **Aufnahme der Herztöne** wird das Körperschallmikrophon an den Verstärkereingang angeschlossen, der Hauptschalter 4 auf „HT“ gestellt, das Mikrophon auf eine Auskultationsstelle aufgesetzt und möglichst ruhig gehalten sowie mit einem bei 12 angeschlossenen binauralen elektrischen Stethoskop nach entsprechen-

der Regelung am Verstärkungsknopf 5 abgehört; haben die Ausschläge im Beobachtungsfenster 6 eine entsprechende Größe, so kann während Atemruhe der Versuchsperson die Registrierung vorgenommen werden (Abb. 43 Mitte).

Der Elektroaudiograph bietet auch die Möglichkeit, eine **Summenkurve von Ekg und Herztönen** zu schreiben, d. h. beides in einer einzigen Kurve darzustellen (vgl. Abb. 43, unterste Zeile). Aus einer solchen Summenkurve kann die *zeitliche Zuordnung* der beiden äußeren Zeichen der Herztätigkeit zueinander und zum Ablauf der Systole überhaupt entnommen werden; für den Arzt ergibt sich daraus die Möglichkeit, systolische und diastolische Herzgeräusche in pathologischen Fällen als solche zu erkennen, was infolge der bei Herzfehlern vorkommenden Frequenzbeschleunigung nicht immer leicht ist. Zur Aufnahme einer solchen Summenkurve wird das Gerät in der schon bekannten Weise in Betrieb genommen, wobei sowohl die Elektroden als auch das Körperschallmikrophon an den Apparatekoffer angeschlossen sein müssen; der Hauptschalter 4 wird auf „I“, „II“ oder „III“ gestellt, womit gleichzeitig auch der Mikrophonstromkreis an den Verstärkereingang gelegt ist. Die Ausschlagsgröße für das *Ekg* wird wieder mit dem Regelknopf 5 für die Verstärkung passend eingestellt; damit auch die Ausschläge der Herztöne in einem günstigen Größenverhältnis stehen, ist in diesem Fall noch ein Regelknopf 15 für das Mikrophon zu bedienen.

Nach Abschluß der Aufnahmen wird die Kamera 8 aus dem Apparatekoffer herausgezogen und in die Dunkelkammer gebracht. In der unteren Kassette befindet sich das belichtete Registrierpapier, das in bekannter Weise mit einem kontrastreich und schnell arbeitenden Entwickler entwickelt, fixiert, gewaschen und getrocknet werden muß.

Die **Auswertung der Kurven** erfolgt zweckmäßig in einer folgenden Praktikumsstunde. Zunächst sind die drei Ableitungen bei mittlerer Atmung oder bei Atemruhe miteinander zu vergleichen und die Abweichungen in den Aufnahmen während tiefer Ein- und Ausatmung herauszufinden. An Hand der Eichausschläge und mit Hilfe von Zirkel und Maßstab werden dann die bei der *R*- und *T*-Zacke in den drei Ableitungen jeweils abgegebenen Spannungen berechnet, schließlich die Überleitungszeit mit Hilfe der Zeitmarken ausgemessen (normal zwischen 0,1—0,2 sec). Aus den in das Protokollheft eingetragenen Spannungswerten für *R* und *T* in den verschiedenen Ableitungen kann auch geprüft werden, daß die Größe einer Zacke in der Ableitung *II* gleich der algebraischen Summe der Größen der gleichen Zacke in den Ableitungen *I* und *III*

sein muß. Schließlich wird die Summenkurve von *Ekg* und Herzton untersucht und festgestellt, in welchen Augenblicken der Systole die *R*- und *T*-Zacke entstehen; dies ist dadurch möglich, daß das Auftreten des 1. und 2. Herztones bekannten Phasen der Kammersystole entspricht.

### 34. Palpation des Pulses.

Bei jeder Systole entsteht im Arteriensystem ein Druckstoß, der sich als Schlauchwelle in die Peripherie ausbreitet und an oberflächlich gelegenen Arterien, z. B. der Karotis, Radialis oder Femoralis als *Puls* getastet werden kann. Am gebräuchlichsten ist die Abtastung (*Palpation*) des Pulses an der A. radialis, die durch Auflegen der *mittleren* Finger vorgenommen wird. Man kann mit ihr nicht bloß eine Pulszählung und damit eine Bestimmung der Herzfrequenz vornehmen, sondern eine ganze Reihe den Kreislauf kennzeichnender Pulsqualitäten feststellen:

1. nach der *Frequenz*: Pulsus frequens und P. rarus,
2. nach dem *Rhythmus*: Pulsus regularis und P. irregularis,
3. nach dem zeitlichen Ablauf, d. i. der *Anstiegs- und Abstiegssteilheit* der Druckschwankung: Pulsus celer („hüpfend“, schneller Anstieg und Abfall, z. B. besonders ausgeprägt bei der Aorteninsuffizienz) und P. tardus („schleichend“, langsamer Anstieg und Abfall, z. B. besonders ausgeprägt bei der Aortenstenose),
4. nach der *Höhe* oder *Größe* (abhängig vom Unterschied zwischen systolischem und diastolischem Blutdruck, d. i. der Pulsdruckamplitude): Pulsus magnus und P. parvus,
5. nach der *Härte* bzw. *Unterdrückbarkeit*: Pulsus durus (bei hohem Blutdruck) und P. mollis (bei niedrigem Blutdruck).

Zur Übung in der Palpation prüfen die Gruppenteilnehmer untereinander ihren Puls und legen eine Tabelle über die gefundenen Pulsfrequenzen an. Es ist ferner die Pulsfrequenz während tiefer *Ein- und tiefer Ausatmung* zu prüfen und auf die mit der Atmung einhergehenden Frequenzschwankungen (*respiratorische Arrhythmie*) zu achten. Man untersuche ferner die Pulsbeschaffenheit einer bestimmten Versuchsperson zuerst in der Ruhe, dann sofort nach 10 tiefen Kniebeugen und dann wieder nach einer Ruhepause von drei Minuten. Welche Unterschiede werden nach der Arbeitsleistung gefunden?

### 35. Aufzeichnung des Karotispulses auf dem Kymographion.

*Erforderlich*: MAREYSche Kapsel, Strohschreiber, Gummischlauch, T-Rohr mit Quetschhahn, Pulskapsel oder Glastrichter von 20–30 mm Durchmesser, Kreuzkopf, Stativ, Kymographion, elektromagnetischer Zeit-

schreiber, Anschluß an eine „Uhr“ Leitung oder Vorrichtung zur Zeitschreibung (Metronom oder BOWDITCHSche Uhr), Leitungsdrähte.

Mit Hilfe einer MAREYSchen Kapsel kann die Übertragung des Pulses auf dem Luftweg, *pneumatisch*, erfolgen. Für diese Art der Aufzeichnung eignet sich gut die Karotis wegen der kräftigen Pulsationen. Die Aufzeichnung erfolgt in bekannter Weise auf dem Kymographion.

Die MAREYSche Kapsel (Abb. 44) besteht aus einer flachen Metalldose *K*, über die eine Gummimembran *M* gespannt ist. Wird durch den Schlauch *Sch*, der an das in die Kapselinnere führende Röhrchen *R* gesteckt wird, Luft eingepreßt, so wölbt sich die Membran *M* nach oben und drückt dabei über den in Abb. 44 sichtbaren Metallsteg *Z* auf den Schreibhebel *H*. Die Schreiberspitze *Sp* macht dementsprechend einen Ausschlag nach oben, senkt sich aber wieder, wenn die Luft aus der Kapsel entweichen kann. Um am Beginn des Versuches den Schreibhebel in die Waagerechte zu bringen, ist seine Achse an einem Stellhebel *SH* befestigt. Das ganze Gerät ist mit einem Stab *St* in Verbindung, der mit Hilfe eines Kreuzkopfes *Kr* an ein gewöhnliches Stativ *S* geklemmt wird. Um die Schreiberspitze *Sp* an die berußte Trommel möglichst zart und mit geringster Reibung anlegen zu können, ist die Kapsel an einer Feder befestigt, die durch die Schraube *Sr* mehr oder weniger durchgebogen werden kann. Die Pulsationen der Arterie werden so aufgezeichnet, daß man eine als flache Holzdose

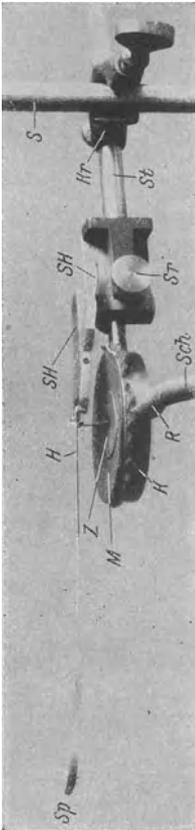


Abb. 44. MAREYSche Kapsel.  
*H* Schreibhebel; *K* Kapsel; *Kr* Kreuzkopf; *M* Membran; *R* Rohr; *S* Stativ; *Sch* Gummischlauch; *SH* Stellhebel; *Sp* Schreiberspitze; *Sr* Feininstellschraube; *St* Befestigungsstab der Kapsel; *Z* Metallsteg.

ausgebildete Pulsapsel oder auch einen kleinen Trichter, durch den Schlauch *Sch* mit der MAREYSchen Kapsel verbunden, über der Karotis aufsetzt; durch die Pulsationen der Arterie entstehen Verdichtungen und Verdünnungen der Luft. Um eine zu starke Dehnung der Gummimembran beim Aufpressen des Trichters zu vermeiden, schaltet man in den Verlauf des Schlauches

ein T-Rohr ein, dessen seitlicher Ansatz mit einem Stück Gummischlauch und einem Quetschhahn versehen ist. Nach dem Aufsetzen des Trichters wird der Quetschhahn für einen Augenblick geöffnet, wodurch ein Druckausgleich stattfindet. Je nach dem Abstand der Schneide des Steges *Z* (Abb. 44) von der Drehachse des Hebels ist die Höhe der Pulse verschieden; dieser Abstand soll auf etwa 1—2 mm eingestellt werden.

Zur Aufzeichnung des Karotispulses wird rechts vom Kymographion das Stativ aufgestellt, die MAREYSche Kapsel auf diesem mit dem Kreuzkopf befestigt und schließlich die Schreiberspizze mit der in Abb. 44 sichtbaren Schraube *Sr* nur ganz zart von vorn an die Konvexität der Trommel angelegt. Unter der MAREYSchen Kapsel ist ferner ein elektromagnetischer Zeitschreiber zur Aufzeichnung von Sekundenmarken zu befestigen (beide Schreiberspitzen genau untereinander!). Die Windflügel des Kymographions werden so eingestellt, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel etwa 5—10 mm in der Sekunde beträgt. Es wird dann die Puls-kapsel oder der Trichter über der Karotis aufgesetzt, für einen Augenblick eine Verbindung mit der Außenluft durch kurzes Öffnen des Quetschhahnes hergestellt und schließlich am Stellhebel der MAREYSchen Kapsel der Schreiber in die Waagerechte gebracht. Während der Aufzeichnung wird die die Puls-kapsel haltende Hand zweckmäßigerweise abgestützt und der Atem angehalten.

Bei richtiger Lage der Kapsel oder des Trichters über der Karotis lassen sich Puls-kurven schreiben, die eine Höhe von 5—10 mm haben. An der Karotiskurve sind der aufsteigende (*anakrote*) und der absteigende (*katakrote*) Schenkel zu unterscheiden sowie die im Verlauf des katakroten Schenkels auftretende *dikrote* Erhebung.

Wenn bei der ruhig sitzenden Versuchsperson die Aufzeichnung einer Reihe von Pulsen gut gelungen ist (mehrere Zacken mit deutlichem anakroten bzw. katakroten Schenkel sowie der dikroten Erhebung, die alle ohne Ver-zitterung annähernd auf einer waagerechten Linie liegen), wird der Versuch abgebrochen, die Versuchsperson macht einige tiefe Kniebeugen und setzt hierauf die Aufzeichnungen des Karotispulses fort. Der Einfluß der Körperarbeit zeigt sich vor allem in der Frequenzbeschleunigung des Pulses. Nach Beendigung des Versuches wird das berußte Blatt vom Kymographion abgenommen, in bereits bekannter Weise fixiert und getrocknet. Auf der getrockneten Kurve ist an Hand der mitaufgezeichneten Sekundenmarken die Schlagzahl des Herzens in der Ruhe und nach der Arbeitsleistung zu bestimmen;

die Versuchsergebnisse werden in das Protokollheft eingetragen und durch Einkleben entsprechender Kurvenausschnitte belegt.

### 36. Nachweis des Volumpulses mit dem Fingerplethysmographen.

*Erforderlich:* Fingerplethysmograph mit Abschlußdichtung aus Gummi, Wasser von etwa 40°.

Da bei jedem Herzschlag Blut in das Gefäßsystem gepreßt wird, nimmt das *Volumen* der Organe mit jedem Herzschlag vorübergehend zu. Diese rhythmische Volumzunahme läßt sich mit Hilfe der *Plethysmographen* nachweisen. Der *Fingerplethysmograph*, der in Abb. 45 dargestellt ist, besteht aus einer Glastube *T* mit einer angeschmolzenen Kapillare *K*. In die Tube *T* paßt ein Finger so hinein, daß das Lumen nach unten zu vollkommen abgeschlossen wird. Der Raum über dem Finger ist mit *warmem* Wasser von etwa 40° gefüllt (kaltes Wasser führt zur Gefäßkontraktion und damit zur Verkleinerung des Volumpulses); beobachtet wird die Lage des Flüssigkeitsmeniskus *M* in der Kapillare. Der Meniskus macht als Zeichen der Volumvergrößerung bei jedem Puls einen beträchtlichen Ausschlag.

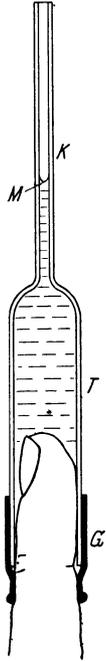


Abb. 45. Fingerplethysmograph.  
G Gummidichtung; K Kapillare;  
M Meniskus; T Glastube.

Zum **Füllen** wird das obere Ende der Kapillare mit dem Finger verschlossen, die Glastube mit der breiten Öffnung nach oben gedreht, mit warmem Wasser gefüllt und der Finger, der seinem Durchmesser nach am besten in die Tube paßt, hineingesteckt. Der Finger ist so weit einzuführen, daß ein vollständiger Abschluß erfolgt. Sodann werden Finger und Plethysmograph nach aufwärts gedreht. Sollte der Finger nicht genau in die Tube passen und das Wasser daher wieder ausfließen, so kann man entweder den Plethys-

mographen waagrecht oder nur leicht schräg nach oben halten oder man überzieht das untere Ende der Glastube mit einem Stückchen Gummischlauch *G*, der etwas vorsteht und sich dem Finger anschmiegt.

### 37. Messung des arteriellen Blutdruckes beim Menschen.

*Erforderlich:* Sphygmomanometer nach RIVA-ROCCI oder nach v. RECKLINGHAUSEN, Unterlagskissen für den Arm.

Der Druck, den das Blut gegen die Wand der Arterien ausübt, ist verschieden u. a. je nach *Alter*, *Meßort* und *Meßaugenblick*;

er ist um so kleiner, je weiter die Meßstelle vom Herzen entfernt ist, und zeigt auch an einem und demselben Meßort mit der Systole des Herzens zusammenhängende Schwankungen. Der Blutdruck wird gewöhnlich am *Oberarm* gemessen, die üblichen Zahlenangaben beziehen sich daher auf die *Arteria brachialis*. Der Ruhedruck zwischen zwei Herzkontraktionen liegt an dieser Stelle beim gesunden Menschen im mittleren Lebensalter zwischen 60 und 80 mm Hg („*diastolischer Blutdruck*“); er erhöht sich jedoch sprunghaft entsprechend jeder Herzkontraktion auf 100—120 mm Hg („*systolischer Blutdruck*“). Die Größe dieser Schwankung, d. i. der Unterschied zwischen diastolischem und systolischem Blutdruck, wird *Pulsdruckamplitude* genannt. Wenn kurzweg von „Blutdruck“ gesprochen wird, so ist damit stets der *systolische Blutdruck in der Arteria brachialis* zu verstehen.

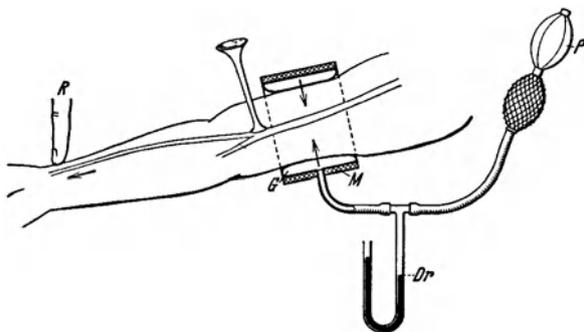


Abb. 46. Anordnung zur Blutdruckmessung am Oberarm (schematisch).

Das Gummikissen (*G*) der fest um den Oberarm gelegten Manschette (*M*) wird durch das Gebläse (*P*) mit Vorgelegeballon aufgeblasen; Messung des Druckes im Gummikissen mit dem seitlich angeschlossenen Quecksilbermanometer (*Dr*). Beobachtung des Pulses durch Palpation (Aufsetzen der Finger *R* auf die *Art. radialis*) oder durch Auskultation (Aufsetzen eines Stethoskops über der *Art. cubitalis*).

Das **Meßverfahren** (Abb. 46) besteht darin, daß zunächst der Unterarm der *sitzenden* Versuchsperson stumpfwinkelig abgebeugt und auf ein auf dem Tisch liegendes flaches Kissen gelegt wird. Der Oberarm wird dann in *Herzhöhe* mit einer Manschette *M* aus nichtdehnbarem Stoff *fest* umwickelt, die mit Gurt und Schnalle festgezogen wird. Die Manschette trägt nach innen zu ein aufblasbares Gummikissen *G*; zur Verbindung mit dem Gebläse *P* (meist ein Doppelgebläse mit Vorlageballon wie in Abb. 46) führt aus dem Gummikissen ein Schlauch heraus, der — durch entsprechendes Anlegen der Manschette — stets nach unten abgehen

muß, also *nicht geknickt* sein darf. Durch Lufteinpumpen in die Manschette läßt sich ein Druck auf die Gewebe des Oberarmes ausüben, der bei entsprechender Höhe zur vollständigen Kompression der Arterie führt und den Blutkreislauf peripher von der Meßstelle vollkommen drosselt. Durch ein an den Gebläseschlauch angeschaltetes Manometer *Dr* ist der Druck in der Manschette jederzeit ablesbar, und zwar beim Apparat nach RIVA-ROCCI an einem einfachen Quecksilbermanometer (Abb. 46), beim Apparat nach v. RECKLINGHAUSEN an einem Dosenmanometer. Bei der Verwendung von Quecksilbermanometern hat man darauf zu achten, daß sich nicht Luft in der Quecksilbersäule verfängt. Wenn dies der Fall ist, so hat man zu rasch aufgeblasen — Auslassen der Luft aus der Manschette und nochmaliges Beginnen — oder es ist zu wenig Quecksilber im Manometergefäß. Beim Dosenmanometer ist immer zuerst darauf zu achten, ob der Zeiger vor Beginn des Versuches auf den Nullpunkt zeigt, da die Dosenmanometer sich mit der Zeit ändern. Infolge dieser Abweichung würde der Blutdruck zu hoch abgelesen. Es ist daher ein vor dem Versuch schon vorhandener Zeigerausschlag vom Endwert abzuziehen. Nach beendeter Messung ist die Luft aus dem Gummikissen wieder auszulassen; dazu dient bei den meisten Ausführungen des Blutdruckmeßapparates ein Schraubenventil, das unmittelbar am Manometer selbst befestigt oder in der Leitung zur Manschette oder zwischen dem Gebläse und dem Manometer eingeschaltet sein kann. Die Manschette wird erst dann vom Oberarm abgenommen, wenn die *ganze Luft entwichen ist*; vorzeitiges Abnehmen kann zur Beschädigung des Gummikissens führen.

Die Messung des systolischen Blutdruckes wird durch *Prüfen auf Verschwinden des Pulses* ausgeführt. Dies kann palpatorisch durch Aufsetzen der Finger auf die Arteria radialis erfolgen (*R* in Abb. 46), oder auskultatorisch; bei dieser Methode beobachtet man das Auftreten des rhythmisch zischenden Geräusches, das man mit einem auf die Arteria cubitalis aufgesetzten Stethoskop (Abb. 46) hören kann; mit dem letztgenannten Verfahren ist auch die Bestimmung des *diastolischen* Blutdruckes möglich (vgl. später).

Eine **palpatorische Blutdruckmessung** wird folgendermaßen ausgeführt: Der zu Untersuchende sitzt, die Manschette liegt in Herzhöhe und wird *fest* — nicht locker! — um den Oberarm geschnallt. Aufsuchen des Pulses über der Arteria radialis, Einpumpen von Luft, bis sicher ein höherer Druck als der Blutdruck in der Manschette herrscht (etwa 160—180 mm Hg). Das Aufpumpen darf nicht zu rasch und nicht stoßweise erfolgen. Hierauf langsames Ausströmenlassen der Luft bis zum Wiederauftreten der Puls-

schläge und liest den Stand des Quecksilbermeniskus ab; besitzt das Gebläse auch einen Vorgelegeballon, so kann die Bestimmung dadurch verfeinert werden, daß man durch Umfassen und Pressen bzw. Wiederlockerlassen des Vorgelegeballones den Druck in der Manschette vorsichtig steigert oder wieder senkt, um so das Verschwinden und Wiederauftreten des Radialis pulses genauer festzustellen. Die Messung muß rasch erfolgen, zu lange Kompression des Armes ist zu vermeiden. Während der Puls verschwunden ist, darf man natürlich die palpierenden Finger nicht von der Arteria radialis entfernen, weil sonst der gerade wieder auftretende, noch ganz schwache Puls nicht gefunden würde.

Zur Bestimmung des Blutdruckes mit dem auskultatorischen Verfahren wird in gleicher Weise vorgegangen, nur erfolgt die Beobachtung des Pulses durch Aufsetzen eines Stethoskops in der Ellenbogenbeuge (Abb. 46). Bei Überdruck in der Manschette hört man zunächst noch gar nichts; läßt man den Druck allmählich sinken, so treten vorerst *leise systolische Töne* (Phase 1) auf, die sich dann zu *blasenden Geräuschen* (Phase 2) verstärken, weiters in *laute scharfe Töne* (Phase 3) übergehen, die lauter und dann wieder leiser werden und sich endlich bei weiter absinkendem Druck ziemlich plötzlich in *leise dumpfe Töne* (Phase 4) verwandeln, die schließlich auch verschwinden. Beim Auftreten der ersten leisen Töne (Beginn der Phase 1) pflegt man den *systolischen* Blutdruck abzulesen, den *diastolischen* dagegen in jenem Augenblick, in welchem die lauten Töne plötzlich leise werden (Übergang von Phase 3 in Phase 4). Die auskultatorisch bestimmten Blutdruckwerte entsprechen aber nur annähernd den wirklichen Drucken; dies zeigt sich schon darin, daß manche Untersucher zur Ablesung des *systolischen* Druckes erst den Punkt an der Grenze zwischen Phase 1 und 2 empfehlen oder zur Ablesung des *diastolischen* Druckes das Verschwinden aller akustischen Erscheinungen (Ende der Phase 4). Phase 2 und 3 können auch individuell sehr verschieden sein und es kann auch streckenweise jeder Schall fehlen, so daß sich eine Zone des Schweigens einschiebt.

Um die wirklichen *Ruhewerte* zu erhalten, muß die Versuchsperson nicht bloß während der Messung sitzen, sondern auch schon vorher einige Zeit *in Ruhe* gewesen sein; denn mit Arbeitsleistung ist Erhöhung des Blutdruckes verbunden. Um dies nachzuweisen, wird nach Bestimmung des Ruhewertes für den systolischen Blutdruck Körperarbeit durch Ausführen von Kniebeugen geleistet; daraufhin wird neuerlich eine Blutdruckmessung vorgenommen, eine letzte einige Minuten später.

Bei den *Ablesungen am Quecksilbermanometer* darf nicht ein *parallaktischer* Fehler unterlaufen; man muß daher das ablesende Auge in die Höhe des Quecksilbermeniskus bringen.

### 38. Beobachtung des Blutkreislaufes beim Frosch.

*Aufgabe:* Mikroskopische Untersuchung a) der Schwimmhaut zwischen den Zehen, b) der aus dem Mund herausgeklappten Zunge sowie c) des aus der Bauchhöhle herausgezogenen Mesenteriums.

*Erforderlich:* Narkotisierter Frosch, Präparierbesteck, Froschtuch, Watte, Äther, Glasplatte, Korkplatte mit ausgestanzten Löchern oder Glasplatte mit aufgeklebten Korkringen, kleine Stecknadeln, Holzklötz, 0,65%ige NaCl-Lösung, Pinsel, Mikroskop, Deckglassplitter.

Zur *Beobachtung des Blutkreislaufes in der Schwimmhaut* wird der Frosch mit der Bauchseite so auf die Korkplatte gelegt, daß ein Hinterbein mit seiner Pfote unmittelbar über das am *Ende* der Korkplatte befindliche Loch (über den am Ende der Glasplatte aufgeklebten Korkring) kommt und die Schwimmhaut zwischen zwei Zehen ausgespannt und mit Stecknadeln befestigt werden kann. Die Stecknadeln sind *schräg nach außen* zu stecken, damit das Mikroskopobjektiv Platz hat; bei zu starker Spannung des Gewebes kann es zum Stillstand des Blutkreislaufes kommen. Die Platte wird dann auf den Mikroskoptisch gelegt, mit dem Loch über den Mikroskopkondensator gebracht und der vorstehende Teil durch Aufstellen eines Holzklötzes unterstützt. Beobachtet wird bei mittlerer Vergrößerung (schwächeres der beiden Objektive). Beleuchtet wird von unten her mit dem Spiegel des Mikroskops. Das Bein darf nicht zu stark gebeugt, die Schwimmhaut nicht zu stark gespannt werden. Man sieht Arterien (pulsierender Blutstrom) und Venen, hauptsächlich aber Kapillaren mit kontinuierlichem Blutstrom. Zwischen den Kapillaren sind in der Haut zahlreiche verästelte Pigmentzellen zu sehen. Bei langer Beobachtungsdauer muß die Schwimmhaut wiederholt befeuchtet werden; Auflegen eines Deckglasbruchstückes verbessert das Bild.

Zur *Beobachtung des Blutkreislaufes in der Froschzunge* werden die Stecknadeln aus der Schwimmhaut wieder herausgezogen; hierauf wird das Tier so gedreht, daß gerade die Schnauzenspitze vor das Loch (Ring) der Platte kommt. Nach Öffnen des Mauls mit der Pinzette wird die *vorne* angewachsene Zunge herausgeklappt und über dem Loch durch Einstechen von Stecknadeln, wie Abb. 47 zeigt, ausgebreitet. Auch hier ist zu starke Spannung des Gewebes zu vermeiden. Die Platte ist dann schließlich in gleicher Art wie früher unter das Mikroskop zu bringen und durch den Holzklötz zu unterstützen. Bei lang dauernder Beobachtung

ist die Oberfläche ein wenig mit physiologischer Kochsalzlösung zu befeuchten. Auflegen eines kleinen Deckglasbruchstückes auf die mit Kochsalzlösung befeuchtete Oberfläche verbessert das Bild wesentlich. An diesem Präparat sind hauptsächlich die Gefäße mittlerer Größe, ihre Verzweigungen und die Blutströmung gut zu sehen. In den Arterien zeigt sich eine pulsierende, in den Venen

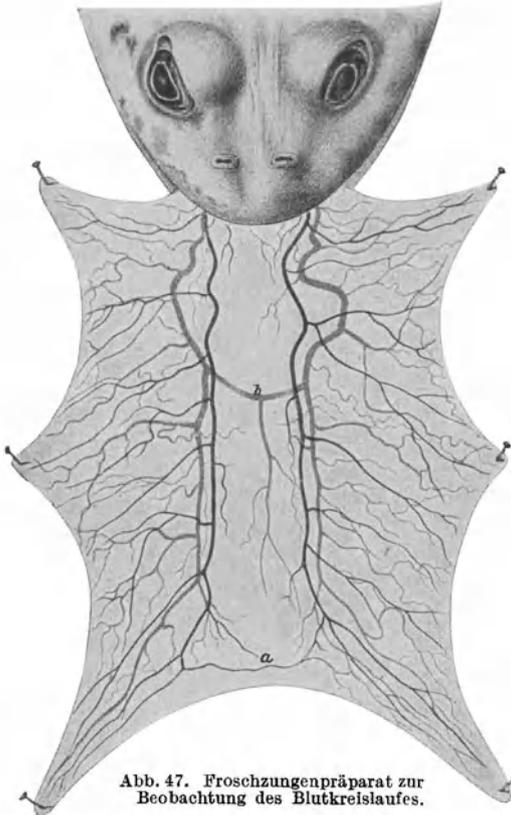


Abb. 47. Froschzungenpräparat zur Beobachtung des Blutkreislaufes.

eine kontinuierliche Strömung; außerdem lassen sich Arterien und Venen auch durch die Strömungsrichtung des Blutes an Verzweigungsstellen voneinander unterscheiden: Strömung *in* die Verzweigungen bei den ersteren, Strömung *aus* den Verzweigungen in das größere Gefäß bei den letzteren.

Zur Beobachtung des Blutkreislaufes im Mesenterium werden die Nadeln wieder aus der Zunge herausgezogen; das Organ wird

dann in den Mund zurückgeklappt und der Frosch schließlich so gedreht, daß die Mitte der Seitenkante des Rumpfes ungefähr neben dem *mittleren* Loch der Korkplatte (dem mittleren Korkring auf der Glasplatte) zu liegen kommt. Nun wird ein Hautschnitt von der Mitte der *Seitenfläche* des Rumpfes je 1 cm nach vorne und hinten geführt, anschließend ein gleicher Schnitt durch die Wand der Körperhöhle; es kann dann eine Darmschlinge mit ihrem Mesenterium herausgezogen werden, wobei darauf zu achten ist, daß das Gekröse nicht verdreht wird oder Falten bildet, weil es sonst zur Abschnürung der großen Blutgefäße kommt. Bei weiblichen Fröschen kann es vorkommen, daß man statt des Darmes eine Schlinge des Eileiters herauszieht, der gleichfalls an einem Gekröse hängt; da dieses *weniger gut* durchblutet ist, eignet es sich aber nicht für die Kreislaufbeobachtung. Man kann Eileiter und Darm jedoch leicht voneinander unterscheiden: der Eileiter ist weißlich und spulrund, der Darm dagegen mehr rötlichgrau und mehr abgeplattet. Das Darmstück wird, in gleicher Weise wie bei den anderen Organen geschildert, über das Loch gebreitet und vorsichtig mit den Stecknadeln befestigt; auch hier ist jede allzu starke Spannung des Gewebes zu vermeiden. Die Platte wird dann unter das Mikroskop gebracht und durch den Holzklotz gestützt. An diesem Objekt ist der Blutkreislauf besonders deutlich und schön zu sehen, weil das Mesenterium vollkommen glasklar und durchsichtig und auch sehr dünn ist. Wegen seiner geringen Dicke ist das Mesenterium aber auch gegen Austrocknung sehr empfindlich; es muß daher schon *vor Beginn* der Beobachtung mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet werden, und diese Befeuchtung ist bei längerer Beobachtungsdauer zu wiederholen. Man sieht im Mikroskop nicht nur die Arterien mit ihrer pulsierenden Strömung und den Abgang der kleineren Gefäße und der Kapillaren, sondern auch die Sammlung des Blutes zu kleineren und größeren Venen. Wegen der geringen Dicke des Objekts kann hier auch — mit großer Vorsicht — die stärkere Vergrößerung angewandt werden; in diesem Fall ist aber die Abdeckung der Beobachtungsstelle mit einem Deckglasbruchstück *unerläßlich*, die auch schon bei schwacher Vergrößerung das Bild wesentlich verbessert. Bei der *starken* Vergrößerung ist insbesondere die Verschiebung der Erythrozyten in den Kapillaren deutlich zu verfolgen und man kann auch die Verformungen und Verbiegungen der roten Blutkörperchen bei Stauung an Verzweigungsstellen des Blutstromes, insbesondere beim Abgang oder der Teilung von Kapillaren, gut beobachten.

### 39. Beobachtung der Kapillaren am Nagelfalz.

*Erforderlich:* Mikroskop mit einem schwachen Objektiv, Kochkolben für 150—200 cm<sup>3</sup> mit Kupfersulfatlösung gefüllt, kleine Handbogenlampe mit Linse und Widerstand, Glycerin oder Zedernöl; an Stelle von Bogenlampe und Kupfersulfatkolben auch Niedervoltlampe mit einstellbarer Optik („Lichtdolch“), Naphtholgrünfilter.

Schon mit schwachen Vergrößerungen lassen sich die **Kapillaren in der Haut** beobachten. Am Nagelfalz, besonders wenn er nicht frisch geschnitten worden ist, sind die Kapillaren als einfache haarnadelförmige Schlingen oder als lockere oder festere Knäuel mit zu- und abführendem Schenkel zu sehen. Zur Beleuchtung dient starkes, schräg von oben einfallendes Licht („Auflichtbeleuchtung“). Die Risse, Sprünge und Poren in der Haut müssen durch ein stark lichtbrechendes Medium, z. B. Glycerin oder Zedernöl, ausgefüllt werden, wovon man einen Tropfen auf die zu untersuchende Hautstelle bringt. Glycerin ist mit Wasser abwaschbar, daher vorzuziehen.

Das notwendige starke Licht kann von einer Niedervoltbirne geliefert werden, die zusammen mit einer einstellbaren Optik unmittelbar auf dem Mikroskop befestigt ist. Steht ein solcher „Lichtdolch“ nicht zur Verfügung, so kann man sich einer Bogenlampe bedienen, deren Licht aber durch ein Kupfersulfatfilter von den Wärmestrahlen befreit werden muß. Die Bogenlampe wird unter Vorschaltung eines entsprechenden Widerstandes an das Lichtnetz angeschlossen. Aus der in der Bogenlampe eingebauten Linse treten annähernd parallele Strahlen aus. Sie müssen zur starken Beleuchtung des Fingers durch eine zweite Linse gesammelt werden. Als solche benützt man am zweckmäßigsten einen Kochkolben von 150—200 cm<sup>3</sup> Inhalt, der mit einer schwach blauen Kupfersulfatlösung (1—2%) gefüllt wird. Das Kupfersulfat absorbiert die Wärmestrahlen, so daß keine Erwärmung des Fingers und damit keine Veränderung der normalen Blutgefäßweite zustande kommt; gleichzeitig konzentriert die mit Flüssigkeit gefüllte Glaskugel wie eine Linse das Licht.

Abb. 48 zeigt die **Einrichtung zur Beobachtung der Kapillaren**. Die vom Krater der Bogenlampe *B* ausgehenden und durch die Linse *L* parallel gewordenen Lichtstrahlen durchsetzen den Kochkolben *K* und werden zu einem Brennpunkt vereinigt. Das Mikroskop *M*, auf dessen Tisch der mit Glycerin befeuchtete Finger gelegt wird, ist dann so aufzustellen, daß der Brennpunkt der Lichtstrahlen gerade auf die zu untersuchende Fingerstelle fällt. Verwendet wird ein Objektiv mit einer Eigenvergrößerung von 3 × bis 5 × in Verbindung mit einem Okular 10 × oder 13 ×.

Steht ein Doppelokular zur Verfügung, so können zwei Beobachter gleichzeitig untersuchen.

Nach der Inbetriebsetzung der Bogenlampe wird der zu untersuchende Finger auf den Mikroskoptisch gelegt, das Mikroskop so zurechtgerückt, daß das konvergente Strahlenbündel wie in Abb. 48 schräg von oben einfällt und schließlich der Nagelfalz

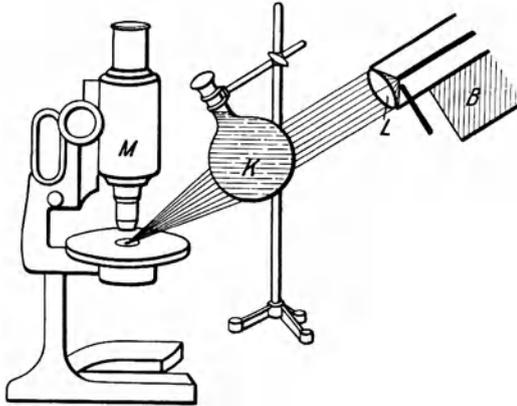


Abb. 48. Einrichtung zur Beobachtung der Blutkapillaren am Nagelfalz.  
B Bogenlampe mit Linse L; K Glaskolben mit Kupfersulfatlösung; M Mikroskop.

mit einem Tropfen Glycerin bedeckt. Hat man zufällig gerade den Nagel selbst im Gesichtsfeld, so erscheint eine hellrosa granulierte Fläche; hat man die Fingerhaut gerade im Gesichtsfeld, so erscheinen die Risse und Poren der Haut. Man verschiebt nun so lange, bis die Grenze zwischen Nagel und Fingerhaut durch die Mitte des Gesichtsfeldes geht; man hat dann den Nagelfalz selbst im Bild. Die Kapillaren erscheinen als feine, haarnadelförmige Schlingen. Abb. 49 bringt ein Bild, wie es mit einer derartigen Einrichtung gesehen werden kann. Der dünnere Teil der Kapillaren stellt den *arteriellen* Schenkel, der dickere den *venösen* dar (*a* und *v* in Abb. 49). Gelegentlich sieht man auch Unterbrechungen von Kapillaren infolge der Kontraktion der außen aufsitzenden *Perizyten* (ROUGETSche Zellen) wie bei 2 in Abb. 49. Die einzelnen Blutkörperchen sind gewöhnlich nicht zu unterscheiden, wohl aber Gruppen von Blutkörperchen, zwischen denen sich kleine, mit Plasma gefüllte Lücken befinden (1 in Abb. 49). Die Verschiebung dieser Gruppen und der Lücken als Zeichen der Blutströmung läßt sich an geeigneten Kapillaren recht gut beobachten.

Viel deutlicher werden die Kapillaren und die Strömungsverhältnisse in ihnen sichtbar, wenn zur Beleuchtung des Nagel-

falzes solches Licht verwendet wird, welches vom Hämoglobin verschluckt wird; durch die sich nun vom Untergrund fast *schwarz* abhebenden Erythrozyten ergibt sich ein größerer Kontrastreichtum des mikroskopischen Bildes. Besonders geeignet sind für diesen Zweck Filter mit Naphtholgrün.



Abb. 49. Kapillarschlingen am Nagelfalz.  
*a* arterieller, *v* venöser Schenkel; 1 Kapillare mit Erythrozytengruppen; 2 Kapillare durch Perizytenkontraktion gesperrt.  
 (Aufnahme mit Naphtholgrünfilter.)

#### 40. Aufzeichnung der Atmungsbewegungen beim Menschen.

*Erforderlich:* Pneumograph, Gummischlauch mit T-Rohr und Schraubenquetschhahn, MAREYSche Kapsel, Kymographion, elektromagnetischer Zeitschreiber, Anschluß an eine „Uhr“-Leitung oder Vorrichtung zur Stromeinschaltung (Metronom oder BOWDITCHsche Uhr), Schaltdraht.

Die Vergrößerung des Thoraxvolumens bei der Einatmung wird durch Vergrößerung der Thoraxdurchmesser infolge der Rippenhebung bewirkt (thorakale Atmung), sowie durch das Tiefertreten des Zwerchfelles unter Vorwölbung der Bauchdecken (abdominale Atmung). Die normale Atmungsfrequenz beträgt 16 bis 20 in der Minute.

Die Atmungsbewegungen können mit Hilfe einer MAREYSchen Kapsel unter Benützung eines Pneumographen auf einem Kymographion aufgezeichnet werden. Der Pneumograph nach GUTZMANN besteht aus einem schmalen, langen Gurt mit aufgeklebtem, luftgefülltem Gummipolster, der um den Bauch oder um die Brust gelegt und bei der Einatmung gestreckt und zugleich zusammengepreßt wird. Das Gummipolster steht mit einem Schlauch in Verbindung, der unter Zwischenschaltung eines T-Rohres mit Quetschhahn an eine gewöhnliche MAREYSche Kapsel angeschlossen wird. Eine andere Form des Pneumographen wird durch Abb. 50 gezeigt. Die beiden Metallstücke  $A_1$  und  $A_2$  sind durch die Stahlfeder  $F$  in Verbindung und werden mit den Bändern  $B_1$  und  $B_2$

am Körper der Versuchsperson befestigt. Bei der Einatmung wird die Feder durchgebogen, bei der Ausatmung kehrt sie in die Ruhelage zurück. Die Lageänderungen der beiden Metallteile  $A_1$  und  $A_2$  werden mit Hilfe des Stabes  $St$  und der im Gelenk  $G_1$  neigbaren Schraubenspindel  $Schr$  auf den Hebel  $H$  einer MAREYSchen Kapsel  $K$  übertragen. Der Hebel  $H$  ist im Gelenk  $G_2$  beweglich und kann die Gummimembran der Kapsel  $K$  nach außen oder nach innen verschieben. Die Kapsel hat hier daher die umgekehrte Verwendung wie bei der Kurvenniederschrift. Die in ihr entstehen-

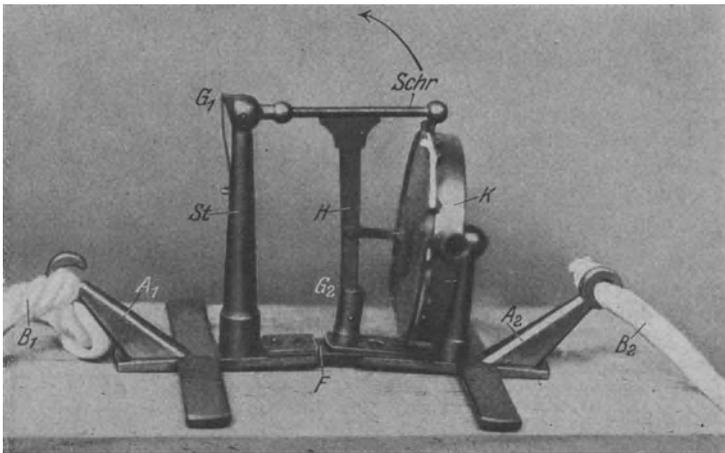


Abb. 50. Pneumograph.

$A_1$ ,  $A_2$  Metallarme, die durch die Feder  $F$  verbunden sind und mit den Bändern  $B_1$  und  $B_2$  am Körper befestigt werden;  $G_1$  und  $G_2$  Gelenke;  $H$  Übertragungshebel;  $K$  MAREYSche Kapsel zur Umwandlung der Atmungsbewegungen in Luftdruckschwankungen;  $St$  Stab mit der umlegbaren Schraubenspindel  $Schr$ . Der Pfeil über  $Schr$  zeigt die Richtung, in der die Spindel vor dem Aufbinden des Pneumographen umgelegt werden muß.

den Druckschwankungen werden zur Aufzeichnung über einen Gummischlauch mit T-Rohr und Quetschhahn auf eine zweite MAREYSche Kapsel übertragen. Beim Anlegen dieses Pneumographen wird die Schraubenspindel  $Schr$  im Sinne des Pfeiles (Abb. 50) nach oben umgelegt und erst nach dem Befestigen wieder zurückgelegt. Da die Einatmung beim ersten Pneumographen eine Kompression bewirkt, steigt dabei der Schreiber der registrierenden MAREYSchen Kapsel; beim zuletzt beschriebenen Pneumographen bewirkt dagegen die Einatmung einen Zug auf die Membran der Kapsel  $K$  (Abb. 50), was zu einem Fallen des Schreibers der registrierenden Kapsel führt. Es ist also zu beachten, daß bei

Benützung verschiedener Pneumographen die Ausschlagsrichtung des Schreibers für Inspiration und Expiration jeweils verschieden ist. Die Kurven werden wie bei der Registrierung des Karotispulses auf einem langsam laufenden Kymographion aufgezeichnet. Zur Ausmessung der zeitlichen Verhältnisse wird unter der MAREYschen Kapsel ein elektromagnetisches Zeitsignal befestigt. Die Spitzen beider Schreiber müssen genau übereinander sein.

Es soll nun zunächst die *Atmungskurve* bei verschiedenen Versuchspersonen aufgezeichnet werden, und zwar sowohl für die thorakale wie für die abdominale Atmung. Um die Aufmerksamkeit der Versuchsperson von ihrer eigenen Atmung abzulenken — deren Verlauf sonst gestört werden könnte —, läßt man sie während der Aufnahme irgend etwas *leise* lesen. Aus den Kurven ist der Verlauf des auf- und absteigenden Schenkels, also der In- und Expiration, zu ersehen, ferner zu erkennen, daß zwischen der Expiration und der folgenden Inspiration keine eigentliche Pause besteht. Ferner ist der Grad der Regelmäßigkeit der Atemzüge festzustellen und Frequenz und Tiefe der Atmung — letztere erkennbar an der Veränderung der Amplituden der Kurve — vor und nach einer Arbeitsleistung (Kniebeugen) zu untersuchen. Zum Vergleich mit der Ruheatmung — bei der In- und Expiration praktisch gleich lange Zeit dauern — ist auch die *Sprechatmung* (*lautes* Vorlesen durch die Versuchsperson) aufzuzeichnen, die durch *verkürzte* Inspiration und *verlängerte* Expiration gekennzeichnet ist. Atmet man ferner rasch hintereinander einige Male maximal ein und aus (*Überventilation*), so kommt es für längere Zeit zu einem Aussetzen der spontanen Atmung infolge der verminderten Kohlensäurespannung im Blut. Es ist die Dauer dieser *Apnoe* bei verschieden langer Überventilation zu bestimmen.

Sollten die Amplituden der Atmungskurven zu groß sein, so kann man mit Hilfe des am T-Stück seitlich angebrachten Schraubenquetschhahnes eine mehr oder minder ausgiebige Verbindung des Pneumographen mit der Außenluft herstellen, wodurch die Ausschläge kleiner werden. Die Versuchsanstellung, das Versuchsergebnis, die ausgewerteten Frequenz- und Zeitwerte für die beiden Schenkel der Atmungskurve werden für die einzelnen Untersuchungen im Protokollheft vermerkt und durch Einkleben entsprechender Ausschnitte aus den fixierten Kurven belegt.

#### 41. Bestimmung der Vitalkapazität beim Menschen.

*Erforderlich:* Spirometer oder Gasuhr.

Die durch einen gewöhnlichen Atemzug ein- oder ausgeatmete Luftmenge beträgt bei Körperruhe ungefähr  $500\text{ cm}^3$  (*Respirationsluft*). Nach einer normalen Einatmung kann man durch weitere maximale Inspiration noch etwa  $1500\text{—}2000\text{ cm}^3$  oder mehr Luft in die Lunge bringen (*Komplementärluft*). Nach einer normalen Expiration können noch etwa  $1500\text{—}2000\text{ cm}^3$  oder mehr Luft weiter ausgeatmet werden (*Reserveluft*). Nach einer *maximalen Inspiration* können daher durch eine *maximale Expiration* bis zu  $4500\text{ cm}^3$  und mehr Luft ausgeatmet werden (*Vitalkapazität*). Der Aufbau der Vitalkapazität wird übersichtlich durch Abb. 51 gezeigt.

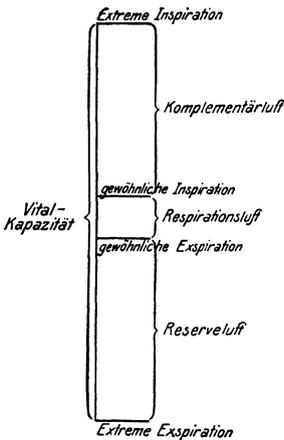


Abb. 51. Aufteilung des Fassungsvermögens der Lunge.

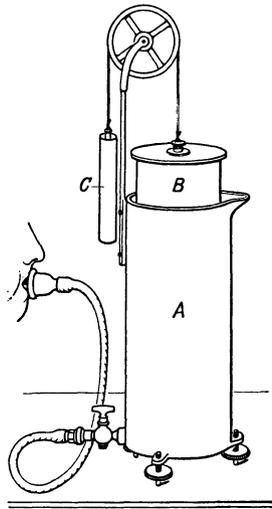


Abb. 52. Spirometer nach HUTCHINSON. A mit Wasser gefüllter Zylinder; B Glocke; C Gegengewicht.

Die Messung der Vitalkapazität erfolgt nach maximaler Inspiration durch maximales Ausatmen in ein Spirometer oder durch eine Gasuhr. Das Spirometer nach HUTCHINSON besteht, wie Abb. 52 zeigt, aus einem stehenden Doppelzylinder A. Der Hohlraum zwischen den Doppelwänden ist mit Wasser gefüllt, in das eine durch das Gewicht C äquilibrierte Glocke B eintaucht. Am Boden des inneren Zylinders von A beginnt ein lotrecht nach aufwärts führendes Rohr, das unmittelbar unter dem Deckel der Glocke B endigt. In dieses Rohr wird die Luft mit einem Schlauch

hineingeblasen, wodurch die Glocke *B* in die Höhe steigt. Das eingeblasene Luftvolumen läßt sich aus der Steighöhe der Glocke berechnen, wenn die Bodenfläche bekannt ist. Der Außenzylinder von *A* trägt einen in der Abbildung nicht sichtbaren Längsschlitz, die Glocke *B* an dieser Stelle eine Skala, so daß aus der Ablesung vor und nach dem Lufteinblasen und der Spirometerkonstanten das Volumen leicht bestimmt werden kann. Neuere Ausführungen der Spirometer tragen eine bereits in Litern geeichte Teilung. Auch mit einem Gasometer bzw. mit einer Gasuhr kann das Luftvolumen gemessen werden. Der Unterschied in der Zeigerstellung vor und nach der Ausatmung durch die Gasuhr gibt unmittelbar das Gasvolumen an.

### III. Allgemeine Physiologie der Nerven und Muskeln.

#### 42. Herstellung eines Unterschenkelpräparates, eines Nerv-Muskel-Präparates oder eines einfachen Muskelpräparates.

*Erforderlich:* Frosch, Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, Faden, 0,65%ige NaCl-Lösung oder Froschringer, Glasschälchen, Abfallschale.

Für Versuche am *Muskel* wird das **Muskelpräparat** verwendet, das aus dem *Musc. gastrocnemius* des Frosches besteht, der zusammen mit einem Stück des von den übrigen Muskeln befreiten Femur aus dem Tierkörper ausgeschnitten wird; das Präparat wird *direkt* gereizt. Zur Untersuchung des *Nerven* findet das **Nerv-Muskel-Präparat** Verwendung, das ein Muskelpräparat darstellt, an dem noch der *Nerv. ischiadicus*, bis zu seinen Wurzeln ausgeschnitten, erhalten geblieben ist. Die Einwirkung des Stromes erfolgt auf den *Nerven*, der Muskel selbst, der die Erregung des Nerven durch seine Kontraktion anzeigen soll, wird daher *indirekt* gereizt. Soll die Muskelkontraktion beim Nerv-Muskel-Präparat nicht auf dem Kymographion aufgezeichnet, sondern bloß beobachtet werden, so ist es besser, ein **Unterschenkelpräparat** herzustellen, das aus dem ganzen Unterschenkel des Frosches einschließlich der Pfote, einem Stück des Femur und dem *Nerv. ischiadicus* besteht; die Pfote wirkt als anzeigender, den Ausschlag vergrößernder Hebel und macht selbst Schwellenkontraktionen deutlich erkennbar. Da die Anfertigung des Nerv-Muskel-Präparates eine gewisse Übung voraussetzt, soll — obwohl in den ersten der anschließend beschriebenen Versuche bloß ein einfaches *Muskelpräparat* erforderlich ist — doch jedesmal ein *Nerv-Muskel-Präparat* hergestellt werden; der Nerv wird dann vor der Verwendung des Präparates dicht am Muskel abgetrennt.

Das **Sekret der Froschhaut** vernichtet die Erregbarkeit von Nerven und Muskeln. Die mit der Haut des Tieres in Berührung gekommenen Instrumente (Scheren und Pinzetten) und die Hände sind daher ebenso wie die als Unterlage dienende Glasplatte nach dem Abziehen der Haut vom Tierkörper *gründlich* mit dem Froschtuch zu *reinigen*, bevor sie mit dem enthäuteten Präparat in Berührung kommen dürfen. Zu beachten ist ferner, daß der Froschmuskel, besonders aber der Nerv gegen **Austrocknung** sehr empfindlich sind; diese Organe müssen daher im Verlauf des Versuches wiederholt mit 0,65%iger NaCl-Lösung oder mit Froschringer befeuchtet werden.



Abb. 53. Abziehen der Haut vom Hintertier. Der Pfeil gibt die Zugrichtung an. FT Froschtuch, dahinter die Finger der rechten Hand RH, welche den Hautlappen vom Rücken fassen; LH Finger der linken Hand.

Auflegen des Präparates auf die von einem zweiten Versuchsteilnehmer inzwischen gereinigte Glasplatte (Hautsekret!), Reinigen der Instrumente. Entfernung der vorderen Körperwand, Verschiebung der Baueingeweide kopfwärts und *vorsichtiges* Ausschneiden der Blase, des Enddarmes und der Nieren, um das unter diesen Organen liegende Bündel der Nervenwurzeln (VIII, IX und X) nicht zu verletzen. Ist die Austrittsstelle der Nervenwurzeln aus der Wirbelsäule gefunden, so wird das Gebiet der Nervenwurzeln gegebenenfalls von noch vorhandenen Organresten befreit.

Zur **Herstellung der Präparate** wird vorerst der Frosch — wie schon auf S. 61 beschrieben — durch Kopfschlag betäubt, dekapitiert und das Rückenmark ausgebohrt. Man umfaßt dann mit der linken Hand die hintere Körperhälfte des Tieres und schneidet mit der großen Schere das Vordertier dicht unter den Armen mit einem Scherenschlag ab. Dann folgt Erfassen des Oberkörpers wie in Abb. 53 mit der linken Hand, Ergreifen des Hautrandes am Rücken mit dem Froschtuch und ruckartiges, kräftiges Abziehen der Haut nach unten, bis das *Hintertier* vollkommen enthäutet ist;

Abb. 54 zeigt das sich dann an der Hinterwand der Leibeshöhle bietende Bild. Die *geschlossene* Spitze der feinen Pinzette wird nun *unter* dem Nervenbündel der einen Seite durchgeführt und in der Verlaufsrichtung der Wurzeln hin und her bewegt, um das Bindegewebe stumpf abzutrennen und einen Faden unter den Wurzeln durchziehen zu können. Zu diesem Zweck wird das Ende eines

etwa 20 cm langen Fadens neben die in- zwischen geöffnete Pinzette gebracht, erfaßt und unter den Nerven einige Zentimeter weit durchgezogen; die Fadenenden werden dann zu einem Knoten geschlungen, der dicht am Austritt der Wurzeln fest zusammenzuziehen ist und durch einen zweiten Knoten gesichert wird. Im Augenblick der ersten Abschnürung zucken die Muskeln des betreffenden Beines, da die Abschnürung der Nerven als mechanischer Reiz wirkt; treten diese

Zuckungen *nicht* auf, so spricht dies dafür, daß der Nerv dieser Seite beim Freilegen verletzt oder aus irgendeinem Grund unerregbar geworden ist. Nach der

Abschnürung werden die Wurzeln zwischen der Austrittsstelle aus der Wirbelsäule und der Ligatur durchtrennt (Abb. 54); das Nervenbündel bzw. der aus ihm hervorgehende N. ischiadicus kann nun an dem angebandenen Faden — dessen zweite Hälfte jetzt zweckmäßig abgeschnitten wird — erfaßt und mit der kleinen Schere vorsichtig von der Unterlage losgetrennt werden, bis er bis zur Schenkelbeuge freiliegt und nach vorne auf den Oberschenkel gelegt werden kann. Nun erfolgt die Präparation des Nerven auf

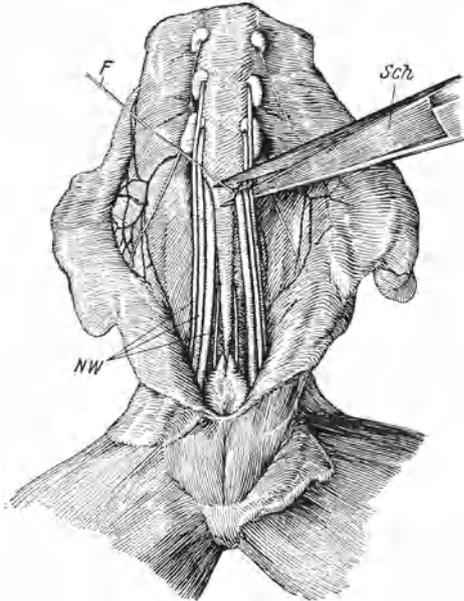


Abb. 54. Die hintere Wand der Leibeshöhle beim Frosch nach Ausräumen der inneren Organe; auf der linken Seite sind die Nervenwurzeln bereits durch die Ligatur erfaßt und werden eben zentralwärts von der Abschnürungsstelle mit der kleinen Schere durchschnitten.

F Faden zum Halten des Nerven bei der Präparation; NW Bündel der Nervenwurzeln; Sch kleine Schere.

der anderen Seite und seine Abtrennung bzw. Lösung von der Unterlage in der gleichen Weise.

Da der N. ischiadicus im weiteren auf der *Dorsalseite* des Präparates verläuft, muß nun die **Spaltung des Beckens** vorgenommen werden. Zu diesem Zwecke sind die beiden Nerven zusammen mit den Haltefäden auf die Oberschenkel zu legen; das Präparat wird dann nach Abb. 55 mit der *linken* Hand so gefaßt, daß es mit dem Steißbein auf der Zeigefingerspitze reitet und der Zeigefinger das

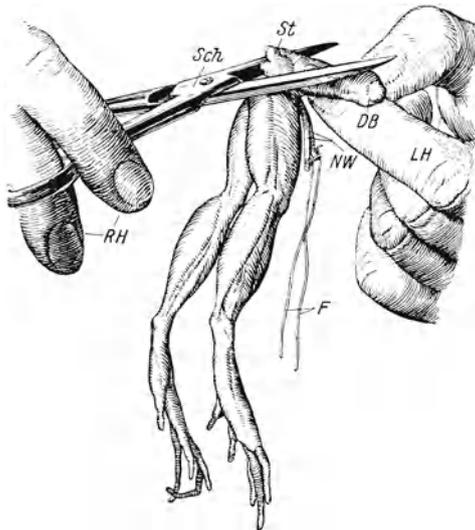


Abb. 55. Herausschneiden des Steißbeines bzw. Kreuzbeines.

*DB* rechtes Darmbein; *F* Fäden zum Halten der Nerven; *LH* Finger der linken Hand; *RH* Finger der rechten Hand; *Sch* große Schere; *St* Steißbein; *NW* Nervenzurzel bzw. *Nn. ischiadici*.

Steißbein nach oben drückt. Mit der in der *rechten* Hand gehaltenen *großen* Schere werden nun das Steißbein und das Kreuzbein in der Waagerechten von kaudal nach kranial bis zum vorderen Rand des Präparates herausgeschnitten (Abb. 55); sollte der Schnitt nicht das ganze Kreuzbein entfernt haben und ein Kreuzbeinrest die Darmbeinenden noch verbinden, so wird durch einen weiteren Längsschnitt die gegenseitige Abtrennung der Darmbeinenden durchgeführt. Hierauf werden die beiden Darmbeine am oberen freien Ende mit Daumen und Zeigefinger je einer Hand erfaßt und stark nach außen gezogen (Abb. 57), bis ein Auseinanderbrechen des Beckens im Bereich der Symphyse erfolgt. Nun

kann das Präparat mit der *Bauchseite* nach *unten* wieder auf die Glasplatte gelegt werden, nachdem die beiden Nn. ischiadici durch die entstandene Öffnung des Beckens auf die Dorsalseite hinüber gelegt worden sind.

Die **Topographie der Muskeln an der Dorsalseite des Froschschenkels** zeigt Abb. 56. Der N. ischiadicus verläuft in einem Muskelspatium, das von oben durch den M. biceps (M. iliofibularis) verdeckt wird. Durch stumpfes Auseinanderdrängen der dieses Spatium begrenzenden Muskeln (M. semimembranosus einerseits, bzw. M. vastus externus und dem vereinigten M. triceps femoris andererseits), wobei man *medial* vom M. biceps eingeht, wird der N. ischiadicus sichtbar und kann nun durch kleine Scherenschnitte (*feine Schere*) von seiner Umgebung losgelöst werden. Jede Zerrung des Nerven muß unbedingt vermieden werden. Vom Nerven abgehende Zweige sind dicht am Nerven abzuschneiden. In Abb. 57 ist der rechte N. ischiadicus bereits bis zum Kniegelenk, der linke

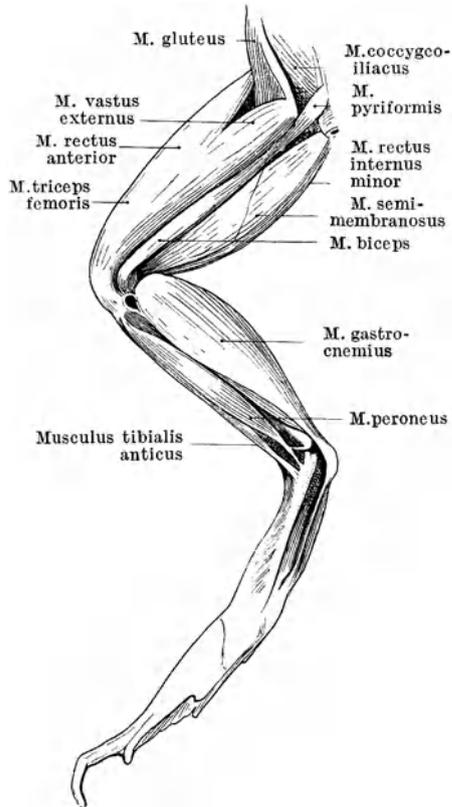


Abb. 56. Die Lage der Muskeln auf der Dorsalseite eines Hinterbeines beim Frosch.

nur bis zur Oberschenkelmitte ausgelöst. Ist diese Präparation bis zum Kniegelenk vorgedrungen, dann wird der Femur von den anhaftenden Muskeln befreit und — wie Abb. 58 zeigt — dicht am Beckenende durchtrennt. Damit ist die Herstellung des **Unterschenkelpräparates** beendet.

Ist ein **Nerv-Muskel-Präparat** anzufertigen, so wird in der Art nach Abb. 59 die Sehne des M. gastrocnemius an der Planta mit

der Pinzette erfaßt und mit der großen Schere flach abgetrennt. Der Scherenschnitt ist bis über das Sprunggelenk zu führen, da bis über diese Stelle die Sehne mit der Unterlage fest verheftet ist; oberhalb des Sprunggelenkes sind jedoch Sehne und Muskel nur durch ganz zartes Bindegewebe mit der Unterlage verbunden,

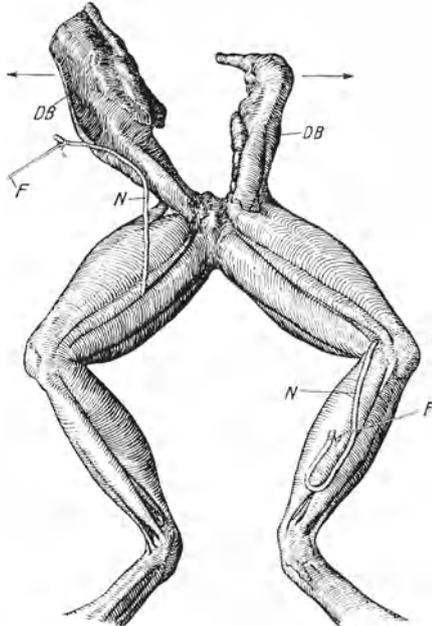


Abb. 57. Ansicht des Froschpräparates von der Dorsalseite; rechts ist der N. ischiadicus bereits bis zum Kniegelenk, links dagegen nur bis zur Oberschenkelmitte ausgelöst. Die beiden Pfeile am oberen Ende der Darmbeine geben die Richtung an, in der diese vorher auseinandergebrochen worden sind.

DB Darmbeine; F Haltefäden der Nerven; N Nn. ischiadici.

das sofort zerreißt, wenn der Muskel abgehoben wird. Schließlich wird noch die Tibia unterhalb des Kniegelenkes durchtrennt. Es verbleibt ein Präparat, das außer dem Muskel noch aus Femurstumpf und Nerven besteht. Ist nur ein einfaches Muskelpräparat erforderlich, so kann jetzt der bloß zu Übungszwecken mitpräparierte Nerv dicht am Muskel abgeschnitten werden.

In gleicher Weise ist schließlich die Präparation auf der anderen Seite zu Ende zu führen. Da für den Versuch meistens vorerst nur ein Präparat benötigt wird, so legt man das zweite in ein Schälchen mit 0,65%iger NaCl-Lösung oder in eine mit feuchtem Filtrierpapierausgekleidete feuchte Kammer, um es bis zur Verwendung vor Austrocknung zu schützen.

### 43. Direkte galvanische Reizung eines Muskelpräparates.

*Aufgaben:* 1. Aufsuchen der Schwellenspannung für die Schließungs- bzw. Öffnungszuckung.

2. Untersuchung der Abhängigkeit von Reizstärke (Reizspannung) und Größe der Muskelzuckung für Schließungs- und Öffnungswirkung.

3. Feststellen der Spannung für maximale Schließungs- und Öffnungszuckung.

4. Nachweis des Ausbleibens einer Reizwirkung beim Ein- bzw. Ausschleichen des Stromes.

*Erforderlich:* Muskelpräparat, 0,65%ige NaCl-Lösung, Kymographion, Stativ, Kreuzköpfe, Schreibhebel, Strohschreiber, Knochenklemme, S-förmiges Häkchen, Belastungsgewicht, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Meßdraht, Voltmeter, Drähte.

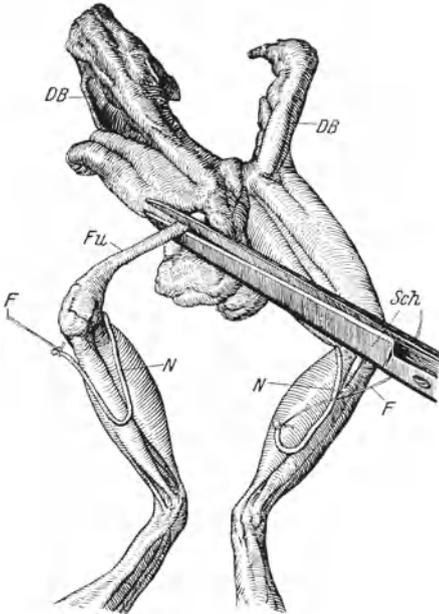


Abb. 58. Abtrennung des Femur; Ansicht des Präparates von der Dorsalseite.  
*DB* Darmbeine; *F* Haltefäden der Nerven;  
*Fu* Femur; *N* Nn. ischiadici; *Sch* große Schere.

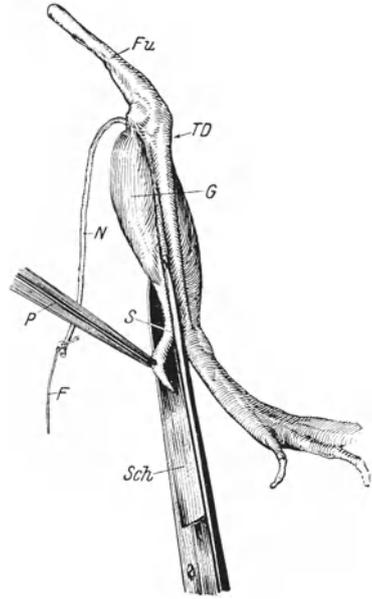


Abb. 59. Abtrennung der Sehne des Musc. gastrocnemius von der Planta.  
*F* Haltefaden; *Fu* Femurstumpf; *G* Musc. gastrocnemius; *N* Nerv. ischiadicus; *P* Pinzette; *S* Sehne des Musc. gastrocnemius; *Sch* große Schere; *TD* Pfeil, der Stelle und Richtung der späteren Tibia-Durchtrennung angibt.

Bevor an die Präparation des Muskels gegangen werden darf, muß die ganze Versuchsanordnung aufgebaut sein. Rechts vom Kymographion wird das Stativ aufgestellt und auf diesem, wie Abb. 60 zeigt, mit zwei Kreuzköpfen die Knochenklemme *KK* und der Schreibhebel *H* mit dem Schreiber *S* befestigt. In die Klemme wird später der Femurstumpf *F* eingespannt, während die Verbindung der Sehne mit dem Schreibhebel *H* durch ein kleines Häkchen *Hk* erfolgt. Bei der Zusammenstellung spannt man zunächst an Stelle des Muskels einen etwa 5 cm langen Streifen aus Karton oder zusammengelegtem Papierein, der später durch den Muskel ersetzt wird. Zur Muskelbelastung hängt man das Gewicht

$G$  in das erste Loch des Schreibhebels neben der Achse oder besser an einen am Hebel angebundenen Faden, der über eine kleine Rolle an der Hebelachse läuft. Das Sehnenhäkchen  $Hk$  hängt man in ein von der Drehachse weiter entferntes Loch ein; je näher zur Achse der Muskel am Hebel angreift, um so größer werden die Ausschläge. Bei dieser Anordnung erfolgt eine Muskelkontraktion ohne Veränderung der Belastung und der Spannung (**isotonische Kontraktion**). Der Reizstrom wird einerseits der am Befestigungsstab des Hebels angebrachten Klemme  $K_1$ , andererseits der an der Knochenklemme befindlichen Anschlußklemme  $K_2$  zugeführt. Man kann aber auch oben und unten in den Muskel Nadeln einstecken, an denen dünne biegsame Kupferdrähte angelötet sind. Ein Isolationsstück  $I$ , das zwischen Knochenklemme und ihrem Befestigungsstab eingefügt ist, verhindert, daß der Reizstrom etwa durch die Metallteile kurzgeschlossen würde.

Die **elektrische Schaltung** wird nach Abb. 99 (S. 242) aufgebaut und enthält Akkumulator, Stromschlüssel, Meßdraht zur Spannungsteilung sowie ein Voltmeter im Nebenschleifer, zu dem noch das Präparat parallel zu schalten ist. Durch Verschieben des Schleifers am Meßdraht ist die auf den Muskel einwirkende Spannung (*Reizspannung*) entsprechend einzustellen, die am Voltmeter abgelesen werden kann.

Zur **Lösung der Aufgaben** wird zunächst der Schleifer an der Meßbrücke ganz nach links in die Ausgangsstellung gebracht und von dieser ausgehend — bei *geöffnetem* Stromschlüssel — ein wenig nach rechts verschoben, so daß nach Schließen des Stromschlüssels bloß eine kleine Teilspannung auf den Muskel zur Einwirkung kommen kann. Das Kymographion steht dabei vollkommen *still*, d. h. es wird das Federwerk *nicht* eingeschaltet. Ist die Stromschließung wirkungslos geblieben, so wird der Versuch mit einer immer etwas höheren Reizspannung mehrfach wiederholt; hat sich schließlich eine eben merkliche Schließungszuckung gezeigt, so wird die gefundene Schwellenspannung unter dem Ausschlag auf dem Kymographion unter Beifügung des Buchstabens „ $S$ “ (Schließung) verzeichnet und die Kymographiontrommel *mit der Hand* etwa 1 cm weitergedreht. Nun werden die Reizversuche mit immer höheren Reizspannungen wiederholt, wobei immer wieder die Reizspannung mit dem zusätzlichen Buchstaben „ $S$ “ (z. B. „ $S 0,5$ “) unter die Zuckung geschrieben und nach jedem Ausschlag das Kymographion wieder etwa 1 cm weitergedreht wird. Zeigt sich schließlich auch bei *Stromöffnung* eine Zuckung, so muß das Kymographion noch *vor* der Stromöffnung weitergedreht werden, damit Schließungs- und Öffnungszuckung nicht inein-

anderschreiben; die Spannung für die Öffnungswirkung ist auf der Trommel mit dem zusätzlichen Buchstaben „Ö“ (Öffnung) zu vermerken. Der Versuch wird so lange fortgesetzt, bis das Bereich *übermaximaler* Reizspannungen erreicht ist, d. h. die Zuckungen bei Schließung oder Öffnung trotz weiterer Spannungserhöhung nicht mehr an Größe zunehmen. Schließlich ist noch das Ein-

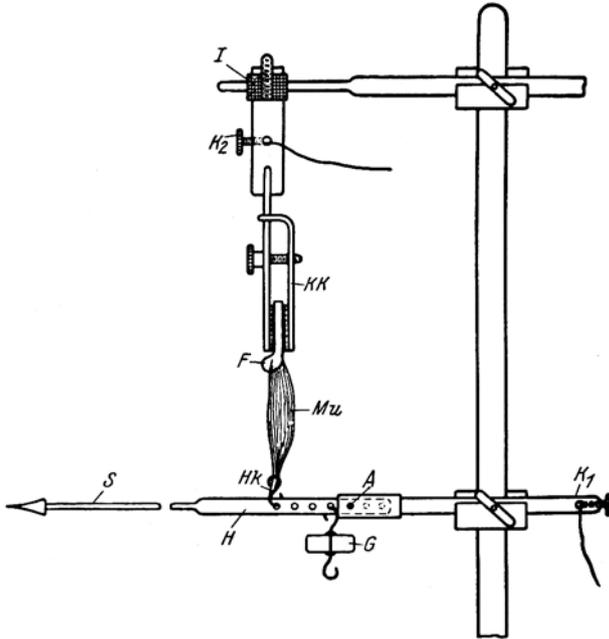


Abb. 60. Einrichtung zur Aufzeichnung isotonischer Muskelzuckungen.  
*A* Hebelachse; *F* Femurstumpf; *G* Belastungsgewicht; *H* Hebel; *HK* Häkchen; *I* Isolationsstück; *K*<sub>1</sub>, *K*<sub>2</sub> Anschlußklemmen für den Reizstrom; *K* *K* Knochenklemme; *Mu* Muskel; *S* Schreiber.

bzw. Ausschleichen zu untersuchen. Dazu wird der Schleifer des Meßdrahtes in die Ausgangsstellung zurückgebracht, der Stromschlüssel geschlossen und der Schleifer *ganz langsam* wieder nach rechts verschoben, bis das Voltmeter eine nach den früheren Versuchen sicher schon auch bei der Öffnung erregend wirkende Spannung anzeigt; ist das Verschieben des Schleifers jedoch genügend langsam erfolgt, so ist jede Einschaltwirkung des Stromes ausgeblieben. Wird nun der Schlüssel geöffnet, so tritt jetzt als Folge der plötzlichen Stromstärkeschwankung eine Öffnungszuckung auf. Man wiederholt schließlich den Versuch in um-

gekehrter Art: plötzliche Einschaltung der eben angewandten Spannung (Auftreten der Schließungszuckung) und hierauf langsames Zurückführen des Schleifers zur Nullstellung zwecks Vermeidung einer Öffnungswirkung (Ausschleichen).

Nach beendetem Versuch wird die Kurve abgenommen, fixiert und getrocknet; Ausschnitte sind in das Protokollheft einzukleben.

#### 44. Direkte Reizung eines Muskelpräparates mit einzelnen Schließungs- und Öffnungsschlägen des Schlittenapparates.

*Aufgaben:* 1. Aufsuchen des Schwellenwertes für den Schließungsschlag, Beobachtung der Abhängigkeit von Reizstärke und Zuckungshöhe, Aufsuchen der maximalen Stärke für den Schließungsschlag.

2. Das gleiche bei Reizung mit Öffnungsschlägen.

*Erforderlich:* Muskelpräparat, 0,65%ige NaCl-Lösung, Kymographion, Stativ, Kreuzköpfe, Schreibhebel, Strohschreiber, Knochenklemme, S-förmiges Häkchen, Belastungsgewicht, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Stromschlüssel, Induktorium, Doppelschlüssel, Drähte.

Für den vorliegenden Versuch wird die gleiche Anordnung wie in Abb. 60 benützt; wenn der Muskel vom Versuch 43 noch gut erregbar ist, kann er noch weiter verwendet werden, sonst ist das zweite Präparat heranzuziehen.

Zur Reizung mit einzelnen Induktionsschlägen ist der Schlittenapparat wie im Versuch 23 (S. 75) nach Abb. 29 zu schalten. Die Einstellung der Reizstärke erfolgt durch Verschieben der Sekundärspule im Schlitten; man beginnt daher mit großem Rollenabstand, den man in Stufen von 5 mm verkleinert. Die Reizgebung erfolgt mit dem Schlüssel *Hg*, *KS* bleibt offen. So wie im Versuch 43 wird die Schwellenstärke aufgesucht und die Vergrößerung der Zuckungen bei Reizverstärkung bis zum Erreichen des maximalen Reizes beobachtet. Auch hier bleibt das Kymographion stehen und wird nur nach jeder Zuckung um etwa 1 cm weiterverschoben. Unter jede Zuckung ist der Spulenabstand auf die Trommel zu schreiben und mit den Buchstaben „*SS*“ oder „*ÖS*“ zu versehen, damit später aus der Kurve erkannt werden kann, ob die betreffende Zuckung durch einen Schließungsschlag oder einen Öffnungsschlag zustande gekommen ist. Entsprechend der geringeren Reizwirkung der *Schließungsschläge* sind die Spulenabstände für die Schwellenreizstärke und die maximale Reizstärke bei *Schließungsschlägen kleiner* als bei den *Öffnungsschlägen*.

Nach Beendigung des Versuches wird die Kurve fixiert; Ausschnitte sind in das Protokollheft einzukleben.

#### 45. Direkte frequente Reizung des Muskelpräparates; Auslösung tetanischer Kontraktionen.

*Aufgaben:* 1. Nachweis des Überganges der Einzelzuckungen in den unvollkommenen Tetanus bei immer schnellerer Reizfolge.

2. Auslösung des vollkommenen Tetanus bei sehr schneller Reizfolge.

*Erforderlich:* Muskelpräparat, 0,65%ige NaCl-Lösung, Kymographion, Stativ, Kreuzköpfe, Schreibhebel, Strohschreiber, Knochenklemme, S-förmiges Häkchen, Belastungsgewicht, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Stromschlüssel, Induktorium, elektromagnetischer Reizschreiber, Drähte.

Erforderlich ist die gleiche Anordnung wie im Versuch 44, wobei zunächst die Wippe *W* in der Stellung für *Einzelreizung* verbleibt (*KS* offen). Fallweise kann in den Primärkreis des Schlittenapparates auch ein elektromagnetischer Reizschreiber eingeschaltet und dicht unter dem Schreibhebel so befestigt werden, daß die Dauer der Faradisierung — so wie im Versuch 27 (S. 85) und Abb. 34 (S. 87) — unter der Muskelkurve verzeichnet wird; die Spitzen beider Schreiber müssen genau untereinander stehen. Das Kymographion wird bei dem vorliegenden Versuch durch das Federwerk angetrieben. Geschwindigkeit etwa 5 mm in der Sekunde. Wenn der Muskel vom Versuch 44 noch gut reagiert, so kann er auch hier benützt werden; sonst ist ein neues Muskelpräparat herzustellen.

Zur Auslösung des unvollkommenen Tetanus erfolgt die Unterbrechung des Primärkreises von Hand aus mit dem Hg-Schlüssel. Es wird bei einer bereits wirksamen Spulenstellung — bei der sowohl Öffnungs-, als auch schon Schließungsschläge wirksam sind — mehrmals *langsam* der Primärkreis geschlossen und geöffnet, dann aber wird die Betätigung des Stromschlüssels im Primärkreis in immer kürzeren Zeitabständen wiederholt, bis schließlich *so schnell als nur möglich* die Schließung und die Öffnung aufeinanderfolgen. Der Muskel führt zuerst einzelne Zuckungen aus, geht aber dann bei schnellerer Reizfolge in eine Dauerkontraktion über, die jedoch noch kein glattes Plateau wie beim vollständigen Tetanus zeigt, sondern an der oberen Kurvenbegrenzung noch einzelne Zacken, entsprechend den einzelnen Reizen, erkennen läßt. Es ist dabei auch zu beachten, daß infolge der Superposition der Zuckungen die Kontraktionshöhe im Tetanus *größer* ist als bei den vorangegangenen Einzelzuckungen.

Zur Auslösung des vollkommenen Tetanus wird die Unterbrechung des Primärkreises durch den WAGNERSchen Hammer bewirkt; es ist daher die Wippe in die Stellung für frequente Reizung umzulegen. *Hg* wird geschlossen, die Reizgebung erfolgt mit *KS*. Ein elektromagnetischer Reizschreiber bleibt im Strom-

kreis. Bei genügend schneller Frequenz des Unterbrechers (*hoher* Ton der schwingenden Feder) ist die Reizfrequenz genügend groß, so daß beim Beginn der Reizung (Öffnung von *KS*) die Muskelkontraktion einen fast lotrechten Anstieg, ein glattes Plateau und beim Ausschalten einen fast sofortigen Abfall zeigt; durch Ermüdungserscheinungen kann allerdings der Abfall der Kontraktionskurve verzögert sein oder auch ein *Verkürzungsrückstand* bestehen bleiben. Mit dieser Versuchsanordnung sind ferner auch tetanische Kontraktionen bei *verschiedener* Spulenstellung aufzuzeichnen und festzustellen, daß auch hier eine Abhängigkeit von Reizstärke und Kontraktionsstärke besteht. Jeder Tetanus soll nicht länger als einige Sekunden dauern, damit das Präparat nicht zu schnell ermüdet. Unter die Kurven werden die jeweils benützten Spulenabstände in Zentimetern eingetragen. Nach Versuchsschluß ist das Blatt abzunehmen, zu fixieren und zu trocknen; Kurvenausschnitte werden in das Protokollheft eingeklebt.

#### 46. Aufzeichnung einer Ermüdungskurve bei direkter Muskelreizung.

*Erforderlich:* Muskelpräparat, 0,65%ige NaCl-Lösung, Kymographion, Stativ, Kreuzköpfe, Schreibhebel, Strohschreiber, Knochenklemme, S-förmiges Häkchen, Belastungsgewichte, Induktorium, Stromschlüssel, Anschluß an eine „Uhr“-Leitung oder Vorrichtung zur rhythmischen Stromunterbrechung (Metronom, BOWDITCHSche Uhr od. dgl.), Schaltungsdrähte.

Wird ein Muskel *rhythmisch* in kurzen Zeitabständen (z. B. jede Sekunde) gereizt, so nimmt die Hubhöhe sehr bald durch die eintretende Ermüdung ab; schließlich verschwinden die Zuckungen ganz. Zur rhythmischen Reizung schaltet man das Induktorium mit den oberen Klemmen (*ESK* in Abb. 106 auf S. 250) unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels an eine mit „Uhr“ bezeichnete Leitung, in der Stromstöße im Sekundenrhythmus fließen, oder an einen Akkumulator unter Zwischenschaltung eines Metronoms oder einer BOWDITCHSchen Uhr. Um im ersteren Fall aus der gemeinsamen Leitung nicht zu viel Strom zu entnehmen, sollen in den Primärkreis mit Hilfe eines Schieberwiderstandes etwa 4–6  $\Omega$  eingeschaltet werden. Die Sekundärspule ist nur so weit hineinzuschieben, daß möglichst große Öffnungszuckungen, aber *noch keine* Schließungszuckungen auftreten. Das Kymographion soll ferner durch Verstellen der Windflügel so langsam laufen, daß die im Sekundenrhythmus aufeinanderfolgenden Zuckungen etwa 1 mm voneinander entfernt sind. Für den Versuch wird ein frisches Muskelpräparat verwendet, das in der Anordnung für isotonische Zuckungen (Abb. 60 auf S. 131) befestigt ist. Sobald

die Zuckungshöhe merkbar abnimmt, werden durch Öffnen des Stromschlüssels im Primärkreis wiederholt Pausen in die Reizung von einer bis mehreren Minuten Dauer eingeschaltet und die Pausenlängen unmittelbar neben der Kurve auf der Trommel aufgeschrieben. Während der Pause wird die Kymographiontrommel zum Stillstand gebracht. Vergleiche die Größe der Erholung bei verschiedenen langen Pausen sowie den Erholungseffekt gleich langer Pausen bei *verschieden weit* fortgeschrittener Ermüdung. Am gleichen oder einem anderen Muskel ist ferner der Einfluß verschieden großer Belastung (ein oder mehrere Gewichte) auf die Geschwindigkeit des Ermüdungseintrittes zu untersuchen. Prüfe endlich, ob der vollständig ermüdete Muskel bei einer Verstärkung des Stromes neuerlich zu arbeiten beginnt.

#### 47. Nachweis der Milchsäurebildung im Muskel.

*Erforderlich:* Mit Phenolrot vorbehandelter kurarisierter Frosch, Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Stromschlüssel, Induktorium, Reizelektroden, Drähte.

Als Endprodukt der Arbeitsreaktion des Muskels wird *Milchsäure* gebildet; wird ein Muskel durch starke, längere Zeit einwirkende Reize zu kräftiger Kontraktion gebracht, so läßt sich die Milchsäureanhäufung wegen der  $p_H$ -Verschiebung mit einem geeigneten Indikator nachweisen, z. B. mit *Phenolrot*, das bei saurer Reaktion von Rosa nach Gelb umschlägt. Entsprechend vorbehandelte Frösche sind vorbereitet. Diese wurden einige Stunden vor dem Versuch durch vorsichtige Kurarisierung motorisch gelähmt, so daß keine Milchsäure mehr durch Eigenbewegungen in den Muskeln entstehen konnte; nach Eintritt der Lähmung wurde den Tieren Phenolrotlösung in den Rückenlymphsack eingespritzt.

Die **Reizung** erfolgt mit frequentem faradischen Strom. Es ist daher der Schlittenapparat über einen Quecksilberschlüssel mit den unteren Klemmen an den Akkumulator zu schalten und der WAGNERSche Hammer auf schnelle Unterbrechung einzustellen. An die Sekundärspule wird das Reizelektrodenpaar mit den Silberelektroden angeschlossen. Zur **Herstellung des Präparates** wird der Frosch durch Kopfschlag betäubt, dekapitiert und das Rückenmark ausgebohrt; anschließend erfolgt das Abtrennen des Vordertieres und Abziehen der Haut, wie früher auf S. 124 mit Abb. 53 beschrieben. Das enthäutete Präparat wird mit der Bauchseite nach unten auf die Glasplatte gelegt; gereizt werden die Muskeln des Oberschenkels *in situ*. Unmittelbar nach dem Abziehen der Haut zeigen sich die Muskeln durch die Phenolrot-

färbung rosa bis rötlich; einige Minuten nach starker faradischer Reizung — Zusammenschieben der beiden Spulen, Aufsetzen der beiden Silberdrähte mit der Hand auf die Oberschenkelmuskeln der einen Seite — schlägt aber die Farbe deutlich nach Gelb um, was insbesondere durch den Vergleich mit der anderen, ungeritzt gebliebenen Seite deutlich zu erkennen ist.

#### 48. Aufzeichnung der Bewegungen des Säugerdarmes; Wirkung von Acetylcholin und Adrenalin auf die Darmmotorik.

*Erforderlich:* 2—3 cm langes Darmstück (einem 24 Stunden hungerten Meerschweinchen frisch entnommen, in Tyrodelösung von 39° C mit Sauerstoffdurchperlung gespült und durch Ausspritzen mit der gleichen Lösung vom Darminhalt befreit), Suspensionsanordnung nach Abb. 25, kurze Stecknadeln, Tyrodelösung, Acetylcholin-Tyrodelösung 1 : 10 000, Adrenalin-Tyrodelösung 1 : 5000, 2 Pipetten, Kymographion, Gasbrenner, kleines Thermometer bis 50° C, Einrichtung zur Sauerstoffdurchleitung durch die Tyrodelösung, Präparierbesteck, Tuch, Abfallschale.

Im Gegensatz zum quergestreiften Skelettmuskel zeigen die *glatten* Muskeln, vor allem die des Verdauungsapparates, mehr oder weniger rhythmische *Eigenbewegungen*. Am Säugerdarm sind diese allerdings nur deutlich, wenn die Temperatur von 39° C möglichst genau eingehalten und der Suspensionsflüssigkeit dauernd Sauerstoff zugeführt wird. Als Suspensionsflüssigkeit zieht man *Tyrodelösung* der Ringerlösung vor, die sich von der letzteren vor allem durch ihren Gehalt an Magnesiumchlorid und Dextrose unterscheidet.

Das zur Austeilung gebrachte Darmstück wird in dem mit warmer Tyrodelösung gefüllten Becherglas (aus der Suspensionsanordnung) auf den Arbeitsplatz übertragen, dort schnell mit dem einen Ende auf der Korkplatte *Ko* (Abb. 25) mit zwei kurzen Stecknadeln — so wie früher das Froschherz — befestigt, mit dem anderen über Herzklammer und Faden mit dem Schreibhebel verbunden. Man schiebt hierauf das Becherglas mit der Tyrodelösung über den Darm, führt ein mit dem Sauerstoffbehälter durch einen Schlauch verbundenes Kugelrohr in die Flüssigkeit ein, regelt am Hahn die Sauerstoffzufuhr, daß ein langsames Durchperlen der Flüssigkeit erfolgt, prüft schließlich die Temperatur der Tyrodelösung und erwärmt sie durch Hin- und Herbewegen einer kleinen Gasflamme unter dem Becherglas wieder auf 39° C. Diese Temperatur muß während des ganzen Versuches erhalten bleiben; einer der Gruppenteilnehmer hat daher die Temperaturkontrolle und die fallweise Erwärmung der Tyrodelösung zu übernehmen. Das Darmstück darf aus der Flüssigkeit *nicht herausragen* und muß daher u. U., entsprechend zugeschnitten werden.

Der Versuch beginnt mit der Aufzeichnung der normalen Darmbewegungen für die Dauer einer halben oder ganzen Trommelumdrehung (langsamster Gang des Kymographions). Dann wird *ein* Tropfen — im Falle der Wirkungslosigkeit später zwei und mehr Tropfen — *Acetylcholin*-Tyrodelösung in das Becherglas gebracht. Acetylcholin hat Vaguswirkung, führt daher zur Verstärkung der spontanen Darmbewegungen und verstärkt den Tonus der glatten Muskulatur, angezeigt durch ein Hochgehen der geschriebenen Kurve; bei zu großen Acetylcholinmengen tritt eine solche Tonusverstärkung auf, daß die Darmbewegungen selbst verschwinden. Zusatz von einigen Tropfen *Adrenalin*-Tyrodelösung vermindert durch Sympathicuswirkung den Tonus, die Kurve senkt sich wieder; verschwundene Spontanbewegungen können mit der Tonusabnahme vorübergehend wiederkehren, verschwinden aber bei stärkerer Adrenalinwirkung infolge der Erschlaffung des Darmes, die sich durch ein besonders starkes Absinken der vom Schreiber aufgezeichneten Linie bemerkbar macht.

#### 49. Mechanische, osmotische und elektrische Reizung des Froschnerven.

*Erforderlich:* Nerv-Unterschenkel-Präparat, Glasplatte, Präparierbesteck, Kochsalzpulver, galvanische Pinzette, Froschringer, Schälchen, Pinsel, feuchte Kammer.

Das frisch hergestellte *Nerv-Unterschenkel-Präparat* wird auf die Glasplatte gelegt und zur Vermeidung der Austrocknung befeuchtet; die Nervenreizung ist am Zucken der Zehen bzw. der Pfote zu erkennen. Zur **mechanischen Reizung** wird ein Arm der geöffneten Pinzette leicht und federnd auf das Ende des Nerven fallen gelassen oder es sind mit der feinen Schere vom Nervenende kleine Stückchen von  $\frac{1}{2}$ —1 mm Länge abzuschneiden. Im Augenblick des Aufschlagens der Pinzette bzw. des Scherenschnittes tritt eine *Zuckung* auf. Zur **osmotischen Reizung** wird das Nervenende mit einem kleinen Häufchen von Kochsalzpulver bedeckt, das dem Nerven Wasser entzieht und dadurch eine Erregung hervorruft. Sie äußert sich anfangs in mehr oder weniger schnell aufeinanderfolgenden Einzelzuckungen, die aber mit dem Fortschreiten des Wasserentzuges an Häufigkeit zunehmen und schließlich zu einem — allerdings meist unvollkommenen — *Tetanus* verschmelzen. Die einfachste Form der **elektrischen Reizung** besteht in der Berührung des Nerven mit der „*galvanischen Pinzette*“, einem haarnadelförmigen Drahtbügel aus einem Stück Kupfer und einem Stück Zinkdraht, die beide an der U-förmigen Krümmung der Pinzette miteinander verlötet sind. Die beiden, durch

die Berührung mit dem feuchten Nerven an den freien Drahtenden zu einem Stromkreis geschlossenen Metalle stellen ein galvanisches Element dar, dessen Strom als Reiz für den Nerven wirkt. Im Augenblick der Berührung des Nerven mit den Enden der galvanischen Pinzette entsteht daher eine Kathodenschließungszuckung. Mit einer ähnlichen Versuchsanordnung hat GALVANI im Jahre 1786 erstmalig die Reizwirkung des Stromes aus „galvanischen“ Elementen auf Nerv und Muskel gesehen. Mit der vorliegenden Ausführung der galvanischen Pinzette ist allerdings eine Reizwirkung am *Muskel* selbst (bei direkter Reizung) nicht zu erzielen, da die Kapazität dieser Stromquelle zu gering ist und nur für den Nerven, nicht aber für den Muskel eine genügend große Stromdichte liefern kann.

### 50. PFLÜGERSCHES ZUCKUNGSGESETZ.

*Aufgabe:* Es ist am Nerven die Schließungs- und Öffnungswirkung des galvanischen Stromes bei schwachen, mittelstarken und starken Strömen in Abhängigkeit von der Stromrichtung zu untersuchen.

*Erforderlich:* Nerv-Unterschenkel-Präparat, Stativ, Kreuzkopf, Knochenklemme, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Stromwender, Meßdraht, Voltmeter, unpolarisierbare Elektroden, pulverisierter Modellierton, 0,65%ige NaCl-Lösung, gesättigte  $ZnSO_4$ -Lösung, Drähte.

Für die vorliegenden Versuche wird das Nerv-Unterschenkel-Präparat mit dem Femur in jene Knochenklemme eingespannt, die auch zur Befestigung des Muskels bei der Anordnung zur Aufzeichnung isotonischer Zuckungen Verwendung fand (Abb. 60 auf S. 131). Die Knochenklemme wird auf dem Stativ so befestigt, daß der zangenartige Teil *lotrecht nach unten* zeigt; der Femurstumpf wird in *waagerechter* Lage zwischen die Klemme gebracht, so daß der nach unten hängende Unterschenkel mit dem Femurstumpf einen rechten Winkel bildet. Der Nerv wird auf zwei unmittelbar neben dem Präparat aufgestellte unpolarisierbare Tonstiefelektroden gelagert. Diese Tonstiefelektroden werden in der schon beschriebenen Art (S. 78 sowie Abb. 40) hergestellt; die obere Seite des Stiefels ist jedoch nicht wie sonst abzurunden, sondern zu einer scharfen Schneide zu formen, so daß der auf die Stiefel aufgelegte Nerv möglichst punktförmig von den Stromlinien getroffen wird. Die Elektroden sind an einen galvanischen Stromkreis zu schalten, der nach Abb. 99 aufgebaut ist, jedoch noch einen Wender vor dem Meßdraht enthalten muß.

Wie schon auf S. 58 erwähnt, tritt bei ganz *schwachen* galvanischen Strömen nur eine Schließungszuckung auf, bei etwas *stärkeren* kommt noch die Öffnungszuckung hinzu; bei ganz *starken* Strömen verschwindet aber, je nach der Stromrichtung, wieder

eine der beiden Zuckungen infolge der Blockierung durch den Elektrotonus. „Aufsteigende Ströme“ sind solche, deren Anode muskelnah, deren Kathode muskelfern liegt, also solche, bei denen der Strom gegen das Zentralnervensystem gerichtet ist, bei „absteigenden Strömen“ ist dies umgekehrt. Der Stromverlauf für beide Fälle wird in Abb. 61 gezeigt. Unter der Abbildung ist in einer Tabelle der Reizerfolg (Zuckung *Z*) bzw. die Wirkungslosigkeit (*O*)

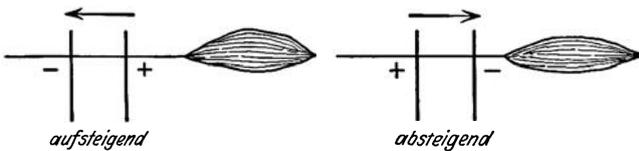


Abb. 61. Lage der Elektroden für auf- und absteigende Ströme.

Reizstärke	Aufsteigender Strom		Absteigender Strom	
	<i>S</i>	<i>Oe</i>	<i>S</i>	<i>Oe</i>
Schwache Ströme . . .	<i>Z</i>	<i>O</i>	<i>Z</i>	<i>O</i>
Mittlere Ströme . . .	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>
Starke Ströme . . . .	<i>O</i>	<i>Z</i>	<i>Z</i>	<i>O</i>

keit (*O*) der Schließung (*S*) und der Öffnung (*Oe*) in beiden Stromrichtungen für die drei Reizstärken zusammengestellt (**PFLÜGERSches Zuckungsgesetz**). Unterschiede in der Zuckungsformel für beide Stromrichtungen ergeben sich nur bei *starken* Strömen; das Fehlen der Schließungszuckung bei *aufsteigenden* starken Strömen erklärt sich daraus, daß der von der Kathode ausgehende Schließungsreiz durch das anelektrotonisch blockierte Gebiet an der Anode nicht hindurch kann, während der anodische Öffnungsreiz ohne weiteres zum Muskel gelangt und zu einer Öffnungszuckung führt. Bei *absteigenden* Strömen kann der von der muskelnahen Kathode ausgehende Schließungsreiz eine Muskelzuckung auslösen, nicht aber der von der muskelfernen Anode ausgehende Öffnungsreiz, da er das Gebiet des früheren Katelektrotonus durchlaufen muß, das ja unmittelbar nach der Stromunterbrechung *leitungsunfähig* ist. Prüfe die drei Stadien des PFLÜGERSchen Zuckungsgesetzes und stelle mit Hilfe des Voltmeters die als „schwache“, „mittlere“ und „starke“ Reize zu bezeichnenden Spannungen fest!

### 51. Nachweis der Muskelaktionsströme mit der sekundären Zuckung.

*Erforderlich:* Nerv-Unterschenkel-Präparat, Nerv-Muskel-Präparat, Stativ, Kreuzkopf, Knochenklemme, Reizelektrodenpaar mit Silberdrähten, Holzklotz mit kleiner Glasplatte, Akkumulator, Stromschlüssel, Schlittenapparat, Drähte, Präparierbesteck, 0,65%ige NaCl-Lösung, Filtrierpapier.

Werden zwei Ableitelektroden an die unverletzte Oberfläche eines Nerven oder Muskels angelegt, so führt das Durchlaufen der Erregungswelle unter den Elektroden zu einem *diphasischen Aktionsstrom*. Da ein gut erregbarer Froschnerv durch diese wenn auch schwachen Aktionsströme gereizt werden kann, so läßt sich mit Hilfe eines Nerv-Muskel-Präparates ein Nachweis des Aktionsstromes führen, da der Muskel die Nervenerrregung durch eine Zuckung anzeigt (*sekundäre Zuckung*).

Zum Nachweis des Muskelaktionsstromes durch die sekundäre Zuckung werden auf einem Stativ eine Knochenklemme, Zange nach unten, und das Reizelektrodenpaar so befestigt, daß die Haltestäbe beider Hilfsgeräte in der Waagerechten etwa einen rechten Winkel bilden. In die Öffnung dieses Winkels wird ein Holzklotz mit aufgelegter Glasplatte gestellt und durch Verschieben der Kreuzköpfe am Stativ dafür gesorgt, daß sich die Silberdrähte und das untere Ende der Knochenklemme etwa in *gleicher Höhe* wie die Glasplatte am Holzklotz befinden. An das Reizelektrodenpaar wird die Sekundärspule eines Schlittenapparates angeschlossen, der in bekannter Weise zur Reizung mit *einzelnen* Induktionsschlägen geschaltet ist. Auf die Glasplatte kommt der Länge nach der Gastrocnemius (= Muskel 1) des Nerv-Muskel-Präparates zu liegen, der zugehörige Nerv (= Nerv 1) auf die Silberdrähte. In die Knochenklemme wird hierauf der Femurstumpf des Nerv-Unterschenkel-Präparates eingespannt, so daß der Unterschenkel dicht neben dem Holzklotz lotrecht nach unten hängt; der Nerv dieses Präparates (= Nerv 2) wird der Länge nach über Bauch und Sehne des Muskels 1 gelegt. Wird der Nerv 1 durch einen kräftigen Induktionsschlag gereizt, so zuckt nicht nur der Muskel 1, sondern — in Form der *sekundären Zuckung* — auch der Unterschenkel, da der Nerv 2 durch den Aktionsstrom des Muskels 1 erregt wird. Wenn der Versuch nicht gelingen sollte, ist es zweckmäßig, das Sehnenende des Muskels 1 abzukappen und den Nerven 2 so über den Muskelbauch zu legen, daß sein Ende den freien Muskelquerschnitt berührt; in diesem Falle dient zur Auslösung der sekundären Zuckung nicht der Aktionsstrom selbst, sondern die von ihm verursachte negative Schwankung des Verletzungsstromes im Muskel 1.

#### IV. Reizversuche an Nerven und Muskeln beim Menschen.

Während bei der Reizung am ausgeschnittenen Froschmuskel oder Nerven die Zuleitung des Stromes keine Schwierigkeiten bereitet und der Strom nur durch das zu erregende Objekt *allein* fließen kann, muß beim Menschen die Reizung durch die *Haut* hindurch erfolgen und es kann der Stromverlauf nur durch besondere Kunstgriffe so geregelt werden, daß er zum größeren Teil — aber doch nur zum *Teil* — durch den gewünschten Muskel oder Nerven fließt. Es wurde festgestellt, daß bestimmte Muskeln und deren Nerven von bestimmten Punkten der Hautoberfläche aus erregt werden können (**motorische Reizpunkte**). Reizpunkte der Nerven sind solche, an denen die Nerven möglichst nahe der Oberfläche liegen; Reizpunkte der Muskeln solche, an denen die Muskeln am leichtesten erregbar sind, vermutlich deshalb, weil dort die Eintrittsstelle des Nerven ist.

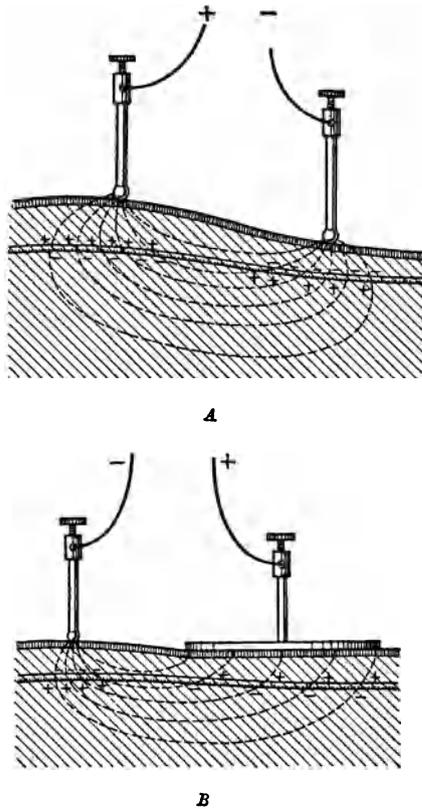


Abb. 62. Ausbreitung der Stromlinien bei der Nervenreizung in situ unter Verwendung gleich großer Elektroden (A) bzw. ungleich großer Elektroden (B). Da der Nerv in situ in leitendem Gewebe eingebettet ist, entstehen nicht bloß auf der den Elektroden zugewandten Nervenseite eine *reelle* Anode und eine *reelle* Kathode, sondern zusätzlich auf der *Nervunterseite* — da Stromlinien durch den Nerven hindurch auch in das unterhalb befindliche Gewebe ziehen — noch eine *virtuelle* Kathode und eine *virtuelle* Anode. Bei Anwendung ungleich großer Elektroden (B) verlaufen die Stromlinien unter der kleineren zusammengedrängt, unter der größeren dagegen ausgebreitet; die Stromdichte reicht daher unter der größeren Elektrode (*indifferente* Elektrode) für eine Reizwirkung *nicht* aus, Erregungen können nur unter der *kleineren* Elektrode (*differente* Elektrode, *Reizelektrode*) entstehen.

Beim ausgeschnittenen Nerven treten die Stromlinien an der Anode ein, verlaufen durch die interpolare Strecke und treten an der Kathode wieder aus. Wie Abb. 62 A zeigt, können aber bei der **Reizung in situ** die von der Anode zur Kathode fließenden Stromlinien zum Teil durch das *über* dem Nerven liegende Gewebe ziehen, zum Teil durch den Nerven hindurch in das *darunter* liegende Gewebe gelangen, um auf dem Weg zur Kathode ein *zweites Mal* durch den Nerven hindurchzutreten. Der Nerv wird also *zweimal* von den Stromlinien durchsetzt; da die Streineintrittsstelle als *Anode*, die Austrittsstelle als *Kathode* bezeichnet wird, liegen, wie Abb. 62 A zeigt, bei der Reizung in situ *zwei* Anoden und *zwei* Kathoden am Nerven. Die der positiven Elektrode gegenüberliegende Eintrittsstelle + + + + + wird auch als wirkliche oder **reelle Anode**, die Austrittsstelle — — — — — unterhalb dieser als **virtuelle Kathode** bezeichnet, die Eintrittsstelle unterhalb der kathodischen Elektrode + + + + + als **virtuelle Anode**, die Austrittsstelle — — — — — gegenüber der negativen Elektrode als wirkliche oder **reelle Kathode**. Es wird dadurch die Zuckungsformel etwas verwickelter, weil auch z. B. an der negativen Elektrode eine Öffnungserregung zustande kommen kann, unter der positiven dagegen auch eine Schließungserregung; diese Reizwirkungen gehen von den *virtuellen* Elektroden aus.

Um eine scharfe **Lokalisation der Reizwirkung** zu ermöglichen, verwendet man im Gegensatz zur Reizung an ausgeschnittenen Organen *ungleich* große Elektroden (Abb. 62 B). Eine meist quadratische oder rechteckige Elektrode von etwa 50 cm<sup>2</sup> Fläche (**indifferente Elektrode**) wird auf den Rücken, Oberarm oder die Brust, eine kleine, knopfförmige Elektrode von meist 3 cm<sup>2</sup> Fläche (**Reizelektrode, differente Elektrode**) auf den Reizpunkt aufgesetzt. Die Reizelektrode enthält einen kleinen Schalter, mit dem durch Fingerdruck entweder der Strom unterbrochen, durch Loslassen geöffnet werden kann, oder der auch bei Betätigung zur Einschaltung, beim Loslassen zur Ausschaltung führt (verschieden je nach der Herstellungsfirma). Die Elektroden bestehen meist aus Metall und sind mit Stoff oder Leder überzogen. Sie werden vor Gebrauch in Wasser, Kochsalzlösung oder Wasser mit Salzsäurezusatz (einige Zehntel Prozent) gelegt und müssen gut durchfeuchtet sein.

Die **Größe der Erregbarkeit** an den einzelnen motorischen Reizpunkten wird bei Benützung des *galvanischen Stromes* durch die Angabe der zur Auslösung einer Muskelkontraktion gerade notwendigen Schwellenstromstärke in Milliampere angegeben. Sie

liegt für die Reizung der Nerven meist unter 1 mA, für Muskeln bei einigen Milliampere. An verschiedenen Versuchspersonen können für die gleichen Muskeln und Nerven je nach der Stromverteilung und insbesondere je nach dem Hautwiderstand die Zahlen um mehrere 100% schwanken, doch zeigt sich z. B. eine verminderte Erregbarkeit stets durch besonders hohe Stromstärke und durch einen trägeren Kontraktionsverlauf an. Beim *faradischen Strom* wird meistens der Rollenabstand in Zentimeter

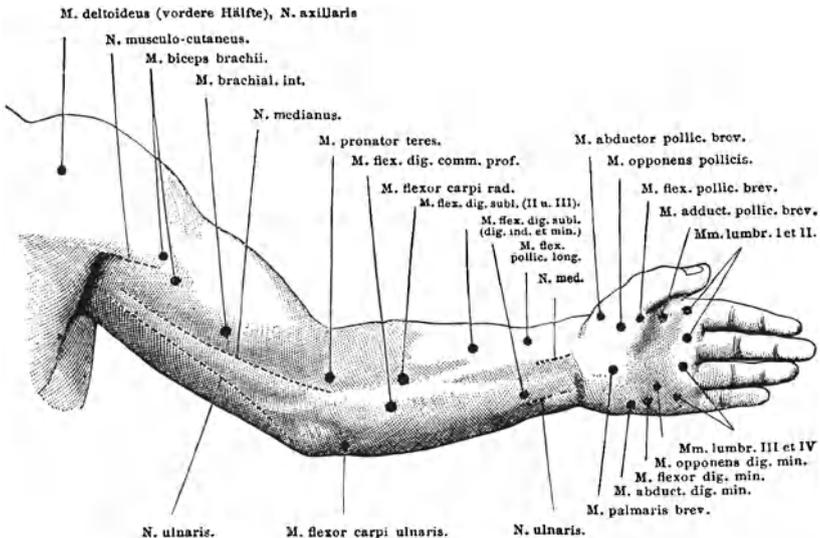


Abb. 63. Verteilung der motorischen Reizpunkte an der Beugeseite der oberen Extremität nach EULENBURG.

angegeben, bei Anschlußapparaten (siehe S. 145) die Zahl für die Stellung des Regelknopfes, was beides aber nicht *Absolutangaben* sind, da den gleichen Zahlen je nach dem Bau der benützten Apparate ganz verschiedene Reizstärken entsprechen. Wird zur Untersuchung aber immer der gleiche Apparat benützt, so können die gefundenen Zahlen auch beim faradischen Strom miteinander verglichen werden. Stets sind auch die Werte für die symmetrischen Muskeln miteinander zu vergleichen.

Abb. 63 und 64 zeigen für die Beugeseite und Streckseite des Oberarmes die Nerven- und Muskelreizpunkte, an denen die im folgenden beschriebenen Versuche auszuführen sind.

Zur elektrischen Reizung am Menschen werden die gleichen Apparate wie in den früheren Schaltungen verwendet. Da bei

der **galvanischen Reizung** höhere Spannungen erforderlich sind, wird als Stromquelle häufig ein Gleichstromnetz mit 110 oder 220 V herangezogen, von dem mit einem als Spannungsteiler geschalteten Widerstand von Null ausgehend beliebig kleine Teilspannungen abgegriffen werden können; auch Hintereinanderschaltung einer entsprechenden Zahl von Akkumulatoren oder Trockenbatterien („Anodenbatterien“) lassen sich benützen. In einer derartigen, meist fertig zusammengestellten Anordnung ist

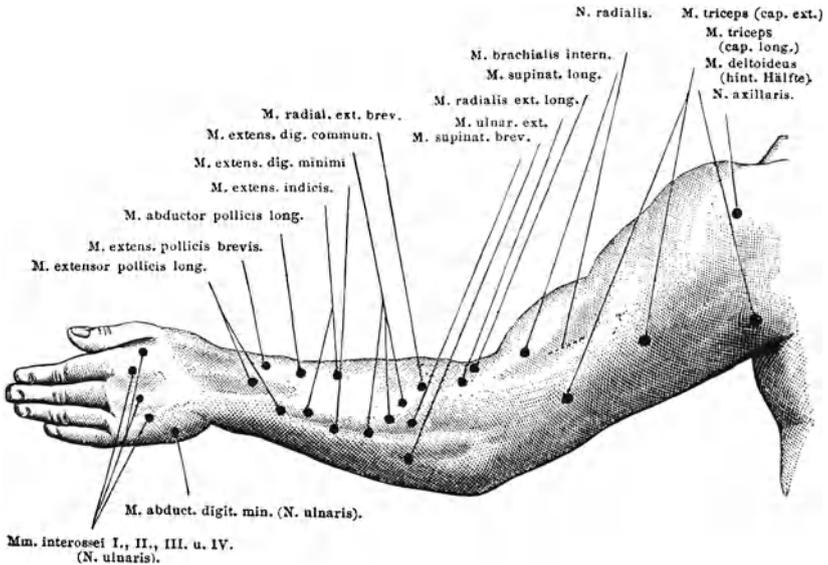


Abb. 64. Verteilung der motorischen Reizpunkte an der Streckseite der oberen Extremität nach EULENBURG.

dem Widerstand ein Voltmeter im Nebenkreis parallel geschaltet, das der Ablesung der Reizspannung dient; zur Feststellung der Stromstärke enthält der Nebenkreis ferner ein Milliampereometer. Ein Stromwender ermöglicht beliebige Polung der differentiellen bzw. indifferenten Elektrode. Da bei Benützung einer Netzleitung die Versuchsperson unmittelbare Verbindung mit dem Starkstromnetz hat, ist darauf zu achten, daß diese nicht etwa *geerdete Gegenstände* (Gashahn, Wasserleitungshahn u. dgl.) berührt, um die Gefahr des Erdschlusses zu vermeiden. Zur **faradischen Reizung** wird der übliche Schlittenapparat benützt, der unter Zwischenschaltung eines Quecksilberschlüssels mit einer Akkumulatoren-

zelle zu verbinden ist; ein Kurzschlußschlüssel kommt in den Sekundärkreis.

Neben diesen behelfsmäßig aufgestellten Einrichtungen wird auch der besonders für den Gebrauch des praktischen Arztes gebaute **Anschlußapparat (Pantostat)** verwendet, der für unmittelbaren Anschluß an die Wechselstromleitung eingerichtet ist, alle für die Zwecke der gewöhnlichen Elektrodiagnostik und Elektrophotherapie erforderlichen Stromformen liefert und infolge des Netzanschlusses *über einen Transformator* auch *erdschlußfrei* und daher vollkommen gefahrlos ist. Der für die galvanische Reizung und zum Betrieb des Schlittenapparates notwendige Gleichstrom wird bei älteren Ausführungen von einer im Gerät eingebauten kleinen Dynamomaschine geliefert, die von einem Wechselstrommotor angetrieben wird; bei neueren Ausführungen des Pantostaten dient zur Erzeugung des Gleichstromes eine Gleichrichteranordnung, die in Verbindung mit Siebgliedern einen sehr viel gleichmäßigeren Gleichstrom liefert als die Dynamomaschine. Er ist dem Strom von Batterien gleichwertig, hinsichtlich des Fehlens eines Batterieverleißes und damit eines allmählichen Sinkens der Spannung sogar überlegen. Außer dem galvanischen und faradischen Strom kann über einen kleinen eingebauten Transformator auch sinusförmiger Wechselstrom zur Erzeugung tetanischer Kontraktionen sowie zum Betrieb eines kleinen Lämpchens oder eines Glühdrahtes (Thermokauter) entnommen werden. Zur Abnahme des galvanischen, faradischen und des sinusförmigen Stromes für Reizzwecke dient das eine Klemmenpaar, während der zum Betrieb eines Lämpchens oder des Thermokauters notwendige, niedrig gespannte, aber sehr starke Wechselstrom von einem anderen Klemmenpaar abgenommen werden kann. Je nach der Stromart, mit der die Reizung ausgeführt werden soll, ist der Wahlschalter neben den Reizstromklemmen auf *G* (Galvanisation), *F* (Faradisation) oder *S* (Sinusstrom) einzustellen; ein mit *GF* bezeichneter Kontaktknopf erlaubt, galvanischen *und* faradischen Strom für besondere Zwecke *gleichzeitig* anzuwenden. Jeder Stromkreis (*G*, *F* oder *S*) hat häufig einen eigenen Einschalter und einen Regelknopf zur Einstellung der Stromstärke. Im galvanischen Stromkreis ist ein Stromwender und ein Milliampereometer eingeschaltet. Steht der Wender auf „normal“ (*N*), so gilt die an den Stromabnahmeklemmen angegebene Polbezeichnung, steht der Wender auf „gewendet“ (*W*), so sind die Pole vertauscht. Das Milliampereometer hat meist zwei verschiedene Empfindlichkeiten, die durch Drehen an einem Knopf beliebig gewählt werden können. Mit dem Knopf dreht sich auch eine im Inneren des Instrumentes

oder vor diesem befindliche Skalenscheibe, die durch ein Fenster die gewählte Empfindlichkeit angibt; steht die Zahl „1“ im Fenster, so gilt die Teilung des Instrumentes unverändert, steht z. B. „10“ im Fenster, so sind die am Instrument abgelesenen Teilstriche mit 10 zu multiplizieren, um die wirkliche Stromstärke zu erhalten.

Bei neueren **Elektrotherapiegeräten** (z. B. dem „*Omnicurrent*“) ist der faradische Strom durch *rhythmische Kondensatorentladungen* ersetzt, die rein elektrisch durch Kondensatoraufladung über einen Hochohmwiderstand und durch Kondensatorentladung über ein elektrisches Ventil (Glimmröhre, Gastriode) erzeugt werden (vgl. Abb. 108 und S. 254). Diese bieten den Vorteil, daß der launenhafte mechanische Unterbrecher entfällt und auch die sonst praktisch wenig veränderliche Reizfrequenz nunmehr von einzelnen Stromstößen über Schüttel- bis zu Rieselströmen (bis zur Impulszahl von etwa 100 je sec) beliebig eingestellt und dem Erregbarkeitsgrad des zu behandelnden Muskels angepaßt werden kann. So wie beim faradischen Strom sind die einzelnen Impulse einander entgegengesetzt, jedoch *symmetrisch* und in bezug auf ihre Reizwirkung gleichwertig; die Symmetrie bedingt, daß solche Ströme durch ein geeignetes Meßinstrument auch gemessen und die Behandlungsstromstärken jederzeit reproduziert werden können. Mit Hilfe motorisch angetriebener Schalteinrichtungen läßt sich dieser Reizstrom in einstellbaren Perioden schwächen und wieder verstärken. Während früher mit den faradischen Strömen nur langdauernde tetanische Kontraktionen hervorzubringen waren, kann mit solchen „*Schwellströmen*“ eine wirklich physiologische Lähmungstherapie durchgeführt werden, da die Muskeln ähnlich der willkürlichen Kontraktion immer nur kurzzeitig beansprucht werden, in den Reizpausen Zeit zur Erholung haben und infolge der rhythmischen Tätigkeit auch eine Pumpwirkung auf die Venen ausüben und den Blutkreislauf des erkrankten Gebietes verbessern. Die Bedienung solcher Geräte ist im wesentlichen gleich den früher besprochenen Anschlußapparaten.

## 52. Faradische Reizung menschlicher Muskeln.

*Erforderlich:* Differente und indifferente Elektrode, Schlittenapparat, Quecksilberschlüssel, Stromschlüssel, Akkumulator, Drähte, Anschlußapparat.

Die indifferente Elektrode wird auf dem Rücken oder auf der Brust aufgesetzt (bei Reizung der Muskeln des Unterarmes oder der Hand auch auf dem Oberarm, möglichst nahe der Schulter), die Reizelektrode auf einen der Abb. 63 und 64 entnommenen

Muskel- oder Nervenreizpunkt. Es ist sodann bei Benützung eines gewöhnlichen Induktoriums (Schaltung für frequente Reizung, Hg geschlossen, kurzdauernde Reizgebung mit *KS* oder mit dem an der differenten Elektrode eingebauten Schalter), der Rollenabstand für die erstmalige tetanische Kontraktion des zum betreffenden Reizpunkt gehörigen Muskels aufzusuchen. Bei Benützung des Anschlußapparates wird die entsprechende Stellung des Regelknopfes an der Skala abgelesen. Zur Erkennung der ersten, gerade merklichen Muskelkontraktion muß man sich natürlich über die Wirkungsweise des betreffenden Muskels klar sein, damit an der *richtigen* Stelle auf das Auftreten der ersten Bewegung geachtet werden kann. Bei einer Reizung der Fingerbeuger z. B. wird man auf die Bewegung der Finger achten müssen. Durch mehrmaliges Ein- und Ausschalten mit *KS* oder mit dem an der Reizelektrode befindlichen Schalter hat man sich davon zu überzeugen, daß die Bewegung wirklich mit der Durchströmung zusammenfällt, damit nicht zufällige Eigenbewegungen mit dem Erfolg der Reizung verwechselt werden. Damit der *Schwellenwert* für die Muskelzuckung gefunden wird, müssen alle Muskeln des Untersuchungsgebietes *entspannt* sein. Man legt daher den Unterarm der Versuchsperson in bequemer Lage auf einen Tisch oder noch besser auf die als Stütze untergehaltene Hand des Untersuchers und fordert die Versuchsperson wiederholt auf, den Arm vollkommen *frei, ohne jede Muskelspannung* auf der Unterstützungsfläche ruhen zu lassen. Durch plötzliches Wegziehen oder Senken der Hand kann sich der Untersucher leicht davon überzeugen, ob dieser Aufforderung Folge geleistet wird, da bei völliger Muskeler schlaffung der Arm der Versuchsperson beim Wegziehen der Unterlage sofort herunterfallen muß. Versuche zunächst die Funktion der einzelnen Muskeln durch faradische Reizung an den entsprechenden Punkten und lege eine Tabelle an, in der für eine bestimmte Versuchsperson die Schwellenwerte für die einzelnen motorischen Reizpunkte in Form der Rollenabstände — bzw. der Skalengrade bei Benützung des Pantostaten oder der Stromstärkeangaben bei Verwendung eines neuzeitlichen Therapiegerätes — verzeichnet sind. Vergleiche ferner die mit der gleichen Versuchsanordnung und am gleichen Muskel bei *verschiedenen* Versuchspersonen gefundenen Schwellenwerte!

### 53. Galvanische Reizung menschlicher Muskeln.

*Erforderlich:* Differente und indifferente Elektrode, behelfsmäßige Einrichtung zur Galvanisation mit einem Gleichstromnetz oder einer Gleichstrombatterie, Anschlußapparat.

Es wird wie im Versuch 52 die indifferente Elektrode auf der Brust, dem Rücken oder Oberarm aufgesetzt, die Reizelektrode auf einem motorischen Reizpunkt nach Abb. 63 oder 64. Die Reizelektrode wird zunächst zur *Kathode* gemacht und durch wiederholtes Ein- und Ausschalten des Stromes mit dem im Stromkreis befindlichen Schalter versucht, eine Zuckung auszulösen, wobei man in den Durchströmungspausen den Regelknopf am Widerstand im Sinn steigender Stromstärke immer um ein Stückchen weiterbewegt. Es empfiehlt sich, für den Anfang die *Fingerbeuger* zu reizen, weil die Muskelzuckung sehr leicht an der Bewegung der Finger erkannt werden kann. Auch hier ist es unbedingt notwendig, daß die Versuchsperson die Muskeln des Armes völlig erschlaffen läßt. So wie beim Nerv-Muskel-Präparat tritt zunächst eine Kathodenschließungszuckung auf; die dazu notwendige Stromstärke ist am Milliampereometer abzulesen und ins Heft zu schreiben. Die Stromöffnung bleibt noch wirkungslos. Man macht hierauf durch Wendung des Stromes die Reizelektrode zur *Anode* und prüft wiederum durch mehrmaliges Ein- und Ausschalten. Es tritt jetzt *keine* Schließungs-, aber auch keine Öffnungszuckung auf. Nun ist der Strom etwas zu verstärken und die Reizelektrode wieder zur Kathode zu machen, mehrmals die Wirkung des Stromschlusses und der Stromöffnung zu prüfen, hierauf das gleiche *ohne Veränderung der Stromstärke* nach der Wendung des Stromes (Reizelektrode als *Anode*) zu untersuchen. Hierauf wird der Strom abermals verstärkt und mit der Kathode bzw. Anode als Reizelektrode die Wirkung von Stromschluß und Stromöffnung beobachtet usw. Man findet bei schwachen Strömen, wie schon früher erwähnt, nur die Kathodenschließungszuckung (KSZ). Bei stärkeren Strömen ist die KSZ deutlicher ausgeprägt, es tritt aber auch sowohl eine Schließungszuckung als auch eine Öffnungszuckung auf, wenn die Reizelektrode die *Anode* ist (Anodenschließungszuckung, ASZ, und Anodenöffnungszuckung, AÖZ). Bei noch stärkeren Strömen werden kräftige KSZ, ASZ und AÖZ beobachtet, aber auch Zuckung bei Stromunterbrechung, wenn die Reizelektrode die *Kathode* ist (Kathodenöffnungszuckung, KÖZ). Bei ganz starken Strömen zeigt sich an Stelle der KSZ eine *Dauerkontraktion* (*Kathodenschließungstetanus*), weil der galvanische Strom bei *großer Stärke* nicht bloß im Augenblick der Einschaltung, sondern auch während des *dauernden Fließens* erregt. Die von der

Zuckungsformel für den ausgeschnittenen Nerven abweichende ASZ und KÖZ erklären sich nach dem Schema in Abb. 62 durch das Auftreten der besprochenen *virtuellen Anode* und *virtuellen Kathode*, sind also in Wirklichkeit auch nur *Kathodenschließungs-* und *Anodenöffnungszuckungen*.

Es sind nun an verschiedenen motorischen Reizpunkten für die gleiche Versuchsperson die Schwellenstromstärken für die vier genannten Zuckungen in Milliampere zu bestimmen. Diese Zahlen sind dann in Tabellenform so umzustellen, daß die Schwellenwerte für die Kathodenschließungszuckung sowie die Schwellenwerte für Anodenschließungszuckung und Anodenöffnungszuckung (die meist bei der gleichen Stromstärke auftreten) und schließlich die Werte für die Kathodenöffnungszuckung miteinander für verschiedene Reizpunkte verglichen werden können. Schließlich sind die Schwellenwerte für die Kathodenschließungszuckung am gleichen Muskel bei verschiedenen Versuchspersonen zu messen, gleichfalls zusammenzustellen und miteinander zu vergleichen.

Bei bestimmten Erkrankungen steigt oder sinkt die Erregbarkeit. Das erstere ist z. B. bei der Tetanie der Fall, das letztere bei Verletzungen oder Erkrankungen des peripheren motorischen Neurons. Am Nervenreizpunkt ist im letzten Fall die galvanische und faradische Erregbarkeit stark vermindert oder erloschen, am Muskelreizpunkt wohl die faradische Erregbarkeit, dagegen ist die galvanische Erregbarkeit für den *Muskel* gesteigert. Es treten also die Zuckungen schon bei *kleineren* Stromstärken als gewöhnlich auf, sie verlaufen träger und — was besonders kennzeichnend ist — die Anodenschließungszuckung tritt schon bei *schwächeren* Strömen auf als die Kathodenschließungszuckung ( $ASZ > KSZ$ ). Dieses Verhalten wird als **Entartungsreaktion** bezeichnet.

Die großen individuellen Abweichungen, die bei dem besprochenen Verfahren der Erregbarkeitsprüfung mit dem galvanischen Strom für die Schwellenwerte gefunden werden, beruhen auf den individuell, aber auch bei der gleichen Versuchsperson zu verschiedenen Zeiten wechselnden Widerstandsverhältnissen. Viel kennzeichnender für die Erregbarkeit und weitgehend unabhängig vom Widerstand ist die zur Reizung gerade ausreichende *Stromflußzeit*. Wird ein bestimmter, einen Muskel bei der Einschaltung erregender Stromstoß immer mehr verkürzt, so zeigt sich bis zu einem Grenzwert (*Nutzzeit* nach GILDEMEISTER) *keine* Veränderung der Zuckung. Wird die Stromflußzeit *noch weiter* verkürzt, so nimmt die Zuckungshöhe ab, bei *kleinsten* Zeiten verschwindet die Zuckung ganz. Die *Minimalzeit*, die gerade noch eine Zuckung hervorruft, ist nur von der Stromstärke abhängig, aber für einen

bestimmten Muskel oder Nerven, sofern seine Erregbarkeit sich nicht ändert, stets konstant. LAPICQUE hat vorgeschlagen, die Minimalzeit für den *doppelten* Schwellenwert zu messen und als *Chronaxie* zu bezeichnen. Zur **Bestimmung der Chronaxie** wird daher zuerst der Schwellenwert (nach LAPICQUE als *Rheobase* bezeichnet) für die Kathodenschließungszuckung festgestellt, hierauf die Reizstromstärke oder die Reizspannung — je nach dem Meßverfahren — verdoppelt und nun mit Hilfe eines geeigneten Apparates der Strom für ganz kurze Zeit ein- und ausgeschaltet, wobei man den Zeitabstand zwischen Stromschließung und -öffnung so lange vergrößert, bis gerade eine Schwellenzuckung auftritt. Die Chronaxie normaler menschlicher Muskeln beträgt Bruchteile vom Tausendstel einer Sekunde. Zur Erzeugung derartiger kurzer Stromstöße verwendet man entweder ein Pendel mit großer Masse, das während seiner Schwingung einen Kontakt schließt und sofort wieder einen zweiten öffnet, oder man benützt Kondensatorentladungen, deren Zeitdauer je nach der Größe des Kondensators bzw. dem Widerstand im Stromkreis verschieden lang ist. Die Bestimmung der Erregbarkeit durch Messung der Chronaxie wird nicht nur für rein wissenschaftliche Untersuchungen, sondern auch für klinisch-diagnostische Zwecke herangezogen.

## V. Allgemeine Physiologie des Zentralnervensystems.

### 54. Prüfung von Reflexen beim Menschen; Rolle der Aufmerksamkeit.

- Aufgaben:* 1. Auslösung von Eigenreflexen (Biceps- und Tricepsreflex).  
 2. Beobachtung der Reflexerleichterung bzw. der Reflexhemmung durch zusätzliche willkürliche Muskelanspannung.  
 3. Auslösung von Fremdreflexen (Kornealreflex, Pupillarreflex, Gefäßreflex).

*Erforderlich:* Reflexhammer, Stecknadel, elektrische Taschenlampe.

Unter **Reflex** wird im allgemeinen ein über das Zentralnervensystem ablaufender Schaltvorgang verstanden, durch welchen zwangsläufig auf einen bestimmten Reiz hin ein bestimmter Reizerfolg herbeigeführt wird; für jeden Reflex ist daher ein sensibles Organ für die Reizaufnahme (*Rezeptor*), ein die Ganglienzellen einschließender *Reflexbogen* und ein Erfolgsorgan (*Effektor*) erforderlich. Die Rezeptoren können durch die Muskelspindeln, durch sensible Endstellen in der Haut oder Schleimhaut, durch das Sinnesepithel von Sinnesorganen usw. dargestellt werden; die Effektoren können glatte oder quergestreifte Muskeln, Drüsen

u. dgl. sein. Reflexe können über alle Abschnitte des Zentralnervensystems zustande kommen; man unterscheidet daher spinale, bulbäre, subkortikale, kortikale und vegetative Reflexe. Die Reflexbogen für sehr viele Reflexe sind angeboren oder entwickeln sich im Laufe der Zeit selbständig ohne jedes Zutun („angeborene Reflexe“); andere wieder bilden sich erst durch Erfahrung und Lernen aus („bedingte Reflexe“). Am kürzesten ist der Reflexbogen bei den **Eigenreflexen** oder **propriozeptiven Reflexen** der Muskeln, bei denen er nur zwei Ganglienzellen enthält; Eigenreflexe sind dadurch gekennzeichnet, daß Rezeptor und Effektor im *gleichen anatomischen Organ* liegen (Beispiel: Reflexkontraktion eines Muskels bei Erregung seiner eigenen Muskelspindeln). Bei **Fremdreflexen** oder **heterozeptiven Reflexen** sind Rezeptor und Effektor voneinander getrennt (Beispiel: Muskelkontraktion durch Hautreizung oder Drüsensekretion durch Schleimhautreizung); bei Fremdreflexen der Muskeln muß der Reflexbogen mindestens drei Ganglienzellen enthalten, von denen die mittlere der Umschaltung dient (*Schaltzelle*). Eigenreflexe der Muskel sind ferner gekennzeichnet: durch *kurze Reflexzeit* (Zeit vom Reizaugenblick bis zum Reaktionsbeginn), die unabhängig von der Reizstärke bleibt; durch die Beteiligung bloß *eines Muskels*, der sich in Form einer *Zuckung* kontrahiert; durch *Unermüdbarkeit*. Fremdreflexe der Muskeln zeigen: eine *längere Reflexzeit*, die sich allerdings mit zunehmender Reizstärke *verkürzt*; Beteiligung *mehrerer Muskeln*, deren Zahl mit der Reizstärke *zunimmt* und die im Sinn einer zweckgerichteten Bewegung zusammenspielen (vgl. Versuch 55 über den Beugereflex beim Frosch); *Summation* an sich unerschwerlicher Reize; *tetanische Kontraktionsform* der Muskelverkürzung; Bestehen einer *Ermüdbarkeit*. Fremdreflexe der Muskeln sind auch willkürlich unterdrückbar, was für die Eigenreflexe *nicht* gilt. Trotzdem können auch Eigenreflexe von der Großhirnrinde aus in ihrem Ablauf beeinflußt werden: Willkürliche Kontraktion des Muskels, an dem ein Eigenreflex ausgelöst werden soll, *erleichtert* das Eintreten des Reflexes, während Anspannung des *Antagonisten* das Eintreten der Reflexzuckung *hemmt* (**reziproke Antagonistenhemmung**). Bei der Auslösung von Reflexen ist daher die Aufmerksamkeit des zu Untersuchenden unbedingt *abzulenken*; denn *Verminderung* oder *Ausbleiben von Reflexen* (bei den Muskeln z. B. durch Läsionen im peripheren motorischen Neuron oder in den sensiblen Bahnen) bzw. *Steigerung von Reflexen* (bei Muskeln z. B. durch Läsionen im zentralen Neuron) sind nur dann mit Sicherheit auf pathologische Veränderungen zurückzuführen, wenn Einflüsse von der Großhirnrinde her ausgeschaltet geblieben sind.

Man wendet daher häufig gewisse *Kunstgriffe* zur Ablenkung der Aufmerksamkeit an, so z. B. bei der Prüfung des Patellarsehnenreflexes den *Jendrassik'schen Kunstgriff*. Die Versuchsperson erhält den Auftrag, die gefalteten Hände so kräftig als möglich auseinander zu ziehen; während sie damit beschäftigt ist, wird vom Untersucher der Reflex ausgelöst. Bei der Prüfung von Reflexen am Arm kann man z. B. den Auftrag geben, die Zähne stark zusammenzubeißen usf. Nach neueren Forschungen scheint es allerdings so, als ob die anbefohlenen Muskelkontraktionen weniger die Aufmerksamkeit als den Tonus der Muskelfasern in den Muskelspindeln beeinflussen würden.

Zur **Auslösung des Bicepsreflexes** wird der *passiv* schwach gebeugte Arm von der linken Hand des Untersuchers gestützt, während die rechte mit dem Reflexhammer einen kurzen leichten Schlag gegen die Bicepssehne führt. Der Arm kann auch auf dem Tisch gelagert werden. Der Reflex besteht in einer Zuckung des Biceps, die zu einer geringen, schnellen Beugung des Unterarmes führt. Der mechanische Schlag auf die Sehne bedingt zunächst eine Streckung der Muskelfasern, damit eine Druckwirkung auf die Muskelspindeln und dadurch wieder die Reflexkontraktion; es liegt daher ein Eigenreflex vor. Wichtig ist für den normalen Ablauf des Reflexes, daß alle Muskeln des Armes wirklich *entspannt* sind, wovon sich der Untersucher vorher zu überzeugen hat. Willkürliche leichte Anspannung der Bicepsfasern *erleichtert* und *verstärkt* den Reflex; wird hierauf der Triceps als Antagonist leicht angespannt, so bleibt der Bicepsreflex infolge der reziproken Antagonistenhemmung *aus*.

Zur **Auslösung des Tricepsreflexes** wird der nach unten hängende Arm der Versuchsperson leicht *passiv* gebeugt und durch die linke Hand des Untersuchers gestützt; mit dem in der rechten Hand gehaltenen Reflexhammer wird ein kurzer leichter Schlag auf die Tricepssehne oberhalb des Olecranon ausgeführt. Der Reflexerfolg besteht in einer Streckung des Armes, die in gleicher Weise wie beim Bicepsreflex über die Muskelspindeln zustande kommt; auch hier liegt ein Eigenreflex vor. Durch Innervation des Triceps bzw. des Biceps ist schließlich wieder die Erleichterung bzw. Hemmung des Tricepsreflexes nachzuweisen.

Der **Kornealreflex**, zu den Schleimhautreflexen gehörend und als Fremdre reflex zu bezeichnen, besteht im Lidschluß bei *Berührung* der Kornea; sein Fehlen ist z. B. eines der wenigen objektiven Kennzeichen der als Hysterie bezeichneten Krankheit. Zur Auslösung wird der Kopf einer Stecknadel (Nadel mit *Glaskopf*) verwendet.

Zu den Fremdre reflexen gehört auch der **Pupillarreflex**, der in Pupillenverengung bei Belichtung, in Pupillenerweiterung bei Verdunkelung des Auges besteht. Er kann objektiv und subjektiv nachgewiesen werden. Zum *objektiven Nachweis* wird die Versuchsperson gegenüber einem Fenster aufgestellt und ein Auge durch die Hand des Untersuchers beschattet; es tritt Pupillenerweiterung ein, die beim Freigeben des Auges in Verengung umschlägt. An Stelle des Tageslichtes kann auch das Licht einer Taschenlampe verwendet werden, das man abwechselnd auf das Auge der vom Fenster abgewendeten Versuchsperson fallen läßt und durch Wegdrehen der Lampe wieder entfernt. Die Pupillenreaktion tritt immer *doppelseitig* auf (*konsensuelle Reaktion*), auch wenn bloß ein Auge allein beschattet oder beleuchtet wird. Fehlen der Pupillenreaktion (*Lichtstarre*, ARGYLL ROBERTSONSches Phänomen) ist vor allem ein wichtiges Kennzeichen bestimmter neurologischer Erkrankungen (Tabes dorsalis, progressive Paralyse). Zum *subjektiven Nachweis der Pupillenreaktion* auf Lichteinfall deckt man das eine Auge durch ein Blättchen ab, das in der Mitte ein feines Loch besitzt und durch das man in Fernsternnähe ebenso wie mit dem freien Auge gegen den Himmel blickt; wird nun das letztere mit der Hand verdeckt, so bemerkt man Vergrößerung des Loches, wird das Auge durch Wegnehmen der Hand wieder freigegeben, so beobachtet man Verkleinerung des Loches. Die Erscheinung erklärt sich daraus, daß das Loch im Blättchen ungefähr in den vorderen Augenbrennpunkt fällt; die durch das Loch eintretenden Strahlen müssen daher *hinter dem optischen Apparat* ein *achsenparalleles* Bündel bilden, das mit der Retina einen kreisförmigen Schnitt gibt. Da dieses Bündel durch die Iris eingeeengt wird, muß sich auch der Durchmesser des Schnittkreises auf der Retina mit der Pupillenweite ändern.

Im Zusammenhang mit den besprochenen Untersuchungen soll auch die **Pupillenreaktion bei der Akkomodation** beobachtet werden, die in *Erweiterung* beim Sehen in die Ferne, in *Verengung* beim Sehen in die Nähe besteht. Der Beobachter stellt sich mit dem Rücken gegen das Fenster und läßt die Versuchsperson sich ihm gegenüber in geringem Abstand so aufstellen, daß sie neben ihm vorbei ins Freie auf einen weit entfernten Gegenstand blicken kann. Etwa 10 cm vor die Nasenwurzel der Versuchsperson hält der Untersucher den Zeigefinger seiner Hand. Auf ein bestimmtes Wort hin hat die Versuchsperson von der Ferne auf den Finger zu blicken; neben der Konvergenzreaktion der Augen wird dabei gleichzeitig die erwähnte Pupillenverengung beobachtet, die eine Vergrößerung der Schärfentiefe bei Naheinstellung bedingt.

Als Beispiel für einen vegetativen Reflex ist schließlich der **Gefäßreflex an der Haut** (*Dermographismus*) zu untersuchen. Mit der Spitze der Stecknadel werden auf der Haut des Unterarmes unter mäßigem Druck einige kurze Striche ausgeführt; nach einigen Minuten entwickelt sich durch Kapillarerweiterung ein *roter Hof* um die Striche.

### 55. Reflexauslösung am Rückenmarksfrosch.

*Erforderlich:* Frosch, Präparierbesteck, Glasplatte, Froschtuch, Abfallschale, Faden, Akkumulator, Quecksilberschlüssel, Wippe als Umschalter, Induktorium, gewöhnlicher Stromschlüssel, Wachsdraht, zwei weiche biegsame Drähte, 2 Lamettafäden oder zwei dünne Kupferdrähte mit Stift und Häkchen, Stativ mit Kreuzkopf und Knochenklemme.

Ein Frosch wird durch Kopfschlag betäubt, dekapitiert und mit dem Unterkiefer an einer Knochenklemme lotrecht aufgehängt, die von einem Kreuzkopf und Stativ getragen wird. *Grüne* Wasserfrösche (*Rana esculenta*) sind nach dem Dekapitieren für Reflexversuche fast sofort verwendbar; die *braungrünen* Grasfrösche (*Rana temporaria*) brauchen jedoch nach dem Abtrennen des Hirnschädels eine Erholungszeit von 5—10 min.

Auch ein gut erregbarer Rückenmarksfrosch hängt beim Fehlen äußerer Reize *vollkommen ruhig* in der Knochenklemme, was ein normales Tier niemals tun würde. Nun kneift man abwechselnd je eine Zehe jedes Beines mit je einer Hand; die Folge dieser **mechanischen Reflexauslösung** besteht in einem *Anziehen* des gereizten Beines (*homolateraler Beugereflex*). Die Erschlaffung und damit das Zurücksinken des Beines (Streckung) geht verhältnismäßig *langsam* vor sich; kneift man ein Bein, wenn das *andere* durch eine vorangegangene Reizung gerade noch angezogen ist, so wird eine *schnelle* Streckung dieses zweiten Beines erzielt. Diese *reziproke Antagonisteninnervation* spielt bei der Lokomotion des Tieres eine wichtige Rolle.

Während der Ausführung des beschriebenen Versuches hat ein Gruppenteilnehmer die Anordnung zur **elektrischen Reflexauslösung** aufgebaut; diese besteht aus der Schaltung nach Abb. 29, in der vom Kurzschlußschlüssel KS zwei besonders dünne Kupferdrähte zu einem Bein des Rückenmarksfrosches geführt und mit je einem Häkchen an der Schwimmhaut dieses Beines zwischen den Zehen befestigt werden. Vorerst wird die Wippe auf *Einzelreizung* geschaltet; die durch *langsames* Schließen und Öffnen von Hg (bei offenem KS) erzeugten Induktionseinzelschläge führen bloß eine *lokale* Muskelkontraktion herbei, sind aber außerstande, einen Reflex auszulösen. Für einen solchen ist *frequente* Reizung

erforderlich. Die Reizfrequenz braucht wegen der Summation in der bei diesem *Fremdreflex* eine Rolle spielenden *Schaltzelle* allerdings nicht sehr groß zu sein; es genügt zur Reflexauslösung den Quecksilberschlüssel mehrmals *schnell hintereinander* zu schließen und zu öffnen. Dabei ist der Rollenabstand festzustellen, der unter diesen Bedingungen zur Reflexauslösung eben ausreicht (Schwellenabstand). Nun wird die Wippe *W* auf frequente Reizung unter Heranziehung des WAGNERSchen Hammers umgeschaltet, KS geschlossen, Hg geschlossen und bei spielendem Hammer KS zur Reizung kurzdauernd geöffnet. Auch hier tritt selbstverständlich bei zureichendem Rollenabstand der homolaterale Beuge-reflex ein, doch ist der Mindestrollenabstand jetzt wegen der höheren Reizfrequenz *größer* (die Schwellenreizstärke also *kleiner*). Je mehr die Spulen zusammen geschoben werden, d. h. je größer die Reizstärke wird, um so intensiver bildet sich der Reflex aus und dieser kann sich sogar bei großer Reizstärke auch auf *andere* Muskeln der gereizten Seite, ja sogar auf die *Gegenseite* ausbreiten.

#### 56. Untersuchung des BRONDGEESTSchen Reflexonus.

*Aufgabe:* Nachweis, daß der Muskeltonus in den Hinterbeinen des Frosches durch Wirkung vom Zentralnervensystem aus zustande kommt.

*Erforderlich:* Frosch, Glasplatte, Präparierbesteck, Faden, Froschtuch, Stativ, Kreuzkopf, Knochenklemme.

Ein mit dem Unterkiefer an der Knochenklemme aufgehängter Rückenmarksfrosch läßt seine Hinterbeine nicht einfach schlaff nach unten hängen; die Beine weisen vielmehr eine leichte Beugung im Hüft-, Knie- und Sprunggelenk auf, die durch den **Tonus** der Muskeln bedingt ist. Dieser Tonus ist nicht auf Eigenverkürzung der Muskeln zurückzuführen, sondern wird den Muskeln durch eine Fernwirkung des Zentralnervensystems über die motorischen Fasern aufgezwungen. Der Beweis dafür wird dadurch geführt, daß Durchschneidung des Ischiadicus bzw. seiner Wurzeln zum Verschwinden dieses Muskeltonus führt; auf der Seite des Eingriffes hängt dann das Bein *schlaff* nach unten und die — auf der unversehrten Seite noch erkennbare — Beugehaltung ist verschwunden. Daß der Tonus auch nicht durch Eigentätigkeit des Rückenmarkes, sondern auf dem *Reflexwege* (**BRONDGEESTScher Reflexonus**) zustande kommt, läßt sich durch Hinterwurzeldurchschneidung zeigen; obwohl in diesem Fall die motorische Bahn zu den Muskeln unversehrt geblieben ist und nur das Abfließen sensibler Reize von der Peripherie zu den motorischen Zentren verhindert wurde, ist der BRONDGEESTSche Tonus auf der Seite des Eingriffes verschwunden. Da die Hinterwurzeldurchschneidung

eine gewisse Fertigkeit voraussetzt, wird im Praktikum nur die Gesamtdurchschneidung des N. ischiadicus durchgeführt.

Wenn das Präparat von Versuch 55 noch gut erregbar ist, so kann es weiter verwendet werden, sonst ist ein neuer Rückenmarksfrosch herzustellen. An diesem wird von rückwärts her der *Plexus lumbalis* freigelegt und angeschlossen. Man führt zunächst auf einer Seite einen Hautschnitt zwischen Darmbein und Steißbein, dann den gleichen Schnitt durch die hintere Wand der Leibeshöhle. Mit Hilfe der Sonde werden die Nervenwurzeln VIII, IX und X aufgesucht und hervorgeholt; man führt dann hinter diesen mit Hilfe der Spitzpinzette einen Faden durch, dessen Enden außen zu einer *losen* Schlinge verknötet werden. Mit Hilfe dieser Schlinge können später diese Nervenwurzeln zur Durchschneidung hervorgeholt werden. Vorerst wird jedoch noch einmal die Haltung der beiden Beine beobachtet und festgestellt, daß das *zwischen* den Beinen sich öffnende rhomboide Fenster praktisch symmetrisch ist. Jetzt werden die Nerven hervorgeholt und durchschnitten; das motorisch gelähmte Bein sinkt sofort schlaff nach unten, das genannte Fenster wird *unsymmetrisch*.

### 57. Bestimmung der Reaktionszeit für Schallreize, Lichtreize und elektrische Schläge.

*Erforderlich:* Chronoskop, Einrichtung zum Geben akustischer, elektrischer und optischer Reize, Morsetaster, Fingerelektroden.

Unter **Reaktionszeit** wird die Zeit zwischen dem Einsetzen eines Reizes und dem Beginn einer darauf erfolgenden *willkürlichen* Reaktion verstanden. Sie ist individuell verschieden, nimmt mit der Übung oder bei gesteigerter Aufmerksamkeit ab, mit Ermüdung jedoch wieder zu. Sie ist auch abhängig von der Stärke, vor allem aber von der *Art* des Reizes; am kürzesten ist sie für Schallreize (im Mittel 0,14 sec), länger für elektrische Hautreize (im Mittel 0,16 sec), am längsten für Lichtreize (im Mittel 0,19 sec). Maßgebend für die Länge der Reaktionszeit ist auch, ob die Versuchsperson ihre Aufmerksamkeit mehr auf den zu erwartenden Sinnesreiz oder mehr auf die auszuführende Muskeltätigkeit einstellt; im ersteren Fall kann die Reaktionszeit bis um 0,1 sec länger sein. Die Reaktionszeitbestimmung ist daher für die Berufseignungsprüfung bedeutsam. Von der Reaktionszeit ist die **Wahlzeit** zu unterscheiden, die länger als die erste ist; man versteht darunter die Zeit zwischen Reizeinsatz und Reaktionsbeginn, wenn unter mehreren möglichen Reizen nur auf einen bestimmten Reiz hin gehandelt werden soll oder unter mehreren möglichen Reizen jedem Einzelreiz eine bestimmte andere Handlung zugeordnet ist.

Da die Reaktions- bzw. Wahlzeit nur Sekundenbruchteile beträgt, kommen zur Zeitmessung gewöhnliche Uhren nicht in Frage; man bedient sich vielmehr des **Chronoskops**. Dieses stellt im wesentlichen ein außerordentlich genaues Uhrwerk mit mehreren Zifferblättern dar, von denen eines vom zugehörigen Zeiger in einer Sekunde umlaufen wird, so daß auch Sekundenbruchteile abgelesen werden können. Das Uhrwerk wird durch Ziehen an einer Schnur in Gang gesetzt, doch werden die Zeiger vom Werk erst mitgenommen, wenn mit Hilfe eines Elektromagneten eine Kupplung erfolgt; die Zeiger bleiben augenblicklich stehen, wenn durch Unterbrechung des Magnetstromes die Kupplung wieder losgelassen wird.

Die **Versuchsanordnung** besteht daher aus dem Chronoskop, der Stromquelle für den Magnetstromkreis, einem Stromschlüssel, einem Morsetaster und den Reizeinrichtungen: Kopfhörer für den akustischen Reiz, Glimmlampe als optischer Reiz, Wechselstromtransformator mit Fingerelektroden für elektrische Hautreize; der Morsetaster läßt in Ruhestellung den Magnetstrom durch, unterbricht ihn aber durch Fingerdruck. Vor dem Versuch wird zuerst die Zeigerstellung am Chronoskop abgelesen; dann setzt die Versuchsperson den Mittelfinger der rechten Hand auf den Morsetaster und erhält den Auftrag, im Augenblick der Reizwahrnehmung den Taster niederzudrücken. Für den Fall akustischer Reize hat die Versuchsperson ferner den Kopfhörer aufzusetzen, für den Fall der elektrischen Hautreizung zwei Finger der linken Hand auf die Fingerelektroden zu geben; vor der Reaktionszeitmessung muß jene Stärke des Reizstromes für die Finger aufgesucht und eingestellt werden, welche bereits deutlich merkbar, aber noch nicht unangenehm ist. Der Versuchsleiter stellt hierauf am Wahlschalter eine bestimmte Art des Reizes ein, die der Versuchsperson bekanntgegeben wird, und schließt dann den Stromschlüssel; in diesem Augenblick wird das Chronoskop in Gang gesetzt, die Zeiger beginnen zu laufen und gleichzeitig erklingt der Prüftön im Kopfhörer oder leuchtet die Glimmlampe auf oder wird ein Stromschlag erteilt. Drückt die Versuchsperson nun als Reaktion den Taster nieder, so bleiben die Zeiger des Chronoskops augenblicklich wieder stehen. Die Reaktionszeit ergibt sich aus dem Unterschied der Ablesung nach und vor dem Versuch; vor der Ablesung hat der Versuchsleiter jedoch den Stromschlüssel zu öffnen, damit nicht ein Loslassen des Morsetasters durch die Versuchsperson die Zeiger des Chronoskops neuerlich in Gang setzt. Da das Einschalten der Magneten mit einem hörbaren Knacks verbunden ist, wird das Chronoskop

zweckmäßig einige Meter weit von der Versuchsperson aufgestellt, damit nicht die Magnetbetätigung schon als akustischer Reiz wirkt. Ist in der beschriebenen Weise für eine bestimmte Versuchsperson *mehrfach* (Einfluß der Übung!) für jede der Reizarten die Reaktionszeit bestimmt worden, so wird anschließend noch eine Messung der Wahlzeit vorgenommen. Zu diesem Zweck wird einer der Reize als „Reaktionsreiz“ bestimmt und der Versuchsperson bekanntgegeben; auf ihn hat die Versuchsperson zu reagieren, während sie die anderen unbeachtet zu lassen hat; der Versuchsleiter gibt nun in beliebiger und der Versuchsperson *nicht* bekannter Reihenfolge die einzelnen Reize und liest im Fall des Reaktionsreizes die Wahlzeit am Chronoskop ab.

### 58. Prüfung der Tiefensensibilität, der Muskelkoordination und der Stereognosie.

*Erforderlich:* Ruhebett, Holzprisma, Stöpselbrett, verschiedene Gegenstände wie Taschenmesser, Bleistift, Zündholzschachtel, Schälchen, Proberröhrchen u. dgl.

Wir sind von der jeweiligen Lage unserer Gliedmaßen, der Stellung der Gelenke und dem Kontraktions- und Spannungszustand der einzelnen Muskeln stets, wenn auch nicht immer bewußt, unterrichtet. Dies beruht zum Teil auf Druck- und Zugwirkungen auf die Haut, zum Teil auf den von den Nervenendigungen in den Gelenken, Sehnen und Muskeln ausgehenden Erregungen: **Tiefensensibilität.** Von der Bedeutung dieser Tiefensensibilität für die Beurteilung von Lage und Raumeinstellung der einzelnen Körperteile kann man sich durch folgende Versuche überzeugen:

Vom Beobachter wird der eine Arm und die eine Hand einer Versuchsperson, die die Augen zu schließen hat, in eine möglichst ungewöhnliche Stellung gebracht, z. B. im Schultergelenk waagrecht gehoben, im Ellenbogengelenk gebeugt, die Hand in Pronationsstellung gebracht und die Finger gespreizt. Der Beobachter hat alle zur Herstellung dieser Haltung notwendigen Lageänderungen am Arm der Versuchsperson nur *ganz langsam* und *allmählich* durchzuführen und soll auch an keiner Stelle eine besondere *Druckwirkung* ausüben, damit nicht starke Haut- und Bewegungsempfindungen den Versuch stören. Die Versuchsperson hat hierauf mit dem anderen Arm und der anderen Hand die *symmetrische* Stellung anzunehmen. Der Gesunde kann dies ohne weiteres trotz der geschlossenen Augen, weil er — hauptsächlich durch seine Tiefensensibilität — die Stellung des anderen Armes

und der Hand kennt. Bei Störungen der Tiefensensibilität kann der Kranke diese Nachahmung der Armhaltung *nicht* ausführen.

Beim **Nasenspitzenzeigerversuch** streckt die Versuchsperson bei *geschlossenen* Augen zunächst Arm und Zeigefinger nach vorn und berührt dann durch Beugen im Ellenbogengelenk mit einer raschen Bewegung die Nasenspitze. Beim **Kniehakenversuch** liegt die Versuchsperson auf einem Ruhebett und hat bei geschlossenen Augen mit der Ferse des einen Fußes abwechselnd den Fußrücken und das Knie des anderen Beines zu berühren. In beiden Fällen wird die richtige Bewegung der Extremität gegen das Ziel durch die Tiefensensibilität geleitet. Bei Störungen der Tiefensensibilität fällt der Versuch natürlich anders aus.

Die Tiefensensibilität spielt auch beim **ROMBERG'schen Versuch** eine große Rolle. Die Versuchsperson hat die beiden Füße parallel nebeneinanderzustellen und die Augen zu schließen. Der Gesunde bleibt ruhig stehen, nur ängstliche Personen zeigen gegebenenfalls leichtes Schwanken. Durch die Tiefensensibilität werden nämlich bei der geringsten Verlagerung des Schwerpunktes — die infolge der kleinen Unterstützungsfläche leicht eintritt — die Muskelspannungen reflektorisch so gesteuert, daß es zu keinen größeren Lageänderungen des Körpers und zu keinem Schwanken kommt. Bei *Störung* der Tiefensensibilität *fehlt* diese Regulation, der Kranke gerät daher nach Schließen der Augen ins Schwanken und kann umfallen. Bei offenen Augen kann der Kranke zum Teil durch die optischen Eindrücke seine Stellung regulieren; doch tritt bei schwereren Störungen der Tiefensensibilität und bei parallel gestellten Füßen auch schon bei offenen Augen ein deutliches Schwanken auf, das beim Schließen sich wesentlich verstärkt. Die Tatsache aber, daß solche Koordinationsstörungen z. B. auch bei Erkrankungen des Vestibularapparates auftreten, zeigt, daß außer der Tiefensensibilität jedenfalls auch noch andere Faktoren beteiligt sein können.

Die **Koordination von Muskelbewegungen** im Bereich der oberen Extremitäten kann auch mit dem *Holzprisma* und dem *Stöpselbrett* nach FRENKEL geprüft werden. Das 30—40 cm lange, waagrecht gelagerte *Holzprisma* kann um seine Längsachse so gedreht werden, daß stets eine Kante oben ist. Eine der Kanten ist durch eine Hohlkehle ersetzt, die zweite so abgehobelt, daß eine nur wenige Millimeter breite, ebene Fläche vorhanden ist, die dritte ist als scharfe Kante belassen. Die Versuchsperson hat mit einem spitzen Gegenstand, z. B. einer Stricknadel oder einem gespitzten Bleistift, zunächst die Hohlkehle, sodann die ebene Fläche und schließlich die Kante rasch entlang zu fahren, wobei der Arm frei

gehalten werden muß und die Hand sich nirgends stützen darf. Der Gesunde wird meist nur bei der scharfen Kante versagen, während bei größeren Koordinationsstörungen selbst nicht die Hohlkehle ohne Abgleiten durchfahren werden kann. Das *Stöpselbrett* besteht aus einem mit einer Reihe von Löchern versehenen Brett, in die passend abgedrehte Holzstöpsel einzustecken sind. Die Versuchsperson erhält den Auftrag, z. B. alle Stöpsel der Reihe nach herauszuziehen und sie in die diagonal angebrachten Löcher hineinzustecken. Der Gesunde kann dies in kurzer Zeit ausführen, bei Koordinationsstörungen wird aber besonders zum Hineinstecken der Stöpsel in die Löcher viel Zeit gebraucht. Wegen der nicht mehr fein abgestuften Bewegung wird vom Kranken der Stöpsel wiederholt über das Loch hinausgeführt, während er bei der Rückbewegung das Loch gleichfalls wieder überspringt, so daß eigentlich der Stöpsel nur zufällig gerade über ein Loch gebracht und hineingesteckt werden kann.

Auf die Tiefensensibilität ist auch die *Stereognosie* zurückzuführen, das ist die Fähigkeit, bei geschlossenen Augen durch Abtasten die Form von Gegenständen zu erkennen. Über die Beschaffenheit der Oberfläche (rauh, glatt, hart, weich usw.) unterrichtet der Hautsinn; die Form der Gegenstände wird aber durch die zur Abtastung notwendigen Gelenkstellungen erkannt. Der Versuchsperson werden nacheinander verschiedene Gegenstände, wie Taschenmesser, Streichholzschachtel, Schlüssel, Bleistifte, Münzen, Schälchen, Proberöhrchen u. dgl. in die Hand gegeben; diese hat sie dann mit *geschlossenen* Augen zu beschreiben und zu benennen.

## VI. Physiologie der Sinnesorgane.

### 59. Aufsuchen von Druck-, Schmerz- und Temperaturpunkten auf der Haut.

*Erforderlich:* Verschieden dicke Tastborsten, feine Nadeln (sog. Insektennadeln), Thermoden, Stecknadeln mit großem Glaskopf, Wattetupfer, farbige Hautstifte.

Zur Feststellung der einzelnen Druckpunkte in der Haut werden die Tastborsten nach v. FREY

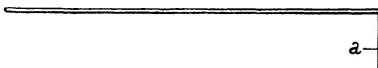


Abb. 65. Tastborste (a) nach v. FREY.

(siehe Abb. 65) benützt. Die Borsten sind auf je ein Holzstäbchen geklebt; je nach ihrer Dicke ist der Druck, der auf

die Haut ausgeübt werden kann, verschieden groß. Solange die Borste gerade gestreckt bleibt, wird der Druck unmittelbar auf

die Haut übertragen, von einem oberen Grenzwert an biegt sie sich aber einfach durch. Ein zu schwacher, nicht gefühlter Druck ist *unterschwellig*; ein eben merklicher entspricht der *Reizschwelle*. Durch Benützung verschieden dicker Borsten kann die Reizschwelle für verschiedene Punkte gefunden werden. Setzt man die Tastborste auf einzelne Punkte der Haut des Handrückens, des Armes, des Gesichtes usw. auf, so können verschiedene Empfindungen ausgelöst werden. Besonders in der Nähe der Haare wird die Berührung als Druck empfunden (**Druckpunkte**). Die Versuchsperson muß sehr aufmerksam sein; es empfindet sich das Schließen der Augen zur Unterstützung der Konzentration. Wiederholt man die Bestimmungen mehrmals hintereinander, so findet man viel *mehr* Punkte als am Anfang, weil die Versuchsperson geübt ist. Nach einiger Zeit findet man wieder weniger, weil die Aufmerksamkeit nachläßt.

Die **Schmerzpunkte** findet man durch Aufsetzen einer feinen Nadel (Insektennadel).

Die **Temperaturpunkte** (*Kälte- und Wärmepunkte*) werden mit sog. Thermoden aufgesucht. Das sind entweder Ganzmetallstäbe oder metallische Hohlkörper mit fein zugespitztem unteren Ende und einem meist aus Holz bestehenden Ring zum Halten. Die Ganzmetallkörper werden für längere Zeit in heißes Wasser (45 bis 50° C) oder in Eiswasser gehalten und dann nach Abtrocknung zum Aufsuchen der Temperaturpunkte verwendet; die hohlen Thermoden werden einfach mit warmen oder kaltem Wasser gefüllt. Behelfsmäßig können auch in Eis gekühlte oder in der Gasflamme angewärmte Stricknadeln benützt werden.

Um die **Verteilung der Sinnespunkte auf der Haut** festzustellen, werden am besten die *Vorderseiten* der beiden Unterarme benützt; auf dem einen Arm werden Tastpunkte und Schmerzpunkte aufgesucht und unmittelbar nach jeder Bestimmung durch einen Punkt mit farbigen Hautstiften bezeichnet (Tastpunkte *rot*, Schmerzpunkte *blau*), auf dem anderen Arm erfolgt anschließend das Aufsuchen und die Anzeichnung der Kälte- bzw. Wärmepunkte (Kältepunkte *blau*, Wärmepunkte *rot*).

Für klinisch-diagnostische Zwecke wird die Feinheit der Empfindung oft nur so geprüft, daß eine mit einem großen Kopf versehene Stecknadel abwechselnd mit der Spitze oder dem Kopf auf die Haut aufgesetzt wird. Der Kranke hat mit geschlossenen Augen anzugeben, ob er „spitz“ oder „stumpf“ gefühlt hat. Auch mit einem zart über die Haut streichenden Wattetupfer kann man die Empfindlichkeit prüfen.

### 60. Bestimmung der Simultanschwellen für Druckreize.

*Erforderlich:* Tastzirkel, Lineal mit Millimeterteilung.

Die Versuchsperson hat die Augen zu schließen. Es ist ein Tastzirkel mit zwei Spitzen, deren gerade eingestellter Abstand an einem Lineal bestimmt wird, an verschiedenen Hautstellen aufzusetzen. Die Versuchsperson hat anzugeben, ob sie *eine* oder *zwei* Spitzen fühlt. Wichtig ist dabei, daß *beide* Spitzen *gleichzeitig* und nicht etwa hintereinander aufgesetzt werden. Der Versuch ist zunächst an der gleichen Hautstelle mit verschieden großem Spitzenabstand auszuführen, dann an anderen Hautstellen zu wiederholen. Der größte Abstand, bei dem *beide* Spitzen noch als eine einzige gefühlt werden, entspricht dem Durchmesser einer sog. **Empfindungsfläche**; der kleinste Abstand, bei welchem beide Spitzen bereits getrennt wahrgenommen werden, stellt die sog. **Simultanschwelle** dar. Empfindungsflächen und Simultanschwellen sind an verschiedenen Hautstellen *verschieden*; die letztere beträgt z. B. an der Lippe rund 4—5 mm, an der Nase 7 mm, an der Wange 11 mm, am Handrücken 32 mm, am Unterarm 40 mm.

Da die Empfindungsflächen nicht kreisförmig, sondern z. B. am Ober- oder Unterarm *oval* sind, muß die Bestimmung des Abstandes an der gleichen Stelle auch in *verschiedener Richtung* vorgenommen werden.

Die **Größe der Empfindlichkeit** ist je nach der Verteilung der Druckpunkte verschieden. Stellt man am Tastzirkel einen solchen Abstand der Spitzen ein, daß *zwei* Empfindungen zustande kommen, und fährt man mit ihm über ein längeres Stück der Haut, so glaubt man zeitweilig, daß die Spitzen einander genähert oder voneinander entfernt würden. Untersuche diese Erscheinung am Ober- und Unterarm, bezeichne solche besondere Punkte und bestimme dort die Größe der Empfindungsfläche bzw. der Simultanschwelle!

### 61. Untersuchung der Hörweite.

*Erforderlich:* Taschenuhr, Schlauch mit Ansatz zum binauralen Hören.

Beim gewöhnlichen Hören wird der Hauptteil des Schalles *unter* etwa 2000 Schwingungen je sec (= 2000 Hz) durch Gehörgang, Trommelfell und Gehörknöchelchen zur Perilymphe geleitet und von dort über Scala tympani und Ductus cochlearis auf die Cortische Membran übertragen. Der Schall gelangt in diesem Fall durch **Luftleitung** zum Mittelohr; aber auch durch **Knochenleitung** kann z. B. der von den Schädelknochen aufgenommene Schall insbesondere *über* 2000 Hz zur Paukenhöhle gebracht und

entweder auf dem Weg über die Gehörknöchelchen der Perilymphe zugeleitet werden (*craniotympanale Leitung*) oder auch unmittelbar das knöcherne Labyrinth und damit die Perilymphe erschüttern (*craniolabyrinthäre Leitung*).

Die **Funktionsprüfung des Ohres** kann in einfachster Weise mit einer laut tickenden **Taschenuhr** vorgenommen werden. Das eine Ohr der Versuchsperson wird mit einem befeuchteten Finger oder einem Wattepfropf verschlossen, das andere Ohr der Uhr zugewendet, die der Versuchsleiter immer mehr von der Versuchsperson *entfernt*; man stellt auf diese Weise den Abstand fest, über den die Uhr gerade *noch* gehört wird, bzw. beim Nähern denjenigen, über den sie *wieder* gehört wird. Durch Wiederholung wird ein Mittelwert bestimmt. Dieses verhältnismäßig grobe Verfahren eignet sich hauptsächlich zum Vergleich beider Ohren, kann aber auch zur Beurteilung des absoluten Hörvermögens herangezogen werden, wenn durch Versuche an normal hörenden Personen die Hörweite für diese Uhr bekannt ist.

Für das zweiohrige (*binaurale*) Hören kann die **Hörweite** verschiedener Personen mit Hilfe eines längeren Schlauches verglichen werden, der an einem Ende *verschlossen* ist, am anderen ein T-Stück mit zwei gebogenen Metallröhren und Ohröfen trägt. Die Ohröfen steckt sich die Versuchsperson in beide Ohren; die Taschenuhr wird nun an verschiedenen Stellen des langen Schlauches *fest* angelegt, wobei die Versuchsperson anzugeben hat, ob sie das Ticken der Uhr noch hört oder nicht. Je weiter die Uhr gegen das verschlossene Ende des Schlauches bis zum Unhörbarwerden hinausgeschoben werden kann, um so größer ist die Hörweite der betreffenden Versuchsperson.

Die **Funktionsprüfung mit der Sprache** ist zwar gleichfalls nicht sehr genau, gibt aber doch eine Reihe bemerkenswerter Aufschlüsse. Die Fehlerquellen liegen darin, daß die Empfindlichkeit des Ohres für verschiedene Tonhöhen verschieden ist, so daß z. B. bei gleich lautem Sprechen das *hohe* Teiltöne enthaltende Wort „heiß“ auf eine viel größere Entfernung verstanden wird als das vorwiegend *tiefe* Teiltöne enthaltende Wort „rund“; ein der Versuchsperson gut bekanntes Wort kann, auch wenn es nicht deutlich gehört wird, *erraten*, ein deutlich gehörtes, wenn es dem Betreffenden *fremd* ist, nicht verstanden werden; wenn bei Erkrankungen *Hörlücken* vorhanden sind, ist das Verstehen von Wörtern, die gerade die entsprechenden Schwingungszahlen enthalten, unmöglich oder erschwert, während andere Wörter tadellos verstanden werden. Die zur Hörprüfung benützten Wörter müssen daher dem Untersuchten bekannt, aber doch nicht so geläufig

sein, daß er sie leicht erraten kann; es müssen hoch- und tiefklingende Wörter verwendet werden, eine Wiederholung ist zu vermeiden. **Beispiele von Testwörtern:** Eisenbahn, Tisch, Wasser, Mutter, Kaffee, Papier, Lampe, siebenundvierzig, achtundzwanzig, Schwester, achtundachtzig, Vater, rund, General usw. Gewöhnliche *Umgangssprache* wird bei normalem Hörvermögen noch über eine Hörweite von 20 m verstanden, die ton- und stimmlose *Flüstersprache* über 8—12 m. Um bei der *Flüstersprache* mit möglichst gleicher Lautstärke zu sprechen, soll man zunächst normal ausatmen und dann mit der *Reserveluft* sprechen. Weiter als die gewöhnliche Flüstersprache wird die *akzentuierte* Flüstersprache gehört, bei der meist unter Benützung der gewöhnlichen Ausatemungsluft die Flüstersprache mit deutlicher Betonung gesprochen wird.

Bei einem Kranken sollte immer das Hörvermögen für die *Umgangs- und* für die Flüstersprache bestimmt werden; bei Untersuchung der Hörweite des Gesunden kann nur die **Prüfung mit der Flüstersprache** erfolgen, da die notwendigen Entfernungen für die *Umgangssprache* meist nicht zur Verfügung stehen. Bei der Prüfung mit der Flüstersprache befindet sich die Versuchsperson auf der einen Seite des Raumes, der Untersucher auf der anderen. Die Versuchsperson *verschließt ein Ohr* mit dem feuchten Finger und wendet das andere dem Untersucher zu, wobei jedoch vermieden werden muß, daß die Wörter vom Mund abgelesen werden. Der Untersucher spricht langsam und deutlich die Testwörter und läßt sie von der Versuchsperson wiederholen. Werden nicht alle Wörter verstanden, so nähert sich der Untersucher so lange, bis völlige Verständlichkeit erreicht ist. Dieser Abstand wird dann als Hörweite bezeichnet. Unterschiede von  $\frac{1}{2}$  m für die Flüstersprache und von etwa 1 m für die gleichartig geprüfte *Umgangssprache* bei wiederholten Untersuchungen liegen im Bereich der Fehlergrenzen. Hört die Versuchsperson über die ganze Länge des Versuchsraumes, so kann sie das Ohr um  $180^\circ$  vom Untersucher abwenden (*halbabgewendete Anordnung*); eine weitere Abschwächung wird dadurch erzielt, daß der Untersucher der Versuchsperson den Rücken zuwendet (*doppeltabgewendete Anordnung*). 8 m bei direkter Anordnung entsprechen etwa 6 m bei halbabgewendeter Anordnung bzw. 4,8 m bei doppeltabgewendeter Anordnung.

Bestimme mit der Flüstersprache zunächst bei direkter, ferner bei halbabgewendeter und doppeltabgewendeter Anordnung für eine Reihe von Testwörtern die Hörweite sowohl für das linke wie für das rechte Ohr! Berechne daraus — für die gleiche Versuchsperson — das Verhältnis der Hörweite bei den verschiedenen An-

ordnungen. Bestimme sodann für das gleiche Ohr die Hörweite für die hochklingenden Zahlen 2, 6, 7, 57, 74 sowie für die tiefklingenden 8, 9, 100, 28, 88. Bestimme ferner an mehreren Versuchspersonen bei allen drei Anordnungen die Hörweite für folgende drei Wörter: Wasser, Suppe und Mutter, wobei als Hörweite jene Entfernung gilt, bei der die Versuchsperson angibt, das Wort wirklich deutlich zu verstehen. Wenn die Fehler auch dadurch, daß diese Wörter der Versuchsperson im Falle des physiologischen Praktikums schon bekannt sind, viel größer werden, so sind doch deutliche Unterschiede zu finden.

## 62. Bestimmung der unteren und oberen Hörgrenze.

*Erforderlich:* Tiefe Stimmgabel mit Schiebengewichten, KÖNIGSche Stäbe, Grenzpfleifen (GALTON-Pfeifen).

Im mittleren Lebensalter liegt die untere Hörgrenze bei 16 Schwingungen in der Sekunde, die obere bei 20000. Im Alter sinkt besonders das Hörvermögen für hohe Töne. Die Hörgrenzen sind weiter bei Erkrankungen des Ohres eingeschränkt; Störungen im schalleitenden Apparat (*Mittelohrschwerhörigkeit*) schädigen die Übertragung *tiefer* Töne, so daß die Empfindlichkeit an der *unteren* Grenze abnimmt und nur die *hohen* Töne gehört werden. Störungen im schallperzipierenden Apparat (*Innenohrschwerhörigkeit*) sind häufig an der Schneckenbasis lokalisiert und daher mit Hörverlust für die *hohen* Töne und mit Sinken der *oberen* Hörgrenze verbunden. Da für die Verständlichkeit der Sprache vor allem die *hohen* Teiltöne maßgebend sind, macht sich die Innenohrschwerhörigkeit meistens durch Schwierigkeit im Verstehen bzw. Erkennen der Zischlaute bemerkbar.

Die **untere Hörgrenze** ist durch jene Schwingungszahl gegeben, bei welcher die einzelnen Stöße zum erstenmal zur Empfindung eines *kontinuierlichen Tones* verschmelzen. Die **obere Hörgrenze** ist durch jene Schwingungszahl gegeben, welche gerade noch zu einer Tonempfindung führt und deren geringste Erhöhung den Ton bereits *unhörbar* werden läßt. Da für ganz tiefe und sehr hohe Töne die Empfindlichkeit des Ohres *gering* ist, muß bei der Bestimmung der *unteren*, besonders aber bei Bestimmung der *oberen* Hörgrenze die Schallquelle sehr *nahe* an das Ohr gebracht werden. Zur Bestimmung der unteren Hörgrenze wird eine tief abgestimmte Stimmgabel, deren Zinken durch Schiebengewichte belastet sind, verwendet; zur Bestimmung der oberen Hörgrenze kann man longitudinal schwingende Stahlstäbe nach KÖNIG oder auch die sog. Grenzpfleifen (GALTON-Pfeifen) verwenden.

Zur Bestimmung der unteren Hörgrenze mit der Stimmgabel wird die in Abb. 66 dargestellte Stimmgabel nach EDELMANN aus der BEZOLDSchen Tonreihe verwendet. Die beiden Zinken tragen die verschieblichen Gewichte  $G_1$  und  $G_2$ , die in der gewünschten Stellung mit den Schrauben  $S_1$  und  $S_2$  festgehalten werden können. Die linke Zinke der Stimmgabel von Abb. 66 trägt Marken von

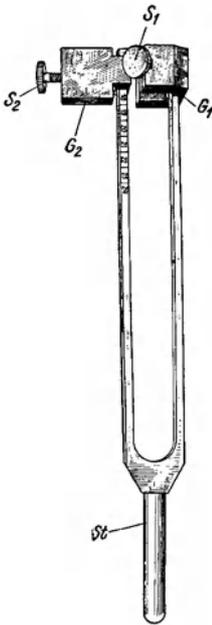


Abb. 66. Stimmgabel von EDELMANN zur Bestimmung der unteren Hörgrenze.

$G_1$ ,  $G_2$  Schiebegewichte;  $S_1$  und  $S_2$  Befestigungsschrauben;  $St$  Stiel zum Halten.

16—24; wird das Schiebergewicht  $G_2$  mit seiner Schneide auf eine dieser Marken eingestellt, mit der Schraube  $S_2$  festgezogen und schließlich das Gewicht  $G_1$  auf der anderen Zinke in die genau gegenüber liegende Stellung gebracht, so liefert die Gabel einen Ton von der eingestellten Schwingungszahl. In der Abb. 66 sind z. B. die beiden Gewichte gerade für den Ton von 16 Schwingungen eingestellt. Durch Höherücken der Gewichte gegen die Zinkenden werden noch tiefere Töne erreicht, die jedoch nur mehr Töne im *physikalischen*, aber nicht mehr im *physiologischen* Sinn darstellen, da in diesem Fall die Einzelschwingungen getrennt als Einzelstöße hörbar werden und nicht mehr zu einer einheitlichen Tonempfindung verschmelzen. Wie sich aus Abb. 66 ergibt, haben die Gewichte  $G_1$  und  $G_2$  *verschiedene* Form; das Gewicht  $G_2$  muß immer in der in Abb. 66 gezeigten Stellung auf der Zinke mit der Zahleneinteilung befestigt werden, das Gewicht  $G_1$  in der gezeichneten Stellung auf der anderen Zinke. Um die Stimmgabel zum Schwingen zu bringen, wird sie mit der rechten Hand am Stiel  $St$  erfaßt und mit dem Gewicht  $G_2$  voran leicht gegen den

Daumenballen der linken Hand geschlagen. Die schwingende Gabel wird mit der *Breitseite* der Zinken dem zu untersuchenden Ohr auf 5—10 cm genähert. Man beginnt mit Schwingungszahlen etwas unter 16 und wiederholt die Prüfung mit immer höheren Tönen, bis die Versuchsperson zum erstenmal an Stelle von Einzelstößen einen einheitlichen Ton wahrnimmt.

Zur Bestimmung der oberen Hörgrenze mit den KÖNIGSchen Stäben werden die an Fäden waagrecht aufgehängten dicken und nur wenige Zentimeter langen Stahlstäbe mit dem beigegebenen

Hammer an einer der Querschnittsflächen leicht angeschlagen. Die Schwingungszahl ist auf jedem Stab vermerkt. Zu beachten ist, daß in *romanischen* Ländern — im Gegensatz zur *deutschen* Zählweise — jede Einzelschwingung gesondert gezählt wird. Einer Schwingungszahl von 20000 Hz nach deutscher Zählweise entspricht daher die Schwingungszahl von 40000 nach romanischer Zählweise. Die auf den Stäben des französischen Akustikers KÖNIG angegebenen Schwingungszahlen müssen daher durch zwei dividiert werden, um die Tonfrequenz in unserer Zählweise anzugeben. Die Stäbe bis zu einer Schwingungszahl von 32768 (= 16384 in unserem Sinn) sind auf einem Gestell befestigt und werden dort angeschlagen; Stäbe für höhere Töne werden dagegen — wegen der geringen Empfindlichkeit des Ohres für dieses Frequenzgebiet — am Haltefaden mit dem einen Querschnitt dicht vor das Ohr der Versuchsperson gebracht und in dieser Lage auf dem vom Ohr abgewendeten Querschnitt angeschlagen. Die Töne an der oberen Hörgrenze sind dünn, spitz, stechend und sehr leise; es ist besondere Aufmerksamkeit der Versuchsperson nötig, um im Bereich der Hörgrenze den eigentlichen Ton vom Anschlagsgeräusch des Hammers zu unterscheiden.

Zur Bestimmung der oberen Hörgrenze mit den **Grenzpfifen** (GALTON-Pfeifen) werden die Geräte nach Abb. 67 und 68 verwendet. Die *einfache Grenzpfife* (Abb. 67) besteht aus dem Mundstück *D* und dem Pfeifenkörper *E*, die in einem kräftigen Bügel *H* — der gleichzeitig zum Halten der Pfeife dient — eingeschraubt sind. Über das Ansatzstück *A* wird der Pfeife mit Schlauch und Gebläse ein Luftstrom zugeführt, der aus dem ringförmigen Schlitz des Mundstückes *D* ausströmt und auf die genau gegenüber liegende ringförmige Schneide (*Labium*) des gedackten Pfeifenrohres *E* auftrifft; an dieser Stelle entstehen die Töne durch Schneidewindschwingungen. Die Tonhöhe der Pfeife ist vom *Abstand* des Mundstückes vom Labium (= *Maulweite*) und der *Länge des Pfeifenrohres* abhängig. Beide Größen werden mit Hilfe je einer Trommel mit Teilung abgelesen. Zur *Feststellung der Maulweite* dient die Trommel *B* mit 10 Teilstrichen am Umfang und das Winkelstück *C*, das drei übereinanderliegende Querstriche enthält. Bei der Ausgangsstellung der ganz nach *oben* gedrehten Trommel fällt der untere Trommelrand mit dem *obersten* Strich am Winkelstück *C* zusammen; der *oberste* Strich gibt also die *Nullstellung* an. Nach Ausführung einer vollen Trommelumdrehung steht der untere Rand der Trommel auf dem *mittleren* Querstrich des Winkelstückes *C*, nach zwei Trommelumdrehungen entspricht der untere Trommelrand dem *untersten* Querstrich von *C*. Die Zahl

der *ganzen* Umdrehungen der Trommel wird also durch die Striche an *C* angegeben, die *Umdrehungsbruchteile* sind an den Teilstrichen der Trommel selbst in Verbindung mit einem Spalt am Winkelstück *C* abzulesen. Hat die Trommel z. B. gerade die in Abb. 67

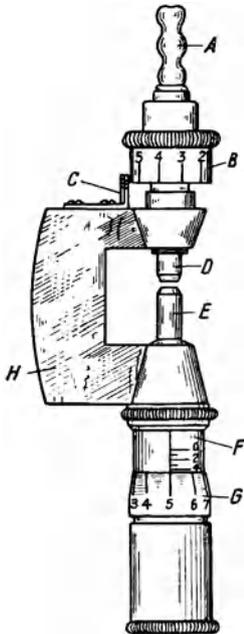


Abb. 67. Einfache Grenzpfife nach EDELMANN.

*A* Ansatz für Schlauch und Gebläse; *B* Trommel und *C* Winkelstück zur Ablesung der Maulweite; *D* Mundstück; *E* Pfeifenkörper; *F* Millimeterteilung und *G* Trommel zur Ablesung der Pfeifenlänge; *H* Haltebügel.

dargestellte Lage, so sind — da der untere Trommelrand den mittleren Strich an *C* noch nicht erreicht hat — 0 *ganze* Umdrehungen ausgeführt; da im vorliegenden Fall die Marke 6 gerade über dem Spalt von *C* steht, so ist die Trommelstellung 0,6. Zur *Feststellung der Pfeifenlänge* dient die Trommel *G* mit 10 Teilstrichen am Umfang und die Millimeterteilung *F*, von denen wieder die Teilung an der Trommel die *Umdrehungsbruchteile*, die Millimeterteilung *F* die Zahl der *ganzen* Umdrehungen angibt, da eine Umdrehung von *G* gerade eine Veränderung der Pfeifenlänge um 1 mm ausmacht. Im Fall der Abb. 67 steht der obere Trommelrand von *G* über 4 mm, d. h. es sind mehr als vier Umdrehungen erfolgt; aus der Trommelteilung an *G* selbst ergibt sich, daß dieses „mehr“ gerade 0,5 Umdrehungen ausmacht. Die Pfeifenlänge beträgt also im vorliegenden Fall 4,5 mm. Bei der einfachen Grenzpfife müssen daher zur Erzielung einer bestimmten Tonhöhe *zwei* Einstellungen vorgenommen und abgelesen werden: die Maulweite an *B* und *C* sowie die Pfeifenlänge an *G* und *F*. Diese doppelte Einstellung wird bei der *großen Grenzpfife* von EDELMANN (Abb. 68) dadurch vermieden, daß

durch Drehen an der Trommel *B* — Ablesung in gleicher Weise wie bei der einfachen Grenzpfife an der Trommelteilung *B* und dem Maßstab *C* — nicht bloß die *Länge des Pfeifenrohres* *E*, sondern über den Stift *G* und den Hebel *F* auch die *Maulweite* passend verändert wird. Jede Grenzpfife muß besonders *geeicht* und kann daher nur mit der zugehörigen *Eichtabelle* (gleiche Nummer wie die Pfeife) verwendet werden. Die *Eichtabelle einer einfachen Grenzpfife* enthält im I. Stab die Bezeichnung der Töne

nach der diatonischen C-Dur-Tonleiter von  $a^4$ — $g^7$  (Schwingungszahl 3480—24803<sup>1)</sup>, im 2. und 3. Stab die zugehörigen Werte der Pfeifenlänge bzw. Maulweite, im 4. Stab schließlich die zugehörigen Schwingungszahlen. Mit dem 5. Stab beginnt eine neue Tabelle; in diesem Stab sind an Stelle der üblichen Tonbezeichnungen die Schwingungszahlen von 10000—25000 in Stufen von je 1000 Schwingungen angeführt und in den nebenan befindlichen Stäben 6 und 7 werden die zugehörigen Werte von Pfeifenlänge und Maulweite gegeben. Die *Eichtabelle einer großen Grenzpfife* zeigt die gleichen Stäbe wie die eben besprochene einer einfachen Grenzpfife, nur bleiben die Werte für die Maulweite in den Stäben 3 und 7 unausgefüllt, da mit jeder Veränderung der Pfeifenlänge die zugehörige Maulweite zwangsläufig mit eingestellt wird.

Zur Bestimmung der oberen Hörgrenze wird die Pfeife zunächst auf einen sicher noch hörbaren Ton, bei einem jungen Menschen z. B. auf 16000 Schwingungen eingestellt, dicht vor das Ohr des zu Untersuchenden gebracht und durch einen kräftigen Druck auf das Gebläse zum Tönen veranlaßt. Hierauf ist an Hand der Eichtabelle ein entsprechend höherer Ton einzustellen und mit diesem das Hörvermögen neuerlich zu prüfen. Dies wird so lange wiederholt, bis die Tonwahrnehmung aussetzt. Auch hier ist wegen der geringen Lautstärke des Prüftones besondere Aufmerksamkeit der Versuchsperson erforderlich, damit nicht eine Verwechslung mit dem scharfen Anblasegeräusch zustande kommt.

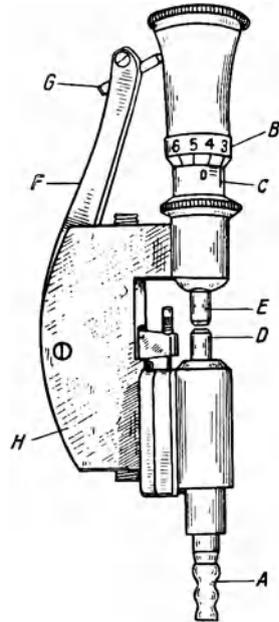


Abb. 68. Große Grenzpfife von EDELMANN.

A Schlauchansatz; B Ablestrommel; C Maßstab; D Mundstück; E Pfeifenrohr; F Übertragungshebel und G Übertragungsstift zur gleichzeitigen Verstellung von Pfeifenlänge und Maulweite; H Haltebügel.

<sup>1)</sup> Noch bezogen auf die bis vor kurzem übliche Stimmung mit  $a^1 = 435$  Hz.

### 63. Nachweis des Abströmens von Schall durch den äußeren Gehörgang.

*Erforderlich:* Kurzes Stückchen Gummischlauch mit je einer Ohrlive an beiden Enden, Stimmgabeln verschiedener Tonhöhe.

Daß stets durch den äußeren Gehörgang Schallenergie abströmt und somit für das Hören verloren geht, läßt sich durch folgenden Versuch nachweisen: zwei Personen stellen sich dicht nebeneinander auf und verbinden die beiden einander zugekehrten äußeren Gehörgänge durch ein kurzes Stückchen Gummischlauch mit einer Olive an jedem Ende. Von einer dritten Person wird dann eine angeschlagene Stimmgabel auf den Scheitel der ersten Versuchsperson aufgesetzt, worauf die zweite über die Schlauchverbindung den Ton ganz leise hört. Am besten gelingt der Versuch mit Stimmgabeln von etwa 2000 Schwingungen, weil das Ohr für diese Frequenz am empfindlichsten ist. Dieser Versuch ist zur Erklärung des Ausfalles der Hörprüfung nach WEBER bzw. SCHWABACH (vgl. die folgenden Untersuchungen) bei Störungen im schalleitenden Apparat von Bedeutung.

### 64. Stimmgabelversuche von RINNE, WEBER und SCHWABACH.

*Aufgaben:* 1. Mit Hilfe des Versuches von RINNE ist das Verhältnis von Knochenleitung zu Luftleitung beim Gesunden zu prüfen.

2. Mit Hilfe der Versuche von WEBER und von SCHWABACH ist der Ausfall der Stimmgabeluntersuchungen bei künstlich herbeigeführter Schalleitungsstörung (Verschluß des einen Gehörganges durch den Finger) zu untersuchen.

*Erforderlich:* Stimmgabeln verschiedener Tonhöhe.

Eine Herabsetzung der Hörweite kann durch eine Erkrankung des schalleitenden oder schallperzipierenden Apparates bedingt sein. Im ersten Fall ist vielfach das Hörvermögen für tiefe Töne besonders geschwächt, in letzterem häufig das für hohe. Die Prüfung mit der Sprache, z. B. mit den früher genannten Zahlen 2, 6, 7, 45, 57, 74 bzw. 8, 9, 100, 28, 88 kann daher schon einen Anhaltspunkt geben. Eine bessere Unterscheidung ermöglichen die Stimmgabelversuche, bei denen Luft- und Knochenleitung geprüft werden. Mit einem gesunden Ohr lassen sich auf dem Weg der Luftleitung noch Tonstärken wahrnehmen, die über die Knochenleitung nicht mehr gehört werden. Die Luftleitung ist also besser. Bei einer Erkrankung des schallperzipierenden Apparates ändert sich nichts an diesen Verhältnissen; dagegen ist bei einer Störung der Schalleitung der normale Weg ins Ohr für die Schallwellen erschwert, während zumindest die cranio-labyrinthäre Leitung unverändert bleibt.

Beim **Stimmgabelversuch von RINNE** werden Luft- und Knochenleitung *desselben* Ohres miteinander verglichen. Die angeschlagene Stimmgabel wird zunächst mit dem Stiel auf den Proc. mastoideus aufgesetzt und die Versuchsperson hat den Augenblick anzugeben, in welchem sie die Stimmgabel *gerade nicht mehr* hört. Wird hierauf die Stimmgabel sofort abgehoben und mit den Zinken *vor den äußeren* Gehörgang gebracht, so wird sie vom Gesunden *wieder* gehört, weil die Luftleitung besser ist; „der Rinne ist *positiv*“. Auch bei einer Erkrankung des *schallperzipierenden* Apparates ist die Luftleitung besser, der Rinne *positiv*. Hört die Versuchsperson jedoch die Stimmgabel auch mit der Luftleitung nicht mehr, so ist der Gegenversuch auszuführen; die angeschlagene Stimmgabel wird zunächst mit den Zinken vor das Ohr gehalten und, wenn die Versuchsperson *nichts mehr* hört, mit dem Stiel auf den Proc. mastoideus aufgesetzt. Hört die Versuchsperson jetzt wieder, so spricht man von einem *negativen* Rinne, was für ein *Schalleitungshindernis* spricht.

Beim **Versuch von WEBER** wird das Hörvermögen beider Ohren mit Hilfe der Knochenleitung dadurch verglichen, daß die tönende Stimmgabel mit dem Stiel auf den Scheitel der Versuchsperson aufgesetzt wird; der Normale hört den Ton im ganzen Kopf, ohne besondere Lokalisation. Ist das Hörvermögen beider Ohren *ungleich*, so erfolgt eine Lokalisierung („*Lateralisierung*“) des Schalles nach *einer* Seite. Bei *Störung in der Schalleitung* hört man auf der *erkrankten* Seite *lauter*, was man damit erklären kann, daß der Schallabfluß (vgl. Versuch 63, S. 170 auf der erkrankten Seite *geringer* ist. Bei einer Erkrankung des *schallperzipierenden* Organes wird aber selbstverständlich auf dem gesunden oder bei doppel-seitiger Erkrankung auf dem besseren Ohr *lauter* gehört, der Schall somit auf das *bessere* Ohr lateralisiert.

Beim **Versuch von SCHWABACH** wird die Knochenleitung des Kranken mit der Knochenleitung des Arztes verglichen, der selbstverständlich gesund sein muß. Der Untersucher setzt zunächst die angeschlagene Stimmgabel auf den Proc. mastoideus der Versuchsperson, wenn diese aber nichts mehr hört, auf seinen eigenen. Hört der Untersucher mit seinem normalen Ohr *noch weiter*, so ist die Knochenleitung der Versuchsperson *verkürzt*, was für eine Schädigung des *schallperzipierenden* Apparates spricht. Hört auch der Untersucher nichts mehr, so kann die Knochenleitung der Versuchsperson normal oder verlängert sein; der Untersucher muß daher die angeschlagene Stimmgabel zuerst auf seinen *eigenen* Proc. mastoideus aufsetzen und, wenn er nichts mehr hört, auf den der Versuchsperson. Hört diese auch nichts mehr, so ist ihre Knochen-

leitung *normal*, hört sie noch weiter, so ist ihre Knochenleitung *verlängert*, was für eine Störung im *schalleitenden* Apparat spricht und sich aus dem verhinderten Schallabfluß infolge der Leitungsstörung (vgl. Versuch 63 auf S. 170) verstehen läßt. Vergleicht man die *Luftleitung* des Kranken mit der Luftleitung des Arztes in der gleichen Weise, so findet man sowohl bei Erkrankung des schallperzipierenden als auch des schalleitenden Apparates eine *verkürzte* Luftleitung beim Kranken. Warum?

Nicht immer ist der Ausfall einer der geschilderten Stimmgabelproben für sich allein so eindeutig, daß aus ihm eine Diagnose gestellt werden kann. Ein *negativer Rinne* spricht zwar immer für ein Schalleitungshindernis, doch kann ein *positiver Rinne* sowohl beim Gesunden als auch bei einer Störung des *schallperzipierenden* Organs vorkommen; beim Versuch von WEBER zeigt eine *Lateralisierung* nur an, daß eine Störung vorliegt, ohne daß zunächst deren Art angegeben werden kann. Es ist daher meistens die Ausführung von mindestens *zwei* Proben notwendig. Da außerdem *Schallleitungsstörungen* sich vorwiegend im Bereich der *tiefen* Töne auswirken, Störungen der *Schallperzeption* vorwiegend im Bereich *hoher* Töne, muß auch jeder der Versuche *mehrfach* mit Stimmgabeln *verschiedener* Tonhöhe ausgeführt werden, was auch schon wegen der Entdeckung von *Hörlücken* erforderlich ist.

Bei der **Ausführung der Versuche im Praktikum** ist zuerst die Prüfung nach RINNE vorzunehmen und das Verhältnis von Luft- und Knochenleitung beim Gesunden zu prüfen. Dann hat die Versuchsperson ein Ohr mit einem befeuchteten Finger zu verschließen — also künstlich eine Schalleitungsstörung herbeizuführen —, und es ist dann für dieses Ohr der Ausfall des WEBERschen und des SCHWABACHschen Versuches zu überprüfen.

Die *Lateralisierung* beim WEBERschen Versuch nach der Seite einer *Schalleitungsstörung* — ebenso wie die *Verlängerung* beim SCHWABACHschen Versuch im gleichen Fall — wird, wie schon erwähnt, gewöhnlich durch den *fehlenden* Schallverlust über den äußeren Gehörgang (vgl. Versuch 63 auf S. 170) erklärt. Wenn z. B. beim WEBERschen Versuch die Schallzuleitung in der Medianebene (am Scheitel des Kopfes) erfolgt, strömt je eine Hälfte der Schallenergie nach *beiden* Ohren ab und es geht beim Gesunden auch durch *beide* Gehörgänge gleich viel Schall verloren; der auf das innere Ohr wirkende Schallanteil ist also für beide Seiten *gleich*. Findet infolge des *Schalleitungshindernisses* auf der einen Seite *kein* Schallverlust über den äußeren Gehörgang statt, dann muß der auf das Innenohr wirkende Schallanteil auf der *erkrankten* Seite *größer* sein und es kommt zur Lateralisierung nach dieser

Seite. In ähnlicher Weise wäre die Verlängerung beim SCHWABACHschen Versuch infolge eines Schalleitungshindernisses zu verstehen. Es sei jedoch hier darauf hingewiesen, daß diese übliche Erklärung anscheinend nicht richtig ist, denn in einem gegen die Außenwelt *völlig schalldicht* abgeschlossenen Raum wird nach BOUMAN bei einer Schalleitungsstörung weder eine Lateralisierung beim WEBERSchen Versuch noch eine Verlängerung beim SCHWABACHschen Versuch beobachtet. Nach BOUMAN wäre die richtige Erklärung für die hier erörterten Befunde bei Störung im Schalleitenden Apparat vielmehr die folgende: In einem von der Außenwelt nicht schalldicht getrennten, auch sonst „stillen“ Raum wirken stets leise, durch Gewohnheit nicht bemerkte Geräusche auf das Ohr ein, welche jeden stärkeren, auf das Ohr einfallenden Schall als akustischer „Störnebel“ teilweise verdecken; durch diesen *Verdeckungseffekt* heben sich andere Schallerscheinungen nicht so kräftig vom Hintergrund ab, wie in einem gegen Störgeräusche schalldicht abgeschirmten Raum. Wird durch ein Schalleitungshindernis das Eindringen des akustischen „Störnebels“ unserer gewöhnlichen Umgebung ganz oder teilweise verhindert, so fällt der Verdeckungseffekt auf dieser Seite *weg* und der betreffende Ton erscheint dort *lauter*.

### 65. Versuche über erzwungenes Mitschwingen und Resonanz; Erzeugung von Schwebungen.

*Aufgaben:* 1. Mit Stimmgabeln verschiedener Höhe ist der Unterschied zwischen erzwungenem Mitschwingen und Resonanz festzustellen.

2. Es ist ein Hohlraum auf Resonanz mit einer  $a^1$ -Stimmgabel abzustimmen.

3. Mit Hilfe von zwei genau aufeinander abgestimmten Stimmgabeln mit Resonanzkasten ist die Energieübertragung durch Resonanz zu untersuchen.

4. Mit Hilfe von Stimmgabeln mit verschieblichen Belastungsgewichten sind die Schwebungen beim Zusammenklingen von zwei Primärtönen mit etwas voneinander abweichender Schwingungszahl zu beobachten.

*Erforderlich:* Stimmgabeln verschiedener Höhe, darunter eine mit  $a^1$ , Meßzylinder für 100 cm<sup>3</sup> ( $\frac{1}{2}$  mit Wasser gefüllt), gerade in den Meßzylinder passendes Glasrohr, Satz von Resonatoren, zwei Stimmgabeln genau gleicher Schwingungszahl auf je einem Resonanzkasten (von denen eine mit verschieblichen Belastungsgewichten ausgestattet ist), Anschlaghammer.

Werden Schallwellen einem festen Körper zugeleitet, so wird er zum Mitschwingen gezwungen. Dieses **erzwungene Mitschwingen** ist an *feste* Kopplung zwischen Prüfkörper und Schallquelle gebunden, erfolgt in diesem Fall aber ganz unabhängig von der Schwingungszahl der Schallquelle. Besitzt der Prüfkörper selbst eine *Eigenschwingung*, so spricht er beim Eintreffen einer

*gleichartigen* Schwingung besonders gut an und vermag selbst bei *loser* Kopplung mit der Schallquelle in *kräftiges* Mitschwingen zu geraten (*freiwilliges Mitschwingen, Resonanz*), in diesem Fall aber *ausschließlich beim Einwirken dieser einen Schwingungsfrequenz*. Solche Resonanzerscheinungen — an der Basilmembran des Ohres — werden bei der *Resonanztheorie des Hörens* vorausgesetzt.

Zum **Vergleich des erzwungenen Mitschwingens und der Resonanz** ist folgender Versuch auszuführen: Stimmgabeln *verschiedener* Tonhöhe werden am Stiel erfaßt und mit den Gabelzinken *zart* an der Tischkante angeschlagen, sodann mit dem Stiel *fest* auf die Tischplatte aufgesetzt. Die Stimmgabeln werden dann nochmals angeschlagen und mit den Zinken über die Öffnung verschieden großer hohler Metallkugeln (*Resonatoren*) gehalten. Welcher Unterschied besteht zwischen der Schallverstärkung durch Mitschwingen des Tisches und der Schallverstärkung durch Mitschwingen der Luftmasse in den einzelnen Resonatoren bei Anwendung von Stimmgabeln *verschiedener* Tonhöhe?

Die **Abstimmung eines Hohlräume auf Resonanz** für eine bestimmte Schallquelle kann mit dem folgenden Versuch geprüft werden. Man füllt einen Meßzylinder für 100 cm<sup>3</sup> Inhalt zur Hälfte mit Wasser und senkt in ihm ein Glasrohr ein, dessen Außendurchmesser etwas kleiner als die lichte Weite des Zylinders ist und das noch etwas über die Zylinderöffnung herausragt. Das obere Ende dieses Rohres wird mit der linken Hand gefaßt, während die rechte die Zinken einer eben angeschlagenen a<sup>1</sup>-Stimmgabel über die Rohröffnung hält. Zunächst erfolgt keine Schallverstärkung durch Resonanz, da die Abstimmung noch nicht erreicht ist; wird jetzt aber das Rohr aus dem Zylinder herausgezogen und die tönende Stimmgabel mit in die Höhe geführt, so läßt sich eine sehr scharf begrenzte Stellung finden, bei der durch genaue Abstimmung eine deutliche Schallverstärkung zu beobachten ist. Ein schon geringes Senken bzw. Heben des Rohres von dieser Stellung aus verändert die Abstimmung und bringt die Resonanz wieder zum Verschwinden.

Wie groß die **Energieübertragung durch Resonanz** selbst bei *loser* Kopplung sein kann, geht aus folgendem Versuch hervor. Zwei genau auf a<sup>1</sup> abgestimmte, auf Resonanzkasten befestigte Stimmgabeln werden so aufgestellt, daß sich die Kastenöffnungen etwa im Abstand von 10 cm gerade gegenüberstehen. Die Belastungsgewichte werden entfernt. Man schlägt nun die eine Stimmgabel mit dem Hammer an, wobei deren Kasten durch vorübergehendes Festhalten mit der Hand am Umfallen zu verhindern ist; nach einigen Sekunden werden die Zinken dieser

Gabel durch festes Umfassen mit der Faust *gebremst*. Nach Stillstand der ersten zeigt sich jetzt, daß die zweite, nicht angeschlagene Gabel fast ebenso laut tönt wie die ursprünglich vom Hammer erregte, weil trotz der nur losen Kopplung zwischen beiden schwingungsfähigen Körpern die Schallenergie über den Luftweg durch *Resonanz* auf die zweite Stimmgabel übertragen wurde. Der Versuch ist hierauf zu wiederholen, nachdem eine der beiden Stimmgabeln durch Befestigen der kleinen Schiebegewichte so verstimmt worden ist, daß sich bei einer Vorprüfung die Tonhöhe der beiden Gabeln als *merkbar verschieden* erweist; durch die Verstimmung ist die Resonanz unterbunden und nach Dämpfung der angeschlagenen Stimmgabel mit der Hand ist von einem freiwilligen Mitschwingen der zweiten *nichts mehr* zu hören.

**Schwebungen** gehören zu den *sekundären Klangerscheinungen* und entstehen durch *Interferenz* beim Zusammenklingen von zwei Tönen (den sogenannten *Primärtönen*) mit etwas voneinander abweichender Schwingungszahl; sie machen sich in regelmäßigen *Stärkeschwankungen* des resultierenden Tones bemerkbar. Die *Frequenz dieser Schwebungen*, der regelmäßigen Stärkeschwankungen, ist gleich dem Unterschied in den Schwingungszahlen der beiden Primärtöne; ist die eine Stimmgabel unverändert auf  $a^1$  mit 440 Schwingungen in der Sekunde geblieben, die Tonhöhe der zweiten durch geeignete Einstellung der beiden Belastungsgewichte jedoch auf 435 Schwingungen in der Sekunde erniedrigt worden, so werden  $440 - 435 = 5$  Schwebungen in der Sekunde wahrgenommen. Zur *Beobachtung dieser Schwebungen* werden die beiden  $a^1$ -Gabeln mit ihren Resonanzkästen *parallel* so nebeneinander aufgestellt, daß die beiden Kastenöffnungen nach der *gleichen* Seite gerichtet sind; die eine Gabel bleibt *ohne* Laufgewichte, die zweite wird mit solchen versehen. Beide Gabeln sind dann unter vorübergehendem Festhalten ihres Resonanzkastens unmittelbar hintereinander anzuschlagen; durch Auszählen mit der Taschenuhr ist die Schwebungsfrequenz festzustellen, und zwar für den Fall *geringer* und *größerer* Verstimmung der beiden Gabeln (Schwebungsfrequenz etwa eine Schwebung bis zu 10 Schwebungen in *einer* Sekunde).

## 66. Auslösung des Drehnystagmus.

*Erforderlich:* Drehstuhl, Bogengangmodell.

Unter **Nystagmus** wird eine ruckweise Hin- und Herbewegung des Auges verstanden, die aus einer schnellen und einer langsamen Phase besteht. Der Nystagmus wird nach der *schnellen* Bewegungsrichtung bezeichnet und kann stets an *beiden* Augen beobachtet

werden. Eine solche Augenbewegung kommt z. B. beim Hinausblicken aus einem fahrenden Eisenbahnzug zustande. Das Auge fixiert einen bestimmten Gegenstand und bewegt sich daher langsam *entgegen* der Fahrtrichtung, bis der Gegenstand plötzlich verdeckt wird. Das Auge schnell dann *in* der Fahrtrichtung nach vorn, um einen neuen Ruhepunkt zu finden und dann wieder langsam entgegen der Fahrtrichtung dem neuen Gegenstand zu folgen. Dieser **Eisenbahnnystagmus** schlägt also *in* der Richtung der Fahrt. Auch bei raschen Bewegungen des Kopfes nach links oder rechts kann der auf das obere Lid des geschlossenen Auges gelegte Finger ruckweise Bewegungen des Bulbus in der Richtung der Kopfbewegung fühlen (**physiologischer Nystagmus**).

Nystagmus kann leicht durch **Reizung des Labyrinths** durch Drehen (*Drehnystagmus*), durch Temperatureinwirkung (*kalorischer Nystagmus*) und durch den galvanischen Strom (*galvanischer Nystagmus*) hervorgebracht werden und dient daher zur Funktionsprüfung dieses Organs. Bei bestimmten Erkrankungen kann Nystagmus von *selbst* auftreten oder aber durch die genannten Verfahren *nicht* auszulösen sein. Beim Nystagmus ist zu unterscheiden: die *Richtung der Bewegung* (waagrecht, lotrecht, kreisförmig, gemischt), die *Ausschlagsrichtung* (nach links, rechts, oben, unten usw.), die *Amplitude* (grobschlägig, feinschlägig) und die *Frequenz* (rasch, langsam).

Zur **Auslösung des Drehnystagmus** wird der Drehstuhl benützt, ein aus Metall gefertigter Sessel mit verstellbaren Arm- und Kopfstützen, der um eine durch den Mittelpunkt des schweren Fußes gehende lotrechte Achse gedreht werden kann; eine Handhabe über der Kopfstütze dient zum Antrieb, eine Fußbremse kann die Bewegung aufhalten. Da die Drehung um eine lotrechte Achse erfolgt, so kommt es zur Reizung jener Bogengänge, die mehr oder weniger waagrecht liegen, während lotrecht stehende Bogengänge ungereizt bleiben. Je nach der Kopfhaltung ist die Reizwirkung und damit auch der erzielte Nystagmus verschieden. Man reizt den waagerechten Bogengang am ausgiebigsten, wenn der Kopf aus der Lotrechten um etwa  $30^\circ$  nach vorn geneigt wird, weil erst dann der sonst nach *hinten unten* geneigte „waagerechte“ Bogengang wirklich waagrecht wird. Man dreht die Versuchsperson zuerst langsam, dann etwas rascher, im ganzen etwa zehnmal in 20 Sekunden. Nach der letzten Drehung, sobald die Versuchsperson ihr Gesicht eben gerade dem Untersucher zukehrt, wird der Sessel durch Betätigung der Fußbremse plötzlich aufgehalten und die Augenbewegung beobachtet. *Während* der Drehung tritt so wie beim Eisenbahnnystagmus eine ruckweise waage-

rechte Augenbewegung *in* der Drehrichtung auf, *nach* der Drehung ist jedoch ein *entgegengesetzt* gerichteter Nystagmus zu sehen. Dieser *Nachnystagmus* dauert etwa 20—40 Sekunden. Wird der Kopf während der Drehung auf eine Schulter gelegt, so tritt ein lotrechter Nystagmus auf, dessen Richtung je nachdem, ob der Kopf nach links oder rechts gelegt wurde, verschieden ist. Wird der Kopf für die Zeit der Drehung nicht nach vorn geneigt, sondern in seiner normalen Haltung belassen, so kommt es *nicht nur* zur Reizung des waagerechten Bogenganges, der Nystagmus ist nicht rein waagerecht, sondern zum Teil auch kreisförmig. Auch bei der Neigung des Kopfes um  $30^\circ$  nach vorn kann dies gelegentlich beobachtet werden, wenn der Winkel nicht genau eingehalten wurde oder die individuelle Lage des Bogenganges etwas anders ist.

Bei zu raschem oder zu lang dauerndem Drehen treten Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, auch Nausea und Erbrechen auf. Man muß sich daher an die oben angegebenen Zahlen halten.

Der Nystagmus ist ein durch die Reizung des Labyrinths ausgelöster Reflex auf die Augenmuskeln. Die Reizung erfolgt durch Druck der Endolymph auf die Cupula; die Ablenkung der Cupula aus ihrer Ruhelage führt zur Erregung der Sinneszellen. Die verschiedene Richtung des Nystagmus während und nach der Drehung erklärt sich durch die verschiedene Bewegungsrichtung der Cupula. Zu Beginn der Drehung bleibt die Endolymph infolge ihrer Trägheit *zurück*, während die Cupula mit dem Körper gedreht und durch die noch stehende Endolymph *entgegen* der Drehrichtung zurückgebogen wird. Am *Ende* der Drehung hat die Endolymph bereits die gleiche Geschwindigkeit wie der Körper erreicht; während jedoch dieser und mit ihm die Cupula plötzlich gebremst wird, strömt die Flüssigkeit infolge der Trägheit noch eine *Zeitlang weiter*. Diesmal wird die Cupula durch die noch strömende Endolymph *in* der Drehrichtung verlagert. Die Druckwirkung am Beginn und am Ende der Drehung ist somit *entgegengesetzt*, daher auch die Reizwirkung auf die Sinneszellen und die Richtung des ausgelösten Nystagmus. Alle diese Vorgänge lassen sich auch am **Modell des Bogenganges**, das aus einem mit Flüssigkeit gefüllten Glasring besteht, leicht beobachten. In einer kugelförmigen Erweiterung der Röhre (entsprechend der Ampulle) ist ein Büschel feiner Haare als Modell der Cupula eingesetzt.

Im Zusammenhang mit dem Drehversuch soll auch der **BÁRÁNYsche Zeigerversuch** ausgeführt werden. Die Versuchsperson sitzt im Drehstuhl, der Untersucher steht ihr gegenüber und hält seinen Zeigefinger vor sich hin; er fordert die Versuchsperson auf, zunächst bei offenen, dann ein zweites Mal bei geschlossenen Augen

mit ihrem rechten Zeigefinger *seinen* Finger zu berühren. Der Gesunde kann dies ohne weiteres, weil er infolge der Tiefensensibilität (vgl. S. 158) auch bei geschlossenen Augen die jeweilige Lage seiner Gliedmaßen kennt. Bei einer Erkrankung, die mit einer Gleichgewichtsstörung verbunden ist, kompensiert der Kranke die vermeintliche Bewegung seines Körpers durch eine entsprechende Gegenbewegung, was zum *Vorbeizeigen* am Finger des Untersuchers schon *ohne* jede Drehung führt, wenn bei geschlossenen Augen die Kontrolle über die Wirklichkeit fehlt. Wird eine gesunde, richtig zeigende Versuchsperson, wie früher beschrieben, *gedreht*, so zeigt auch sie nach der Drehung während einer kurzen Zeit am Finger des Untersuchers vorbei. Sie hat ja nach dem Bremsen der Drehung das Gefühl, in der *entgegengesetzten* Richtung gedreht zu werden, kompensiert und zeigt daher bei geschlossenen Augen *in der ursprünglichen Drehrichtung* vorbei, da sie ja in Wirklichkeit an Ort und Stelle bleibt.

Untersuche den Drehnystagmus für beide Drehrichtungen und beobachte die Art des Nystagmus bei verschiedenen Kopfstellungen, seine Richtung, Amplitude und Frequenz; prüfe ferner den BĀRĀNYschen Zeigerversuch und bestimme die Zeitdauer des Nachnystagmus! Führe auch Drehversuche am Modell des Bogenanges aus!

### 67. Strahlenbrechung in optischen Medien; Strahlengang durch einfache und zusammengesetzte optische Systeme.

*Aufgaben:* 1. Gegeben ein *einfaches optisches System* mit  $f_1 = 4$  cm und  $f_2 = 6$  cm. Es ist das Bild eines 10 cm *links* von der Hauptebene befindlichen 4 cm hohen Pfeiles zu zeichnen, ferner der weitere Verlauf eines von *rechts* schief einfallenden Strahles, schließlich der konjugierte Punkt eines *links* von der Hauptebene in 8 cm Abstand liegenden Punktes.

2. Gegeben ein *zusammengesetztes optisches System* mit  $f_1 = 4$  cm,  $f_2 = 6$  cm und  $\overline{F_1 F_2} = 11$  cm. Es ist das Bild eines 11 cm *links* von der ersten Hauptebene befindlichen 5 cm hohen Pfeiles zu zeichnen, ferner der weitere Verlauf eines von *links* schräg einfallenden Strahles und schließlich der konjugierte Punkt zu einem 10 cm *rechts* von der zweiten Hauptebene in der optischen Achse liegenden Punkt.

*Erforderlich:* Papier, Lineal, Dreieck, Zirkel, Bleistift.

Strömt Licht aus einem optischen Medium gegen ein anderes, so wird es an der *Grenzfläche* zum Teil zurückgeworfen, zum Teil tritt es über und erleidet eine Änderung seiner Fortpflanzungsgeschwindigkeit: Beschleunigung, wenn das *zweite* Medium *optisch dünner*, Verlangsamung, wenn das *zweite* Medium *optisch dichter* ist. In dem, in Abb. 69 gezeichneten einfachsten Fall mit *einer Ebene als Grenzfläche* macht sich bei *senkrechtem* Einfall (Strahl a)

nur die *Verlangsamung* bemerkbar, indem die Geschwindigkeit  $v_I$  sich auf  $v_{II}$  verringert. Fallen die Strahlen wie bei  $b_1$  bis  $b_n$  aber *schräg* zur Grenzfläche ein, so tritt neben der Verlangsamung noch eine Änderung der Fortpflanzungsrichtung (*Strahlenbrechung*) hinzu, indem sich z. B. für den Strahl  $b_1$  der Winkel  $\alpha$  mit dem Lot (*Einfallswinkel*) auf  $\beta$  (*Brechungswinkel*) verkleinert. In einem bildlichen Vergleich kann man sich die Lichtstrahlen  $b_1$  bis  $b_n$  als die

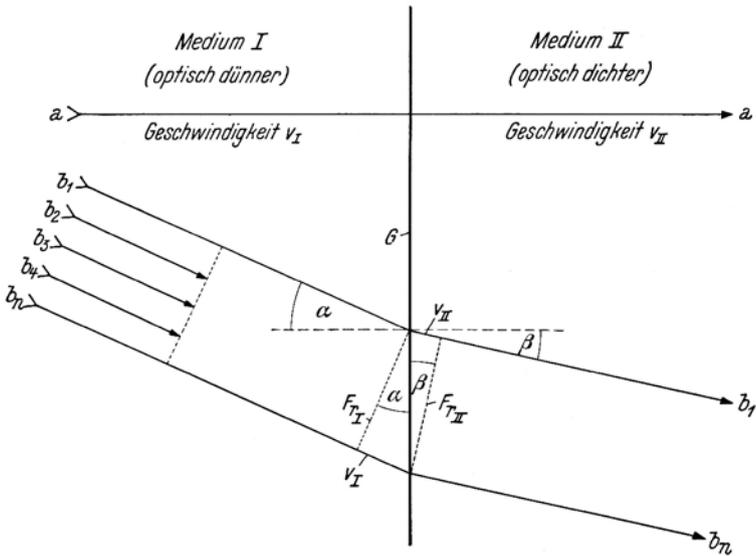


Abb. 69. Strahlenbrechung an einer ebenen Grenzfläche zwischen Medien mit verschiedener optischer Dichte.

$a$  senkrecht auf die Grenzfläche auffallender Strahl;  $\alpha$  Einfallswinkel der Strahlen  $b$ ;  $b_1 \dots b_n$  schräg zur Grenzfläche einfallendes Strahlenbündel;  $\beta$  Brechungswinkel der Strahlen  $b$ ;  $Fr_I$  Strahlenfront vor der Brechung;  $Fr_{II}$  Strahlenfront nach der Brechung;  $v_I$  Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Medium I;  $v_{II}$  Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Medium II.

Bahnen der Einzelmänner einer marschierenden Kolonne vorstellen, deren Front sich solange zu sich selbst parallel verschiebt, so lange kein Hindernis den Marsch aufhält. Trifft aber  $b_1$  als linker Flügelmann, bald darauf dann  $b_2, b_3 \dots b_n$  auf die den Marsch verlangsamende Grenzfläche  $G$  zwischen den Medien I und II, so muß eine *Schwenkung* der Front von  $Fr_I$  nach  $Fr_{II}$  zustande kommen; während  $b_n$  sich noch im Medium I befindet und den Weg  $v_I$  zurücklegt, hat sich  $b_1$  im Medium II nur mehr um den Betrag  $v_{II}$

weiterbewegt. Die Strecken  $F r_I$  und  $v_I$  sowie  $F r_{II}$  und  $v_{II}$  bilden nun zusammen mit  $G$  zwei Dreiecke, welche den Einfallswinkel  $\alpha$  und den Brechungswinkel  $\beta$  enthalten; aus diesen Dreiecken läßt sich ableiten, daß

$$v_I : v_{II} = \sin \alpha : \sin \beta \text{ oder } \frac{v_I}{v_{II}} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

ist: die Geschwindigkeit im Medium I verhält sich zu der im Medium II so wie der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels (*SNELLIUSsches Brechungsgesetz*). Ein anderes Maß für das Verhalten eines optischen Mediums stellt der *Brechungsindex*  $n$  dar, unter dem man versteht:

$$n = \frac{v \text{ im Vakuum (in Luft ähnlich)}}{v \text{ im Medium}}$$

Es ist leicht zu berechnen, daß für das Verhalten zweier optischer Medien zueinander die Beziehung

$$v_I : v_{II} = n_{II} : n_I$$

gelten muß, d. h. daß z. B. einem optisch *dichteren* Medium mit *kleinerer* Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes ein *größerer* Brechungsindex zukommen muß.

Von einem **einfachen optischen System** spricht man, wenn die Grenzfläche zwischen zwei Medien nicht mehr *eben*, sondern von *regelmäßiger Krümmung* ist; in diesem Fall kommt es zur Vereinigung der einfallenden Strahlen und damit zur *Entstehung eines Gegenstandsbildes*. Als neu tritt hier eine Vorzugsrichtung auf, die *optische Achse*, um welche das Medium II zentriert ist. In Abb. 70 sei z. B. die optische Achse O. A., der Krümmungsmittelpunkt  $K$  (auch *Knotenpunkt* genannt) und eine kugelförmige Grenzfläche  $G$  zwischen den Medien I (z. B. Luft) und II (z. B. Wasser) gegeben. Ein in Richtung auf  $K$  zielender Strahl  $a$  steht als Radius *senkrecht* zur Grenzfläche  $G$  und erleidet bloß eine Verlangsamung *ohne* Brechung. Ein *schräg* zur Grenzfläche einfallender Strahl  $b_1$  wird dagegen wieder so abgelenkt, daß der Einfallswinkel  $\alpha$  größer als der Brechungswinkel  $\beta$  ist; das gleiche gilt für den Strahl  $b_n$  und es zeigt sich, daß die beiden Strahlen  $b$ , ebenso wie alle zwischen ihnen liegenden parallelen Strahlen, in einem in der Achse liegenden Punkt  $F_2$  oder dem *hinteren Brennpunkt* gesammelt werden. Das gleiche gilt für Strahlen  $c_1 \dots c_n$ , die aus dem optisch *dichteren* Medium II gegen das optisch *dünnere* I streben und im Medium I bei  $F_1$  oder dem *vorderen Brennpunkt* vereinigt werden. So wie

früher der Winkel  $\beta$  auf der Seite des optisch dichteren Mediums kleiner war als der Winkel  $\alpha$  auf der Seite des optisch dünneren Mediums, muß auch jetzt  $\alpha'$  kleiner als  $\beta'$  sein; dies bedingt, daß

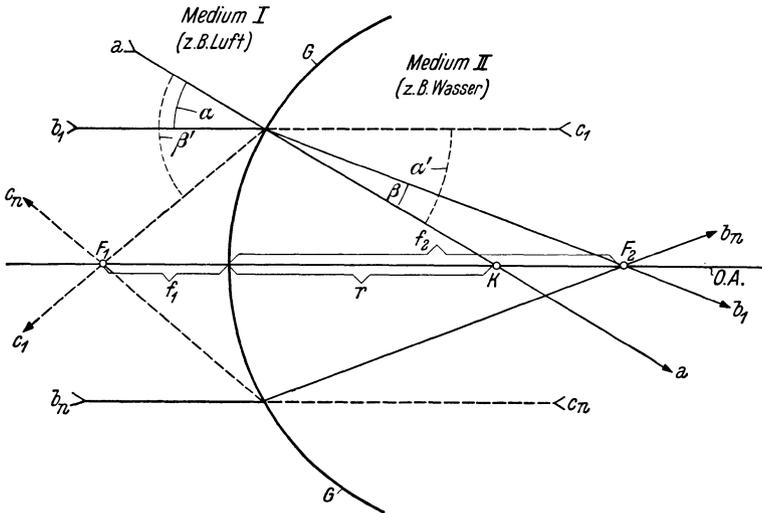


Abb. 70. Strahlengang bei einem einfachen optischen System.

$a$  senkrecht auf die Grenzfläche einfallender Strahl;  $\alpha$  Einfallswinkel des Strahles  $b_1$ ;  $\alpha'$  Einfallswinkel des Strahles  $c_1$ ;  $b_1, b_n$  schräg zur Grenzfläche und zugleich parallel zur Achse aus I einfallende Strahlen;  $\beta$  Brechungswinkel des Strahles  $b_1$ ;  $\beta'$  Brechungswinkel des Strahles  $c_1$ ;  $c_1, c_n$  schräg zur Grenzfläche und zugleich parallel zur Achse aus II einfallende Strahlen;  $f_1$  vordere Brennweite;  $f_2$  hintere Brennweite;  $F_1$  vorderer Brennpunkt;  $F_2$  hinterer Brennpunkt;  $G$  Grenzfläche mit kugelförmiger Krümmung;  $K$  Knotenpunkt (Krümmungsmittelpunkt);  $O. A.$  optische Achse;  $r$  Krümmungsradius (Abstand von  $K$  und  $G$ ).

$F_1$  näher zur Grenzfläche  $G$  liegt als  $F_2$ . In einem solchen optischen System gelten folgende Gesetzmäßigkeiten:

1. Ein Bündel zur Achse paralleler Strahlen wird auf der anderen Seite der Grenzfläche zu einem auf der Achse liegenden Punkt, dem *Brennpunkt*, vereinigt.

2. Ein Bündel untereinander paralleler, aber *schief* zur optischen Achse einfallender Strahlen wird auch zu einem Punkt vereinigt, der aber außerhalb der optischen Achse, jedoch in der durch den Brennpunkt gelegten, zur Achse senkrechten Ebene (*Brennebene*) liegt (vgl. später).

3. Alle Strahlen, die von einem *Punkt* (Gegenstandspunkt) ausgehen, werden jenseits der Grenzfläche wieder zu einem *Punkt*

(Bildpunkt) vereinigt (*Homozentritätsgesetz*); *Ausgangspunkt* und *Vereinigungspunkt* dieser Strahlen werden zusammen *konjugierte Punkte* genannt.

4. Konjugierte Punkte können miteinander vertauscht werden. Ein leuchtend gedachter Gegenstandspunkt kann auch an die Stelle seines Bildes gebracht werden; das Bild entsteht jetzt dort, wo früher der Gegenstand war (*Reziprozitätsgesetz*).

5. Die Brennweite  $f$  (Abstand des Brennpunktes  $F$  von der Grenzfläche) ist dem Brechungsindex direkt proportional, also  $n_1 : n_2 = f_1 : f_2$ ; im optisch *dichteren* Medium ist also die Brennweite  $f$  *größer*, was schon aus Abb. 70 hervorging.

6. Die Differenz zwischen Brennweite im *dichteren* Medium und Brennweite im *dünneren* Medium ist gleich dem Krümmungsradius der Grenzfläche, also  $f_2 - f_1 = r$  (Abb. 70).

Da die auf eine Grenzfläche einfallenden Strahlen praktisch fast immer nahe der Achse liegen, so kann das Stück der gekrümmten Fläche im Einfallsbereich praktisch als *gerade* angesehen und zur Vereinfachung der Konstruktion durch die Tangente ersetzt werden; diese im Durchstoßpunkt der optischen Achse durch die Grenzfläche errichtete senkrechte Ebene wird *Hauptebene* genannt.

Zur Bildkonstruktion bei einem einfachen optischen System (von dem z. B.  $f_1$  und  $f_2$  als Abstand  $F_1$  bzw.  $F_2$  von der Hauptebene  $HE$  gegeben sind, und  $r$  als  $f_2 - f_1$  gefunden wird), stehen daher drei Strahlen zur Verfügung, von denen man allerdings nur zwei benötigt (Abb. 71): der *ungebrochen* durch  $K$  laufende Strahl 1 („*Richtungsstrahl*“), dann der achsenparallel und jenseits  $HE$  gegen  $F_2$  ziehende Strahl 2 und der zunächst auf  $F_1$  zielende und hinter  $HE$  achsenparallel werdende Strahl 3. Zur Bildkonstruktion werden zwei von diesen Strahlen vom *Gegenstandspunkt* (Pfeilspitze) aus gezogen und ihr Schnittpunkt im zweiten Medium liefert dann den zugehörigen *Bildpunkt* (= konjugierter Punkt der Pfeilspitze). Ist ferner der weitere Verlauf eines beliebigen Strahles  $S$  zu zeichnen, so greift man auf das Gesetz (2) von S. 181 zurück, nach welchem ein *Bündel* zueinander paralleler, aber schief einfallender Strahlen in der Brennebene  $BE$  zum Schnitt kommt. Man zieht also parallel zu  $S$  den Hilfsstrahl  $S_k$  durch den Knotenpunkt, der ungebrochen verläuft, bis zum Schnitt mit  $BE$ ; durch diesen Schnittpunkt muß auch  $S$  laufen, so daß damit der in Abb. 71 gestrichelt gezeichnete weitere Verlauf von  $S$  gefunden ist. Die gleiche Gesetzmäßigkeit benützt man, wenn etwa zu einem auf der optischen Achse liegenden Punkt  $P$  der konjugierte Punkt zu finden ist. Man legt durch  $P$  einen beliebigen Hilfsstrahl  $h$  bis zum Schnitt mit der Hauptebene  $HE$  und zieht dazu eine Paral-

lele  $h_k$  durch den Knotenpunkt  $K$  bis zum Schnitt mit  $BE$ ; durch diesen Schnittpunkt muß auch  $h$  hinter der Hauptebene  $HE$  laufen und dort, wo  $h$  schließlich die Achse schneidet, muß sich auch der konjugierte Punkt  $P'$  befinden. Würde  $P$  irgendwo *außerhalb* der Achse liegen, dann wäre die Konstruktion des konjugierten Punktes genau so wie die Konstruktion des Bildes der Pfeilspitze mit zwei von den drei Strahlen 1, 2 und 3 auszuführen.

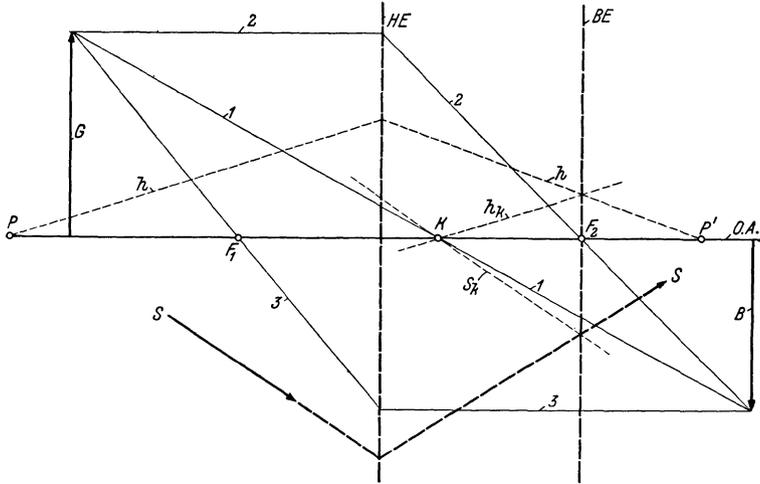


Abb. 71. Konstruktion des Pfeilbildes, des weiteren Verlaufes des Strahles  $S$  und des konjugierten Punktes zu  $P$  bei einem einfachen optischen System.

$B$  Bild des Pfeiles;  $BE$  Brennebene;  $F_1$  vorderer Brennpunkt;  $F_2$  hinterer Brennpunkt;  $G$  Gegenstand (Pfeil);  $h$  Hilfsstrahl zur Konstruktion des konjugierten Punktes;  $h_k$  Hilfsstrahl parallel zu  $h$  durch  $K$ ;  $HE$  Hauptebene;  $K$  Knotenpunkt (Krümmungsmittelpunkt);  $P$  Punkt auf der Achse;  $P'$  konjugierter Punkt zu  $P$ ;  $S$  Strahl, dessen weiterer Verlauf zu zeichnen ist;  $S_k$  Hilfsstrahl parallel zu  $S$  durch  $K$ ;  $O. A.$  optische Achse;  $1$  Richtungsstrahl durch  $K$ ;  $2$  achsenparalleler Strahl;  $3$  Strahl durch den vorderen Brennpunkt  $F_1$ .

Ein **zusammengesetztes optisches System** liegt vor, wenn *mehrere* brechende Flächen und *mehrere*, mindestens drei, optische Medien vorhanden sind. Ist das System *zentriert*, d. h. liegen alle Knotenpunkte und Brennpunkte der einzelnen brechenden Flächen auf *derselben* optischen Achse, und sind ferner die Abstände, Krümmungen und Brechungsindizes bekannt, dann kann man das System durch die *Achse* und **6 Kardinalpunkte** ersetzen; die Kardinalpunkte sind: vorderer und hinterer Brennpunkt  $F_1$  bzw.  $F_2$ , zwei Hauptpunkte  $H_1$  bzw.  $H_2$ , d. s. die Schnittpunkte der Hauptebenen mit der Achse, und schließlich zwei Knotenpunkte  $K_1$  und  $K_2$ . Ist von einem solchen zusammengesetzten optischen

System z. B.  $f_1$  und  $f_2$  sowie der Abstand der Brennpunkte voneinander als Strecke  $\overline{F_1F_2}$  gegeben, so geht man zur Konstruktion folgendermaßen vor (Abb. 72): zuerst wird die Achse gezeichnet (1),  $F_1$  angenommen (2), die Strecke  $\overline{F_1F_2}$  aufgetragen und damit  $F_2$  gefunden (3), ferner  $f_1$  von  $F_1$  aufgetragen (4) und  $H_1$  gefunden, desgleichen  $f_2$  von  $F_2$  zurück aufgetragen (5) und so  $H_2$  erhalten, schließlich  $f_1$  von  $F_2$  zurück aufgetragen (d. h.  $f_2 - f_1 = r$  gebildet) und damit  $K_2$  gewonnen (6) und endlich das gefundene  $r$  auch von

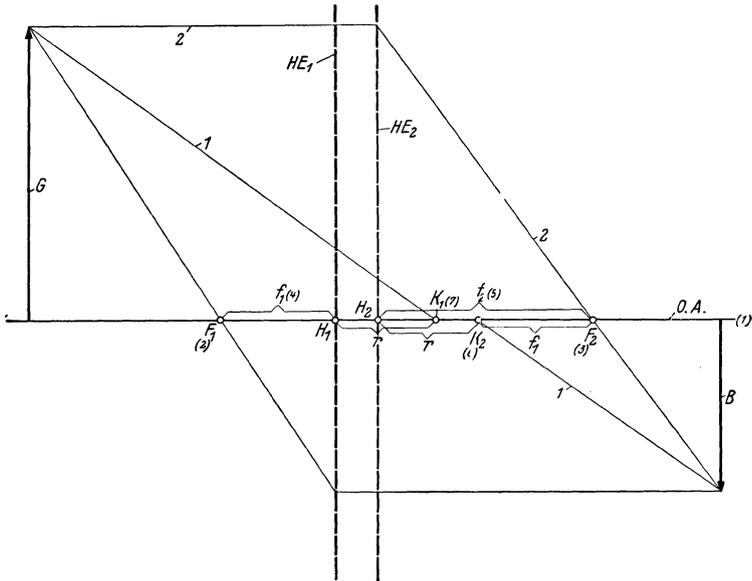


Abb. 72. Bildkonstruktion bei einem zusammengesetzten optischen System.

Die eingeklammerten Zahlen geben die Reihenfolge bei der Entwicklung des Systems aus den Angaben an.

$B$  Bild des Pfeiles;  $G$  Gegenstand (Pfeil);  $HE_1$ ,  $HE_2$  Hauptebenen;  $f_1$ ,  $f_2$  Brennweiten;  $F_1$ ,  $F_2$  Brennpunkte;  $K_1$ ,  $K_2$  Knotenpunkte;  $O. A.$  optische Achse;  $r$  Krümmungsradius (Abstand der Knotenpunkte von den Hauptebenen  $HE$ );  $1$  Richtungsstrahl (zwischen  $K_1$  und  $K_2$  parallel verschoben);  $2$  achsenparalleler Strahl;  $3$  Strahl durch den vorderen Brennpunkt  $F_1$ .

$H_1$  aus aufgetragen und  $K_1$  erhalten (7); der Abstand  $\overline{K_1K_2}$  der Knotenpunkte voneinander ist gleich dem Abstand  $\overline{H_1H_2}$  der Hauptpunkte. Alle für das einfache optische System beschriebenen Gesetzmäßigkeiten und alle dort angeführten Konstruktionen gelten auch für das zusammengesetzte optische System mit der Erweiterung, daß ein gegen  $K_1$  zielender Richtungsstrahl erst von

$K_2$  aus in gleicher Richtung weiter zieht, d. h. um die Strecke  $\overline{K_1K_2}$  parallel verschoben ist; daß ferner jeder auf  $HE_1$  treffende Strahl erst von der zweiten Hauptebene  $HE_2$  aus, und zwar im *gleichen Abstand von der optischen Achse* aus, weiterzieht. Wenn daher von einem Gegenstand  $G$  ein Bild zu konstruieren ist, so kann man zuerst den Richtungsstrahl 1 gegen  $K_1$  ziehen und dann eine Parallele zu ihm von  $K_2$  aus; einen achsenparallelen Strahl 2, der erst an der Hauptebene  $HE_2$  gegen  $F_2$  abgelenkt wird oder einen Strahl durch  $F_1$ , der schon von  $HE_1$  an achsenparallel ist. Dort, wo die Strahlen sich auf der anderen Seite wieder treffen, liegt das Bild der Pfeilspitze. In der gleichen Weise können Aufgaben wie: Konstruktion des weiteren Verlaufes eines schief einfallenden Strahles oder Zeichnung des konjugierten Punktes zu einem auf der optischen Achse liegenden Punkt gelöst werden.

### 68. Strahlengang, Bildkonstruktion und Untersuchung von Linsen.

*Aufgaben.* 1. Ausführung der vereinfachten Bildkonstruktion bei einer sphärischen Konkavlinse von 4 cm Brennweite für einen weit entfernten Gegenstand (Pfeil), für einen Gegenstand in der doppelten Brennweite und einen Gegenstand innerhalb der einfachen Brennweite.

2. Ausführung der vereinfachten Bildkonstruktion bei einer sphärischen Konkavlinse mit  $f = 4$  cm für die unter 1 genannten Fälle.

3. Konstruktion des Vereinigungspunktes für ein schräg zur Achse einfallendes Bündel paralleler Strahlen bei einer sphärischen Konkavlinse mit  $f = 4$  cm und  $\overline{F_1F_2} = 9$  cm unter Benützung des allgemeinen optischen Linsenschemas.

4. Konstruktion des konjugierten Punktes zu einem 10 cm links von der ersten Hauptebene in der optischen Achse liegenden Punkt beim allgemeinen optischen Linsenschema mit  $f = 4$  cm und  $\overline{F_1F_2} = 9$  cm.

5. Bestimmung der Gläser des Linsenkastens und Ordnung nach den vier Gruppen:

sphärisch-konkav,  
 sphärisch-konvex,  
 zylindrisch-konkav,  
 zylindrisch-konvex.

6. Messung der Brennweite bei den stärkeren Linsen aus der sphärisch-konvexen Gruppe und Berechnung der Brechkraft in Dioptrien.

7. Heraussuchen der sphärisch-konkaven und sphärisch-konvexen Linsen *gleicher* Brechkraft mit Hilfe des Kompensationsverfahrens und Ordnen dieser Linsen zu Paaren.

8. Durchführung der Aufgabe 7 auch bei zylindrischen Linsen.

*Erforderlich:* Papier, Dreieck, Lineal, Zirkel, Linsenkasten, punktförmige Lichtquelle, Bildschirm, Maßstab.

Unter einer **optischen Linse** wird ein Körper aus einem durchsichtigen Werkstoff, z. B. Glas, verstanden, der entweder von zwei gekrümmten Flächen oder einer planen und einer gekrümmten Fläche begrenzt ist und sich in einem durchsichtigen Medium mit

anderem Brechungsindex befindet. Je nach der Flächenkrümmung werden sphärische und zylindrische Linsen (vgl. später) unterschieden. Hat das äußere Medium geringere Brechkraft (z. B. Luft) und sind die gekrümmten Flächen so angeordnet, daß die Linse in der Mitte *dicker* ist, so *sammelt* sie die Lichtstrahlen und wird *Sammellinse* oder *konvexe* Linse genannt; ist das Glas in der Mitte *dünnere*, so erfolgt eine *Lichtzerstreuung* (*Zerstreuungslinse*, *konkave Linse*). Unter einem **Planglas** wird ein Körper mit zwei zueinander *parallelen*, ebenen Flächen verstanden. **Prismen**, die vom Arzt zur Korrektur des Schielens verordnet werden, sind Körper mit einer Begrenzung durch zwei *ebene* Flächen, die aber *schräg* gegeneinander stehen.

**Sphärische Linsen** sind solche, deren gekrümmte Flächen Teile einer Kugelfläche sind. Je nach den begrenzenden Flächen unterscheidet man bikonvexe, plankonvexe und konkav-konvexe bzw. bikonkave, plankonkave und konvex-konkave Linsen. Bei den konvexen Formen wird ein achsenparalleles Strahlenbündel im *Brennpunkt* der *anderen* Seite vereinigt, bei den konkaven Formen so zerstreut, als ob die einzelnen Strahlen divergent vom „imaginären“ Brennpunkt der *Einfallseite* ausgehen würden. Auch Linsen sind *zusammengesetzte* optische Systeme, da *drei* Medien — z. B. Luft-Glas-Luft — vorliegen und *zwei* trennende Flächen. Die Verhältnisse sind hier aber dadurch einfacher, daß das Medium I und das Medium III identisch sind und damit die Brennweite auf beiden Seiten *gleich groß* wird; wenn nun  $f_1 = f_2$  ist, dann wird  $f_2 - f_1 = r = 0$ , d. h. die Knotenpunkte  $K_1$  und  $K_2$  fallen mit den Hauptpunkten  $H_1$  und  $H_2$  zusammen. Bei nicht zu dicken Linsen ist weiters der Abstand  $\overline{H_1 H_2}$  nur klein; man kann daher in vielen Fällen zur weiteren Vereinfachung auch die beiden Hauptpunkte bzw. die beiden Hauptebenen zusammenfallen lassen, so daß die Konstruktion der bei einem *einfachen* optischen System ähnlich wird, mit dem Unterschied, daß  $K$  und  $H$  identisch sind. Um das **Bild eines Gegenstandes durch eine Konvexlinse** konstruieren zu können, wird — wie Abb. 73 oben zeigt — vorerst der Strahl 1 durch den Hauptpunkt  $H$  gezogen, der *ungebrochen* durch die Linse geht. Als zweite Hilfslinie kann der achsenparallele Strahl 2 benützt werden, der zum *Brennpunkt*  $F_2$  der *anderen* Seite zieht; ein durch den Brennpunkt  $F_1$  der gleichen Seite gezogener Strahl 3 verläuft dagegen hinter der Linse *achsenparallel* weiter. Im Schnittpunkt dieser drei Strahlen — von denen für die Konstruktion an sich nur zwei notwendig wären — liegt das Bild der Pfeilspitze; das Bild  $B$  des ganzen Pfeiles ist für die gegebene Lage des Gegenstandes *verkleinert*, *verkehrt* und *reell*. Liegt  $G$  — wie Abb. 73 unten

zeigt — zwischen Brennpunkt  $F_1$  und Hauptpunkt  $H$ , also *innerhalb* der einfachen Brennweite  $f_1$ , so entsteht auf der anderen Seite der Linse kein Bild mehr; denn die zur Konstruktion benützten Strahlen durch den Hauptpunkt  $H$  ( $1$ ) bzw. parallel zur optischen Achse  $O. A.$  ( $2$ ) kommen jenseits der Linse *nicht mehr* zum Schnitt. Blickt allerdings ein Auge in der Richtung der austretenden

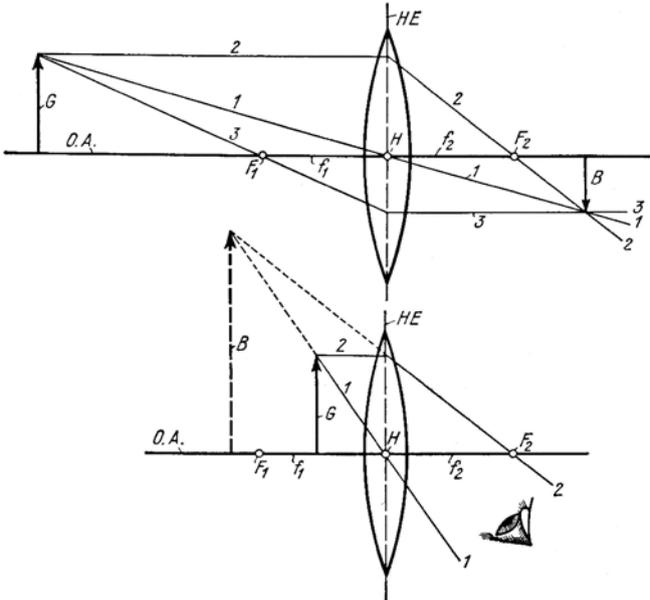


Abb. 73. Vereinfachte Bildkonstruktion bei sphärischen Konvexlinsen im Falle gleicher Brechkraft des Mediums vor und unter der Linse. Oben: Gegenstand weit von der Linse entfernt, Bild verkleinert, verkehrt und reell; unten: Gegenstand zwischen Brennpunkt und Linse, Bild vergrößert, aufrecht und imaginär.

$B$  Bild;  $F_1, F_2$  Brennpunkte;  $f_1, f_2$  Brennweite;  $G$  Gegenstand;  $H$  Hauptpunkt;  $HE$  Hauptebene;  $O. A.$  optische Achse der Linse;  $1$  Strahl durch den Hauptpunkt  $H$ ;  $2$  achsenparalleler Strahl;  $3$  Strahl durch den Brennpunkt der gleichen Seite.

Strahlen durch die Linse, so verlängert es die divergenten Strahlen  $1$  und  $2$  und sieht im scheinbaren Schnittpunkt ein Bild, das *vergrößert, aufrecht*, aber *imaginär* ist. Ist  $G$  unendlich weit entfernt, so ist  $B$  auf der anderen Seite im Brennpunkt, verkleinert, verkehrt und reell; rückt  $G$  näher an die Linse heran, so rückt  $B$  vom Brennpunkt weg und wird größer, um schließlich für den Fall der Lage von  $G$  in der *doppelten* Brennweite auf der anderen Seite gleichfalls in der *doppelten* Brennweite in natürlicher Größe des Gegenstandes zu entstehen; befindet sich  $G$

schließlich im Brennpunkt selbst, so entsteht das Bild auf der anderen Seite im *Unendlichen* und ist entsprechend vergrößert. Bei der vereinfachten **Bildkonstruktion für Konkavlinen** werden — wie Abb. 74 zeigt — zweckmäßig der Strahl 1 durch den Hauptpunkt und der achsenparallele Strahl 2 benützt; der erste geht wieder ungebrochen durch die Linse, der zweite verläuft so, als ob er vom „imaginären“ Brennpunkt  $F_1$  der Einfallseite kommen würde. Da die Strahlen divergent werden, entsteht kein reelles Bild; für ein durch die Linse blickendes Auge kommt aber

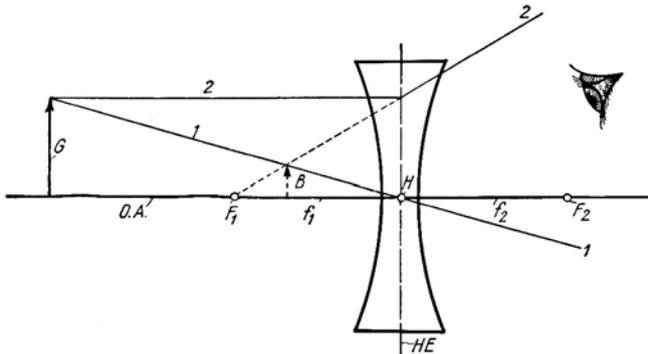


Abb. 74. Vereinfachte Bildkonstruktion bei sphärischen Konkavlinen im Falle *gleicher* Brechkraft des Mediums vor und hinter der Linse. Das Bild ist immer verkleinert, aufrecht und imaginär.

$B$  Bild;  $F_1, F_2$  imaginäre Brennpunkte;  $f_1, f_2$  imaginäre Brennweiten;  $G$  Gegenstand;  $H$  Hauptpunkt;  $HE$  Hauptebene;  $O. A.$  optische Achse der Linse; 1 Strahl durch den Hauptpunkt  $H$ ; 2 achsenparalleler Strahl.

doch durch scheinbare Strahlenvereinigung ein Bild zustande, das — unabhängig von der Lage des Gegenstandes zur Linse — immer *verkleinert, aufrecht* und *imaginär* ist.

Soll die Linsendicke *nicht* vernachlässigt werden, so greift man auf das allgemeine optische Schema zurück, bei welchem die beiden Hauptpunkte und die beiden Hauptebenen getrennt bleiben. Abb. 75 zeigt unter diesen Bedingungen die Bildkonstruktion bei einer Konvexlinse, Abb. 76 bei der gleichen Linse die Zeichnung des Verlaufes von zwei gegebenen, schräg einfallenden Strahlen  $S_1$  und  $S_2$ .

**Zylinderlinsen** sind auf der einen Seite von einer Zylinderfläche, auf der anderen häufig von einer planen Fläche begrenzt (Abb. 77); es sind aber auch sog. Meniskenlinsen gebräuchlich, die auf *beiden* Seiten eine gekrümmte (zylindrische) Fläche besitzen. Man unterscheidet, wie Abb. 77 zeigt, gleichfalls konvexe (A) und konkave

Zylinderlinsen (B). Sie haben im Gegensatz zu den sphärischen Linsen eine *Brennlinie*, weil die Linse in der Richtung der ursprünglichen Zylinderachse  $ZA$  ja *nicht gekrümmt* ist. Wie aus Abb. 77 A

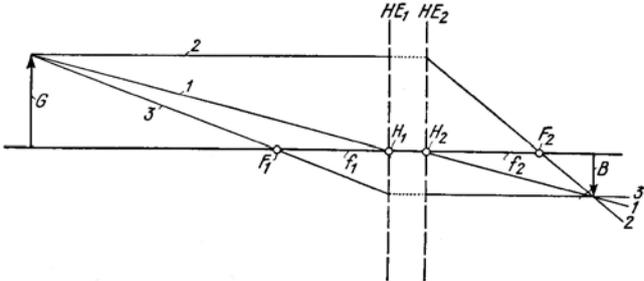


Abb. 75. Allgemeines optisches Schema für eine Konvexlinse für den Fall *gleicher* Brechkraft des Mediums vor und hinter der Linse.  $B$  Bild;  $F_1, F_2$  Brennpunkte;  $f_1, f_2$  Brennweite;  $G$  Gegenstand;  $H_1, H_2$  Hauptpunkte;  $HE_1, HE_2$  Hauptebenen. Der gegen  $H_1$  gerichtete Strahl 1 geht parallel verschoben mit gleicher Richtung von  $H_2$  aus weiter; die Strahlen 2 und 3 treffen auf die erste Hauptebene  $HE_1$  auf und laufen nach Übertragung der Schnittpunkthöhe auf die zweite Hauptebene  $HE_2$  von dieser weiter, der Strahl 2 gegen  $F_2$ , der Strahl 3 achsenparallel.

hervorgeht, werden bei der konvexen Zylinderlinse alle in den Ebenen *I, II* und *III* einfallenden Lichtstrahlen zu je einem in dieser Ebene liegenden Brennpunkt  $F_1, F_2, F_3$  vereinigt; durch die

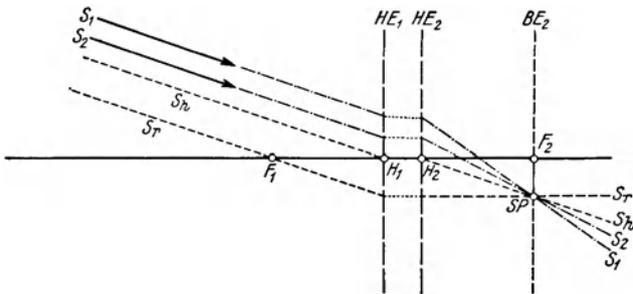


Abb. 76. Konstruktion des Verlaufes und des Schnittpunktes für schräg zur Achse einfallende, zueinander parallele Strahlen  $S_1$  und  $S_2$  beim allgemeinen optischen Schema einer Konvexlinse (*gleiche* Brechkraft des Mediums vor und hinter der Linse). Bedeutung der Buchstaben wie bei Abb. 75;  $BE_2$  Brennebene. Es ist zuerst der Verlauf der parallelen Hilfsstrahlen  $S_1'$  und  $S_2'$  gegen  $F_1$  und  $H_1$  und ihr Schnittpunkt hinter der Linse zu zeichnen; zu diesem Schnittpunkt müssen auch die Strahlen  $S_1$  und  $S_2$  gelangen, da eine Konvexlinse ein Bündel paralleler Strahlen stets zu einem *einzigen* Punkt vereinigt, wenn diese die Linse nicht zu weit am Rand treffen.

Aufeinanderlagerung solcher Brennpunkte entsteht dann die Brennlinie  $Bl$ . Die in einer zu den Ebenen *I, II, III* senkrechten und durch die Zylinderachse  $ZA$  gelegten Ebene einfallenden Strahlen werden, wie auch aus Abb. 77 hervorgeht, *überhaupt nicht* ge-

brochen. Völlig gleichartig verhalten sich die konkaven Zylinderlinsen (Abb. 77 B), nur mit dem Unterschied, daß gleichartig wie bei sphärischen Konkavlinsen parallele Strahlen der Ebenen *I*, *II* und *III* so *zerstreut* werden, als ob sie von der imaginären Brennpunktlinie *Bl* kommen würden. Strahlen entsprechend einer dazu senkrechten Ebene gehen so wie bei konvexen Zylinderlinsen *ungebrochen* durch. Es ergibt sich daraus, daß *bei allen Zylinderlinsen in der Richtung der Zylinderachse keine Brechung erfolgt*, wohl aber in den zu ihr schräg oder senkrecht stehenden Meridianen der Linse, wobei das Brechungsmaximum genau *senkrecht zur Zylinderachse* (entsprechend den Ebenen *I*, *II* und *III*) liegt. Zylinderlinsen dienen zur Korrektur des regelmäßigen Astigmatismus (S. 204), wobei für das Vorsetzen solcher Linsen zur Richtschnur dient, daß die *Zylinderachse immer auf dem zu korrigierenden Meridian senkrecht zu stehen hat*.

**Untersuchung von Gläsern:** Soll bei einem unbezeichneten Glas bestimmt werden, ob es sich um ein Planglas, eine sphärische oder zylindrische Linse bzw. um ein Prisma handelt, so bringt man das Glas zunächst dicht vor das Auge und blickt unter leichtem Drehen des Glases um die *Blickrichtung als Achse* auf einen nahen Gegenstand. Bei zylindrischen Linsen und Prismen *verschieben* sich bei dieser Drehung die dickeren und dünneren Stellen des Glases, wodurch der Gegenstand scheinbar bewegt wird; bei Zylinderlinsen kommen ferner noch Verzerrungen der *Winkel* (unter Verspitzung oder Verstumpfung) hinzu. Bei Plangläsern und sphärischen Linsen tritt dagegen *keine* Veränderung im Bild ein, weil diese Gläser in allen Meridianen gleich beschaffen sind. Durch das Drehen lassen sich daher Plangläser und sphärische Linsen (I. Gruppe: keine Veränderung beim Drehen) von Zylinderlinsen und Prismen (II. Gruppe: scheinbare Bewegung und Verzerrung des Gegenstandes beim Drehen) unterscheiden. Ein Glas der I. Gruppe wird hierauf zwischen Daumen und Zeigefinger der rechten Hand gefaßt und in einer Richtung, z. B. nach links und rechts, hin und her geschoben, wobei man einen lotrechten Gegenstand, z. B. den Balken eines Fensterkreuzes, betrachtet. Wenn sich der Gegenstand dabei *nicht* verschiebt, so handelt es sich um ein *Planglas*, *bewegt* er sich scheinbar, um eine *sphärische Linse*. Erfolgt die scheinbare Bewegung des Gegenstandes in *gleicher* Richtung (z. B. Glasverschiebung nach rechts, Gegenstandsverschiebung auch nach rechts), so handelt es sich um eine *Konkavlinse*, erfolgt sie *entgegen* der Bewegung des Glases (z. B. Glasverschiebung nach rechts, Gegenstandsverschiebung nach links) um eine *Konvexlinse*. Bei dieser Bestimmung muß zuerst die Linse

in der Nähe des Auges gehalten werden; ist keine scheinbare Bewegung zu beobachten, so ist die Linse in größerer Entfernung vom Auge hin und her zu verschieben. Die Diagnose „Planglas“ darf erst gestellt werden, wenn auch die in großer Entfernung vom Auge verschobene Linse den Gegenstand unbewegt läßt, weil sehr schwache Linsen die Scheinbewegung erst in großem Abstand vom Auge erkennen lassen. Würde man andererseits jede Linse gleich in großem Abstand untersuchen, so könnten starke Konvexlinsen

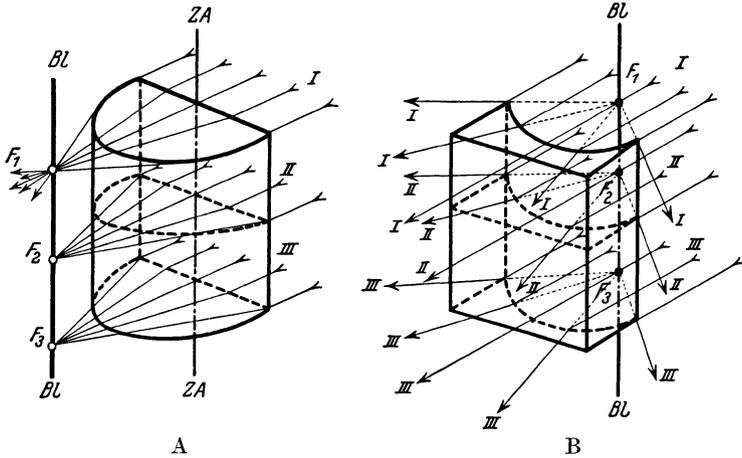


Abb. 77. Strahlengang bei Zylinderlinsen. Brechung der Strahlen, die in zur Zylinderachse senkrechten Ebenen einfallen, bei konvexen Linsen (A) und bei konkaven Linsen (B). *Bl* Brennlinie;  $F_1, F_2, F_3$  Vereinigungspunkte von Strahlen der Ebenen I, II und III; *ZA* Zylinderachse. Bei der Konkavlinse sind die aus der Linse austretenden einzelnen Strahlen zur größeren Deutlichkeit mit I, II und III bezeichnet, je nach der Ebene, der sie angehören.

infolge des *verkehrten* Bildes, das sie vom Gegenstand dicht hinter sich entwerfen, falsch beurteilt werden. Die Gläser der II. Gruppe werden in der *gleichen* Weise behandelt, nur muß die Verschiebung unbedingt senkrecht zur Zylinderachse, bei Prismen zur Symmetrieebene erfolgen, wobei man gleichfalls wieder in der Nähe des Auges beginnen und die Verschiebung gegebenenfalls in immer größerem Abstand vom Auge durchführen muß. Bleibt der Gegenstand ruhig, so handelt es sich um ein *Prismenglas*, zeigt der Gegenstand scheinbar eine Bewegung, um eine *Zylinderlinse*, wobei gleichsinnige Bewegung von Glas und Gegenstand für eine *konkave* Zylinderlinse, entgegengesetzte Bewegung für eine *konvexe* spricht.

Bei der Bestimmung eines unbezeichneten Zylinderglases kann Unkenntnis der Zylinderachsenlage zunächst Schwierigkeiten bereiten; man findet aber die Zylinderachse durch Verschieben des

Glases in verschiedenen Meridianen, wobei *jene* Richtung, in der es wie ein *Planglas* wirkt, der Zylinderachse entspricht. Wird eine solche Richtung *nicht* gefunden, sondern in allen Meridianen eine Bewegung des Gegenstandes — wenn auch in verschieden starkem Ausmaß — beobachtet, so handelt es sich um die *Kombination* einer sphärischen mit einer Zylinderlinse, wobei die Richtung geringster Linsenwirkung der Zylinderachse entspricht.

Bei Linsen ist auch die **Brechkraft** zu bestimmen. Deren Einheit, *eine Dioptrie*, entspricht der Brechkraft einer Linse von 1 m Brennweite. Es gilt allgemein, daß die Dioptrienzahl einer Linse dem reziproken Wert der Brennweite in *Metern* gleich ist:

$$D = \frac{1}{f},$$

wobei  $D$  die Dioptrienzahl und  $f$  die Brennweite in *Metern* bedeuten. Umgekehrt gilt auch

$$f = \frac{1}{D}.$$

Wird die Brennweite  $f$  in *Zentimetern* eingesetzt, was bei den gewöhnlich vorkommenden Linsen zweckmäßiger ist, dann lauten die Formeln:

$$D = \frac{100}{f} \text{ und } f = \frac{100}{D}.$$

Bei Konvexlinsen wird der Dioptrienzahl ein Pluszeichen vorgesetzt, bei Konkavlinsen ein Minuszeichen. Es bedeutet demnach  $+2,5 D$  eine Konvexlinse von  $2,5 D$ , das ist eine Linse mit einer Brennweite von  $0,4$  m oder  $40$  cm.

Die **Bestimmung der Brechkraft** kann bei einer stärkeren Konvexlinse am einfachsten dadurch erfolgen, daß mit ihr von einer weit entfernten Lichtquelle, z. B. einer Kerze, einer elektrischen Glühlampe oder auch von einem Fenster, an der Wand ein scharfes Bild entworfen wird. Da alle unendlich weit entfernten Gegenstände — d. s. praktisch alle, die etwa über das 30fache der Brennweite von der Linse entfernt sind — in der Brennebene abgebildet werden, so entspricht der Abstand des scharfen Bildes von der Linse der *Brennweite*  $f$ , woraus die Dioptrienzahl gerechnet werden kann. Liegt das Bild  $10$  cm =  $0,1$  m von der Linse entfernt, so hat sie  $10 D$ . Für alle Linsen anwendbar ist die **Kompensationsmethode**. Sie beruht darauf, daß beim Zusammenlegen von zwei Linsen sich die Dioptrien algebraisch addieren. Wird auf eine Linse von  $+3 D$  eine von  $-3 D$  gelegt, so heben sich die beiden auf und wirken zusammen so wie ein Planglas. Zur Bestimmung der Brechkraft einer unbekanntenen Linse ist daher zunächst fest-

zustellen, ob sie sphärisch oder zylindrisch bzw. konvex oder konkav ist. Sphärische Linsen werden natürlich mit sphärischen, zylindrische mit Zylinderlinsen kompensiert, wobei im letzteren Fall stets Zylinderachse auf Zylinderachse gelegt werden muß. Ist die unbekannte Linse z. B. konkav, so werden aus einem Brillenkasten — der konvexe und konkave Linsen mit sphärischer und zylindrischer Krümmung in geschlossener Reihe enthält — Konvexlinsen aufgelegt und durch Verschiebung des Paares geprüft, ob der Gegenstand sich noch bewegt. Wirken beide Linsen zusammen so wie ein Planglas, so ist die Dioptrienzahl der unbekannteten Linse gleich der Dioptrienzahl der Kompensationslinse, auf welcher die Brechkraft in Dioptrien angegeben ist.

Die **Lösungen der gestellten Aufgaben 1—4** werden auf Papierblättern gezeichnet. Für die Aufgabe 5 werden Linsenkästen ausgegeben, welche ungeordnet Gläser der vier Gruppen enthalten, die zu bestimmen und dann in eines der vier entsprechend bezeichneten Fächer des Kastendeckels einzulegen sind. Zur anschließenden Messung der Brennweite (Aufgabe 6) bei den stärkeren sphärischen Sammellinsen wird eine genügend weit entfernte punktförmige Lichtquelle, ein Bildschirm sowie ein Maßstab verwendet. Für die Aufgaben 7 und 8 wird eine Sammellinse aus dem Linsenkasten mit einer Zerstreuungslinse bedeckt und geprüft, ob beide zusammen sich wie ein *Planglas* verhalten; im Fall der Prüfung von Zylinderlinsen darf auf das Aufsuchen der *Zylinderachsen* und auf das genaue Aufeinanderlegen dieser bei der Prüfung auf Kompensation nicht vergessen werden. Verhält sich das Linsenpaar nicht wie ein *Planglas*, so wird die ursprüngliche Sammellinse mit einer anderen Zerstreuungslinse bedeckt und diese Prüfung so lange fortgesetzt, bis ein Paar mit gleicher Dioptrienzahl gefunden ist; in dieser Art ist fortzufahren, bis alle Linsen zu Paaren geordnet sind.

## 69. Strahlengang und Bildkonstruktion im Auge; Akkommodation; Refraktionsfehler.

*Aufgaben:* 1. Bildkonstruktion eines Gegenstandes am schematischen Auge.

2. Bestimmung des weiteren Verlaufes und des Vereinigungspunktes eines schräg einfallenden Bündels paralleler Strahlen beim schematischen Auge.

3. Berechnung der Bildgröße auf der Retina beim reduzierten Auge für einen 1 m großen Gegenstand in 5 m Entfernung, bzw. einen 3 m großen Gegenstand in 20 m Abstand.

*Erforderlich:* Schemata für das schematische und das reduzierte Auge, Dreieck, Lineal.

Die **optischen Verhältnisse beim Auge** sind aus drei Gründen entwickelter als bei den bisher besprochenen Einzellinsen: 1. liegt

vor und hinter dem optischen System ein Medium mit *verschiedener* Brechkraft (Luft bzw. Kammerwasser und Glaskörper), weshalb vordere und hintere Brennweite *verschieden groß* sind (15 bzw. 20 mm); 2. liegen *drei* brechende Flächen vor (vordere Hornhautfläche, vordere Linsenfläche, hintere Linsenfläche); 3. ist die Brechkraft des optischen Systems nicht unveränderlich, sondern *verschieden* je nach Einstellung auf einen fernen bzw. nahen Gegenstand.

Das normalsichtige „**emmetrope Auge**“ ist für gewöhnlich auf *unendlich* eingestellt („*Ruhezustand*“), d. h. der hintere Brennpunkt des optischen Systems fällt gerade in die Retina, so daß die aus dem Unendlichen kommenden, achsenparallelen Strahlen auf dieser vereinigt werden und dort ein Bild liefern. Praktisch zeigt sich, daß die Schärfentiefe beim ruhenden Auge bis auf etwa 5 m vor dem Auge reicht. Mit dem Nähern des Gegenstandes an das Auge rückt das Bild immer mehr von der Retina nach hinten weg und für Gegenstände, die näher als 5 m sind, macht sich dies bereits durch ungenügend scharfe Abbildung auf der Retina selbst bemerkbar; um wieder deutlich zu sehen, muß durch Vergrößerung der Brechkraft (*Akkommodation*) das Bild des Gegenstandes wieder nach vorne auf die Retina geschoben werden. Im folgenden betrachten wir zunächst nur die Verhältnisse beim ruhenden (*akkommodationslosen*) Auge. Dabei findet das in Abb. 72 bereits benützte allgemeine optische Schema Anwendung. Neben dem vorderen und hinteren Brennpunkt sind daher zwei Hauptpunkte mit den in ihnen senkrecht zur Achse errichteten Hauptebenen anzunehmen; da aber das Medium vor und hinter dem optischen Apparat eine *verschiedene* Brechkraft besitzt, kommen zu diesen vier *Kardinalpunkten* des Auges wieder zwei *getrennte Knotenpunkte* hinzu. Lage und gegenseitiger Abstand der sechs Kardinalpunkte ergibt sich aus Abb. 78. Ein solches nach den an zahlreichen Augen gemessenen Größen und nach Mittelwertbildung gezeichnetes Schema heißt **schematisches Auge**. Da die beiden Hauptpunkte — ebenso wie die beiden Knotenpunkte — sehr nahe beisammenliegen (Abstand je 0,4 mm), so kann man, zur Vereinfachung des Strahlenganges bei geringeren Ansprüchen an die Genauigkeit, die beiden Hauptpunkte — ebenso wie die beiden Knotenpunkte — *zusammenfallen lassen*. Man erhält dann das sog. **reduzierte Auge**, welches nach Abb. 79 I den Hauptpunkt 2,5 mm (in der Mitte zwischen  $H_1$  und  $H_2$ ) und den Knotenpunkt  $2,5 + 5,3$  mm (in der Mitte von  $K_1$  und  $K_2$ ) hinter dem Hornhautscheitel besitzt. Die Lage der Brennpunkte bleibt — ebenso wie die vordere und hintere Brennweite — ungeändert. Allerdings

ist für dieses reduzierte Auge die vordere Hornhautbegrenzung nicht mehr die vorderste brechende Fläche; vorderste Hornhautfläche, vordere und hintere Linsenfläche müssen dabei vielmehr durch eine *einzigste brechende Fläche* ( $BF$  in Abb. 79) ersetzt werden, deren Krümmungsmittelpunkt der Knotenpunkt ist und deren Scheitel im Hauptpunkt liegt. Vor dieser Fläche wird ein Brechungsmedium mit der Brechkraft von Luft, hinter ihr ein solches mit der Brechkraft von Wasser angenommen.

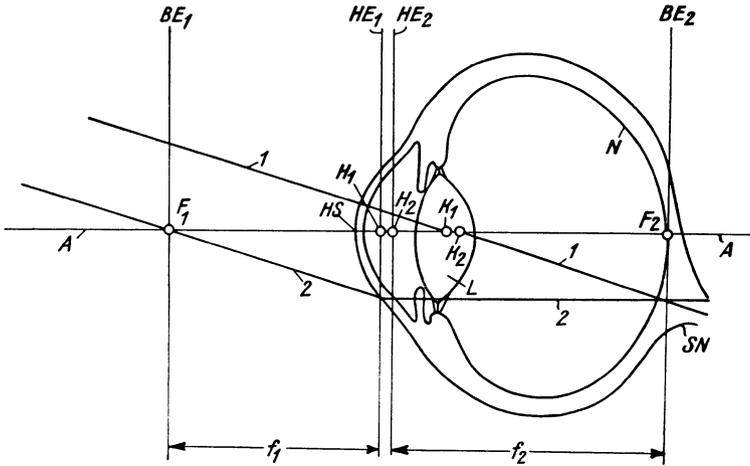


Abb. 78. Schematisches Auge im waagerechten Schnitt (rechtes Auge).  $A$  optische Achse;  $BE_1$  vordere,  $BE_2$  hintere Brennebene;  $F_1$  vorderer,  $F_2$  hinterer Brennpunkt;  $f_1, f_2$  vordere und hintere Brennweite;  $H_1, H_2$  Hauptpunkte;  $HE_1, HE_2$  Hauptebenen;  $HS$  Hornhautscheitel;  $K_1, K_2$  Knotenpunkte;  $L$  Augenlinse;  $N$  Netzhaut;  $SN$  Sehnerv. Maße des schematischen Auges:  $f_1$  (= Strecke  $F_1H_1$ ) = 15 mm;  $f_2$  (= Strecke  $H_2F_2$ ) = 20 mm; Abstand  $HS-H_1$  = 2,3 mm; Abstand  $H_1H_2$  = 0,4 mm; Abstand  $HS-K_1$  = 7,4 mm; Abstand  $K_1K_2$  = 0,4 mm. Strahlengang: Strahl 1 (Richtungsstrahl) gegen  $K_1$  verläuft parallel verschoben von  $K_2$  aus mit gleicher Richtung weiter; Strahl 2 durch  $F_1$  wird von der ersten Hauptebene an achsenparallel.

Wie aus Abb. 79 II hervorgeht, ist die **Bildkonstruktion am reduzierten Auge** die gleiche wie am schematischen, mit der Vereinfachung, daß der Richtungsstrahl durch  $K$  *ungebrochen hindurchzieht* und die Strahlenbrechung sich ausschließlich an der *einzigsten* Hauptebene  $HE$  vollzieht. Aus der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke, die durch die optische Achse  $A$ , den Richtungsstrahl  $r$  und den Gegenstand  $G$  bzw. dessen Bild  $B$  gebildet werden, folgt, daß  $G$  zu  $B$  sich so verhält wie der Gegenstandsabstand  $a$  zum Bildabstand  $b$ . Die **Größe des Bildes auf der Retina** ( $B$ ) ist demnach:

$$B = \frac{G \cdot b}{a} \text{ mm,}$$

wobei  $G$ ,  $b$  und  $a$  in *Millimetern* einzusetzen sind.

Bei dieser Rechnung wäre zu berücksichtigen, daß z. B. bei der Angabe: „Gegenstand 10 m vor dem Auge“ zu den 10000 mm für  $g$  noch 7,5 mm für den Knotenpunktabstand vom Korneascheitel hinzuzurechnen wären, was allerdings praktisch nicht ins Gewicht fällt und daher vernachlässigt werden kann.

Zur Abbildung *naher* Gegenstände muß die Brechkraft des ruhenden Auges (*statische Refraktion*, rund 60 Dioptrien beim normalsichtigen Auge) durch **Akkommodation** vermehrt werden. Der größtmögliche Zuwachs beträgt bei einem Zwanzigjährigen 10 D (*dynamische Refraktion* bzw. *Akkommodationsbreite*). Ein emmetropes Auge, dessen Brechkraft durch Akkommodation um 10 D vermehrt wurde, kann einem ruhenden Auge gleichgesetzt werden, dem eine Konvexlinse von 10 D vorgesetzt wurde. Da das ruhende Auge nur achsenparallele Strahlen auf der Retina vereinigen kann, so müßten im Fall eines scharfen Bildes auf der Retina die Strahlen zwischen Vorsatzlinse und Auge *achsenparallel* sein, d. h. also, aus dem Brennpunkt der Vorsatzlinse kommen. Der Brennpunkt einer Linse von 10 D ist  $\frac{1}{10}$  m von ihr entfernt; der bei einer Akkommodation von 10 D scharf gesehene Punkt muß also  $\frac{1}{10}$  m vor der Vorsatzlinse liegen oder in Wirklichkeit, da ja keine Vorsatzlinse vorhanden ist, sondern die Brechkraft des optischen Systems gesteigert wurde,  $\frac{1}{10}$  m vor dem Auge. Dieser nächste, noch scharf einstellbare Punkt heißt der **Nahpunkt**, im Gegensatz zum **Fernpunkt**, auf den das ruhende, akkommodationslose Auge eingestellt ist. Beim Emmetropen liegt der Fernpunkt in der *Unendlichkeit* (Abb. 80 I). Das *Akkommodationsgebiet* (Abstand von Fernpunkt und Nahpunkt) eines emmetropen Zwanzigjährigen liegt daher zwischen unendlich und 10 cm vor dem Auge. Aus der gleichen Überlegung folgt, daß bei einer Akkommodation von 5 D nur ein Gegenstand in  $\frac{1}{5}$  m Abstand vom Auge scharf abgebildet wird oder daß z. B. ein 2 m vor dem Auge befindlicher Gegenstand nur bei einer Akkommodation von  $\frac{1}{2}$  D scharf gesehen werden kann.

Die Akkommodation kommt durch *stärkere Wölbung der Linse* zustande. Beim ruhenden Auge wird die Linse durch die Zonula Zinnii gespannt und abgeflacht. Bei der Akkommodation rücken durch die Wirkung des Ciliarmuskels die Ciliarfortsätze näher an die Linse heran, die Fasern der Zonula Zinnii werden *entspannt* und die elastische Linse wölbt sich stärker, und zwar mit ihrer vorderen Fläche gegen die vordere Augenkammer zu. Da mit zu-

nehmendem Lebensalter die Linse ihre Elastizität allmählich verliert, nimmt die Akkommodationsbreite immer mehr ab (**Alterssichtigkeit, Presbyopie**); ein Fünfundsiebzigjähriger hat keine dyna-

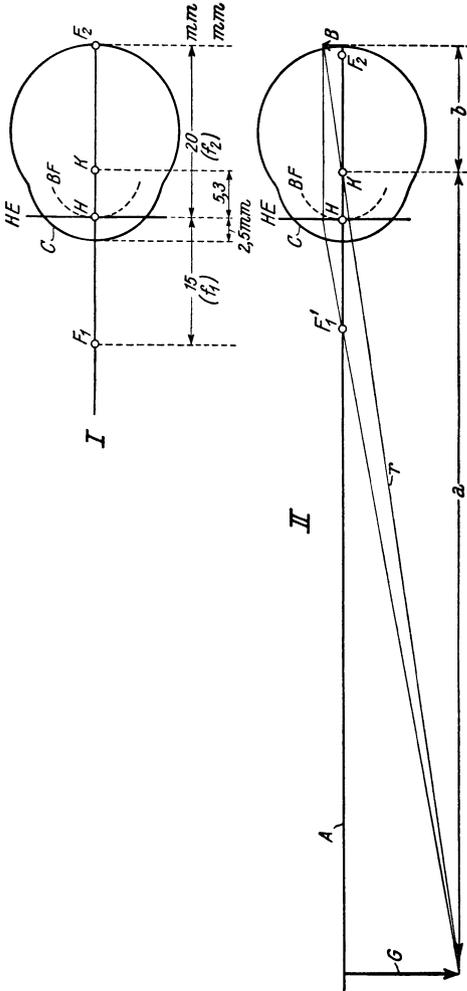


Abb. 79. I Maße des reduzierten Auges; II Konstruktion des Bildes auf der Retina des reduzierten Auges. Im letzten Fall ist, der Akkommodation entsprechend, der vordere Brennpunkt *näher* zum Auge angenommen als bei der Einstellung auf unendlichen (I), so daß das Bild trotz Gegenstandsnahe auf der Retina entsteht.  
 A Augensachse; B Bild auf der Retina; FF' brechende Fläche des reduzierten Auges; C Cornea; F<sub>1</sub> vorderer Brennpunkt; F<sub>2</sub> vorderer Brennpunkt des akkommodierten Auges; F<sub>1</sub> hinterer Brennpunkt; G Gegenstand; H Hauptpunkt; HE Hauptebene; K Knotenpunkt; a Gegenstands Entfernung; b Bildentfernung; f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> vordere und hintere Brennweite; r Bichtungsstrahl.

mische Refraktion mehr (S. 196), sein mit dem Altern immer mehr hinausrückender Nahpunkt fällt dann mit dem Fernpunkt zusammen. Reicht die Akkommodation zur Einstellung auf die Nähe nicht mehr aus, so wird eine *Presbyopenbrille* verordnet, für

deren Dioptrienzahl der Beruf (wegen des jeweils verschiedenen Arbeitsabstandes) mitbestimmend ist.

Beim kurzsichtigen oder **myopen Auge** werden die achsenparallelen Strahlen schon *vor* der Retina vereinigt, wie Abb. 80 II zeigt. Dies kann entweder durch eine gegenüber dem emmetropen Auge zu *starke* Brechkraft (*Brechungsmyopie*) bedingt sein, in den meisten Fällen aber, wie auch Abb. 80 II zeigt, durch einen *Langbau* des Auges in der Richtung der optischen Achse bei *normalem* Brechungsvermögen (*Achsenmyopie*). Aber auch in diesem Fall ist die normale Brechkraft *verhältnismäßig* zu groß, ein myopes Auge kann daher *stets* als ein Auge mit zu starker (absoluter oder relativer) Brechkraft angesehen werden. Bei einer Myopie von z. B. 2 D wird *das* scharf gesehen, was ein emmetropes Auge mit 2 D Akkommodation scharf sieht; der Fernpunkt liegt daher in diesem Fall  $\frac{1}{2}$  m vor dem Auge. Ein 20jähriger Myoper hat ebenso wie der gleichaltrige Emmetrope 10 D dynamische Refraktion, bei stärkster Akkommodation hat er daher 12 D mehr als das ruhende emmetrope Auge, sein Nahpunkt liegt demnach  $\frac{1}{12}$  m vor dem Auge. Die Brechkraft des myopen Auges wird durch Vorsetzen einer Konkavlinse auf den richtigen Wert zurückgeführt. Wie groß ist das Akkommodationsgebiet im eben angegebenen Beispiel?

Beim übersichtigen oder **hypermetropen Auge** werden die achsenparallelen Strahlen *hinter* der Retina vereinigt, was durch eine schwächere Brechkraft (*Brechungshypermetropie*) oder meistens durch einen zu *kurzen* Augapfel, wie in Abb. 80 III (*Achsenhypermetropie*) bedingt ist. Das hypermetrope Auge kann daher als zu *schwach* brechend aufgefaßt werden. Auch der Hypermetrope sieht einen unendlich fernen Gegenstand *unscharf*; die auf der Retina des ruhenden Auges etwa zur Vereinigung kommenden Strahlen müßten infolge der geringeren Brechkraft dieses Auges schon *konvergent* auf die Kornea auftreffen, so, als ob sie von einem *hinter* der Netzhaut liegenden Fernpunkt (*F*) ausgingen. Der Hypermetrope kann aber durch entsprechende *Akkommodation* auf einen sehr fernen Gegenstand scharf einstellen. Bei einer Hypermetropie von z. B. 2 D werden 2 D zur Einstellung auf die Ferne akkommodiert, es bleiben daher bei einem Zwanzigjährigen von den 10 D der Akkommodationsbreite nur mehr 8 D für den Nahpunkt übrig, der demnach  $\frac{1}{8}$  m vor dem Auge liegt. Durch Vorsetzen einer Konvexlinse wird die Brechkraft des hypermetropen Auges auf den richtigen Wert erhöht. Wie groß ist das Akkommodationsgebiet im eben gegebenen Beispiel?

Zur Lösung der gestellten Aufgaben sind Blätter mit dem Um-

riß, der optischen Achse und den Kardinalpunkten des schematischen Auges erforderlich; sie enthalten außerdem einen Pfeil als Gegenstand, von dem das Bild in der besprochenen Art zu konstruieren ist (Aufgabe 1). Da die Maße des schematischen Auges für den Fall der *Akkommodationslosigkeit* gelten und der Pfeil verhältnismäßig *nahe* ist, muß bei richtiger Konstruktion das Bild *hinter* der Netzhaut entstehen; erst durch zusätzliche *Akkommo-*

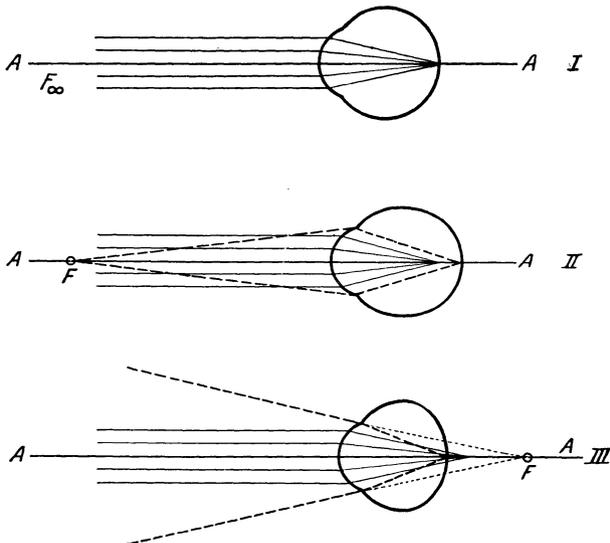


Abb. 80. Strahlenvereinigung beim ruhenden (akkommodationslosen) Auge eines Emmetropen (I), Myopen (II) und Hypermetropen (III).  
A optische Achse des Auges; F Fernpunkt.

*dation* würde im wirklichen Auge das Bild nach vorne auf die Netzhaut gebracht werden. Das Zeichenblatt enthält außer dem Pfeil noch zwei zueinander parallele Lichtstrahlen, deren Schnittpunkt und Verlauf *im* bzw. *hinter* dem Auge zu finden ist (Aufgabe 2). Die Konstruktion für beide Aufgaben erfolgt nach den in Abb. 75 und 76 gezeigten Richtlinien mit dem Unterschied, daß die *Richtungsstrahlen* über die *Knotenpunkte* und nicht über die *Hauptpunkte* zu führen sind. Zur Berechnung der Bildgröße (Aufgabe 3) wird die auf S. 196 für das reduzierte Auge abgeleitete Formel benützt.

### 70. SCHEINERSCHER VERSUCH; BESTIMMUNG DES NAHPUNKTES.

*Erforderlich:* Stecknadeln, Metallplättchen, darunter eines mit zwei feinen Löchern im Abstand von etwa 3 mm.

Wird dicht vor das Auge ein Metallplättchen mit zwei feinen, waagrecht nebeneinander liegenden Löchern, deren Abstand kleiner als der Pupillendurchmesser sein muß, gebracht und ein sehr weit (mehrere Meter) entfernter Gegenstand betrachtet, so erscheint ein gleichzeitig im Gesichtsfeld befindlicher *naher* Gegenstand doppelt. Verschließt man durch Verschieben eines zweiten Metallplättchens z. B. das *linke* Loch, so ändert sich das Bild des fernen Punktes nicht, es verschwindet aber das *rechte* Doppelbild des *nahen* Punktes. Fixiert man dagegen den *nahen* Punkt, so erscheint ein im Gesichtsfeld gleichzeitig vorhandener *ferner* Punkt doppelt und der Verschluß des linken Loches bringt das *linke* Doppelbild zum Verschwinden, während der nahe Gegenstand unverändert gesehen wird. Entsprechendes ist natürlich auch beim Verschluß des rechten Loches zu beobachten.

Das **verschiedene Verhalten der Doppelbilder** bei Verschluß eines Loches je nach der Einstellung des Auges läßt sich nur durch ein jeweils verschiedenes Brechungsvermögen erklären, wie sich aus den Zeichnungen in Abb. 81 *I* und *II* ergibt. Ist das Auge, wie in Abb. 81 *I*, auf den fernen Punkt  $F$  eingestellt, so wird dieser scharf auf der Retina bei  $F'$  abgebildet; die beiden durch die Löcher des Plättchens  $MP_1$  vom *nahen* Punkt  $N$  gleichfalls zum Auge gelangenden Strahlen werden aber infolge ihrer *größeren Divergenz* erst *hinter* der Retina vereinigt. An ihren Schnittpunkten mit der Retina entstehen die Bilder  $N_1'$  und  $N_2'$ , so daß an Stelle von  $N$  zwei Punkte,  $N_1$  und  $N_2$ , gesehen werden. Da alle Retinabilder über den Knotenpunkt  $K$  *umgekehrt* in den Raum hinausprojiziert werden, erscheint  $N_2$  links,  $N_1$  rechts. Wird das linke Loch durch das Plättchen  $MP_2$  verschlossen, so verschwindet das Bild  $N_1'$  und damit auch  $N_1$ , also das Bild der *anderen* Seite. Wird dagegen, wie in Abb. 81 *II*, auf den nahen Punkt  $N$  akkommodiert, so entsteht auf der Retina das scharfe Bild  $N'$ . Die *weniger* divergenten Strahlen von  $F$  werden schon *vor* der Retina vereinigt, gehen dann aber wieder auseinander, so daß die Bilder  $F_1'$  und  $F_2'$  zustande kommen. Man sieht daher zwei Punkte,  $F_2$  (links) und  $F_1$  (rechts). Wird wiederum durch Verschieben des Plättchens  $MP_2$  das linke Loch verschlossen, so verschwindet diesmal  $F_2'$  und damit  $F_2$ , also das *gleichseitige* Bild. Da im Versuch von Abb. 81 *I* die von  $N$  kommenden Strahlen *hinter*, im Versuch von Abb. 81 *II* jedoch *vor* der Retina vereinigt werden, so folgt, daß

bei der Einstellung des Auges auf einen *nahen* Gegenstand die Brechkraft *größer* sein muß als bei Einstellung auf einen fernen.

Der Versuch wird so ausgeführt, daß man als *fernen* Punkt einen schmalen, hohen, weit entfernten Gegenstand — z. B. den Blitzableiter eines gegenüberliegenden Hauses — fixiert, als *nahen* Punkt eine auf dem Fensterkreuz befestigte Nadel. Das Plättchen mit den beiden Löchern ist dicht ans Auge und so zu halten, daß die Öffnungen waagrecht nebeneinanderliegen. Zum Verschluß des einen Loches kann man ein gleichartiges Plättchen benutzen.

Der SCHEINERSche Versuch kann auch zur **Nahpunktbestimmung** verwendet werden. Man bringt das durchlöcherete Plättchen dicht vor das Auge und nähert ihm mit der anderen Hand eine Nadel. Befindet sich die Nadel außerhalb des Nahpunktes, so wird sie durch Akkommodation stets scharf gesehen; befindet sie sich innerhalb des Nahpunktes, so erscheint sie doppelt, so wie der „nahe“ Punkt in Abb. 81 I.

Der Nahpunkt entspricht jener Entfernung der Nadel vom Auge, in der gerade noch ein einfaches Bild gesehen wird, bei geringster Annäherung an das Auge aber Doppelbilder auftreten. Diese Entfernung ist von einer Hilfsperson zu messen. Bestimme nach diesem Verfahren bei mehreren Personen den Nahpunkt, besonders bei Brillenträgern nach Ablegen der Brille. Welche Unterschiede finden sich ?

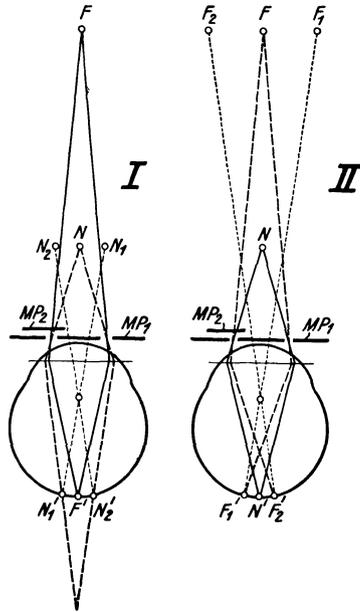


Abb. 81. Schematische Zeichnung zur Erklärung des SCHEINERSchen Versuches. I Fixierung des fernen Punktes; II Fixierung des nahen Punktes.

$F$  ferner Punkt;  $N$  naher Punkt;  $F'$ ,  $N'$ ,  $F_1'$ ,  $F_2'$ ,  $N_1'$ ,  $N_2'$  Bilder auf der Retina;  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  Doppelbilder;  $MP_1$ ,  $MP_2$  Metallplättchen.

### 71. Einfache Nahpunktbestimmung mit der Nadel oder mit kleiner Druckschrift.

*Erforderlich:* Lineal, Stecknadel mit großem Kopf, schwarzes Kartonblatt mit aufgeklebtem Kalenderblatt oder Ausschnitt aus einem Wörterbuch u. dgl. (wesentlich: unzusammenhängende Wörter mit möglichst kleinem Druck).

Die **Nahpunktbestimmung mit der Nadel** kann in vereinfachter Form auch *ohne* das doppelt durchlöchernte Plättchen des SCHEINERschen Versuches durchgeführt werden. Das Lineal wird am unteren Orbitalbogen waagrecht angesetzt und die Nadelspitze im Gesichtsfeld entlang der Linealkante gegen das Auge verschoben, während die Versuchsperson gegen das Fenster oder eine sonstige *helle* Fläche blickt. Solange sich die Nadelspitze außerhalb des Nahpunktes befindet, kann auf sie akkommodiert werden und sie bleibt scharf; rückt sie innerhalb des Nahpunktsabstandes, so wird die Spitze verschwommen und zu einer Art Pinsel.

In gleicher Weise verschiebt man bei der **Nahpunktbestimmung mit der kleinen Druckschrift** ein Vorlageblatt entlang der Linealkante und läßt dabei die Versuchsperson laut lesen. Vom Nahpunkt an wird die Schrift unleserlich. Voraussetzung dafür ist, daß die Druckbuchstaben *sehr klein* sind, wie z. B. in den Namensangaben auf den Blättern von Geldtaschenkalendern, die Wörter in kleinen Wörterbüchern u. dgl., daß ferner der zu lesende Text nicht zusammenhängt, vielmehr nur aus einzelnen Wörtern besteht, damit nicht beim undeutlichen Sehen ein *Erraten* stattfinden kann; auch aus diesem Grund eignen sich Kalenderblätter oder Ausschnitte aus Wörterbüchern besonders gut für diesen Zweck.

### 72. Bestimmung der Akkommodationsbreite (der dynamischen Refraktion); Erkennung der Emmetropie, Myopie und Hypermetropie.

*Aufgaben:* 1. Nach Herbeiführen einer künstlichen Myopie durch Vorsezen einer Konvexlinse vor das zu prüfende Auge ist der Fernpunkts- und Nahpunktsabstand zu messen und die Akkommodationsbreite zu berechnen.

2. Aus dem Quotienten  $\frac{100}{\text{Fernpunktstand}}$  und der Dioptrienzahl der vorgesetzten Linse ist ferner zu ermitteln, ob das untersuchte Auge emmetrop, myop oder hypermetrop ist.

*Erforderlich:* Lineal, Stecknadel mit großem Kopf, Linse von + 3 oder von + 4 D.

Wie schon auf S. 196 erörtert, wird unter **Akkommodationsbreite oder dynamischer Refraktion** die *Zahl der Dioptrien* verstanden, die das betreffende Auge bis zur maximalen Akkommo-

dation (Nahpunktseinstellung) aufwenden kann; die Akkommodationsbreite ist *unabhängig* davon, ob das untersuchte Auge emmetrop, myop oder hypermetrop ist, jedoch eine ziemlich regelmäßig verlaufende *Funktion des Lebensalters*, wie die folgende Tabelle zeigt:

Alter:	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	Jahre
Akkommodationsbreite:	10	8,5	7	5,5	4,5	3,5	2,5	1,75	1	0,75	0,25	0,0	D
Nahpunkt- abstand beim Emmetropen:	10	12	14	18	22	28	40	57	100	133	400	$\infty$	cm

Durch Bestimmung der Akkommodationsbreite kann man das Lebensalter eines Menschen ziemlich genau angeben. Zu dieser Bestimmung ist allerdings die Feststellung des Nahpunktstandes (Np-Abstand) allein ungeeignet, weil dieser ja auch von einer etwa vorhandenen Refraktionsabweichung (Myopie oder Hypermetropie, S. 198 und 199) abhängig ist. Man muß daher auch die Lage des Fernpunktes (Fp-Abstand) berücksichtigen und kann dann ganz allgemein die

$$\text{Akkommodationsbreite} = \frac{100}{\text{Np-Abstand}} - \frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$$

setzen und nach Messung und Eintragen der betreffenden Abstände in Zentimetern berechnen.

Die Messung des Fernpunktstandes ist bei einem Auge unbekannter Refraktion oft nicht möglich, weil z. B. im Fall der Emmetropie ja eine unendlich lange Strecke in Frage kommt. Man hilft sich durch Vorsetzen einer Linse von + 3 oder + 4 D, welche eine *künstliche Myopie* herbeiführt und damit den Fernpunkt, und natürlich auch den Nahpunkt, an das Auge heranrückt.

Die Bestimmung der Akkommodationsbreite beginnt mit dem waagerechten Ansetzen eines Lineales am unteren Orbitalrand und dem Vorsetzen z. B. einer Linse von + 4 D vor das Auge; dann wird nach S. 202 der *Nahpunkt* durch Nähern einer Nadel entlang der Linealkante bestimmt, anschließend durch Entfernen der Nadel auch der *Fernpunkt* der künstlichen Myopie, wobei diesmal die Nadelspitze pinselförmig wird, wenn sie sich *zu weit weg* vom Auge befindet. Die Akkommodationsbreite wird dann nach Einsetzen der gefundenen Abstände in die allgemeine Formel  $\frac{100}{\text{Np-Abstand}} - \frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$  berechnet.

Die Messung des Fernpunktstandes ermöglicht auch eine **Feststellung von Refraktionsabweichungen**. Der Wert  $\frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$  ist gleich den Dioptrien der künstlichen Myopie; diese kann —

im Falle der Emmetropie des untersuchten Auges — durch die Vorsatzlinse *allein* hervorgebracht worden sein, oder — bei einer Refraktionsabweichung des untersuchten Auges — durch Zusammenwirken von Augenfehler *und* Vorsatzlinse. Im ersten Fall muß der Wert  $\frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$ , *gleich groß* wie die Dioptrien der Vorsatzlinse sein, die entweder schon bekannt sind oder durch Brennweitenmessung und der Rechnung  $\frac{100}{f}$  nach S. 192 gefunden werden. Ist  $\frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$  *größer* als  $\frac{100}{f}$  bzw. D der Vorsatzlinse, dann ist das untersuchte Auge *myop*; ist  $\frac{100}{\text{Fp-Abstand}}$  *kleiner* als  $\frac{100}{f}$  bzw. D der Vorsatzlinse, dann liegt eine *Hypermetropie* vor.

### 73. Prüfung auf Astigmatismus.

*Erforderlich:* Keratoskop nach PLACIDO.

Beim emmetropen, myopen und hypermetropen Auge werden achsenparallele Strahlen stets zu einem *Punkt* vereinigt, der *in*, *vor* oder *hinter* der Retina liegt. Findet keine Vereinigung zu einem *Punkt* statt, so spricht man von **Astigmatismus**, der stets auf eine *ungleiche* Krümmung der brechenden Flächen, vor allem der Hornhaut, zurückzuführen ist. Astigmatismus höheren Grades führt zu unscharfem und verzerrtem Sehen.

Beim **unregelmäßigen (irregulären) Astigmatismus** erfolgt die Strahlenbrechung ganz regellos; irregulärer Astigmatismus kann durch Verletzungen der Kornea, durch Narben oder auch vorübergehend durch Hängenbleiben einer Träne oder eines Schleimklumpchens auf der Kornea bedingt sein. Der irreguläre Astigmatismus wird durch Tragen einer *Lochblende* (stenopäische Brille, S. 208) oder durch ein *Kontaktglas* — eine kugelförmig geschliffene Glasschale, die, unter die Lider geschoben, unmittelbar dem vorderen Augenabschnitt anliegt —, gebessert.

Beim **regulären Astigmatismus** wird ein Bündel achsenparalleler Strahlen zu *zwei Brennlinien* vereinigt, die zwar senkrecht aufeinanderstehen, aber *nicht in der gleichen Ebene* liegen. Die Kornea ist dann zwar regelmäßig, aber in verschiedenen Meridianen *ungleich stark* gekrümmt. Fast immer stehen die Meridiane mit schwächster und stärkster Krümmung (*Hauptmeridiane*) senkrecht aufeinander. Beim **geraden Astigmatismus** liegen sie waagrecht und lotrecht, beim **schiefen Astigmatismus** schräg. Da fast jede Kornea in der Waagerechten etwas *schwächer*, in der Lotrechten

etwas *stärker* gekrümmt ist, so zeigt *jedes* Auge einen leichten, geraden Astigmatismus, der aber nur bei stärkerer Ausbildung das Sehen stört und korrigiert werden muß. Wegen der Häufigkeit dieser Form heißt er **Astigmatismus nach der Regel**; beim **Astigmatismus gegen die Regel** ist der *waagerechte* Meridian der stärker, der *lotrechte* der schwächer gekrümmte.

Stärkere Grade von regelmäßigem Astigmatismus können mit dem **Keratoskop nach PLACIDO** erkannt werden. Es besteht aus einer Scheibe von etwa 25 cm Durchmesser mit konzentrischen schwarzen und weißen Kreisen. Die Versuchsperson steht mit dem Rücken gegen das Fenster, der Untersucher ihr gegenüber; er bringt die gut beleuchtete Scheibe, die Kreise der Versuchsperson zugewendet, in Augenhöhe in einen Abstand von etwa 25 cm von dem zu untersuchenden Auge. Der Untersucher blickt durch das im Zentrum der Scheibe befestigte kleine Fernrohr und verschiebt dieses entsprechend oder nähert oder entfernt die ganze Scheibe etwas, bis er auf der Kornea das Spiegelbild der Kreise *scharf* sieht. Beim normalen Auge besteht das Spiegelbild wieder aus Kreisen, liegt aber ein stärkerer Astigmatismus vor, aus *konzentrischen Ellipsen*. Da nämlich jeder Konvexspiegel um so kleinere Bilder liefert, je stärker er gekrümmt ist, so werden die Radien der Kreise in den Meridianen stärkerer Krümmung kürzer sein als in den Meridianen schwächerer Krümmung. Die große Achse der Ellipse entspricht daher dem am *schwächsten* gekrümmten, die kleine Achse dem am *stärksten* gekrümmten Hornhautmeridian. Liegt die lange Achse waagerecht, die kurze lotrecht, so handelt es sich um einen Astigmatismus *nach der Regel*, steht die lange Achse lotrecht, die kurze waagerecht, um einen Astigmatismus *gegen die Regel*, liegt die Ellipse schräg, um einen *schiefen* Astigmatismus. Zur genaueren Bestimmung der Lage der Hauptmeridiane wird auf das Keratoskop eine zweite Scheibe mit abwechselnd weißen und schwarzen Sektoren und einem roten Sektorenpaar aufgesteckt. Man läßt die Scheibe mit dem Keratoskop auf der Kornea spiegeln, beobachtet das Bild durch das Fernrohr und dreht die Scheibe mit der Strahlenfigur so lange, bis die roten Sektoren in der langen Achse der Ellipse liegen. An einer Gradeinteilung an der Hinterseite der Scheibe kann die räumliche Lage dieses Meridianes abgelesen werden.

Wie schon erwähnt, dient das Keratoskop nur zur Erkennung *stärkerer* Grade des Astigmatismus. Für klinische Zwecke, wobei auch geringgradiger Astigmatismus festgestellt werden soll, werden daher empfindlichere Geräte, z. B. das Ophthalmometer nach JAVAL-SCHIÖTZ, benützt.

Der reguläre Astigmatismus wird durch **Vorsetzen von Zylindergläsern** korrigiert, wobei (so wie bei der sphärischen Hypermetropie und Myopie) zu *geringe* Brechkraft *Konvexlinsen*, zu *starke* Brechkraft *Konkavlinsen* erfordert. Die Zylinderachse muß immer senkrecht auf den zu korrigierenden Meridian gestellt werden.

Untersuche verschiedene Personen, besonders Brillenträger (nach Ablegen der Brille!) mit dem Keratoskop, stelle fest, ob ein Astigmatismus vorhanden ist, wenn ja, welcher Art, und bestimme die Lage der Hauptmeridiane!

#### 74. Bestimmung der Sehleistung.

*Erforderlich:* SNELLENSche Sehprobentafel.

Zwei Punkte werden vom Auge nur dann *getrennt* wahrgenommen, wenn ihre Bilder auf verschiedene Elemente der Netzhaut fallen und sich dazwischen mindestens ein unerregt gebliebenes Element befindet. Fallen die beiden Bilder auf zwei unmittelbar aneinanderschießende Elemente, dann kommt die Empfindung eines *Striches* zustande, fallen die Bilder auf ein und dasselbe Element, so wird überhaupt nur *ein* Punkt gesehen. Da die unmittelbare Verbindung eines Gegenstandspunktes und seines Bildes durch den Richtungsstrahl (S. 195) hergestellt wird, so läßt sich auf Grund der Maße des Auges und seiner Elemente ein *Grenzwinkel* angeben, den zwei Richtungsstrahlen miteinander einschließen müssen, um zwei voneinander durch ein drittes Element getrennte Retinaelemente zu treffen; dieser Winkel beträgt im Mittel eine *Bogenminute*. Diese Tatsache benützt man zur Bestimmung der **Schleistung** mit Hilfe der SNELLENSchen Tafeln. Diese enthalten mehrere Reihen von aus einzelnen Quadraten zusammengesetzten Buchstaben, wobei die Mittelpunkte zweier benachbarter Quadrate in einer für jede Zeile festgelegten Entfernung genau unter dem Winkel von einer Bogenminute gesehen werden. Beim E der Tafel sind z. B. die drei waagerechten Balken auf der rechten Seite so gesondert, daß je ein weißes Quadrat als Zwischenraum verbleibt. Dieses wird bei *normaler* Sehleistung von den schwarzen Quadraten der Querbalken getrennt gesehen, weil die Richtungsstrahlen zwischen den Mittelpunkten miteinander den Mindestwinkel von einer Bogenminute einschließen. Bei herabgesetzter Sehleistung werden jedoch die weißen Quadrate nicht von den schwarzen getrennt gesehen, das E erscheint als geschlossene Figur, meist als O oder B. In ähnlicher Weise sind auch die anderen Buchstaben so konstruiert, daß sie *verwechselt werden müssen*, wenn die Sehleistung nicht normal ist.

Die übliche **SNELLENSCHE Sehprobentafel** enthält untereinander Reihen mit immer kleineren Buchstaben, von denen die erste mit den größten bei normaler Sehleistung in 60 m Abstand gelesen werden sollte. Die folgenden Zeilen sind in 36, 24, 18, 12, 8, 6, 5, 4, 3, 2 und 1 m Abstand zu lesen; eine ähnliche Tafel — für kleinere Räume bestimmt — beginnt mit 50 m und hat bis 5 m durch fünf teilbare Abstufungen. Neben jeder Zeile ist der zugehörige Abstand angeschrieben.

Die Versuchsperson sitzt zur Ausschaltung der Akkommodation in 6 m Entfernung von der gut beleuchteten, eine *Sechserreihe* enthaltenden Sehprobentafel; steht eine solche mit *Fünferreihen* zur Verfügung, so ändern sich die folgenden Zahlenangaben sinngemäß. Zur getrennten Prüfung jedes Auges wird jeweils das andere mit der Hand verdeckt. Aus der Entfernung von 6 m muß eine Versuchsperson mit normaler Sehleistung bei vollem, hellem Tageslicht bis zur Zeile für 6 m Abstand *alles* lesen können. Da die Sehleistung als Quotient aus der tatsächlichen Entfernung von der Tafel und dem für die letzte gelesene Zeile gültigen Abstand angegeben wird, ist in dem besprochenen Fall die Sehleistung  $6/6$ , also normal. Es kann vorkommen, daß die Versuchsperson in 6 m Abstand auch noch die für 5 m oder für 4 m bestimmte Zeile lesen kann; sie hat dann eine *erhöhte* Sehleistung, nämlich  $6/5$  bzw.  $6/4$ . Viel häufiger jedoch findet man, z. B. bei Brillenträgern mit abgelegtem Augenglas, daß die Versuchsperson nicht bis zur 6-m-Zeile, sondern nur z. B. bis zur 24-m-Zeile lesen kann; dann ist die Sehleistung herabgesetzt und beträgt  $6/24$ . Da diese Zahlen den tatsächlichen Abstand und die gelesene Zeile angeben, soll der Bruch *nicht gekürzt* werden.

Eine herabgesetzte Sehleistung kann vor allem dadurch bedingt sein, daß das Bild der Sehprobentafel auf der Netzhaut *unscharf* ist (Refraktionsanomalie) oder daß bei scharfer Abbildung das Auflösungsvermögen der Retina herabgesetzt ist. Kann durch Vorsetzen geeigneter Linsen die Refraktionsanomalie behoben werden, so wird die Sehleistung verbessert. Die Sehleistung des *korrigierten* Auges wird als **Sehschärfe** bezeichnet. Besteht keine Refraktionsanomalie, so ist die festgestellte Sehleistung zugleich auch die maximale Sehschärfe.

### 75. Sehen durch enge Blenden (stenopäisches Sehen).

*Erforderlich:* Metallplättchen mit einem feinen Loch in der Mitte, Kartonrahmen mit Gazestoff beklebt, Stecknadel mit kleinem Kopf.

Die Iris hat im Auge die gleiche Bedeutung wie die Blende im photographischen Apparat und erhöht die Schärfentiefe um so

mehr, je enger sie ist. Im Versuch 54 (S. 153) wurde festgestellt, daß sich die Iris bei Einstellung des Auges auf einen *nahen* Gegenstand *verengt*; da bei allen optischen Systemen die Schärfentiefe bei kleinerem Gegenstandsabstand abnimmt, stellt die Akkommodationsreaktion der Iris einen Ausgleichsvorgang dar. Durch die Irisverengung beim Sehen in die Nähe kann die Abbildungsschärfe auch dann noch verbessert werden, wenn, wie z. B. bei der Presbyopie, eine Einstellung der Linse auf den Gegenstand selbst gar nicht mehr zustande kommen kann. Auch die unscharfe Abbildung beim unregelmäßigen Astigmatismus kann durch starke Abblendung — Vorsetzen einer ganz feinen Lochblende (*stenopäisches Sehen, stenopäische Brille*) — gebessert werden.

Daß durch **Vorsetzen einer engen Lochblende** vor das Auge tatsächlich ein verhältnismäßig scharfes Sehen auch *dann* noch möglich ist, wenn auf einen Gegenstand nicht ganz akkommodiert werden kann, beweist der folgende Versuch. Man hält das auf einen Kartonrahmen aufgeklebte Stückchen Gazestoff so nahe an das Auge innerhalb des Nahpunktes, daß das Stoffgitter *nicht mehr* gesehen wird. Hierauf bringt man das Metallplättchen mit dem feinen Loch so dicht als möglich vor das Auge — Brillenträger zwischen Brille und Auge oder legen die Brille ab —, worauf das Gitter infolge der starken Abblendung wieder scharf gesehen wird. Die Maschen des Gitters erscheinen dabei auch *stark* vergrößert. Dies hängt damit zusammen, daß wir die Größenschätzung beim *einäugigen* Sehen nach unseren Erfahrungen aus Bildgröße und Akkommodationsstärke vornehmen. Durch die Nähe des Gegenstandes ist das Bild sehr groß; da das Auge aber nur bis zum Nahpunkt akkommodieren kann und daher nur auf den Nahpunkt eingestellt ist, so wird die Gegenstandsgröße überschätzt. Denn tatsächlich müßte das Gitter viel größer sein, wenn es sich im Nahpunkt befände und ein so großes Bild — wie es durch die größere Nähe entsteht —, liefern würde.

Eine andere Täuschung beim stenopäischen Sehen besteht in folgendem. Es wird die Lochblende dicht vor das Auge gehalten und der Kopf einer Stecknadel langsam *zwischen Blende und Auge* so lange vorgeschoben, bis er im Lichtkreis des feinen Loches erscheint. Bewegt man die Nadel von *unten* nach oben, so scheint sie aber bei der vorliegenden Versuchsanordnung von *oben* zu kommen. Warum?

**76. Beobachtung der Gefäßschattenfigur im eigenen Auge.**

*Erforderlich:* Taschenlampe von Stabform, verdunkeltes Zimmer.

Durch seitliche, *diasklerale* Beleuchtung des Auges kann jeder mann die Verteilung der Blutgefäße in der eigenen Netzhaut als Schattenfigur sehen. Man stellt sich im dunklen Zimmer in etwa 2 m Abstand von der Wand auf, an der man ein Fixationszeichen so anbringt, daß das zu untersuchende Auge etwas medial blicken muß. Von einer Hilfsperson wird mit einer Taschenlampe ein Lichtbündel auf die temporale Seite der Sklera geworfen. In die Pupille selbst darf *kein* Licht einfallen. Diese diasklerale Beleuchtung wird erleichtert, wenn man das untere und obere Augenlid mit zwei Fingern ein wenig spreizt. Das Lichtbündel muß von der Hilfsperson durch Verschieben der Lampe leicht auf und ab bewegt werden. Man sieht plötzlich das Gesichtsfeld als rötliche Scheibe aufleuchten, die von den dunklen, verzweigten Gefäßschatten, die alle von einem Punkt ausgehen, durchzogen wird. Mit der Bewegung des Lichtstrahles verschieben sich auch die Schattenlinien, in denen man gelegentlich auch eine Art Pulsation sehen kann. Es handelt sich um den Schatten der an der Netzhautinnenseite verlaufenden Gefäße, der durch die seitliche Beleuchtung auf die lichtempfindliche Schicht der Retina geworfen wird. An die beim gewöhnlichen Lichteinfall durch die Pupille auf die Netzhaut geworfenen Gefäßschatten sind wir gewöhnt und sehen sie nicht mehr; sie fallen erst auf, wenn sie durch schräge, diasklerale Beleuchtung auf andere Stellen der Netzhaut geworfen werden.

**77. Übungen mit dem Augenspiegel.**

*Aufgaben:* 1. Beobachtung des Augenhintergrundes beim Frosch durch Spiegeln im aufrechten Bild.

2. Beobachtung des Augenhintergrundes beim Kaninchen durch Spiegeln im aufrechten und im verkehrten Bild.

3. Augenspiegeln beim Menschen im verkehrten und im aufrechten Bild.

4. Verwendung des reflexfreien Taschen-Augenspiegels nach THORNER.

*Erforderlich:* Gewöhnlicher Augenspiegel, Augenspiegel nach THORNER, Frosch, Froschtuch, Kaninchen mit Haltevorrichtung, abgeblendete Lampen, Dunkelraum.

Der *Augenspiegel* ist ein Hohlspiegel mit Handgriff, mit dem von einer seitlich aufgestellten Lampe Licht in das zu untersuchende Auge geworfen wird. Der beleuchtete Augenhintergrund wirkt nun als heller Gegenstand, von dem Strahlen durch die Pupille austreten. Diese gelangen durch das zentrale Loch im Hohlspiegel zum Auge des Beobachters, das sich unmittelbar hinter

dem Spiegel befinden muß. Ist das untersuchte und das beobachtete Auge *emmetrop und akkommodationslos*, so sieht der Beobachter den Hintergrund des anderen Auges mit dem Eintritt des N. opticus (Papille) und den Gefäßverzweigungen (vergl. Abb. 88) in normaler (aufrechter) Lage (**Spiegeln im aufrechten Bild**). Refraktionsanomalien müssen mit Linsen ausgeglichen werden, die in einer am Augenspiegel befestigten Scheibe eingekittet sind. Durch Drehen an der Scheibe wird eine Linse, deren Dioptrienzahl der algebraischen Summe der Korrektionsbrillen von Versuchsperson und Beobachter entspricht, vor das Loch des Spiegels gebracht. Ist das untersuchte Auge emmetrop, das des Untersuchers 2 D myop, so werden  $-2$  D im Spiegel eingestellt; ist das untersuchte Auge 1 D myop, das des Beobachters 3 D hypermetrop,

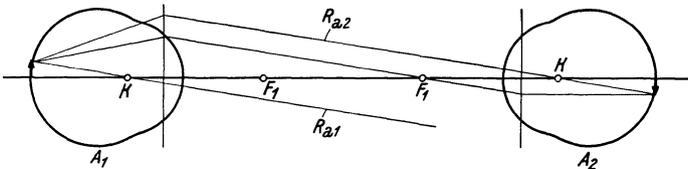


Abb. 82. Strahlengang beim Spiegeln im aufrechten Bild (beide Augen emmetrop und akkommodationslos) unter Benutzung des Schemas für das reduzierte Auge.  $A_1$  untersuchtes Auge;  $A_2$  Auge des Beobachters;  $F_1$  vorderer Brennpunkt jedes Auges;  $K$  Knotenpunkt jedes Auges;  $R_{a1}$  Richtungsstrahl für das Auge  $A_1$ ;  $R_{a2}$  Richtungsstrahl für das Auge  $A_2$ .

so werden  $+2$  D eingestellt usw. Sind die Refraktionsanomalien nicht bekannt, so müssen sie durch Ausprobieren bestimmt werden. Der Geübte kann durch Vorsetzen verschiedener Linsen die richtige bald herausfinden und aus dieser, wenn seine eigene Refraktion bekannt ist, die Refraktionsanomalie des Untersuchten bestimmen (*objektive Refraktionsbestimmung*).

Abb. 82 zeigt die **Konstruktion des Strahlenganges** für zwei emmetrope, akkommodationslose Augen beim **Spiegeln im aufrechten Bild**. Denkt man sich in der Retina des untersuchten Auges  $A_1$  einen kleinen Pfeil, so müssen alle z. B. von der Pfeilspitze ausgehenden Strahlen außerhalb des Auges ein paralleles Strahlenbündel bilden, weil beim emmetropen, akkommodationslosen Auge die Netzhaut in der Brennebene des optischen Systems liegt. Die Richtung des Strahlenbündels wird durch den ungebrochen nach außen tretenden *Richtungsstrahl*  $R_{a1}$  angegeben, zu dem die anderen alle parallel sein müssen. Einer dieser Strahlen geht durch den vorderen Brennpunkt  $F_1$  des beobachtenden Auges  $A_2$ , in dessen Innerem er achsenparallel verlaufen muß. Ein zweiter Strahl  $R_{a2}$  geht durch den Knotenpunkt von  $A_2$ , wird also als

Richtungsstrahl nicht gebrochen und schneidet sich mit dem ersten in der Retina von  $A_2$ , wo das Bild der Pfeilspitze entsteht. Nach der Zeichnung ist der Pfeil in  $A_1$  aufrecht, sein Bild in  $A_2$  verkehrt; da alle Netzhautbilder aber umgekehrt in den Raum projiziert werden, erscheint der Pfeil *aufrecht*. Beim Spiegeln im aufrechten Bild sieht man immer nur einen kleinen Teil des Augenhintergrundes, diesen aber stark vergrößert, jedoch lichtschwach.

Beim Spiegeln im verkehrten Bild wird eine Konvexlinse von 16 D etwa 6 cm vor das untersuchte Auge gehalten. Die Konvexlinse entwirft in ihrer Brennebene ein Bild des Augenhintergrundes so wie beim Spiegeln im aufrechten Bild die Auglinse des Beobachters auf dessen Retina. Auf das 6 cm vor der Konvexlinse entstehende Bild muß der Beobachter, der davon etwa 30 cm entfernt ist, *akkommodieren* oder einfacher die Akkommodation durch *Einschalten einer Linse von + 3 D* in seinem Augenspiegel ersetzen, sofern er emmetrop ist. Besteht beim Beobachter eine Refraktionsanomalie, so ist die algebraische Summe von + 3 D und seiner Korrektionslinse im Spiegel vorzuschalten. Die **Konstruktion des Strahlenganges** ergibt sich aus Abb. 83. Von der Pfeilspitze in der Retina

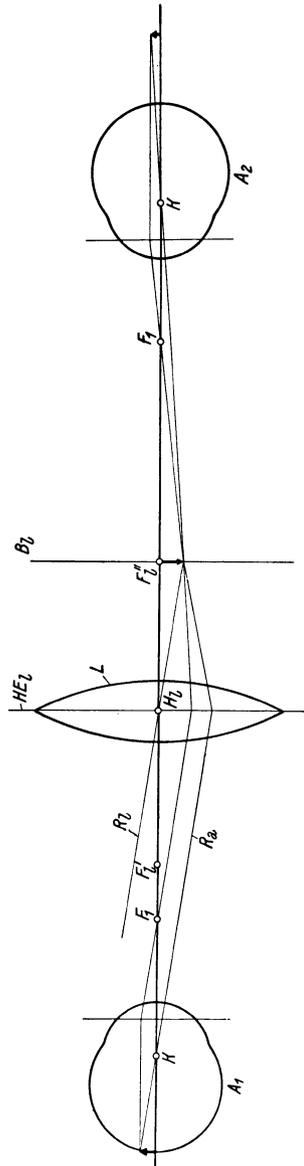


Abb. 83. Strahlengang beim Spiegeln im verkehrten Bild unter Benutzung des Schemas für das reduzierte Auge.  $A_1$ , untersuchtes Auge;  $A_2$ , Auge des Beobachters;  $B_l$  Brennebene der Konvexlinse  $L$ ;  $F_1$  vorderer Brennpunkt jedes Auges;  $F_1', F_1''$  Brennpunkte der Konvexlinse  $L$ ;  $H_1, H_2$  Hauptpunkte der Konvexlinse  $L$ ;  $H_1, H_2$  Hauptpunkte jedes Auges;  $L$  Konvexlinse von 16 D;  $R_1, R_2$  Richtungsstrahl für das Auge  $A_1$ ;  $R_1$  Richtungsstrahl für die Konvexlinse  $L$ .

des emmetropen und akkommodationslosen Auges  $A_1$  geht wieder ein Bündel außerhalb des Auges parallel zueinander verlaufender Strahlen aus, deren Richtung durch den Richtungsstrahl  $R_a$  angegeben wird. Die Konvexlinse  $L$  vereinigt das Bündel paralleler Strahlen zu einem in ihrer Brennebene  $B_l$  gelegenen Punkt. Dieser wird dadurch gefunden, daß parallel zu  $R_a$  ein Richtungsstrahl  $R_l$  durch den Hauptpunkt  $H_l$  der Linse bis zum Schnitt mit der Brennebene  $B_l$  gezogen wird. Zu diesem Punkt werden alle anderen Strahlen gebrochen und erzeugen das Bild der Pfeilspitze. Auf das in  $B_l$  entstandene Bild hat das Auge  $A_2$  zu akkommodieren; das Bild wird in bekannter Weise durch Ziehen eines Richtungsstrahles und eines Strahles durch den vorderen Brennpunkt konstruiert. Da das reduzierte Auge hier *akkommodationslos* angenommen ist, so muß bei der Zeichnung des Strahlenganges das Bild *hinter* der Retina von  $A_2$  entstehen; erst durch die vom wirklichen Beobachter vorgenommene Akkommodation oder durch das Vorschalten von  $+3\text{ D}$  im Augenspiegel entsteht das Bild auf der Netzhaut von  $A_2$ . Obwohl nach der Zeichnung der aufrechte Pfeil im Auge  $A_1$  im Auge  $A_2$  wieder aufrecht abgebildet wird, entsteht infolge der umgekehrten Projektion des Netzhautbildes nach außen beim Untersucher der Eindruck eines *verkehrten* Bildes. Ist das Auge  $A_1$  nicht emmetrop, so sind die austretenden Strahlen nicht parallel, das von der Linse  $L$  entworfene Bild des Augenhintergrundes entsteht daher nicht mehr *in* der Brennebene, sondern *vor* oder *hinter* ihr; da der Beobachter die geringfügige Verlagerung des Bildes durch eine entsprechende Entfernungsänderung seines Kopfes kompensieren kann, ist beim Spiegeln im verkehrten Bild die Refraktion des Untersuchten bedeutungslos. Nur wenn eine sehr starke Myopie von z. B. 10 oder 15 D vorliegt, kann schon *ohne* Konvexlinse  $L$  im verkehrten Bild gespiegelt werden, weil das myope Auge allein schon in geringem Abstand vor sich ein Bild des beleuchteten Augenhintergrundes entwirft. Das Spiegeln im verkehrten Bild bietet den Vorteil einer größeren Übersichtlichkeit und einer größeren Helligkeit, dafür ist aber die Vergrößerung geringer.

Zum Augenspiegeln mit den gewöhnlichen Geräten ist ein Dunkelraum oder doch ein weitgehend abgedunkelter Raum erforderlich. Zur ersten Übung soll ein **Frosch** benützt werden. Das Tier wird, wie Abb. 84 zeigt, in ein Tuch eingeschlagen, in die Nähe der Lichtquelle gebracht, der Augenspiegel — bei einer Refraktionsanomalie des Beobachters nach Einstellung der entsprechenden Linse — dicht vor das Auge gehalten und Licht in das Froschauge geworfen. Man muß dabei ganz nahe an das Tier herangehen

und den Frosch in der Hand so drehen, daß der Augenhintergrund aufleuchtet. Er erscheint *bläulich-grün*, zeigt den Sehnerveneintritt und die Verteilung der Blutgefäße, in denen man auch die Bewegung der Blutkörperchen wahrnehmen kann. Wichtig ist, daß der Beobachter lernt, akkommodationslos zu schauen.

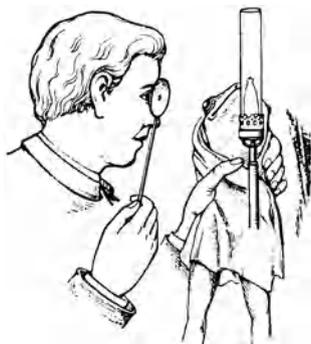


Abb. 84. Augenspiegeln beim Frosch im aufrechten Bild.

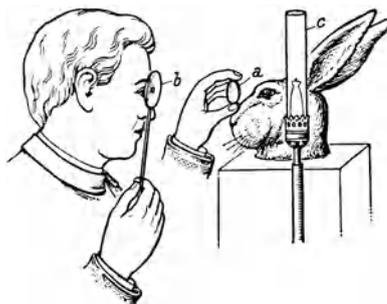


Abb. 85. Augenspiegeln beim Kaninchen im verkehrten Bild.

*a* Konvexlinse von 16 D; *b* Augenspiegel  
*c* Lichtquelle.

Zum **Augenspiegeln am Kaninchen** ist das Tier durch Einträufeln von Atropinlösung in den Bindehautsack vorbereitet, was zu einer Pupillenerweiterung führt. Die Lichtquelle wird seitlich von dem durch eine Haltevorrichtung unbeweglich gemachten Tier in Augenhöhe aufgestellt; der Spiegelabstand vom Tierauge beträgt beim Spiegeln im aufrechten Bild nur wenige Zentimeter. Da das Kaninchen leicht *hypermetrop* ist, muß man eine schwache Konvexlinse in den Spiegel einschalten, wobei die notwendige Dioptrienzahl am einfachsten durch Ausprobieren gefunden wird. Man sieht einen *rötlichen* Augenhintergrund, die Papille und die Gefäßverzweigung. Am Kaninchen kann auch im verkehrten Bild gespiegelt werden, wobei, wie Abb. 85 zeigt, die Konvexlinse *a* sehr nahe an das Auge gebracht wird, der Beobachter mit dem Spiegel *b* jedoch 30—35 cm von der Linse entfernt ist. Der Emmetrope schaltet + 3 D in den Spiegel, der Myope oder Hypermetrope seine Korrektionslinse dazu.

Das **Augenspiegeln beim Menschen im aufrechten Bild** erfordert eine besondere Anordnung von Versuchspersonen und Beobachter, damit die beiden Augen genügend nahe aneinanderkommen können.

Zunächst ist in den Augenspiegel der schräge, *kleine* Spiegel einzusetzen. Soll das *linke* Auge der Versuchsperson gespiegelt werden, so muß auch der Untersucher das *linke* Auge benützen, soll das *rechte* Auge gespiegelt werden, sein *rechtes*. Die Lichtquelle ist auf der gleichen Seite wie das zu spiegelnde Auge anzubringen. Zur Beobachtung der Papille läßt der Beobachter die Versuchsperson an seinem gleichseitigen Ohr vorbeisehen. Im Spiegel ist die entsprechende Linse einzusetzen, wenn nicht beide Augen emmetrop sind. Der Untersucher muß mit Spiegel und Kopf bis auf wenige Zentimeter an das Auge der Versuchsperson herangehen und darf nicht akkommodieren. Das Spiegeln im *verkehrten Bild* erfolgt so wie beim Kaninchen. Es ist gleichgültig, welches Auge benützt wird und auf welcher Seite sich die Lichtquelle befindet. Beim Spiegeln eines menschlichen Auges im *aufrechten Bild* ist die Vergrößerung 14- bis 16fach, beim Spiegeln im *verkehrten Bild* 4- bis 5fach.

Das Augenspiegeln, besonders am Menschen, erfordert eine gewisse Übung. Mit Hilfe des **Taschen-Augenspiegels nach THORNER** kann man jedoch sofort den Augenhintergrund gut sehen, wobei auch eine Abdunklung des Raumes *nicht* erforderlich ist. Das Gerät enthält eine kleine Glühlampe eingebaut und wird mit einer Taschenlampenbatterie betrieben oder mit Hilfe eines Widerstandes oder Transformators an die Lichtleitung angeschlossen. Auf den Orbitalrand der Versuchsperson wird die Gummikappe aufgesetzt; vorher ist die Gradeinteilung unter der Gummikappe auf Null einzustellen, weil sonst nicht der charakteristische Teil des Augenhintergrundes, nämlich der Sehnerveneintritt und die Gefäßverzweigungen, gesehen würde. Soll das rechte Auge gespiegelt werden, so ist der Apparat mit der mit *R* bezeichneten Gehäusefläche nach oben zu halten, für das linke Auge mit der mit *L* bezeichneten. Die Versuchsperson soll *beide* Augen *offen* halten und muß mit dem gespiegelten Auge die seitliche, rote Leuchtmarke im Innern des Gehäuses fixieren. Der Beobachter sieht im Spiegel ein kreisförmiges und ein sichelförmiges Feld, von denen je nach dem zu spiegelnden Auge einmal das eine, einmal das andere links bzw. rechts liegt (Abb. 88). Im sichelförmigen Feld sieht man das Auge der Versuchsperson und gleichzeitig in seiner Mitte das Bild der Lichtquelle als leuchtenden lotrechten Strich, den man durch geringe seitliche Verschiebung des Augenspiegels in die nasale Pupillenhälfte bringt. Daraufhin erscheint im runden Feld ein *verkehrtes* Bild des Augenhintergrundes in 4½facher Vergrößerung, auf das durch Drehen am Okular scharf eingestellt werden kann. Durch Aufschrauben von Zusatzokularen läßt sich

die Vergrößerung auf das 7fache bzw. 10fache steigern. Will man andere Abschnitte der Netzhaut untersuchen, so stellt man die Skala unter der Gummikappe z. B. auf  $90^\circ$  oder  $180^\circ$  und so weiter und sieht dann, wenn die Versuchsperson wieder den roten Punkt fixiert, einen gegen den früher betrachteten um  $90^\circ$  nach oben verschobenen Abschnitt der Retina, bzw. bei  $180^\circ$  einen in gleicher Höhe wie der Sehnerveneintritt liegenden, jedoch temporal verschobenen Netzhautabschnitt usw.

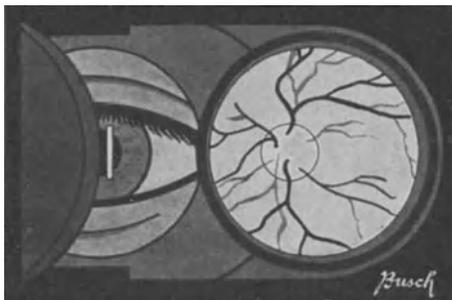


Abb. 86. Bild für den Untersucher im reflexfreien Taschen-Augenspiegel nach THORNER. Links das sichelförmige Feld, in welchem das zu untersuchende Auge und das strichförmige Bild der Lichtquelle erscheint; rechts das kreisförmige Feld, in welchem das Bild des Augenhintergrundes sichtbar wird.

Um die Macula lutea zu sehen, fordert man die

Versuchsperson auf, statt auf den seitlichen roten Punkt unmittelbar auf die hell beleuchtete Mitte des Spiegels zu blicken.

### 78. Bestimmung des Gesichtsfeldes mit dem Perimeter.

*Erforderlich:* Perimeter, Gesichtsfeldschemata, farbige Bleistifte.

Das **Gesichtsfeld eines Auges** erstreckt sich ziemlich weit nach temporal und unten, ist aber nach oben und nasal stark eingeschränkt. Sein Umfang wird mit dem *Perimeter* bestimmt. Bei Untersuchung des *linken* Auges muß das **Kinn** der Versuchsperson auf die *rechte* Hälfte der Kinnstütze aufgesetzt werden, bei Untersuchung des rechten Auges auf die linke und es ist dann der weiße Mittelpunkt am Perimeter mit dem zu untersuchenden Auge zu fixieren, während das andere geschlossen werden muß. Um diesen Mittelpunkt kann ein gegen die Versuchsperson gerichteter Viertelkreisbogen gedreht werden; in der Ausgangsstellung liegt er in einer lotrechten Ebene in der unteren Hälfte des Gesichtsfeldes, beim Herausdrehen aus dieser Lage um die Gesichtslinie als Achse schnappt er selbsttätig in verschiedenen, voneinander um je  $15^\circ$  Winkelgrade abweichenden Stellungen ein. Auf diesem Kreisbogen kann eine weiße oder farbige Papiermarke verschoben werden. Sie wird zunächst an das äußerste Ende des Kreisbogens gebracht und von dort ganz langsam den Bogen entlang von außen

gegen den Mittelpunkt geführt. Die Versuchsperson hat anzugeben, wann sie die Marke zum *erstenmal* sieht und deren *Farbe erkennen kann*. Zunächst wird der Kreisbogen lotrecht nach unten

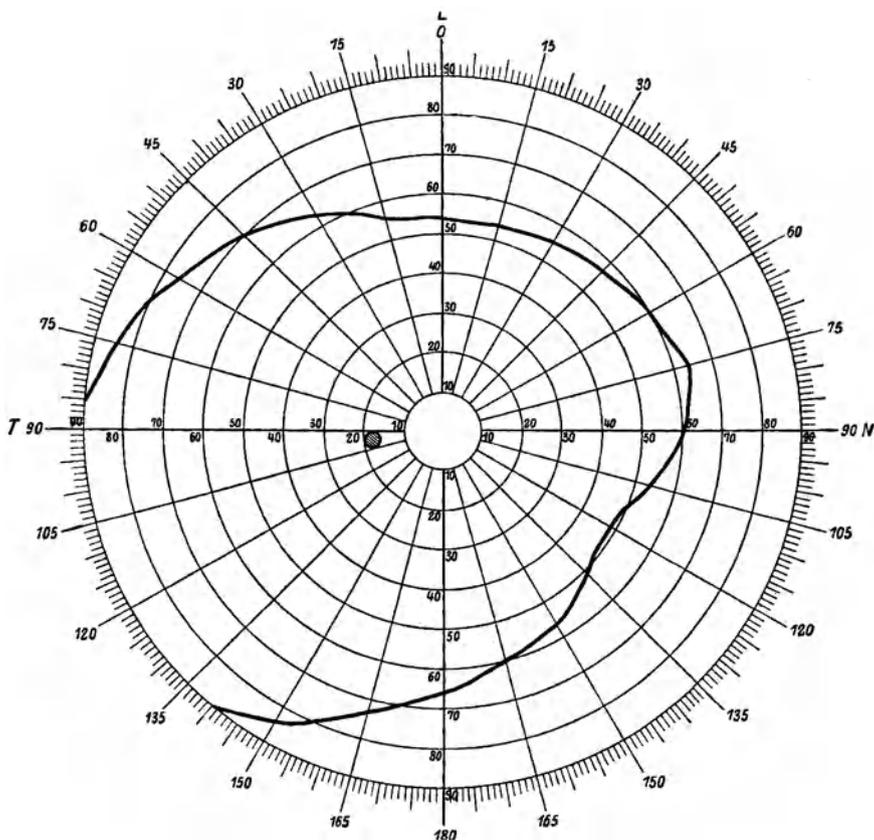


Abb. 87. Schema zur Eintragung der Gesichtsfeldgrenzen für das *linke* Auge.  
N nasale Seite; T temporale Seite.

gestellt und für eine *weiße* Marke in diesem Meridian die Gesichtsfeldgrenze bestimmt, hierauf der Kreisbogen um  $15^\circ$  nach links oder rechts gedreht, die Marke nach außen gebracht, wieder langsam in das Gesichtsfeld geführt, bis die Versuchsperson sie zu sehen angibt, dann neuerlich der Kreisbogen um  $15^\circ$  in der gleichen Richtung weitergedreht usw., bis alle die Meridiane des Ge-

sichtsfeldes im Kreis herum ausgemessen sind und der Kreisbogen wieder in die Ausgangsstellung zurückgekommen ist. Die von der Versuchsperson angegebenen Gesichtsfeldgrenzen, die in Graden am Kreisbogen abgelesen werden können, werden in ein vorgedrucktes Schema nach Abb. 87 eingetragen, wobei die jeweilige Stellung des Bogens den betreffenden Radius angibt, auf den der am Bogen abgelesene Winkelgrad für die Marke aufgetragen wird. Die einzelnen Punkte sind miteinander zu verbinden. Da die Schemata zur Gesichtsfeldbestimmung bereits das *normale* Gesichtsfeld für Weiß aufgedruckt haben, so muß zur Eintragung das *für das geprüfte Auge* (linkes oder rechtes) bestimmte Blatt benützt werden. Die Ausmessung des Gesichtsfeldes ist mit einer *weißen, blauen, gelben, roten und grünen* Marke vorzunehmen und die Grenze immer auf dem gleichen Schema mit einem Farbstift einzutragen. Worin besteht der Unterschied zwischen den Gesichtsfeldern für die benützten Farben?

Beim *selbstregistrierenden Perimeter* wird mit der Marke gleichzeitig ein Stift, jedoch in einem dem Perimeterschema entsprechenden, verkleinerten Ausmaß bewegt. Wird das Perimeterschema in einen am Apparat vorhandenen Rahmen eingeschoben und nach dem Auffinden eines Punktes der Gesichtsfeldgrenze mit dem Rahmen gegen den Stift gedrückt, so wird selbsttätig auf ihm der betreffende Punkt des Gesichtsfeldes an richtiger Stelle im Schema markiert. Die Bestimmung erfolgt im übrigen so wie früher beschrieben, nur daß man statt abzulesen stets das Blatt gegen den Stift schlägt. Am Ende der Bestimmung werden die markierten Punkte mit Buntstift zu einer Linie verbunden. Um die Gesichtsfeldgrenzen für die verschiedenen Farben voneinander unterscheiden zu können, sind verschieden geformte Spitzen dem Perimeter beigegeben, die beim Übergang von einer Farbe zur anderen auszuwechseln sind, so daß z. B. bei der Grenzlinie für Weiß wirkliche Punkte, bei der Grenzlinie für Blau kleine Kreise usw. in das Papier eingedrückt werden.

## Anhang.

### Die Grundzüge der Elektrizitäts- und Schaltungslehre.

Im physiologischen Praktikum findet der elektrische Strom teils unmittelbare Verwendung für Reizwirkungen verschiedener Art, teils mittelbare Verwendung, z. B. zur Übertragung von Zeitmarken bei Zeitbestimmungen. Zum Verständnis dieser und auch der mannigfachen Anwendungen des elektrischen Stromes in der

praktischen Medizin, so in Elektrodiagnostik und Elektrophotherapie, wird im folgenden das Wichtigste aus der Elektrizitätslehre wiederholt.

Ein **elektrischer Strom** ist Verschiebung elektrischer Ladung. Die Ladungseinheit, die Elementarladung, ist durch das *Elektron* gegeben, dem das Vorzeichen —, also negativ, zukommt. Körper mit überschüssigen Elementarladungen, also mit überschüssigen Elektronen, sind *negativ*, Körper, denen Elementarladung entzogen wurde, *positiv*. Ladungsverschiebungen kommen immer zustande, wenn Körper mit verschiedenem Ladungszustand durch einen Leiter miteinander verbunden werden.

**Nichtleiter** für elektrische Ladung werden auch *Isolatoren* genannt (Luft, Glimmer, Hartgummi, Kunstharz, Glas, Porzellan, Ton, Gummi, Seide, Baumwolle, Wachs, Paraffin usw.). **Leiter** sind Stoffe, in denen eine Ladungsbewegung möglich ist; diese Ladungsbewegung kann sich je nach der Art des Leiters bloß durch Verschiebung der praktisch masselosen Elektronen vollziehen oder — z. B. in leitenden Lösungen — auch durch Verschiebung materieller Elementarteilchen, der Atome oder Atomgruppen, die überschüssige Elektronen besitzen („negative Ionen“) oder denen Elektronen fehlen („positive Ionen“). Im ersten Fall spricht man von Elektronenleitern und einem Leitungsstrom, im zweiten von Ionenleitern und einem Konvektionsstrom. **Elektronenleiter** (früher auch „Leiter erster Klasse“ genannt) sind vor allem die Metalle. Durch den Zusammenprall ihrer unregelmäßig hin und her tanzenden Moleküle werden Elektronen aus dem Atomverband herausgeschleudert, bei Gelegenheit aber wieder eingefangen. Obwohl der Zerfall einzelner neutraler Atome in freie Elektronen und positive Metallionen im Gleichgewicht zur Wiedervereinigung solcher Bruchstücke steht, ist doch in jedem Augenblick eine gewisse Menge freier Elektronen vorhanden. Beim Anlegen eines solchen Leiters an zwei Körper mit verschiedenem Ladungszustand übernehmen diese leichtbeweglichen Elektronen die Ladungsverschiebung vom Ort überschüssiger Elektronen („negativ“) zum Ort fehlender Elektronen („positiv“), während die positiven Metallionen infolge ihrer großen Masse im wesentlichen an Ort und Stelle bleiben. Die Ladungsbewegung geschieht ausschließlich durch den Elektronenstrom. **Ionenleiter** (früher auch „Leiter zweiter Klasse“ genannt) sind vor allem leitende wässrige Lösungen. Moleküle der Säuren, Basen oder Salze zerfallen beim Lösungsvorgang teilweise in positiv bzw. negativ geladene Ionen („*Dissoziation*“), die sich beim Vorhandensein von Ladungsunter-

schieden, etwa durch Einhängen stromführender Elektroden *nebeneinander* fortbewegen: die positiven Ionen wandern zum Minuspol (*Kathode*, daher *Kationen*), die negativen Ionen zum Pluspol (*Anode*, daher *Anionen*). Zu den Ionenleitern gehören auch alle lebenden und toten Gewebe, ferner leitende Gase.

Die **konventionelle Bezeichnung der Stromrichtung** nimmt Fließen von Plus nach Minus an. Im Elektronenleiter ist die wirkliche Richtung der Strömung *umgekehrt*, da sich die Elektronen von Minus nach Plus verschieben; im Ionenleiter bestehen dagegen *zwei* Strömungen *entgegengesetzter* Richtung *nebeneinander*, da gleichzeitig Kationen zur Kathode, Anionen zur Anode wandern. Unter gewöhnlichen Bedingungen beträgt die tatsächliche Verschiebung der Ladungsträger (Elektronen bzw. Ionen) nur Bruchteile von Millimetern je Sekunde; die fast mit Lichtgeschwindigkeit erfolgende Übertragung elektrischer Wirkungen über einen langgestreckten Leiter, z. B. einen Draht, ist nur auf Fortpflanzung der Potentialdifferenz (vgl. später), nicht aber auf die tatsächliche Verschiebung der einzelnen Ladungsträger zu beziehen.

In Elektronenleitern zeigen sich während der elektrischen Durchströmung nur **physikalische Veränderungen** (Erwärmung, Ausdehnung, Lichtaussendung u. dgl.), welche mit der Stromunterbrechung wieder verschwinden. In Ionenleitern — denen Strom gewöhnlich über Elektronenleiter zugeführt wird — treten dagegen beim Stromdurchgang **chemische Veränderungen** auf; der Konvektionsstrom im Ionenleiter muß an der Grenzschicht gegen den Elektronenleiter (an den Elektroden) in einen Leitungsstrom übergehen, d. h. die materiellen Ladungsträger, die Ionen, werden in Materie und Ladung getrennt. Die Atome bleiben zurück, während Elektronen an der Anode in den Elektronenleiter eintreten, dagegen an der Kathode aus dem Elektronenleiter austreten und den Ladungsunterschub der Kationen ausgleichen. Bei Durchströmung einer NaCl-Lösung bleibt daher an der Kathode Na, an der Anode Cl zurück. Diese Veränderungen an der Grenze eines Ionen- und Elektronenleiters führen zu einer chemischen Zersetzung (*Elektrolyse*); die polare Veränderung der Lösung (*Elektrolyt*) bedingt ferner einen Strom mit entgegengesetzter Richtung (*Polarisationsstrom*), der den ursprünglichen „polarisierenden“ Strom schwächt. Bei elektrischer Reizung, insbesondere aber bei Ableitung bioelektrischer Ströme, muß diese Polarisation an den Elektroden vermieden werden. Dies wird durch Benützung von solchen Elektronenleitern erreicht, welche aus dem *gleichen* Metall bestehen wie das *Kation* des Ionenleiters.

Bei Stromzuleitung z. B. mit Zn-Platten zu einer  $\text{ZnSO}_4$ -Lösung bleibt die chemische Zersetzung aus. An der Kathode wird das Zn-Kation durch Elektronenzustrom neutralisiert und in ein neutrales Zn-Atom verwandelt; an der Anode wird das  $\text{SO}_4$ -Anion entladen und löst Zn von der Elektrode ab, sich in  $\text{ZnSO}_4$  rückverwandelnd. Die  $\text{ZnSO}_4$ -Lösung bleibt ungeändert, an die Zn-Kathode wird Zn angelagert, von der Zn-Anode jedoch Zn gelöst. Der elektrische Strom führt also Zn von der Anode zur Kathode, ohne chemische Zersetzungen im Ionenleiter zu bewirken und ohne eine Veranlassung für die Entstehung eines Polarisationsstromes zu geben. Die Verwendung eines Metalles in Verbindung mit einem seiner Salze (z. B. Zn in  $\text{ZnSO}_4$  oder Cu in  $\text{CuSO}_4$ , ferner Ag mit  $\text{AgCl}$  überzogen usw.) bildet daher die Grundlage für die Herstellung der *unpolarisierbaren Elektroden* (vgl. S. 78).

**Polarisation und Gegenspannung** können in Ionenleitern auch *ohne* Anwesenheit eines Elektronenleiters (Metalles) auftreten, und zwar dann, wenn in die Strombahn Grenzflächen mit geringer oder nur teilweiser Ionendurchlässigkeit eingeschaltet sind, z. B. Zellmembranen („Ionensiebe“). Es treten dann während des Stromflusses polare Ionenstauungen, d. h. Ansammlungen elektrischer Ladung auf, die sich in einem Gegenstrom wieder ausgleichen können. Auf diese Ionenstauung ist die Reizwirkung des Stromes, auf den Polarisationsstrom z. B. das Auftreten von Öffnungserregungen (vgl. S. 58, 130, 148) oder das Umschlagen der elektrotonischen Erregbarkeitsänderungen in ihr Gegenteil nach Ausschaltung des polarisierenden Stromes (vgl. S. 77) zurückzuführen.

Bis jetzt wurde angenommen, daß die Polbezeichnung an den Klemmen der Stromquelle sich nicht ändert und die Strömung daher im Leiter dauernd ihre Richtung beibehält. Im Gegensatz zu derartigen **Gleichströmen** stehen die **Wechselströme**, bei welchen jede Klemme der Stromquelle in ununterbrochenem Wechsel einmal Plus, einmal Minus ist; damit ändert sich im Leiter selbsttätig auch immer wieder die Richtung der Strömung. Das Verhalten eines Stromes geht am besten aus **Stromkurven** hervor, welche die Größe der Stromstärke im Laufe der Zeit (in fallweise verschiedenen Einheiten) darstellen. Abb. 88 zeigt bei *I* die Stromkurve eines *konstanten Gleichstromes*, dessen Stromstärke *i* vom Zeitpunkt der Stromeinschaltung (*E*) an bis zur Ausschaltung (*A*) ungeändert bleibt; bei *II* ist die Stromkurve eines *inkonstanten Gleichstromes* dargestellt, dessen Stromstärke *i* von *E* bis *A* all-

mählich sinkt; *III* gibt die Kurve eines *sinusförmig verlaufenden Wechselstromes* wieder. Das Beibehalten der ursprünglichen Stromrichtung in den Kurven *I* und *II* geht daraus hervor, daß — im Gegensatz zur Kurve *III* — die Stromstärkewerte immer auf *derselben* Seite der Abszissenachse aufgetragen sind. Beim Wechselstrom wird jede Halbwelle als „Wechsel“ bezeichnet, zwei aufeinanderfolgende Wechsel entgegengesetzter Richtung („Wellenberg“ und „Wellental“) bilden eine „Periode“. Der gebräuchliche Lichtwechselstrom hat 50 Perioden (50 Hz), also 100 Wechsel je Sekunde; da seine Frequenz mit Rücksicht auf angeschlossene elektrische Uhren mit großer Genauigkeit eingehalten wird, eignet er sich in Verbindung mit entsprechenden Aufzeichnungseinrichtungen zur Gewinnung von Zeitmarken für  $\frac{1}{100}$  sec (vgl. S. 56). Wechselströme mit niedriger Periodenzahl werden als „Niederfrequenz“, mit hoher Periodenzahl als „Hochfrequenz“ bezeichnet. Mit zunehmender Frequenz eines Wechselstromes nimmt dessen chemische Wirkung sowie am biologischen Objekt die Stauung von Ionen an Zellgrenzflächen und damit auch die Reizwirkung, ferner die Schädigung bei zu großer Stromstärke ab. Hochfrequenzströme rufen im Gewebe nur mehr physikalische Wirkungen hervor, erzeugen vor allem Wärme, und finden daher bei der elektrischen Durchwärmung eines Gewebes (*Diathermie* und *Kurzwellenbehandlung*) physiologische und medizinische Verwendung. Der *Diathermiestrom* hat gewöhnlich 1 000 000 Perioden je Sekunde (1,000 000 Hz = 1000 kHz), die Ströme des neuen Behandlungsverfahrens mit *Kurzwellen* fallen in das Bereich von 10 000 000 bis 100 000 000 Perioden je Sekunde (10 000 000 bis 100 000 000 Hz = 10 000 bis 100 000 kHz) und noch darüber.

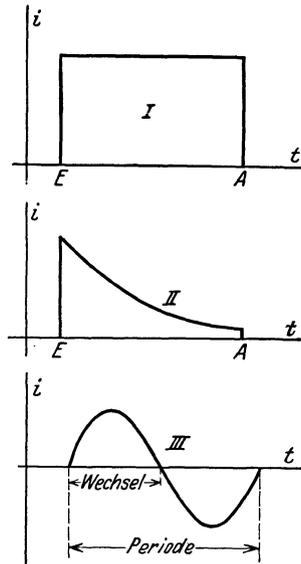


Abb. 88. Verschiedene Stromkurven. *I* Kurve eines konstanten Gleichstromes; *II* Kurve eines inkonstanten Gleichstromes mit fallender Stromstärke; *III* Kurve eines sinusförmig verlaufenden Wechselstromes. *E* Einschaltung des Stromes; *A* Ausschaltung. In der Abszissenachse sind die Zeitwerte, in der Ordinatenachse die Stromstärkewerte aufgetragen.

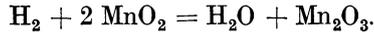
Je nach der zur Umwandlung benützten Ausgangsenergie unterscheidet man physikalische und chemische **Stromquellen**. Als dritte

Gruppe fügen sich noch die biologischen Stromquellen an, bei denen wohl auch physikalisch-chemische Energie verbraucht wird, wobei aber als Besonderheit die Energiewandlung in einem lebenden Objekt erfolgt. Hierher gehören die Ruhe-, Verletzungs- und Aktionsströme; über die letzteren vergl. Seite 100 und 140. Stromquellen der ersten Gruppe liefern z. B. „Reibungselektrizität“, die durch Reiben von Stäben oder Platten (Elektrophor, Elektrisiermaschinen) aus Glas, Hartgummi usw. entsteht; sie hat heute elektro-medizinisch nur mehr eine geringe Bedeutung. Ferner gehört hierher der thermoelektrische Strom, der in einer Anordnung von zwei verschiedenen, an den Enden miteinander verlöteten Metallstreifen (z. B. Eisen und Konstantan oder Kupfer und Nickel) entsteht, wenn an den Lötstellen eine Temperaturdifferenz auftritt. Auch die Thermoelektrizität hat zur Stromerzeugung heute keine Bedeutung mehr, spielt aber bei der elektrischen Temperaturmessung eine Rolle, da die Stromstärke der Temperaturdifferenz proportional ist. Die praktisch wichtigsten physikalischen Stromquellen sind alle jene Apparate und Maschinen, bei denen elektrische Ströme durch die Induktionswirkung magnetischer Kraftlinien auf (meist in Spulenform ausgeführte) Leiter entstehen. Eine Stromerzeugung durch Induktion findet nur dann statt, wenn eine *Verschiebung* eines Leiters im Feld der Kraftlinien zustande kommt oder das Feld selbst Schwankungen aufweist. Bei den Dynamomaschinen erfolgt die Bewegung durch die Rotation des Ankers (Rotor) gegen den Feldmagneten (Stator); bei den Transformatoren sind wohl die Primär- und die Sekundärspule mechanisch fest verbunden, doch leitet man durch die eine Spule entweder einen Wechselstrom, der ein wechselndes, schwankendes Magnetfeld liefert, oder bei Benützung von Gleichstrom unterbricht man diesen in rascher Folge, wobei die Veränderung im Kraftfeld durch das Entstehen und Verschwinden der Kraftlinien gegeben ist (*medizinisches Induktorium, Schlittenapparat*). Apparate für Reibungselektrizität oder Thermoelektrizität liefern *Gleichströme*, die Dynamomaschinen *Wechselströme*; bei den letzteren kann durch einen mit dem Rotor fest verbundenen Stromwender selbsttätig eine Gleichrichtung, d. h. Umwandlung des Wechselstromes in einen Gleichstrom, erfolgen. Auch mit besonderen **Gleichrichtern** (vor allem Kupfer-Kupferoxyd- oder Glühkathodengleichrichtern) kann aus Wechselstrom ein Gleichstrom gewonnen werden, der nach Aussiebung aller Wechselstromreste mit Hilfe von Kondensatoren und Drosselspulen dem Dynamogleichstrom für medizinische Zwecke *überlegen* und dem Gleichstrom von Batterien (*galvanischer Strom*) vollkommen *gleichwertig* ist. Wechsel-

ströme liefert auch jeder Transformator, gleichgültig, ob er primär mit sinusförmigem Wechselstrom oder mit zerhacktem Gleichstrom gespeist wird; im ersteren Fall ist der sekundäre Wechselstrom gleichfalls von Sinusform, also symmetrisch, im zweiten Fall (medizinisches Induktorium, S. 250) unsymmetrisch. Hochfrequenzströme für die Diathermie oder die Kurzwellenbehandlung werden mit Hilfe von Hochfrequenzschwingungen erzeugt, welche durch Funkenentladung (*Funkenstreckenapparat*, *Funkenstreckensender*) oder durch Rückkopplung in Senderöhren (*Röhrenapparat*, *Röhrensender*) entstehen.

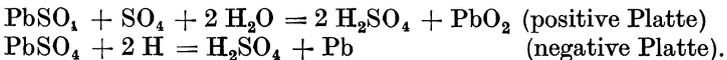
Die wichtigsten *chemischen Stromquellen* sind die **galvanischen Elemente**. Sie bestehen meist aus Zink und Kupfer bzw. Zink und Kohle, die in einen bestimmten Elektrolyten eintauchen. Sie liefern durchwegs Gleichströme, wobei der Zinkanschluß immer den *negativen* Pol darstellt. Der Vorgang der Stromerzeugung soll kurz am **VOLTASchen Element** besprochen werden, das aus einer Zink- und einer Kupferplatte in verdünnter Schwefelsäure besteht. Das Bestreben beider Metalle, positive Ionen in den Elektrolyten zu senden (*Lösungstension*), kann nur vom Zink erfüllt werden, da dessen Lösungstension größer als die des Kupfers ist; die abgestoßenen positiven Zn-Ionen bilden mit  $H_2SO_4$  das  $ZnSO_4$  unter Freiwerden von  $2 H^+$ , während die Zinkplatte selbst negativ wird. Die Ladung der beiden  $H^+$  wird von der Cu-Platte aufgenommen, die positiv wird, während sich an ihr neutraler  $H_2$  abscheidet. Die Verbindung der *äußeren* Pole des Elements führt daher zu einem galvanischen Strom (Gleichstrom) von Cu nach Zn. Der  $H_2$  bleibt nun teilweise an der Cu-Platte haften und sammelt sich dort während der Stromerzeugung in immer größerer Menge an; diese elektrolytische Wasserstoffansammlung ist die Ursache, daß schließlich ein entgegengesetzt gerichteter Polarisationsstrom entsteht der den Primärstrom schwächt und schließlich ganz unterdrücken kann. Das VOLTASche Element gibt demnach eine Entladungskurve etwa nach Abb. 88 II, und stellt ein *inkonstantes Element* dar, bei dem die Stromstärke vom Augenblick der Einschaltung an allmählich immer geringer wird. Bei Verhinderung der Ansammlung des  $H_2$  entsteht ein **konstantes Element**. Das hierher gehörige **LECLANCHÉ-Element** enthält als negativen Pol einen Zn-Stab, als Elektrolyten Salmiaksalz (Ammoniumchlorid), als positive Elektrode eine Kohlenplatte, die sich in einem porösen Tonzylinder befindet und von Braunsteinpulver (Mangansuperoxyd) umgeben ist. Bei einer anderen Ausführung ist das Zn zylinderförmig, die Kohle von Stabform, der die Kohle umhüllende Braunstein wird durch einen Leinwandbeutel zusammengehalten (**Beutel-**

element). Der Braunstein oxydiert den  $H_2$  zu  $H_2O$  und verhindert so die Polarisation:

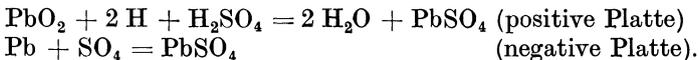


Derartige Elemente mit *flüssiger* Füllung haben heute nur mehr eine geringe Bedeutung; durch Einbringen eines flüssigkeitsbindenden Stoffes, wie z. B. Kieselgur, in den Elektrolyten beim Beutелеlement und Verguß der freien Oberfläche mit Teer od. dgl. entstehen die sog. *Trockenelemente*, die zu Batterien für Taschenlampen, für die Speisung batteriebetriebener Rundfunkanlagen, tragbarer Elektrokardiographen oder auch als behelfsmäßige Gleichstromquellen höherer Spannung beim Arzt Verwendung finden. In den letzten Jahren hat man auch Verfahren gefunden, den Luftsauerstoff an Stelle von Braunstein zur Depolarisation heranzuziehen („Luftsauerstoff-Batterie“).

Ein auf der Polarisation beruhendes, reversibles Element besonderer Art ist der **Bleiakkumulator**. Er besteht aus zwei oder mehreren Bleigittern, in deren Maschen ein Brei von Bleisulfat enthalten ist; diese Platten tauchen in verdünnte Schwefelsäure. Bei der *Ladung* sammeln sich an der Anode die Anionen des Elektrolyten, d. i.  $SO_4^{--}$  an, an der Kathode die Kationen  $2 H^+$ , wodurch eine Oxydation bzw. Reduktion des Bleisulfates zustande kommt:



Die positive Platte ist daher nach der Ladung mit *braunem* Bleisuperoxyd ( $PbO_2$ ), die negative Platte mit *grauem* Blei überzogen, so daß die positiven bzw. negativen Platten leicht *an der Farbe* erkannt werden können. Bei der *Entladung* ist die Polarität im Innern umgekehrt, weil der außen von der positiven zur negativen Elektrode fließende Strom in der Schwefelsäure von der negativen zur positiven rücklaufen muß. Daher erfolgt die Abscheidung von  $SO_4$  und  $2 H$  genau umgekehrt wie bei der Ladung, wodurch an der positiven Platte unter Reduktion, an der negativen unter Oxydation wieder Bleisulfat entsteht:



Zur Ladung wird der Akkumulator mit den gleichnamigen Polen einer anderen Batterie verbunden oder auch unter Verwendung eines Vorschaltwiderstandes an ein Gleichstromnetz angeschlossen. Mit Wechselstrom kann natürlich nur unter Benützung eines Gleichrichters geladen werden.

Ein elektrischer Stromkreis ist durch *drei* Angaben gekennzeichnet: durch die *Spannung*, die *Stromstärke* und den *Widerstand*. Die Einheit der **Spannung**, der elektromotorischen Kraft oder Potentialdifferenz, ist das *Volt* (V). Die Spannungen der besprochenen Elemente sind: LECLANCHE-Element und Beutelement 1,5 V (nach längerem Betrieb 1,3—1,2), Bleiakкумуляtor 2 V (langsam bis 1,8 V absinkend, worauf er wieder neu geladen werden muß). Die **Stromstärke** ist gegeben durch die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters fließende Elektrizitätsmenge. Die Einheit ist das *Ampere* (A) und fließt, wenn aus einer Silbernitratlösung auf einer Silberplatte in der Sekunde 1,118 mg oder in der Stunde rund 4 g Silber abgeschieden werden. Für physiologische und medizinische Zwecke wird die Stromstärke auch in der kleineren Einheit *Milliampere* (mA) =  $\frac{1}{1000}$  A angegeben. Als Einheit für den **Widerstand** gilt das *Ohm* ( $\Omega$ ), der Widerstand einer Quecksilbersäule von rund 100 cm Länge (genau 106,3 cm) und 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt bei 0°. Der Widerstand eines Körpers ist direkt proportional seiner Länge, umgekehrt proportional dem Querschnitt und direkt proportional einer für jeden Stoff gegebenen Konstanten, dem *spezifischen Widerstand*. Bei Metallen steigt der Widerstand mit der Temperatur, bei Kohle und den Elektrolyten sinkt er. Unter **Leitfähigkeit** versteht man den *reziproken* Wert des Widerstandes. Je nach der Leitfähigkeit teilt man die Metalle in *gute* Leiter (z. B. Silber, Kupfer) und *schlechte* Leiter (z. B. Eisen sowie Legierungen von Kupfer und Nickel) ein. Gute Leiter dienen als Werkstoff für Leitungen, schlechte zur Herstellung von Widerständen. In jedem Stromkreis unterscheidet man einen *äußeren* Widerstand (Widerstand im Stromverbraucher) und einen *inneren* Widerstand (Widerstand der Stromquelle); letzterer ist nur bei den galvanischen Elementen von wesentlicher Größe, beim Akkumulator und bei elektrischen Maschinen kann er vernachlässigt werden, ebenso wie der Widerstand der Leitungsdrähte.

Das **OHMSCHE GEsETZ** kennzeichnet die Beziehungen zwischen der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand. In einem bestimmten Stromkreis ist durch die Angabe von *zwei* Größen die *dritte* bereits bestimmt; die Stromstärke ist direkt proportional der elektromotorischen Kraft, jedoch umgekehrt proportional dem Widerstand. Als Formel geschrieben, lautet das Gesetz:

$$I = \frac{E}{W},$$

wobei *I* die Intensität (Stromstärke), *E* die elektromotorische Kraft

und  $W$  den Widerstand bedeuten. Die einzelnen Größen sind in Ampere, Volt und Ohm einzusetzen, so daß die Formel auch geschrieben werden kann:

$$A = \frac{V}{\Omega}$$

(die Amperezahl in einem Stromkreis ist der Voltzahl *direkt*, der Ohmzahl *umgekehrt* proportional). Wird z. B. an einen Bleiakкумуляtor ein Stromverbraucher mit einem Widerstand von  $3,4 \Omega$  angeschlossen, so ist die Stromstärke  $\frac{2}{3,4} = 0,59$  A. Mit dem gleichen

Gesetz kann aber auch bei gegebener Spannung der erforderliche Widerstand für eine bestimmte Stromstärke berechnet, oder die bei gegebener Stromstärke und gegebenem Widerstand notwendige Spannung gefunden werden: soll z. B. bei einer Spannung der Stromquelle von  $10$  V ein Strom von  $0,25$  A fließen, so ergibt sich der Widerstand des Stromkreises aus  $0,25 = \frac{10}{W}$  mit  $40 \Omega$ ; ist bekannt, daß durch einen Widerstand von  $50 \Omega$  ein Strom von  $2$  A fließt, so muß die Spannung  $E$  der Stromquelle nach  $2,0 = \frac{E}{50}$  gleich  $100$  V sein.

Jeder Strom leistet während seines Fließens Arbeit. Die **Stromarbeit** oder **elektrische Energie** ist von Spannung, Stromstärke und Stromflußzeit abhängig, also gleich  $E \cdot I \cdot t$ . Wenn das Produkt aus  $E$ ,  $I$  und  $t$  gleich  $1$  ist, so liegt die Einheit der elektrischen Energie, die *Wattsekunde*, vor; eine Wattsekunde kann beispielsweise bei  $1$  V und  $1$  A in  $1$  sec oder bei  $10$  V und  $0,1$  A in  $1$  sec oder bei  $20$  V und  $0,1$  A in  $0,5$  sec oder schließlich bei  $10$  V und  $0,05$  A in  $2$  sec geliefert werden. Für technische Zwecke wird als praktische Einheit — auch bei den „Stromzählern“ — die *Kilowattstunde* benützt, die gleich  $1000 \cdot 60 \cdot 60 = 3600000$  Wattsekunden ist. Wird Stromarbeit in Wärme umgesetzt, so entsprechen einer Wattsekunde  $0,239$  Grammkalorien (cal). Die **Stromleistung** ist gleich der Stromarbeit in der Zeiteinheit, also  $\frac{E \cdot I \cdot t}{t} = E \cdot I$ .

Die *Stromleistungseinheit* bildet das *Watt*  $= E \cdot I$ . und darf mit der *Stromarbeitseinheit*, der Wattsekunde, nicht verwechselt werden.

Bei den im folgenden zu besprechenden Schaltungen wird immer ein **Stromschlüssel** mitverwendet, der zur Ausschaltung dient, wenn kein Strom gebraucht wird; auf ihn darf *niemals* verzichtet

werden. Abb. 89 zeigt einen solchen Stromschlüssel, der aus zwei Metallstücken besteht, die durch einen umlegbaren Hebel mit Handgriff metallisch miteinander verbunden werden können. Der dem einen Metallstück (durch einen Draht) zugeleitete Strom kann durch den umgelegten Hebel zum anderen Metallstück gelangen, er wird aber unterbrochen, wenn durch Zurücklegen des Hebels die metallische Verbindung der beiden Metallstücke wieder gelöst wird. Für physiologische Untersuchungen ist der mit dem beweglichen Hebel durch Federn hergestellte Kontakt nicht immer verlässlich; man benützt diesen sog. gewöhnlichen Stromschlüssel daher vorwiegend nur im

*Sekundärkreis* des Schlittenapparates in Kurzschlußschaltung (S. 249 und Abb. 105). Im *Primärkreis* des Induktoriums sowie bei galvanischer Reizung zieht man den **Quecksilberschlüssel** vor, der ähnlich Abb. 89 gebaut ist, jedoch am beweglichen Hebel einen nach unten gerichteten Stift und an Stelle der Federn einen mit Quecksilber gefüllten Napf besitzt. Der Kontakt wird nach Umlegen des Hebels in die Waagerechte durch das Eintauchen des Stiftes in das Quecksilber einwandfrei herbeigeführt und zeigt — reines Quecksilber und blankes Metall vorausgesetzt — keinerlei Schwankungen. Schaltungsbeispiele für den Gebrauch von Stromschlüsseln geben die folgenden Bilder, in denen die einzelnen Schaltelemente durch die in Abb. 90 zusammengefaßten Zeichen dargestellt sind.

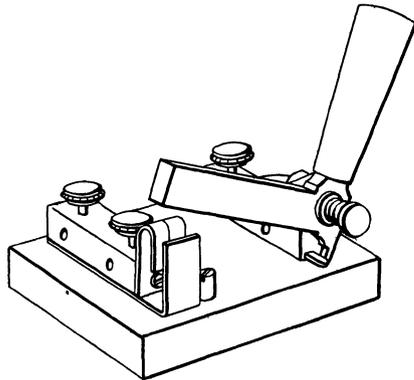


Abb. 89. Stromschlüssel.

Als **Stromquellen für das physiologische Praktikum** werden meistens einzelne Akkumulatoren benützt, seltener galvanische Elemente. Zur Abnahme niederer Spannungen kann auch eine gemeinsame Akkumulatorenbatterie (z. B. von 10 V) aufgestellt sein, von welcher Leitungen zu den Schaltbrettern über den einzelnen Arbeitsplätzen führen; diese Schaltbretter besitzen dann meistens auch Abnahmeklemmen für Wechselstrom höherer Spannung (110 oder 220 V), gegebenenfalls auch mit „Uhr“ bezeichnete Klemmen zur Abnahme eines im Sekundenrhythmus eingeschalteten Stromes niederer Spannung, mit dem unter Benützung eines

elektromagnetischen Zeitschreibers Sekundenmarken zur Zeitschreibung aufgezeichnet werden können (vgl. S. 53). Zur *Begrenzung der Stromstärke*, d. h. zur Vermeidung eines Kurzschlusses, kann in solche Leitungen je eine Schutzlampe unmittelbar vor den Abnahmeklemmen eingefügt sein. Von einem **Kurzschluß** spricht man, wenn die Stromstärke infolge eines *zu kleinen äußeren Widerstandes* eine für die Stromquelle oder die Leitung gefährliche Größe erreicht. Würde z. B. eine 10 V-Akkumulatorenleitung bloß über einen Leitungsdraht mit  $0,1 \Omega$  geschlossen werden, so würde die Stromstärke nach dem OHMSchen Gesetz  $\frac{10}{0,1} = 100 \text{ A}$  betragen. Diese Stromstärke von 100 A würde nicht nur die Akkulatorenbatterie in kurzer Zeit zerstören, sondern auch die Leitungsdrähte so stark erhitzen, daß sie durchschmelzen. Durch Einschaltung einer Schutzlampe von z. B.  $10 \Omega$  wird aber die Stromstärke auf einen Höchstwert von 1 A beschränkt. In den üblichen Licht- und Kraftstromleitungen sind an Stelle solcher Schutzlampen sog. „*Sicherungen*“ eingeschaltet, das sind kurze Stückchen Blei- oder Silberdraht, welche sofort durchschmelzen und den Stromkreis unterbrechen, wenn die Stromstärke infolge eines zu kleinen äußeren Widerstandes auf einen für die Leitung gefährlichen Wert steigt. In neuerer Zeit werden an Stelle durchschmelzender Sicherungen sog. „*Sicherungsautomaten*“ benützt, welche einen Unterbrecher und einen Elektromagneten enthalten; bei Überschreiten des Höchststromes betätigt der Elektromagnet den Unterbrecher. Nach Beheben der Kurzschluß-Ursache genügt der Druck auf einen Knopf, um die Unterbrechung wieder aufzuheben; das lästige Auswechseln der Sicherungen entfällt daher. Von einem „*Kurzschluß*“ spricht man im übrigen auch dann, wenn ein Apparat oder ein Muskel, Nerv u. dgl. durch Parallelschalten einer Leitung mit dem Widerstand von praktisch null Ohm vor jeder elektrischen Durchströmung geschützt wird (vgl. S. 249).

Einzelne galvanische Elemente oder Akkulatorenzellen können fallweise auch hintereinander oder nebeneinander geschaltet werden. Praktisch hat nur die **Hintereinanderschaltung** (*Serienschaltung*) eine Bedeutung, bei der sich die Spannung der einzelnen Elemente bzw. Akkulatorenzellen *addiert*; man verbindet zu diesem Zweck den Minuspol des ersten Schaltungs-gliedes mit dem Pluspol des zweiten, dessen Minuspol mit dem Pluspol des dritten usw., während zur Stromabnahme nach außen der erste Pluspol und der letzte Minuspol verwendet werden. Außer zur Spannungserhöhung führt diese Hintereinanderschaltung

tung auch zur Erhöhung des inneren Widerstandes, so daß diese Anordnung dann in Frage kommt, wenn auch der Widerstand im

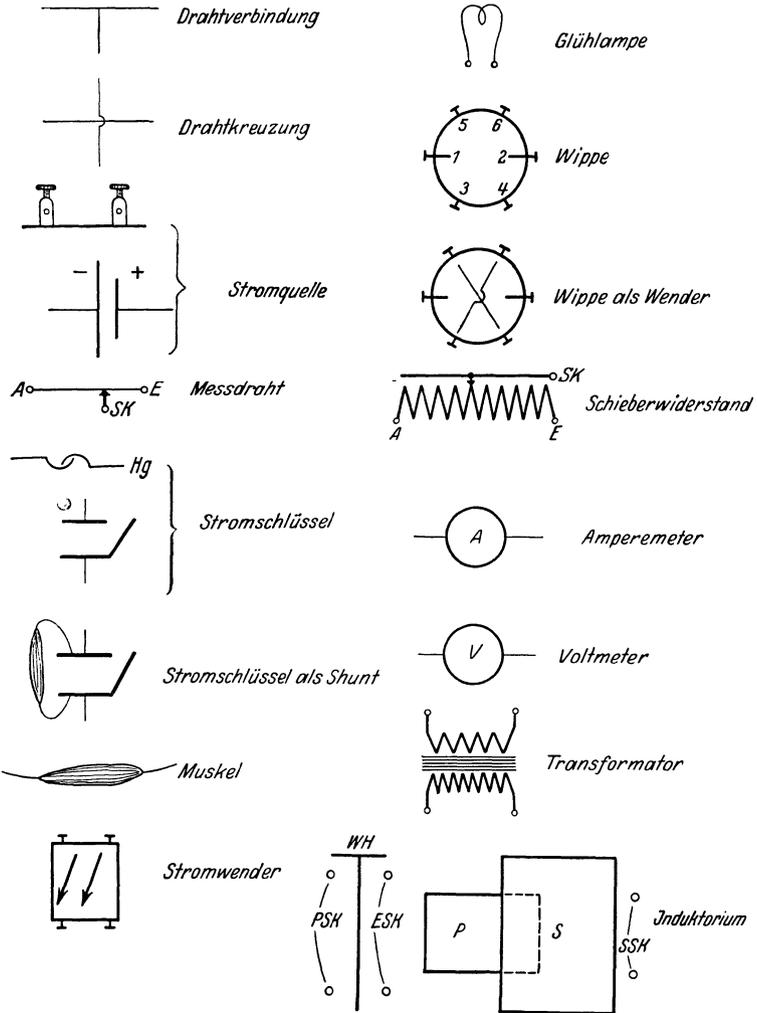


Abb. 90. Zweckmäßige Zeichen für die verschiedenen Schaltelemente.

Stromverbraucher ein hoher ist und daher viel Spannung benötigt wird. Bei der **Nebeneinanderschaltung** (*Parallelschaltung*) werden alle Pluspole und alle Minuspole miteinander verbunden, so daß

gewissermaßen ein einziges Element oder eine einzige Akkumulatorenzelle mit entsprechend größeren Elektroden entsteht. Daraus erhellt, daß sich bei der Parallelschaltung die Spannung nicht ändert, vielmehr gleich der des einzelnen Schaltungsgliedes bleiben muß. Da jedoch durch die Vergrößerung der Elektroden, d. h. durch Vergrößerung des gesamten Querschnittes innerhalb der Batterie, der *innere* Widerstand *sinkt*, hat die Parallelschaltung dann einen Vorteil, wenn der Widerstand des Stromverbrauchers ein sehr kleiner ist. Praktisch aber kommen solche Stromverbraucher kaum vor.

In Fällen, in welchen Wechselstrom benötigt wird, ist oft die hohe Spannung der üblichen Wechselstromleitungen (110 oder 220 V) überflüssig. Mit Hilfe eines **Transformators** läßt sich die Wechselspannung leicht und praktisch verlustlos herabsetzen. Ein Transformator besteht aus zwei voneinander getrennten, auf einem gemeinsamen Eisenkern gewickelten Spulen. Wird durch die eine, die *Primärspule*, Wechselstrom geleitet, so entsteht ein schwankendes magnetisches Feld, das auch in der zweiten Spule, der *Sekundärspule*, Ströme induziert, deren Spannung vom Verhältnis der Windungszahlen beider Spulen abhängt. Haben beide Spulen die gleiche Windungszahl, so ist die induzierte Spannung der Netzspannung gleich, der Transformator bietet in diesem Fall nur den Vorteil, daß der Sekundärkreis keine direkte Verbindung mit dem Netz hat (Freiheit von *Erdschluß*). Ist die Windungszahl der am Netz liegenden Spule größer, so wird *heruntertransformiert*, die Spannung im Verbraucherkreis ist kleiner; ist die Windungszahl auf der Verbraucherseite größer, so wird *hin auftransformiert*, es kann eine höhere Spannung als die Netzspannung erzielt werden, beispielsweise zur Speisung von Röntgenapparaten. Zum Betrieb von Induktionsapparaten und kleinen Lämpchen eignen sich die sog. Klingeltransformatoren gut, die meist Spannungen zwischen 3 und 8 V liefern. Die Spule auf der Seite des Verbraucherkreises (Sekundärspule) hat meist eine unsymmetrisch gelegene Mittelanzapfung, so daß drei Spannungen (z. B. 3 V, 5 V und 8 V, vgl. Abb. 93) entnommen werden können. Der Wattverbrauch ist auf beiden Seiten des Transformators praktisch gleich: wird z. B. einem solchen Transformator, der primär an ein Netz von 110 V angeschlossen ist, sekundär bei 8 V ein Strom von 1 A entnommen, das sind 8 W, so besteht die Beziehung  $8 \cdot 1 = 110 \cdot x$  und die Stromstärke  $x$  auf der Netzseite ist  $\frac{8}{110}$  A.

## Häufig vorkommende Schaltungsaufgaben.

### 1. Polbestimmung an elektrischen Leitungen; Unterscheidung von Gleich- und Wechselstrom.

Bei Benützung von galvanischen Elementen oder Akkumulatoren sind der Plus- und Minuspol meist ohne weiteres erkennbar, nicht aber bei Benützung eines unbezeichneten Netzsteckkontaktes. Bei der Hintereinanderschaltung mehrerer Apparate oder bei Verwendung von verdrehten Leitungen (Litzen) ist gleichfalls sehr oft die Bestimmung der Pole notwendig. Bei der **Polbestimmung mit Wasser** werden die zu prüfenden Drähte mit blanken Enden in ein Schälchen mit Wasser getaucht. Bei Leitungen mit *niederen* Spannungen (wenige Volt) ist es zweckmäßig, die Leitfähigkeit des Wassers durch Zusatz eines Elektrolyten, z. B. einiger Tropfen einer Kochsalzlösung, zu erhöhen, ferner die Drahtenden nahe beisammen (1—2 mm Abstand) ins Wasser zu halten; bei Spannungen von 110 oder 220 V genügt gewöhnliches, reines Leitungswasser. Der durch das Wasser fließende Strom führt zu einer elektrolytischen Zersetzung mit Wasserstoffabscheidung an der *Kathode*, Sauerstoffabscheidung an der *Anode*. Da das Verhältnis der beiden Gase 2 : 1 ( $H_2$  : O) ist, so tritt an der Kathode die *stärkere* Gasentwicklung auf, die auch dadurch besonders auffällig ist, daß der Sauerstoff infolge der Oxydation des Kupferdrahtes sich an der Anode meist nur sehr spärlich abscheidet. Die Probe erlaubt auch die Unterscheidung von Gleich- und Wechselstrom: bei Gleichstrom ist die Gasentwicklung *ungleich*, bei Wechselstrom — da jeder Draht abwechselnd Anode und Kathode ist — beidseitig *gleich stark*. Bei der **Polbestimmung mit Lackmuspapier** wird ein mit Wasser nicht zu stark befeuchteter Streifen des Reagenspapiers auf eine Glasplatte gelegt; die blanken Drahtenden werden für kurze Zeit im Abstand von einigen Millimetern auf das Papier gesetzt. Auch hier tritt elektrolytische Zersetzung des Wassers mit  $H_2$ -Entwicklung an der Kathode bzw. O-Entwicklung an der Anode auf. Durch die  $H_2$ -Abscheidung im Bereich der Kathode tritt in der Flüssigkeit eine Verminderung der H-Ionenkonzentration ein, durch die Entfernung des O im Bereich der Anode dagegen bleibt ein H-Ionenüberschuß in der Flüssigkeit. Da Verminderung der H-Ionenkonzentration *alkalische* Reaktion, Vermehrung der H-Ionenkonzentration dagegen *saurer* Reaktion bedeutet, kann das Lackmuspapier auf die polaren Reaktionsunterschiede reagieren; *blaues* Lackmuspapier wird unter der *Anode rot*, dagegen *rotes* Lackmuspapier unter der *Kathode blau*. Neutrales, grauviolett gewordenes Lackmuspapier kann beide Reak-

tionsänderungen nebeneinander zeigen. Bei der **Polbestimmung mit Polreagenspapier** (Phenolphthaleinpapier), wie es von Elektrotechnikern gebraucht wird, ist die gleiche Reaktionsänderung wirksam. Phenolphthaleinpapier ist mit NaCl-Lösung und Phenolphthaleinlösung getränkt. Das vorbereitete trockene Papier wird schwach befeuchtet und auf die Glasplatte gelegt; beim Aufsetzen der blanken Drahtenden zeigt sich die alkalische Reaktion unter der *Kathode* durch Entstehung eines *roten* Punktes an.

## 2. Gebrauch des Stromwenders.

Da die physiologischen Wirkungen der Anode und Kathode verschieden sind, ist bei Versuchen mit Gleichstrom oft ein Vertauschen der z. B. an einen Muskel oder Nerven angelegten Pole notwendig. Die Polarität an den Klemmen der Stromquelle kann natürlich nicht geändert werden; zur Vertauschung der Pole am Muskel bzw. zur Umkehr der Stromrichtung dienen *Kommutatoren* oder *Stromwender*.

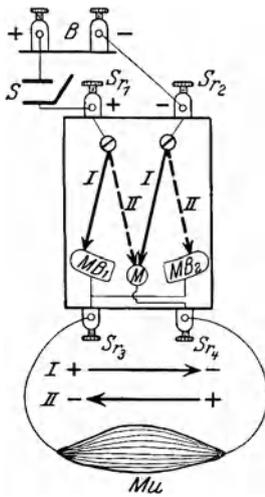


Abb. 91. Schematische Darstellung der Wirkung des Stromwenders.

*B* Klemmen der Stromquelle; *MB<sub>1</sub>*, *MB<sub>2</sub>* seitliche Metallbacken; *M* Mittelkontakt; *Mu* Muskel; *S* Stromschlüssel; *Sr<sub>1</sub>*, *Sr<sub>2</sub>*, *Sr<sub>3</sub>*, *Sr<sub>4</sub>* Klemmschrauben des Stromwenders; *I* und *II* die beiden Stellungen des Doppelhebels.

Ein solcher ist in Abb. 91 dargestellt. Auf einem Brettchen sind die Klemmschrauben *Sr<sub>1</sub>* bis *Sr<sub>4</sub>* befestigt. *Sr<sub>1</sub>* und *Sr<sub>2</sub>* werden unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels *S* mit den Klemmen der Batterie *B* verbunden; unter dem Brettchen führen Drähte von *Sr<sub>1</sub>* und *Sr<sub>2</sub>* zu den beiden beweglichen Hebeln, die stets parallel zueinander entweder in die Stellung *I* (vollgezeichnet) oder *II* (gestrichelt) gebracht werden können. Die Hebel schleifen zum Teil auf den seitlichen Metallbacken *MB<sub>1</sub>* und *MB<sub>2</sub>*, die mit der Klemmschraube *Sr<sub>3</sub>* in Verbindung sind, zum Teil auf dem Mittelkontakt *M*, der mit *Sr<sub>4</sub>* verbunden ist. Wie sich beim Verfolgen des Stromverlaufes ergibt, ist bei der Stellung *I* *Sr<sub>3</sub>* +, *Sr<sub>4</sub>* -; bei der Stellung *II* ist dies um-

gekehrt. Der an die Klemmen *Sr<sub>3</sub>* und *Sr<sub>4</sub>* angeschaltete Muskel *Mu* wird daher einmal von links nach rechts, das andere Mal von rechts nach links vom Strom durchflossen.

### 3. Gebrauch von Widerständen und Meßinstrumenten.

Der Arzt steht häufig vor der Aufgabe, zum Betrieb eines kleinen Endoskoplämpchens oder eines Glühdrahtes bei gegebener Spannung eine bestimmte Stromstärke durch Einschaltung eines bestimmten Widerstandes herzustellen. Wenn z. B. ein Glühlämpchen von  $14 \Omega$  Widerstand und einer maximal zulässigen Stromstärke von  $0,25 \text{ A}$  an ein Netz von  $10 \text{ V}$  angeschlossen werden soll, so ergibt sich aus dem OHMSchen Gesetz, daß dies nicht ohne weiteres durchführbar ist;  $0,25 = \frac{10}{x}$ ,  $x = 40 \Omega$ . Nur bei

Einschaltung von  $40 \Omega$  würde die zulässige Stromstärke nicht überschritten werden, bei z. B. bloß  $14 \Omega$  (Lampe als einziger Widerstand) würde das Lämpchen zerstört. Es ist daher zum Lämpchen noch ein *Zusatzwiderstand* (*Vorschaltwiderstand*) von  $40 - 14 = 26 \Omega$  einzuschalten. Solche Widerstände bestehen meist aus einem viele Meter langen Widerstandsdraht (meist Kupfer-Nickel), der auf einem Rohr in Form einer Wendel aufgewickelt ist. Anfang und Ende sind mit je einer Klemmschraube verbunden; über den Drahtwindungen befindet sich meist eine Stange mit einem Schleifkontakt (*Schieber*), der mit einer dritten Klemmschraube verbunden ist. Während beim Durchleiten des Stromes durch den ganzen Widerstand (Benützung der Anfangs- und Endklemme) der Widerstandswert *unveränderlich* ist, besteht bei Benützung der Anfangsklemme und der Schieberklemme die Möglichkeit, beliebige Stücke des Widerstandes, somit verschiedene Widerstandswerte, einzuschalten. Abb. 92 zeigt die Lösung der gestellten Aufgabe; vom positiven Pol wird der Strom über den Schlüssel *S* zur Anfangsklemme *A* des Widerstandes *R* und über den Schieber *Sch* und Schieberklemme *SK*, schließlich durch das Lämpchen *L* zum negativen Pol zurückgeführt. Da der ganze Strom durch den eingeschalteten Teil des Widerstandes fließt, spricht man von *Hauptschlußschaltung* im Gegensatz zum auf S. 241 besprochenen Nebenschluß. Der Schieber *Sch* ist so einzustellen, daß der zwischen der Klemme *A* und dem Kontaktpunkt

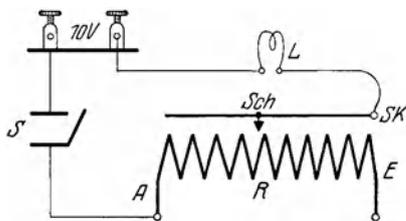


Abb. 92. Einschaltung eines Niedervoltlämpchens unter Benützung eines Vorschaltwiderstandes.

*L* Lämpchen; *R* Widerstand (mit der Anfangsklemme *A*, Endklemme *E*, Schieberklemme *SK* und dem Schieber *Sch*).

gabe; vom positiven Pol wird der Strom über den Schlüssel *S* zur Anfangsklemme *A* des Widerstandes *R* und über den Schieber *Sch* und Schieberklemme *SK*, schließlich durch das Lämpchen *L* zum negativen Pol zurückgeführt. Da der ganze Strom durch den eingeschalteten Teil des Widerstandes fließt, spricht man von *Hauptschlußschaltung* im Gegensatz zum auf S. 241 besprochenen Nebenschluß. Der Schieber *Sch* ist so einzustellen, daß der zwischen der Klemme *A* und dem Kontaktpunkt

des Schiebers eingeschaltete Teil des Widerstandes für das angenommene Beispiel gerade  $26 \Omega$  beträgt, was leicht abgeschätzt werden kann, wenn der Gesamtwiderstand bekannt ist. Stünde der Schieber direkt über  $A$ , so ist der eingeschaltete Widerstand Null, stünde er über  $E$ , so wäre der *ganze* Widerstand eingeschaltet. Außer der Ohmzahl ist auf jedem Widerstand noch die maximale Belastbarkeit in Ampere angegeben. Jeder Widerstand erwärmt sich beim Stromdurchgang; diese Wärme muß durch die Oberfläche der Drahtwindungen zum Teil wieder abgestrahlt werden, damit der Widerstand keine zu hohe Temperatur annimmt. Je dünner der Widerstandsdraht, um so mehr würde er bei gleicher Stromstärke erhitzt, und um so schwerer kühlt er sich ab. Es muß daher die zulässige maximale Stromstärke, die „*Belastbarkeit*“, um so geringer sein, je dünner der Widerstandsdraht ist. Überlastung eines Widerstandes kann in kurzer Zeit zum Durchbrennen führen. In unserem Beispiel dürfte daher ein Widerstand mit einer maximalen Belastbarkeit von z. B.  $0,1 \text{ A}$  nicht verwendet werden, wohl aber ein solcher mit einer Belastbarkeit von  $0,25 \text{ A}$  und darüber. Das gleiche wie für Widerstände gilt auch für alle Wicklungen von Apparaten, die für eine bestimmte Stromstärke gebaut sind.

Für die elektrische Strömung gilt ebenso wie für die Strömung von Flüssigkeiten, daß die Stromstärke in *allen Querschnitten* einer Leitung *immer gleich groß* ist; es wäre demnach gleichgültig, ob sich in der Schaltung nach Abb. 92 das Lämpchen  $L$  nach dem Widerstand  $R$  oder auch *vor* ihm — beispielsweise zwischen Schlüssel  $S$  und Widerstand  $R$  — befindet. Immer fließt im Stromkreis und daher durch das Lämpchen bloß die durch den gesamten Widerstand von  $26 + 14 = 40 \Omega$  bedingte Stromstärke von  $0,25 \text{ A}$  (unter Voraussetzung einer Spannung von  $10 \text{ V}$ ). Die Einschaltungsstelle für das Glühlämpchen im Stromkreis ist daher *beliebig wählbar*.

Befindet sich, wie bereits auf S. 228 erwähnt, in der Leitung eine Schutzlampe von z. B.  $10 \Omega$ , so muß der in  $R$  liegende Vorschaltwiderstand um  $10 \Omega$  verkleinert werden, da eben dieser Widerstandswert bereits in der Leitung vorgegeben ist. An Stelle von  $26 \Omega$  würden in unserem Beispiel daher an  $R$  nur  $16 \Omega$  einzuschalten sein.

Um mit Sicherheit das kleine Lämpchen vor einer Überlastung zu schützen und die Stromstärke genauer, als dies durch Schätzung des eingeschalteten Widerstandes möglich ist, einzustellen, ist es auch zweckmäßig, einen Strommesser, ein *Ampere-meter*, in den Stromkreis zu bringen. Abb. 93 zeigt eine solche

Anordnung für den Fall, daß als Stromquelle ein Klingeltransformator mit den 8-V-Klemmen benützt wird.

Die Berechnung zur Schaltung nach Abb. 93 ist folgende. Benötigt wird eine Stromstärke von 0,25 A bei einer Spannung von 8 V. Nach dem OHMSchen Gesetz ist daher  $0,25 = \frac{8}{W}$  und

$$W = \frac{8}{0,25} = 32 \Omega.$$

Da das Lämpchen selbst  $14 \Omega$  Eigenwider-

stand besitzt, werden nur  $32 - 14 = 18 \Omega$  im Widerstand  $R$  vor-

zuschalten sein. Zur Strommessung wird in den Stromkreis noch das Amperemeter  $A$  geschaltet, wobei es wieder gleichgültig ist, wo die Einschaltung erfolgt, da die Stromstärke in allen beliebigen Querschnitten der Leitung immer wieder gleich groß ist. Bevor der Schlüssel  $S$  in der Schaltung nach Abb. 93 geschlossen wird, stellt man den in

$R$  eingeschalteten

Widerstandsabschnitt zweckmäßig auf etwas *mehr* als  $18 \Omega$  ein; dann wird  $S$  geschlossen und der Schieber an  $R$  so-

lange gegen die Anfangsklemme verschoben, bis das Amperemeter die verlangte Stromstärke von 0,25 A anzeigt. In der gleichen Art wird auch die Berechnung und Schaltung für den Fall durchgeführt, daß bloß 5 V vom Klingeltransformator abgenommen werden. Vor der Stromentnahme muß der Klingeltransformator natürlich mit seiner *Primär*wicklung an die Wechselstromleitung angeschlossen werden.

Je nach der Art der **Meßinstrumente** sind diese Hilfsgeräte nur für die Verwendung in Schaltungen mit Gleichstrom oder nur mit Wechselstrom geeignet oder können auch bei beiden Stromarten gebraucht werden. Bei für Gleichstrom geeigneten Instrumenten ist auch die Polung, d. h., der Anschluß der Instrumentklemmen, nicht immer gleichgültig. Schließlich ist zu beachten,

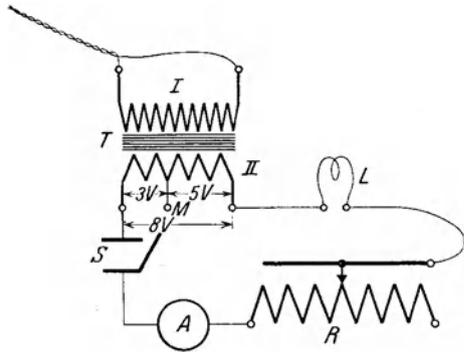


Abb. 93. Betrieb eines kleinen Niedervoltlämpchens  $L$  mit einem Klingeltransformator und Regelung der Stromstärke mit einem Widerstand  $R$ . Messung der Stromstärke durch das Amperemeter  $A$ .  
 $I$  am Netz liegende Primärwicklung des Transformators;  $II$  Sekundärwicklung des Transformators für Abnahme von 3 V, 5 V und 8 V.

daß die Einschaltungsart des Instrumentes in den Stromkreis davon abhängt, ob es sich um einen Stromstärkemesser (*Ampere-meter*) oder um einen Spannungsmesser (*Voltmeter*) handelt.

Am gebräuchlichsten sind **Drehspulen- und Weicheiseninstrumente**. Bei den ersten ist in einem kräftigen Feld eines Dauermagneten eine leichte, drehbare Spule möglichst reibungslos befestigt, durch die der zu messende Strom geleitet wird; die Spule wird im Sinn der Ampereschen Regel abgelenkt, wobei die Bewegung auf einen Zeiger übertragen wird. Nach Unterbrechen des Stromes kehrt der Zeiger wieder in die Ruhelage zurück, weil beim Ausschlag eine Spiralfeder gespannt oder bei hochempfindlichen Instrumenten ein feiner Aufhängefaden torquiert wurde. Bei den Weicheiseninstrumenten fließt der Strom durch eine Spule und zieht durch das dort entstehende Magnetfeld ein Stück weiches Eisen in das Spuleninnere hinein oder dreht ein Weicheisenplättchen in die Richtung der Kraftlinien. Auch diese Bewegung wird auf einen Zeiger übertragen und dabei eine Spiralfeder gespannt, welche nach Aufhören des Stromes den Zeiger bzw. das Eisenstück wieder in die Ruhelage zurückführt. Infolge der Verwendung eines Magneten können mit den Drehspuleninstrumenten nur *Gleichströme* gemessen werden, mit den Weicheiseninstrumenten auch *Wechselströme*, weil das Weicheisenstück von beiden magnetischen Polen angezogen wird. Sog. *Wechselstrom-Drehspuleninstrumente* haben einen Gleichrichter eingebaut.

Man unterscheidet **Strom- und Spannungsmesser** bzw. Ampere-meter und Voltmeter; da für physiologische Zwecke vielfach nur ganz schwache Ströme benützt werden, kommen auch Milliampere-meter in Verwendung. **Amperemeter** bzw. **Milliamperemeter** haben einen sehr *kleinen* Eigenwiderstand; sie werden wie dies auch Abb. 93 oder Abb. 94 zeigt, immer unmittelbar in die Leitung eingeschaltet. Bei den Drehspuleninstrumenten darf der Strom allerdings nur in *einer* Richtung durchfließen, weshalb die Klemmen mit + und —, oder durch Farben (rot = +, schwarz = —) gekennzeichnet sind. Nur wenn ein Drehspuleninstrument nach *beiden* Seiten ausschlagen kann (Nullpunkt in der *Mitte* der Skala), braucht auf die Polung beim Anschluß nicht geachtet zu werden. *Voltmeter* haben stets einen *hohen* Eigenwiderstand; ihre Klemmen werden mit denjenigen Punkten der Schaltung verbunden, deren Spannungsdifferenz gemessen werden soll. Auch bei Voltmetern ist zunächst darauf zu achten, ob die Anschlußklemmen Polbezeichnungen tragen oder durch verschiedene Farbe kenntlich gemacht sind; denn auch bei einem Voltmeter nach dem Drehspulenprinzip würde verkehrter Anschluß das Instrument zer-

stören. Bei Weicheiseninstrumenten (sowohl Ampere- als auch Voltmeter) ist im allgemeinen die Polung gleichgültig; sie tragen daher unbezeichnete (meist schwarze) Klemmen, ebenso wie die mit einem Gleichrichter versehenen Wechselstrom-Drehspuleninstrumente.

Bei jedem Meßinstrument hat man ferner **Empfindlichkeit** und **Meßbereich** zu unterscheiden. Die Empfindlichkeit wird durch den Wert des einzelnen Skalenteiles angegeben, das Meßbereich durch den größten Ausschlag bis zum Ende der Skala. Vor Einschaltung jedes Meßinstruments ist daher

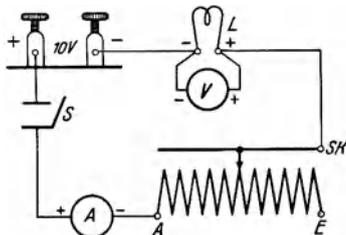


Abb. 94. Einschaltung eines Niedervoltlämpchens mit Strom- und Spannungsmessung.

einerseits zu überlegen, ob seine Empfindlichkeit groß genug ist, um den zu messenden Strom bzw. die zu messende Spannung auch deutlich anzuzeigen, und andererseits, ob nicht vielleicht das Meßbereich zu klein ist, so daß der Ausschlag über das Skalenende hinaus gehen und das Instrument durch Überlastung zerstört würde.

#### 4. Messung eines Widerstandes.

Die Messung beruht auf dem OHMSchen Gesetz und ist nach Abb. 95 vorzunehmen. Der Widerstand  $R$  wird unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels  $S$  und eines Amperemeters  $A$  mit den Klemmen einer Batterie verbunden, wobei diesmal Anfangsklemme  $A$  und Endklemme  $E$  des Widerstandes in den Stromkreis geschaltet werden. Parallel zu Widerstand und Amperemeter liegt das Voltmeter  $V$ . Die Berechnung erfolgt auf Grund der Stromstärke- und Spannungsmessung. Das Amperemeter  $A$  mißt die durch den Widerstand  $R$  fließende Stromstärke, das Voltmeter  $V$  die am Widerstand — richtiger die an Widerstand  $R$  + Amperemeter  $A$  — liegende Spannung. Nach dem OHMSchen Gesetz muß  $A = \frac{V}{R}$  sein; wurde  $A$  und  $V$  gemessen, so ist  $R$  aus der Formel zu berechnen. Wurden z. B. 0,17 A und 7,6 V abgelesen, so wäre  $R$  nach der Formel:  $0,17 = \frac{7,6}{R}$  gleich  $7,6 : 0,17 = 44,7 \Omega$ . Allerdings hat diese Messung einen Fehler: in diesem Wert von  $R$  ist auch der Eigenwiderstand des Amperemeters mit enthalten. Ist dieser aber wie gewöhnlich klein gegen  $R$ , so kann er außer Betracht bleiben und der tatsächliche Wert des Wider-

standes  $R$  in der Messung nach Abb. 95 ist von  $44,7 \Omega$  nicht wesentlich verschieden. Man könnte, um diesen Fehler zu vermeiden,

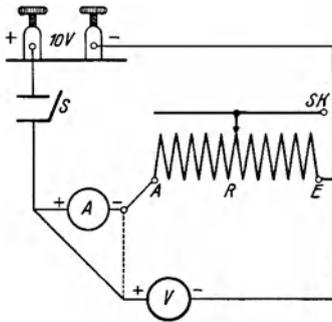


Abb. 95. Messung eines Widerstandes.  $A$  Amperemeter;  $R$  Widerstand (mit Anfangsklemme  $A$ , Endklemme  $E$  und Schieberkontakt  $SK$ );  $S$  Stromschlüssel;  $V$  Voltmeter.

die eine Klemme des Voltmeters  $V$  in der in Abb. 95 strichliert gezeichneten Art auch unmittelbar an den Widerstand  $R$  bei der Anfangsklemme  $A$  anschalten; da aber würde das Amperemeter nicht bloß den Strom durch den Widerstand  $R$  messen, sondern auch den Nebenstrom durch das Voltmeter  $V$  und es würde damit in die Rechnung ein anderer Fehler treten. Im allgemeinen ist die erstbeschriebene Art der Messung die genauere.

### 5. Schaltungen mit der Wippe (Doppelschlüssel).

Wie Abb. 96 *rechts* zeigt, besteht die Wippe aus einer runden Holz- oder Hartgummischeibe mit kreisförmig angeordneten, lochartigen Vertiefungen (Näpfe), die mit  $1-6$  bezeichnet sind. An der Seite sind sechs Klemmschrauben so befestigt, daß ihre Stifte in das Innere der Näpfe führen. In den Löchern  $1$  und  $2$  liegen die Gelenke eines Doppelhebels, der jedoch in der Richtung  $1-2$  durch Einschaltung eines Isolierstückes, das auch den Hand-

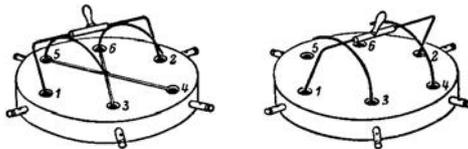


Abb. 96. Wippe mit Kreuz (links) und ohne Kreuz (rechts).  $1, 2$  Näpfe der Wippenachse;  $3-6$  Näpfe der beiden Seiten.

griff trägt, keinen Strom durchläßt. Die halbrunden Bügel des Doppelhebels tauchen nun je nach seiner Lage in die Näpfe  $3$  und  $4$  oder  $5$  und  $6$ . Der Kontakt mit den Klemmschrauben wird durch in die Näpfe gefülltes Quecksilber hergestellt. Wegen des Isolierstückes kann daher bei der in Abb. 96 *rechts* gezeichneten Stellung der Strom nur von der zum Napf  $1$  gehörenden Klemme nach  $3$ , von der zum Napf  $2$  gehörenden Klemme nur nach  $4$  fließen; beim Umlegen des Hebels könnte er nur von  $1$  nach  $5$

oder von 2 nach 6 gehen. Die Klemmen 1 und 2 heißen auch *Achsenklemmen* der Wippe, die anderen *Seitenklemmen*; der Strom kann demnach nur von der Achsenklemme zu einer benachbarten Seitenklemme fließen. In einer besonderen Schaltung als Stromwender (S. 241) werden die Näpfe 3 und 6 bzw. 4 und 5 — so wie Abb. 96 links zeigt — durch zwei Drahtbügel verbunden, von denen der eine zur Vermeidung einer Berührung den anderen mit einem Bogen überbrückt (*Wippenkreuz*).

Da die Handhabung der mit Quecksilber gefüllten Wippen große Vorsicht verlangt, um nicht Quecksilber zu verschütten so werden an Stelle einer Wippe mitunter auch *Doppelschlüsse* verwendet, welche im wesentlichen den gleichen Bau wie die Wippe zeigen, aber nicht Quecksilberkontakte, sondern metallische Feder- bzw. Klemmkontakte ähnlich wie beim einfachen Stromschlüssel (Abb. 89) besitzen. Die Schaltung des Doppelschlüssels ist grundsätzlich gleich wie bei der Wippe; auch beim Doppelschlüssel kann zum Zweck einer Benützung als Stromwender ein Kreuz eingelegt werden. In den Schaltzeichnungen wird auch für den Doppelschlüssel das gleiche Zeichen wie für die Wippe benützt.

Die Wippe ermöglicht eine Reihe von Schaltungen, die übersichtlich in Abb. 97 zusammengestellt sind. I. **Wippe als Stromschlüssel** (einpolarer Unterbrecher). Der positive Pol der Batterie  $B$  wird mit einer Achsenklemme (1) verbunden, eine benachbarte Seitenklemme (3) führt zum Muskel, von diesem die Rückleitung über den Widerstand  $R$  zum negativen Pol. Liegt der Wippenhebel so, daß die angeschaltete Achsenklemme und die an den Muskel geschaltete Seitenklemme miteinander verbunden werden, so kann der Strom fließen, beim Umlegen des Hebels wird er unterbrochen. Da in letzterem Falle aber die Leitung vom Muskel zum negativen Pol *nicht* unterbrochen ist, nennt man diese Schaltung — ebenso die gleichartige Verwendung eines Stromschlüssels — *einpolarige* Unterbrechung. II. **Wippe als zweipolarer Unterbrecher**. Die Batterie wird mit beiden Achsenklemmen, der Muskel mit den beiden Klemmen einer Seite verbunden. Liegt der Wippenhebel auf dieser Seite, so geht der Strom vom positiven Pol über 1 und 3 zum Muskel, von diesem nach Durchlaufen des Widerstandes  $R$  über 4 und 2 zurück; nach Umlegen ist der Muskel von *beiden* Batteriepolen abgeschaltet, da weder Napf 3 noch Napf 4 mit der Stromquelle in Verbindung steht. III. **Wippe als Stromwähler**. Mit jeder Seite der Wippe wird eine Stromquelle verbunden, z. B. ein Transformator  $T$  und eine beliebige Batterie  $B$ ; jeder Stromkreis ist durch einen Schlüssel ( $S_1$  und  $S_2$ ) zu unterbrechen. An die Achsenklemmen wird der Muskel geschaltet.

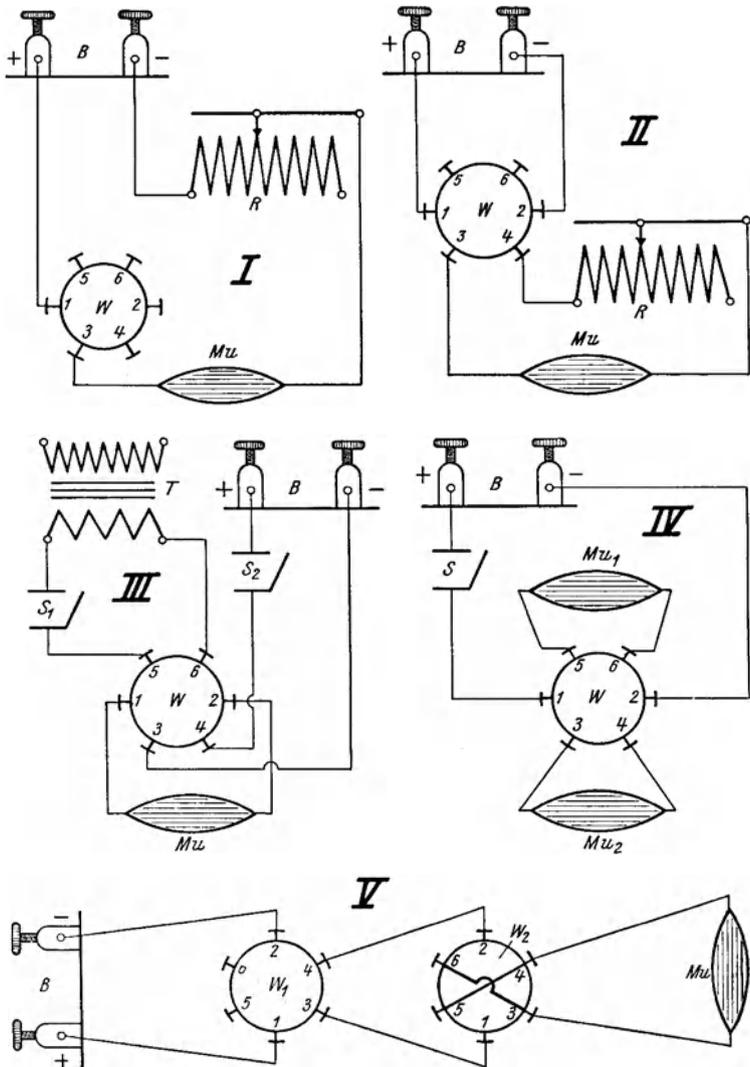


Abb. 97. Schaltungen mit der Wippe (Doppelschlüssel).

*I* Wippe als einpoliger Unterbrecher; *II* Wippe als zweipoliger Unterbrecher; *III* Wippe als Stromwähler; *IV* Wippe als Umschalter; *V* Wippe als zweipoliger Unterbrecher sowie Wippe als Stromwender. — *B* Batterieanschluß; *Mu* Muskel; *R* Widerstand; *S* Stromschlüssel; *T* Transformator; *W* Wippe (Doppelschlüssel).

Liegt der Hebel nach *5* und *6*, so geht der Wechselstrom des Transformators zum Muskel, liegt er nach *3* und *4*, der Strom der Batterie. Diese Schaltung erlaubt also, den gleichen Muskel mit verschiedenartigen Strömen abwechselnd zu reizen. IV. **Wippe als Umschalter**, eine gegen III gerade verkehrte Schaltung. Die Stromquelle wird mit den Achsenklemmen verbunden, während an jede Seite je ein Muskel geschaltet wird. Ist der Wippenhebel bei der Anordnung nach Abb. 97 IV nach oben gelegt, so fließt der Strom vom positiven Pol über *1* und *5* zum Muskel  $Mu_1$  und über *6* und *2* zurück, bei der zweiten Lage des Hebels über *1* und *3* zum Muskel  $Mu_2$  und über *4* und *2* zurück. Der gleiche Strom kann so abwechselnd zwei *verschiedenen* Muskeln zugeleitet werden. V. **Wippe als Stromwender**. Bei dieser Schaltung ist in die Wippe das *Kreuz einzulegen*; bei allen anderen Schaltungen darf man nicht vergessen, es *herauszunehmen*. Die Batterie kommt — unter Zwischenschaltung des Stromschlüssels, hier einer Wippe  $W_1$  als zweipoliger Unterbrecher — an die Achse, das Präparat an eine Seite von  $W_2$ . Wird im Sinne der Zeichnung Abb. 97 V der Wippenhebel von  $W_2$  nach rechts gelegt, so ist Napf *3* über Napf *1 positiv*, Napf *4* über Napf *2 negativ*; das Kreuz ist in diesem Fall wirkungslos. Bei nach links umgelegtem Wippenhebel von  $W_2$  würde *ohne* Kreuz kein Strom zum Muskel kommen und die Wippe nur als zweipoliger Unterbrecher wirken. Durch das Kreuz wird aber das Fließen des Stromes ermöglicht: die Achsenklemme *1* (positiv) ist zunächst mit *5* verbunden, von dort aus wird Napf *4* über die eine Kreuzverbindung gleichfalls *positiv*, während in entsprechender Weise Napf *3* von *2* über *6 negativ* wird. Bei nach *rechts* gelegtem Wippenhebel ist *3* positiv und *4* negativ, während beim Umlegen des Hebels nach *links* *4* positiv und *3* negativ wird; damit ändert sich auch die Richtung des Stromes im Muskel  $Mu$ .

## 6. Widerstände als Spannungsteiler; Einschleichen eines Stromes (Nebenschlußschaltung).

Zur genauen Einstellung einer beliebigen Teilspannung (**Spannungsteilerschaltung**) wird ein der Länge nach über eine Millimeterskala ausgespannter Widerstandsdraht („*Meßdraht*“) benutzt, dessen Grundform Abb. 98 wiedergibt; er ist zwischen der Anfangsklemme *A* und Endklemme *E* ausgespannt und besitzt wie der Schiebewiderstand einen Schleifkontakt *SK*. Die gesamte Schal-

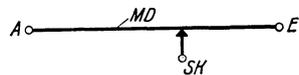


Abb. 98. Grundform des Meßdrahtes MD mit Anfangsklemme *A*, Endklemme *E* sowie der Klemme *SK* für den Schleifkontakt.

tung unter Verwendung einer Akkumulatorenzelle als Stromquelle zeigt Abb. 99. Die Stromquelle wird unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels  $S$  mit *Anfang* und *Ende* des Meßdrahtes ( $A$  und  $E$ ) verbunden; im Nebenschluß zum Meßdraht liegt hier zwischen den Klemmen  $A$  und  $SK$  ein Voltmeter  $V$  oder beim Reizversuch das physiologische Präparat. Da der Stromschlüssel und die Schaltdrähte praktisch widerstandslos sind, stellt der Meßdraht den gesamten Widerstand des Stromkreises dar und in ihm muß daher zur Gänze die Batteriespannung von 2 V liegen. Von dieser Gesamtspannung kann nun durch entsprechende Stellung des Schleifkontaktes  $SK$  ein beliebiger Spannungsbruchteil zum Voltmeter  $V$

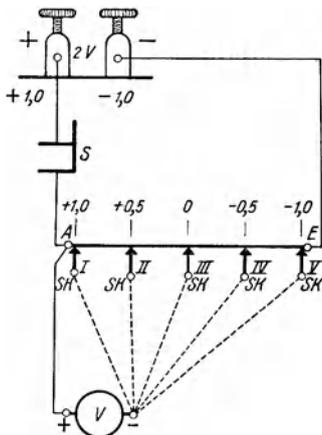


Abb. 99. Spannungsteilerschaltung mit einem Meßdraht.

$A$  und  $E$  Anfangs- und Endklemme des Meßdrahtes;  $S$  Stromschlüssel;  $V$  Voltmeter;  $I - V$  verschiedene Stellungen des Schleifkontaktes  $SK$ .

abgegriffen werden. Wie groß dieser Bruchteil ist, ergibt sich aus der folgenden Überlegung.

Die Spannung einer Stromquelle ist stets gleich der *Differenz* der Potentiale an den beiden Polen. Die Spannung des Akkumulators mit 2 V kann daher als Differenz der Potentiale an der Plus- und Minusklemme, somit als Differenz von  $+1,0$  und  $-1,0$  aufgefaßt werden. Diese beiden Potentiale von  $+1,0$  und  $-1,0$  müssen auch an den Enden des Meßdrahtes, also an  $A$  und  $E$  liegen; innerhalb des Meßdrahtes muß das Potential von  $+1,0$  auf  $-1,0$  allmählich absinken und es werden in gleichen Abständen auf dem Draht  $MD$  — gleichmäßige Beschaffenheit über seine ganze Länge vorausgesetzt — die entsprechenden Potentialzwischenstufen liegen müssen. Genau in der Mitte befindet sich daher das Potential 0, zwischen erstem und zweitem Viertel beispielsweise das Potential  $+0,5$ , zwischen drittem und viertem Viertel das Potential  $-0,5$  usw. Das im Nebenschluß befindliche Voltmeter wird stets jene Spannung anzeigen, die zwischen seinen Klemmen liegt; von diesen Voltmeterklemmen ist die linke dauernd auf dem Potential  $+1,0$ , da sie mit der Anfangsklemme  $A$  des Meßdrahtes  $MD$  in fester Verbindung steht, während die rechte Voltmeterklemme je nach der Stellung des Schleifkontaktes  $SK$  ein ganz verschiedenes Potential haben kann. Befindet sich der

Schleifer ganz links in der Stellung *I*, so hat er dasselbe Potential wie die Klemme *A*, nämlich  $+1,0$ , die Differenz ist demnach gleich Null und das Voltmeter zeigt *keine* Spannung an. Wird aber der Schleifer allmählich nach rechts verschoben, so beginnt das Voltmeter auszuschnagen; bei der Stellung *II* des Schleifers muß das Instrument gerade  $0,5$  V anzeigen, da die linke Klemme das Potential  $+1,0$ , die rechte  $+0,5$  besitzt und die Differenz zwischen beiden  $0,5$  V ist. Bei der Stellung *III* hat der Schleifkontakt *SK* und daher die rechte Voltmeterklemme das Potential  $0$ , die Differenz gegen die linke mit dem Potential  $+1,0$  beträgt daher  $1$  V. Bei der Stellung *IV* des Schleifkontaktes *SK* muß das Voltmeter  $1,5$  V zeigen, bei der Stellung *V* dagegen  $2,0$  V, da jetzt der Schleifer am Ende des Meßdrahtes bei *E* mit dem Potential  $-1,0$  liegt. Wird am Meßdraht daher zwischen der Anfangsklemme *A* und dem Schleifer *SK* eine Teilspannung abgegriffen, so stellt *A* den Bezugspunkt dar und man kann den Meßdraht,

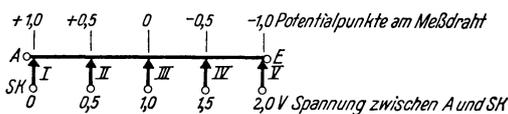


Abb. 100. Eichung des Meßdrahtes zur Spannungsteilung.

wie in Abb. 100, unmittelbar für verschiedene Schleiferstellungen eichen; selbstverständlich lassen sich auch alle in der Abb. 100 nicht angeführten beliebigen Zwischenspannungen einstellen. Aus dieser Darstellung und Abb. 100 erhellt, daß zwischen *A* und der Widerstandsmitte bei *III* gerade die *halbe* Batteriespannung liegen muß, zwischen *A* und *Dreiviertel* des Widerstandes bei *IV* auch *Dreiviertel* der Batteriespannung usw. Da nun der Meßdraht über eine Millimeterskala von gerade  $1$  m Länge ausgespannt ist, läßt sich an dieser — ohne jede weitere Überlegung über die Potentialverteilung, die nur für das Verständnis der Spannungsteilerschaltung notwendig war — jede beliebige Teilspannung aus jeder beliebigen Batteriespannung einstellen. Auf jeden Millimeter der  $1000$  mm langen Skala entfällt  $\frac{1}{1000}$  der Batteriespannung; wird der Schleifkontakt mit seiner Kontaktschneide z. B. gerade auf  $100$  mm eingestellt, so liegen zwischen *A* und *SK*  $100 \cdot \frac{1}{1000}$  der Batteriespannung. Beträgt die letztere  $2$  V, so ist  $\frac{1}{1000}$  davon gleich  $0,002$  V und zwischen *A* und *SK* liegen daher  $100 \cdot 0,002 = 0,2$  V; beträgt die Batteriespannung z. B.  $10$  V, so entspricht jedem Millimeter der Skala  $\frac{1}{1000}$  von  $10$  V  $= 0,01$  V und bei der Stellung  $100$  mm des Schleifers würden zwischen *A* und *SK* daher  $100 \cdot 0,01 = 1$  V liegen.

Die Spannungsteilung kann grundsätzlich von links nach rechts, also unter Benützung der Klemmen  $A$  und  $SK$ , als auch von rechts nach links unter Benützung der Klemmen  $SK$  und  $E$  erfolgen. Nur ist im ersteren Fall  $A$  der Bezugspunkt, im zweiten  $E$ . Steht daher der Schleifer, wenn  $SK$  und  $E$  als Abnahmeklemmen für den Nebenkreis benützt werden, auf 100 mm der von links nach rechts bezifferten Skala, so würden für den Nebenkreis tatsächlich  $\frac{900}{1000}$  der Batteriespannung abgegriffen; sind nur  $\frac{100}{1000}$  der Batteriespannung erforderlich, so müßte bei Abnahme zwischen  $SK$  und  $E$  der Schleifer  $SK$  auf die Stellung 900 mm der Skala gebracht werden, damit eben zwischen  $SK$  und  $E$  tatsächlich nur  $\frac{100}{1000}$  des Widerstandes eingeschaltet sind.

Diese Spannungsteilerschaltung (**Nebenschlußschaltung**) findet Verwendung: 1. zur Reizung mit kleineren Spannungen als die Batteriespannung; 2. zum allmählichen Verstärken des Reizstromes von Null aus oder zu dessen allmählicher Schwächung. Im *ersten* Fall (*Reizung mit einer Teilspannung*) wird der Schleifer bei zunächst offenem Stromschlüssel auf die verlangte Teilspannung eingestellt und dann der Stromschlüssel geschlossen bzw. wieder geöffnet; es wirkt dann auf das Präparat im Nebenkreis nur die eingestellte Teilspannung ein. Im *zweiten* Fall („*Ein-*“ und „*Ausschleichen*“ bzw. *Dosieren des Stromes*) wird der Schleifer unmittelbar neben die Anfangsklemme gebracht, so daß zwischen  $A$  und  $SK$  zunächst noch *keine* Teilspannung liegt, auch wenn jetzt der Stromschlüssel geschlossen wird und durch den Meßdraht selbst schon Strom fließt. Wird nun allmählich der Schleifer von  $A$  weg nach rechts verschoben, so steigt die Spannung im Nebenkreis allmählich an und mit der Spannungszunahme muß auch die Stromstärke im Nebenkreis größer werden, da auch dort das

OHmsche Gesetz gilt:  $I = \frac{E}{W}$ , wobei  $E$  die abgegriffene Teilspannung,  $I$  den Strom im Nebenkreis und  $W$  den Widerstand im Nebenkreis bedeuten. Wird ein konstanter Gleichstrom (*galvanischer Strom*) in der besprochenen Art von Null aus ganz allmählich verstärkt, so bleibt jede Erregungswirkung in einem im Nebenkreis befindlichen Präparat aus, die sonst beim *plötzlichen* Einschalten dergleichen Teilspannung auftreten würde („*Einschleichen*“ des Stromes); ebenso kann jede Öffnungsreizung unterdrückt werden, wenn der Strom von einer gegebenen Stärke durch Verschieben des Schleifers gegen  $A$  wieder allmählich verringert wird („*Ausschleichen*“ des Stromes). Ein- und Ausschleichen sind von Bedeutung, wenn bloß *Dauerwirkungen* eines galvanischen Stromes unter Ausschluß seiner Reizwirkung ausgeübt werden sollen, so

z. B. die elektrotonischen Wirkungen, elektrolytische Entfernung von Haaren, Warzen u. dgl., Galvanisation bei Muskel- und Nervenkrankungen usw.

Zur Spannungsteilung kann an Stelle des Meßdrahtes auch ein gewöhnlicher Schiebewiderstand verwendet werden; an diesem läßt sich die verlangte Teilspannung allerdings nicht genau einstellen, da keine Millimeterteilung vorhanden ist und die Stellung des Schiebers nur geschätzt werden kann; außerdem schleift der Kontakt des Schiebers nicht auf der ganzen Länge des Widerstandsdrahtes, da er immer nur den obersten Punkt jeder Windung berühren kann. Während daher am Meßdraht jede beliebige Teilspannung *stufenlos* eingestellt werden kann, ist am Schiebewiderstand nur eine Regelung in Stufen möglich, da immer eine volle Windung übersprungen wird. Abb. 101 zeigt als Beispiel die Spannungsteilerschaltung mit einem Schiebewiderstand.

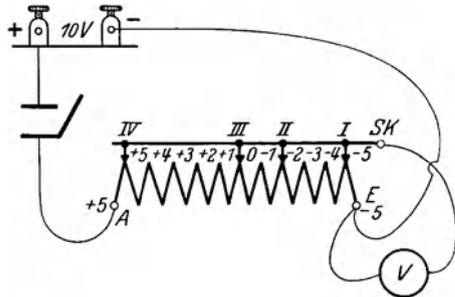


Abb. 101. Spannungsteilerschaltung mit einem Schiebewiderstand.

*A, E, SK* Anfangs-, End- und Schiebeklemme des Widerstandes; *V* Voltmeter; *I—IV* verschiedene Stellungen des Schleifkontaktes *SK*.  
 und der Nebenschluss zwischen *SK* und *E* angeschlossen wurde. Der Bezugspunkt ist daher *E* und die abgegriffenen Teilspannungen im Nebenschluss wären daher auf *E* zu beziehen: 0 V bei der Stellung *I*, 3,0 V bei der Stellung *II*, 5,0 V bei der Stellung *III* und 10,0 V bei der Stellung *IV* des Schiebers.

## 7. Messung einer elektromotorischen Kraft mittels Kompensation.

Die Messung beruht darauf, daß ein Stromkreis *stromlos* bleibt, wenn in ihm zwei elektromotorische Kräfte *gleicher* Größe, aber *entgegengesetzter Richtung* wirken. Wird daher wie in Abb. 102 oben eine Stromquelle mit unbekannter Spannung  $B_x$  im Nebenschluß zu einem Meßdraht geschaltet, dessen Schleifkontakt *SK* eine *gleiche große* Teilspannung aus der Stromquelle  $B_m$  mit entgegengesetzter Richtung entnimmt, so zeigt das Milliampereometer *mA* keinen Strom an. Wird der Schleifkontakt *SK* von dieser Stellung aus nach links gegen *A* verschoben, so überwiegt die Spannung von  $B_x$  und das Milliampereometer *mA* zeigt einen Aus-

schlag in der einen Richtung, wird  $SK$  nach rechts gegen  $E$  verschoben, so überwiegt die von  $B_m$  abgegriffene Teilspannung, das Milliampereometer  $mA$  zeigt einen Ausschlag in der *anderen* Rich-

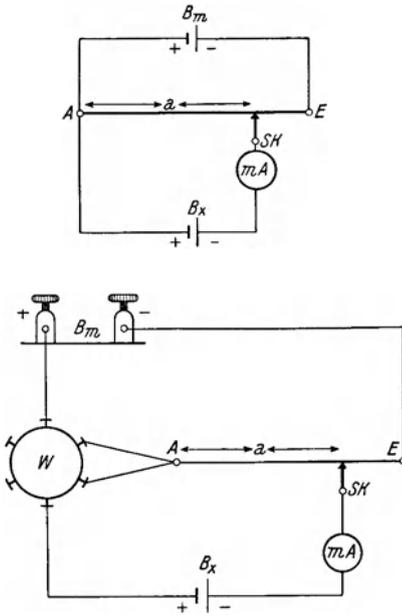


Abb. 102. Messung der unbekannten Spannung einer Stromquelle  $B_x$  mit dem Kompensationsverfahren. Oben: Grundschialtung; unten: Ausführung.

$A$  Anfang des Meßdrahtes;  $a$  am Meßdraht abgegriffene Teilspannung (abzulesen in Millimetern);  $B_m$  Stromquelle mit bekannter Spannung (Akkumulator);  $B_x$  Stromquelle mit unbekannter Spannung ( $B_x$  kleiner als  $B_m$ );  $E$  Ende des Meßdrahtes;  $mA$  Milliampereometer mit Nullpunkt in der Mitte;  $SK$  Schleifkontakt an der Meßbrücke;  $W$  Doppelschlüssel.

tung. Erforderlich ist daher ein Milliampereometer, das seinen Nullpunkt in der *Mitte* hat und das daher nach *beiden* Seiten ausschlagen kann. Durch entsprechendes Verschieben des Schleifkontaktes  $SK$  ist die Spannungsgleichheit daher durch Aufsuchen des „Nullpunktes“, bei welchem das Milliampereometer  $mA$  keinen Ausschlag zeigt, leicht zu finden („Nullpunktverfahren“). Ist nun die Spannung von  $B_m$  bekannt, so entfällt auf jeden Millimeter der Teilung am Meßdraht  $\frac{1}{1000}$  von  $B_m$  und die Spannung  $V_x$  der Stromquelle  $B$  ist dann:  $V_x = \frac{V_m}{1000} \cdot a$ , wobei  $a$  den Ab-

stand des Schleifkontaktes  $SK$  vom Anfang  $A$  der Meßbrücke in Millimeter und  $V_m$  die Spannung von  $B_m$  bedeuten. Gegenüber dem ursprünglich von POGGENDORFF entwickelten Kompensationsverfahren, bei dem als Stromquelle bekannter Spannung ein Normalelement verwendet wird, ist das eben beschriebene Bestimmungsverfahren etwas vereinfacht; es genügt für viele Zwecke auch, als Stromquelle  $B_m$  einen Akkumulator zu verwenden und anzunehmen, daß dieser genau 2 V liefert.  $V_x$  wäre dann  $= \frac{2}{1000} \cdot a$ .

Um das Meßinstrument  $mA$  nicht zu gefährden, ist jedoch einige Vorsicht notwendig. Das Instrument  $mA$  zeigt immer einen

Um das Meßinstrument  $mA$  nicht zu gefährden, ist jedoch einige Vorsicht notwendig. Das Instrument  $mA$  zeigt immer einen

Strom an, solange der Schleifkontakt  $SK$  sich nicht im Nullpunkt befindet, und dieser Strom im Milliampereometer wird um so stärker, je weiter  $SK$  vom Nullpunkt entfernt ist. Da am Beginn der Messung die Lage des Nullpunktes noch nicht bekannt ist, könnte daher der Fall eintreten, daß im Nebenkreis ein zu starker Strom fließt, der das Milliampereometer  $mA$  beschädigt. Man schaltet daher, wie Abb. 102 unten zeigt, sowohl in den Stromkreis der Stromquelle  $B_m$  als auch in den der Stromquelle  $B_x$  einen Stromunterbrecher ein, für welchen man zum Zwecke *gleichzeitiger* Schließung bzw. Unterbrechung *beider* Stromkreise eine Wippe (Doppelschlüssel) ähnlich wie bei zweipoliger Unterbrechung benützt (Anschluß der beiden Stromquellen an die Achsenklemmen, zwei benachbarte Seitenklemmen an  $A$ ). Durch äußerst schnelles Schließen und Wiederöffnen beider Stromkreise mit Hilfe der Wippe (des Doppelschlüssels)  $W$  wird dann, etwa bei einer mittleren Stellung des Schleifkontaktes  $SK$ , geprüft, ob das Milliampereometer  $mA$  einen Ausschlag zeigt, und es wird unter Wiederholung dieses vorübergehenden Schließens der Schleifkontakt so lange verschoben, bis der Ausschlag im Milliampereometer *sehr klein* geworden ist. Erst dann darf  $W$  dauernd geschlossen bleiben und die Nullstellung von  $SK$  durch Feinverschieben aufgesucht werden. Voraussetzung für diese Messung ist selbstverständlich, daß  $B_m$  eine *größere* Spannung als  $B_x$  besitzt.

Eine genaue Spannungsmessung an einer Stromquelle setzt voraus, daß *während der Messung kein Strom* entnommen wird. Deshalb gibt das Kompensationsverfahren die genauesten Spannungswerte, weil der Stromkreis mit der Stromquelle unbekannter Spannung  $B_x$  im Augenblick der Messung *stromlos* ist; mit einem Voltmeter kann die Bestimmung nur ungenau durchgeführt werden, weil dieses trotz des gewöhnlich hohen Widerstandes doch Strom verbraucht. Nur mit einem elektrostatisch, also *ohne* Stromverbrauch, arbeitenden Voltmeter kann eine Spannungsmessung gleichwertig wie mit dem Kompensationsverfahren durchgeführt werden.

### 8. Messung einer elektromotorischen Kraft mit dem Brückenverfahren.

Nach Abb. 103 oben wird die Stromquelle mit bekannter Spannung  $B_m$  mit der Stromquelle unbekannter Spannung  $B_x$  hintereinander geschaltet, d. h. also, es wird der Minuspol von  $B_m$  mit dem Pluspol von  $B_x$  verbunden. Unter diesen Bedingungen addiert sich die Spannung von  $B_m$  ( $= V_m$ ) und die von  $B_x$  ( $= V_x$ ). In dem an die Hintereinanderschaltung der beiden Stromquellen ange-

geschlossenen Meßdraht (von  $A$  bis  $E$ ) liegt daher gleichfalls die Spannung von  $V_m + V_x$ . Irgendwo am Meßdraht  $A$  bis  $E$  muß daher nach den früheren Erörterungen (siehe Seite 242) eine Teilspannung liegen, die gleich groß wie  $V_m$  ist. Befindet sich der Schleifkontakt  $SK$  der Meßbrücke gerade an diesem Punkt, so

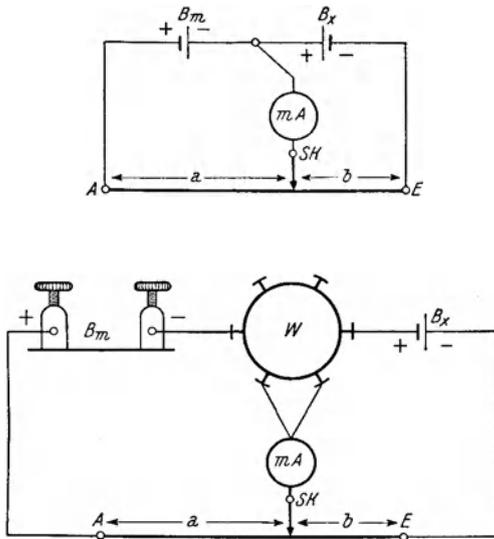


Abb. 103. Messung einer Spannung mit dem Brückenverfahren. Oben: Grundschialtung; unten: Ausführung.

$A$  Anfang des Meßdrahtes;  $a$  und  $b$  Teilstücke des Meßdrahtes (abzulesen in Millimetern);  $B_m$  Stromquelle mit bekannter Spannung;  $B_x$  Stromquelle mit unbekannter Spannung;  $E$  Ende des Meßdrahtes;  $mA$  Milliamperemeter mit Nullpunkt in der Mitte;  $SK$  Schleifkontakt am Meßdraht;  $W$  Doppelschlüssel.

muß das als „Brücke“ zwischen  $SK$  und dem Verbindungspunkt von  $B_m$  und  $B_x$  eingeschaltete Milliamperemeter  $mA$  stromlos bleiben, da ja an seinen beiden Klemmen das gleiche Potential, also kein Spannungsunterschied, liegt. Die an der Millimeterskala des Meßdrahtes abgelesenen Abstände  $a$  und  $b$  müssen sich demnach für den Fall der Stromlosigkeit im Milliamperemeter so wie

$V_m : V_x$  verhalten.  $V_x$  ist daher gleich  $\frac{V_m \cdot b}{a}$ . Diese, gleichfalls zu

dem „Nullpunktverfahren“ gehörende Messung setzt im Gegensatz zu dem früher benützten Kompensationsverfahren nicht

voraus, daß  $V_m$  größer als  $V_x$  sein muß. Auch hier ist ein Milliampereometer mit dem Nullpunkt *in der Mitte* erforderlich; ein Doppelschlüssel (Wippe)  $W$  wird aus dem gleichen Grund, wie auf S. 247 erörtert, eingeschaltet.

### 9. Verwendung des Stromschlüssels als Kurzschluß.

Teilt sich an einer Stelle, wie in Abb. 104, die Leitung, so kommt es zu einer Stromverzweigung. Die Summe der beiden Zweigströme  $i_1$  und  $i_2$  ist gleich  $J$ ; nach dem **KIRCHHOFFSchen Verzweigungsgesetz** verhalten sich  $i_1 : i_2$  so wie  $w_2 : w_1$ , also *umgekehrt* wie die Widerstände in den beiden Zweigleitungen. Ist z. B.  $w_1$  gleich  $w_2$ , so ist  $i_1$  ebenso wie  $i_2$  gleich  $J/2$ .

Ist jedoch der Widerstand in einer der beiden Zweigleitungen *null*, dann geht der ganze Strom  $J$  durch diesen Zweig und der andere bleibt *stromlos*. Dies wird bei der **Kurzschlußschaltung** eines Stromschlüssels (*Shunt*) ausgenützt, die man vor allem im Sekundärkreis eines Induktoriums (S. 253) zum Schutz des Präparates bzw. zur Reizgebung anwendet. Zur Verwendung kommt gewöhnlich ein Schlüssel mit Federkontakt nach Abb. 89, der schon

durch den Besitz von *zwei* Klemmschrauben auf jeder Seite für diese Schaltung eingerichtet ist. Wie Abb. 105 zeigt, schaltet man den Schlüssel  $KS$  zunächst an die Klemmen  $SSK$  der Sekundärspule  $S$  an, gleichzeitig an den Schlüssel  $KS$  aber auch das Präparat  $M$ . Ist der Schlüssel wie in Abb. 105 geschlossen, so hat der von der Sekundärspule  $S$  kommende Strom *zwei*

Wege, den durch den Hebel  $H$  des Schlüssels und den durch den Muskel  $M$ ; da aber der Widerstand im Hebel  $H$  praktisch null ist, geht der *ganze* Strom durch diesen Leitungszweig, während der Muskel *stromlos* bleibt. Wird der Kurzschlußschlüssel aber geöffnet, so hat der Sekundärstrom nur mehr den *einzigen* Weg durch den Muskel und kann diesen erregen. Man wendet diese Schaltung an, um bei frequenter Reizung den WAGNERSchen

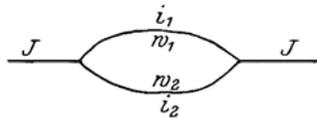


Abb. 104.

Schema einer Stromverzweigung.

$i_1$  und  $i_2$  Teilströme;  $J$  unverzweigter Strom;  $w_1$  und  $w_2$  Widerstände in den Zweigleitungen.

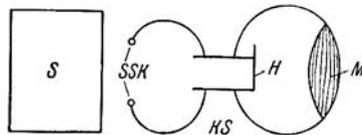


Abb. 105. Verwendung des Stromschlüssels in Kurzschlußschaltung im Sekundärkreis eines Induktoriums.

$H$  Hebel des Kurzschlußschlüssels;  $KS$  Kurzschlußschlüssel;  $M$  Präparat;  $S$  Sekundärspule;  $SSK$  Klemmen der Sekundärspule.

Hammer des Induktoriums dauernd laufen zu lassen, trotzdem aber die Reizung — durch Öffnen von *KS* — erst im erforderlichen Augenblick durchführen zu können.

### 10. Der Schlittenapparat (Induktorium).

Der Schlittenapparat (medizinisches Induktorium) ist einerseits ein *Transformator*, weil der verhältnismäßig starke Strom der *Primärspule* (mit *wenigen* Windungen eines dicken Drahtes) eine *niedrige* Spannung besitzt, in der *Sekundärspule* (*viele* Windungen eines dünnen Drahtes) aber zu einem schwachen Strom mit *hoher*

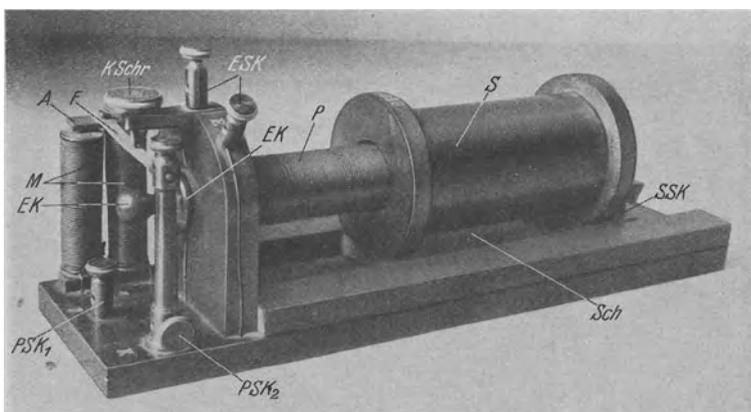


Abb. 106. Medizinisches Induktorium.

*A* Anker des WAGNERSchen Hammers; *EK* Eisenkern; *ESK* Klemmen für den Extrastrom bzw. zur Stromspeisung der Primärspule unter Umgehung des WAGNERSchen Hammers; *F* Feder des WAGNERSchen Hammers; *KSchr* Kontaktschraube des WAGNERSchen Hammers; *M* Magnetspulen für den WAGNERSchen Hammer; *P* Primärspule; *PSK<sub>1</sub>* und *PSK<sub>2</sub>* Klemmen für den Primärkreis unter Benutzung des WAGNERSchen Hammers; *S* Sekundärspule; *Sch* Schlitten; *SSK* Klemmen für den faradischen Strom bzw. für einzelne Induktionsschläge.

Spannung wird; es ist andererseits aber auch ein *Umformer* bzw. *Wechselrichter*, weil der zum Betrieb der Primärspule gewöhnlich benützte *Gleichstrom* sekundär zu einem *Wechselstrom* wird. Abb. 106 zeigt die gebräuchliche Ausführung des Induktoriums. *P* ist die Primärspule, *S* die in einem Schlitten *Sch* verschiebbliche Sekundärspule („Schlittenapparat“). Da das ruhende Magnetfeld der Primärspule *keine* Induktionswirkung ausübt, so muß der Primärstrom mit einem WAGNERSchen Hammer *unterbrochen* werden. Der der Klemme *PSK<sub>1</sub>* zugeführte Primärstrom fließt zunächst durch die beiden Spulen des Magneten *M*, sodann durch

die Primärspule  $P$ , durch die Kontaktschraube  $KSchr$  in die Feder  $F$  und durch die Säule mit Klemme  $PSK_2$  zur Batterie zurück. Der Strom erzeugt nach dem Einschalten in den Spulen  $M$  ebenso wie in der Primärspule  $P$  ein Magnetfeld. Das Feld in  $M$  zieht den mit der Feder  $F$  verbundenen Anker  $A$  an, hebt die Feder  $F$  von der Kontaktschraube  $KSchr$  ab und unterbricht dadurch den Strom; die Feder schnell wieder nach oben, berührt die Schraube  $KSchr$ , schließt dadurch wieder den Strom, der sich neuerlich selbst unterbricht usw. Die Unterbrechungszahl — kenntlich am Höherwerden des Brummtones — steigt, wenn die Schraube etwas tiefer geschraubt wird, weil dann der Weg für die Feder kürzer ist. Das bei jeder Schließung gleichzeitig in  $P$  entstehende Feld dient zur Induktion auf die Sekundärspule.

Der Strom der Primärspule ist somit ein *zerhackter Gleichstrom*. Da das Feld nur im Augenblick seiner Schwankung induziert, entstehen in der Sekundärspule *nur im Augenblick* des Stromschlusses und im *Augenblick* der Stromunterbrechung je ein einige tausendstel Sekunden dauernder Stromstoß. Diese Induktionsströme werden als Schließungsinduktionsstrom und Öffnungsinduktionsstrom (auch als *Schließungs-* und als *Öffnungsschlag*) bezeichnet. Die rhythmische Aufeinanderfolge der *beiden* Arten von Stromstößen heißt **faradischer Strom** oder Induktionsstrom. Da beim Stromschluß die magnetischen Kraftlinien aus der Primärspule herauswachsen, bei Unterbrechung zurückschrumpfen, somit in beiden Fällen die Bewegungsrichtung der Kraftlinien entgegengesetzt ist, haben Schließungs- und Öffnungsstrom eine verschiedene Richtung, *der faradische Strom ist ein Wechselstrom*.

Bei der Schließung und Öffnung wird stets die gleiche Elektrizitätsmenge induziert, *physikalisch* sind daher die beiden Stromstöße gleich wirksam, *physiologisch* hat aber der *Öffnungsschlag* eine *stärkere* Wirkung. Maßgebend dafür ist die **Unsymmetrie der beiden Schläge**, deren Kurvenform Abb. 107 unten zeigt. Der Schließungsschlag  $SS$  dauert länger als der Öffnungsschlag  $OeS$ ; die für beide Schläge gleiche Elektrizitätsmenge muß daher beim Schließungsschlag  $SS$  in *längerer*, beim Öffnungsschlag in *kürzerer* Zeit abfließen, weshalb der Öffnungsschlag eine größere Amplitude erreicht; auch ist beim letzteren die Anstiegssteilheit größer. Größere Amplitude und größere Anstiegssteilheit sind die Ursache der größeren physiologischen Wirkung des Öffnungsschlages. Die Unsymmetrie der beiden Induktionsschläge ist auf die *Selbstinduktion* in der Primärspule zurückzuführen. Ebenso wie in der Sekundärspule entstehen *auch in der Primärspule* Induktionsstöße („*Extrastrome*“ „*Selbstinduktionsströme*“), von denen der *Schlie-*

*βungsextrastrom* (Schließungs-Selbstinduktionsstrom) über die Batterie abfließen kann. Da er dem Primärstrom *entgegengesetzt* gerichtet ist, schwächt er diesen für die Dauer seines Fließens; wie Abb. 107 oben zeigt, erreicht daher der Primärstrom nur verzögert seine volle Stärke. Entsprechend der langsameren Entwicklung des Primärstromes bei der Einschaltung ist auch die Induktionswirkung verzögert und der Schließungsschlag in der *Sekundärspule* von längerer Dauer, von langsamerem Anstieg, aber auch von kleinerer Amplitude. Der *Öffnungsextrastrom* (Öffnungs-Selbstinduktionsstrom) kann gewöhnlich *nicht* fließen, da der Weg

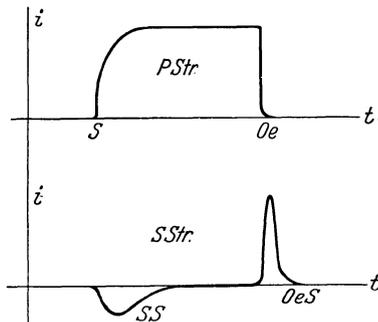


Abb. 107. Kurvenverlauf des Primärstromes (*PStr*) u. des Sekundärstromes (*SStr*) eines Induktoriums.

*S* Schließung, *Oe* Öffnung des primären Stromes; *SS* Schließungsschlag; *OeS* Öffnungsschlag.

über die Batterie *unterbrochen* ist; er beeinflusst daher den Primärstrom gewöhnlich nicht, der demnach bei Stromauschaltung *plötzlich* zusammenbricht (Abb. 107 oben) und den Öffnungsschlag in der *Sekundärspule* mit bloß kurzer Stromflußzeit, großer Anstiegssteilheit und großer Amplitude induziert. Zur Abnahme der Extraströme etwa für Reizzwecke sind am Schlittenapparat zwei besondere Klemmen *ESK* (Abb. 106) angebracht, welche eine Verbindung mit der Primärspule unter *Umgehung* des WAGNERSchen Hammers herstellen. Da Extraströme allerdings kaum mehr verwendet werden, sind diese Klemmen für eine *Stromableitung* ohne wesentliche Bedeutung; sie sind aber für die *Zuleitung* des Primärstromes dann wichtig, wenn der WAGNERSche Hammer zur Reizung mit *einzelnen* Induktionsschlägen ausgeschaltet bleiben muß.

Der in die Primärspule eingeschobene Eisenkern *EK* (Abb. 106) — der zur Verringerung der Wirbelströme aus einzelnen, gegeneinander durch einen Schellacküberzug isolierten Drähten besteht („unterteilter Eisenkern“) — konzentriert das magnetische Feld und erhöht die Induktionswirkung. Wird er ganz oder teilweise herausgezogen, so wird eine **Schwächung der Induktionsströme** erzielt. Ebenso kann eine Schwächung durch Verschieben der Sekundärspule im Schlitten von der Primärspule weg erfolgen, weil mit zunehmender Entfernung von der Primärspule immer weniger Kraftlinien die Sekundärspule schneiden. Eine weitere Schwächung des faradischen Stromes kann durch Verringern des

Der in die Primärspule eingeschobene Eisenkern *EK* (Abb. 106) — der zur Verringerung der Wirbelströme aus einzelnen, gegeneinander durch einen Schellacküberzug isolierten Drähten besteht („unterteilter Eisenkern“) — konzentriert das magnetische Feld und erhöht die Induktionswirkung. Wird er ganz oder teilweise herausgezogen, so wird eine **Schwächung der Induktionsströme** erzielt. Ebenso kann eine Schwächung durch Verschieben der Sekundärspule im Schlitten von der Primärspule weg erfolgen, weil mit zunehmender Entfernung von der Primärspule immer weniger Kraftlinien die Sekundärspule schneiden. Eine weitere Schwächung des faradischen Stromes kann durch Verringern des

Primärstromes durch Einschaltung eines Schiebewiderstandes in den Primärstromkreis erfolgen oder auch durch Verdrehen der aus dem Schlitten genommenen Sekundärspule gegen die primäre. Die gewöhnliche Stärkeregelung der Induktionsströme erfolgt durch *Verschieben* der Sekundärspule, wobei man die Reizstärke als *Rollenabstand* zwischen Primär- und Sekundärspule in Zentimetern — oder bei den Schlittenapparaten der Elektrotherapiegeräte in Graden des Einstellknopfes — angibt; allerdings sagen diese Zahlen nichts über die wirkliche Reizstromstärke aus und es besteht zwischen den Zentimetern Rollenabstand bzw. den Skalengraden und der Reizstärke keine geradlinige Beziehung.

Bei Reizung mit faradischen Strömen gerät ein Muskel in eine Dauerkontraktion (*Tetanus*). Um eine Einzelkontraktion (*Zuckung*) auszulösen, darf nur ein Einzelreiz, also nur ein Schließungs- oder Öffnungsschlag allein, den Muskel treffen; da dem Öffnungsschlag infolge seiner größeren Amplitude und größeren Anstiegsteilheit eine stärkere Reizwirkung als dem Schließungsschlag zukommt, werden zur Einzelreizung meistens Öffnungsschläge benützt.

Zur **tetanisierenden Reizung** mit faradischen Strömen wird daher der Primärstrom der Primärspule über die *unteren* Klemmen  $PSK_1$  und  $PSK_2$  (Abb. 106) zugeleitet und der WAGNERSche Hammer spielt; an die Sekundärklemmen  $SSK$  (Abb. 105) schließt man vorerst einen Stromschlüssel in *Kurzschlußschaltung* an, zu dem das Präparat parallel gelegt wird. Die Reizgebung erfolgt dann durch *Öffnen* dieses Kurzschlußschlüssels.

Zur **Reizung mit Einzelschlägen** darf der WAGNERSche Hammer *nicht* in Betrieb sein, Stromschluß und Stromunterbrechung im Primärkreis müssen vielmehr in langsamer Folge durch Bedienung des Schlüssels im Primärkreis (zweckmäßig eines Quecksilberschlüssels) mit der Hand bewirkt werden. Zur Umgehung des WAGNERSchen Hammers wird der Primärstrom daher der Primärspule bei den *oberen* Klemmen  $ESK$  (Abb. 106) zugeleitet.

Da häufig das Induktorium kurz nacheinander sowohl zur Einzelreizung als auch zur frequenten tetanisierenden Reizung gebraucht wird, ist es zweckmäßig, im Primärkreis von vornherein eine Umschaltvorrichtung vorzusehen. Als solche wird am besten eine Wippe oder ein Doppelschlüssel benützt, welche mit den Achsenklemmen an die Batterie angeschlossen werden, während je ein Paar der Seitenklemmen mit den *unteren* bzw. *oberen* Primärstromklemmen in Verbindung steht. Eine solche Schaltung ist in Abb. 29 bereits dargestellt worden.

Die Störungen, welche der oft launenhafte WAGNERSche Ham-

mer verursacht und auch die geringe Möglichkeit der Frequenzänderung haben zum Ersatz des faradischen Stromes durch **rhythmische Kondensatorentladungen** — vor allem für die Zwecke der Elektrotherapie und bei wissenschaftlichen Untersuchungen — geführt. Diese Entladungen werden nach Abb. 108 in der Weise erzeugt, daß ein Kondensator  $K$  von einer Gleichspannungsquelle  $GSQ$  über einen regelbaren hohen Widerstand  $W_a$  allmählich aufgeladen wird; parallel zu  $K$  liegt ein als Spannungsteiler geschalteter Entladungswiderstand  $W_e$  und ein elektrisches Ventil (Glimmröhre, Gastriode).

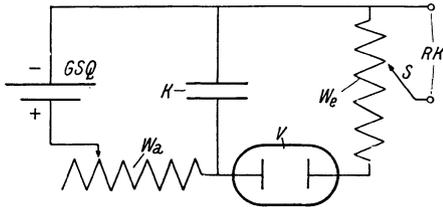


Abb. 108. Die Grundschaltung zur Erzeugung rhythmischer Kondensatorentladungen bei neuzeitlichen Elektrotherapiegeräten.

$GSQ$  Gleichspannungsquelle (100—150 V, meist Netzgleichrichter);  $K$  Kondensator;  $RK$  Abnahmeklemmen für den Reizstrom;  $S$  Schleifer des Spannungsteilers;  $V$  elektrisches Ventil (Glimmröhre, Gastriode);

$W_a$  Aufladewiderstand;  $W_e$  Entladungswiderstand (Spannungsteiler).

röhre, Gastriode). Bis zur sog. *Zündspannung* läßt das Ventil keine Ladung abfließen; ist aber die allmähliche Aufladung des Kondensators bis knapp über diesen Wert gediehen, so *ionisiert* das Ventil und leitet die Ladung schnell über  $W_e$  ab, worauf es dann infolge des Sinkens der Spannung am Kondensator wieder *sperrt* und sich das Spiel der Auf- und Entladung wiederholt („*Kipp-*

*schwingungen*“). Die Entladungsfrequenz ist durch die Größe von  $W_a$  einstellbar; die Stromstöße können im Nebenschluß von  $W_e$  bei den Reizstromklemmen  $RK$  abgenommen und durch die Stellung des Schleifers  $S$  in ihrer Stärke von null aus geregelt werden. Bei dieser Anordnung besteht der frequente Strom aus Stößen *gleichbleibender* Richtung; wird  $W_e$  durch eine Primärspule ersetzt, die mit einer verschieblichen Sekundärspule eisenlos gekoppelt ist, so werden Stromstöße mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung und praktisch symmetrischer Form erhalten (neuzeitliche Elektrotherapiegeräte). Zur Messung der Reizstromstärke können in den Reizkreis Gleichstrom- bzw. Wechselstrommilliamperemeter (je nach der Ankopplung des Präparates über einen Spannungsteiler oder eine Spule) eingeschaltet werden. Über die Vorteile solcher Geräte wurde schon früher auf S. 146 berichtet.

## Sachverzeichnis.

Zwischen ( ) gesetzte Seitenzahlen verweisen auf Seiten, welche Abbildungen zu dem betreffenden Schlagwort enthalten.

- ABBEscher Kondensator (2), 2.  
Abdominale Atmung 119.  
Abhorchstellen (Herztöne) (91), 94.  
Ableitung bioelektrischer Ströme 100, (101).  
Absorptionsspektra 31.  
Absteigende Ströme (139), 139.  
Abstimmung eines Hohlraumes (Resonanz) 174.  
Abströmen von Schall (Gehörgang) 170.  
Acetylcholinwirkung auf das Froschherz 87.  
— auf den Säugerdarm 137.  
Achse, optische 180, (181), (183), 183, (185), (187), (188), (189), (195), (197), (199).  
Achsenhypermetropie 198, (199).  
Achsenklemmen (Wippe) (238), 239.  
Achsenmyopie 198, (199).  
Adrenalinwirkung auf das Froschherz 88.  
— auf den Säugerdarm 137.  
Agglutinable Substanz 42.  
Agglutination 42.  
Agglutine 42.  
Akkommodation 194, 196, (197), 198, 199, 200, 201, 211.  
Akkommodationsbreite 196, 197, 202, 203.  
Akkommodationsgebiet 196, 198.  
Akkumulator 224, 225.  
Aktionsstrom 140.  
—, diphasischer 140.  
Aktionsströme des Froschherzens 97, 100.  
—, des Froschmuskels 140.  
Akzentuation der Herztöne 94.  
Albumine, Fällung 37.  
Alles-oder-Nichts-Gesetz 57.  
— am Herzen 83.  
Alterssichtigkeit 197, 208.  
Altersveränderungen am Auge 197.  
— der Hörgrenzen 165.  
Amöboide Bewegung 11, (11)  
Ampere 225.  
Amperemeter 234, (225), 236, (237).  
Anakroter Schenkel 109.  
Anelektrotonus 77.  
Anionen 219.  
Anode 58, 142, 219, 231.  
—, reelle 58, 142.  
—, virtuelle 58, 142, 149.  
Anodenbatterie 144.  
Anodenöffnungserregung 58.  
—, Ausbleiben 139.  
Anodenöffnungszuckung 148, 149.  
Anodenreizwirkung 58.  
Anodenschließungszuckung 148, 149.  
Anodische Beule 78, 79.  
Anordnung, doppeltabgewendete, zur Hörprüfung 164.  
—, halbabweigende, zur Hörprüfung 164.  
Anschlußapparat 145.  
Anstiegssteilheit 57.  
Antagonistenhemmung, reziproke 151, 152.  
Antagonisteninnervation, reziproke 154.  
Apnoe 121.  
Apparat, schalleitender 165, 171, 172.  
—, schallperzipierender 165, 171, 172.  
Apparatekoffer 102.  
Aräometer 41.  
Arbeitsleistung und Atmungsfrequenz 121.

- Arbeitsleistung und Blutdruck 113.  
— und Puls 107.  
Arbeitsreaktion des Muskels 135.  
Arrhythmie, respiratorische 107.  
ARGYLL ROBERTSONSches Phänomen 153.  
Astigmatismus 190, 204.  
—, Erkennung 205.  
— gegen die Regel 205.  
—, gerader 204.  
—, irregulärer 204.  
— nach der Regel 205.  
—, regulärer 204.  
—, schiefer 204.  
Atemgeräusche 93.  
Atmen, bronchiales 93.  
—, vesikuläres 93.  
Atmung, abdominale 119.  
—, thorakale 119.  
Atmungsbewegungen beim Menschen 119.  
Atmungsfrequenz in Ruhe 119.  
— und Arbeitsleistung 121.  
Atmungskurve 121.  
Atrio-ventrikulärer Rhythmus 68.  
Atropin (Pupillenerweiterung) 213.  
Aufhellungsmittel für Mikroskopie:  
  Caedax 8.  
  Dammarharz 8.  
  Glyzerin 117, 118.  
  Kanadabalsam 8.  
  Wasser 30.  
  Zedernöl 117.  
Auflichtbeleuchtung 117 (118).  
Auflösungsvermögen (Retina) 207.  
Aufmerksamkeit, Rolle bei Reflexprüfung 151.  
Aufsteigende Ströme (139), 139.  
Auge, akkommodationsloses 194, (195) (197), 199, 207, 210, 212.  
— Bildgröße auf der Retina 195, (197).  
—, Blutströmung 213.  
—, emmetropes 194, (195), 196, (197), (199), 204, (210), 210, (211)  
—, Gefäßschattenfigur 209.  
—, hypermetropes 198, (199), 204.  
—, hypermetropes beim Kaninchen 213.  
—, myopes 198, (199), 204, 212.  
—, optische Verhältnisse 193, (195), (197).  
Auge, presbyopes 197.  
—, reduziertes 194, (197), (201), (210), (211).  
—, reduziertes, Bildkonstruktion 195, (197), (201), (210), (211).  
—, Schärftiefe 153, 194, 207, 208.  
—, schematisches 194, (195).  
—, —, Bildkonstruktion 194, (195).  
Augenhintergrund 210, 212, 213, 214, (215).  
Augenspiegel 209.  
—, reflexfreier nach THORNER 214.  
Augenspiegeln beim Frosch 212, (213).  
— beim Kaninchen (213), 213.  
— beim Menschen 213.  
— im aufrechten Bild (210), 210, 213.  
— im aufrechten Bild, Konstruktion (210), 210.  
— im verkehrten Bild (211), 211, (213), 213, 214, (214).  
— — — bei hoher Myopie 212.  
— — —, Konstruktion (211), 211.  
—, Vergrößerung 214, 215.  
Ausbohren des Rückenmarkes (Frosch) 61.  
Auskultation 92.  
Auskultatorische Blutdruckmessung (112), 113.  
Ausschleichen 57, 131, 244.  
Ballonhaut 20.  
BÁRANYscher Zeigeversuch 177.  
Batteriekabel 102.  
Batteriekoffer 102.  
Belastbarkeit eines Widerstandes 234.  
Beleuchtung, diasklerale 209.  
Betäubung des Frosches 60.  
Beugereflex, homolateraler 154.  
Beule, anodische 79.  
—, postkathodische 80.  
Beutelement 223, 225.  
Bewegung, amöboide 11.  
Bicepsreflex 152.  
Bild, imaginäres (187), 187, (188), 188.  
—, reelles 186, (187), 187.  
Bildgröße auf der Retina 195, (197).  
Bildkonstruktion bei Linsen 186, (187), (188), 188, (189).  
Binaurales Hören 163.

- Bleiakкумулятор 224, 225.  
 Blenden, Sehen durch enge 207.  
 Blut, spezifisches Gewicht 40.  
 —, Zusammensetzung 1.  
 Blutausstrich, Dunkelfeld 13.  
 —, Einschließen 9.  
 —, Färbung 8.  
 —, Fixation 8.  
 —, gefärbter 8.  
 —, Herstellung 4, (5).  
 —, ungefärbter 4.  
 — vom Menschen 5, (6).  
 — vom Frosch (6), 7.  
 Blutdruck 110.  
 — und Arbeitsleistung 113.  
 —, diastolischer 111.  
 —, systolischer 111.  
 Blutdruckmessung 111, (112).  
 —, auskultatorische 112, 113.  
 —, palpatorische 112.  
 Blutgerinnung 38.  
 — Schema (39).  
 Blutgewinnung 1.  
 Blutgruppe, Bestimmung 42, 144.  
 Blütgruppenbestimmung, Ausfall 44,  
 46, (48).  
 Blutgruppenverteilung 43.  
 Blutkörperchen, rote, des Frosches  
 (6), 7, (11).  
 —, rote, des Menschen 5, (6).  
 —, rote, Zählung 17.  
 —, weiße, des Frosches (6), 8, 10,  
 (11).  
 —, —, weiße, des Menschen (6), 7,  
 10.  
 —, —, Zählung 18.  
 Blutkreislauf beim Frosch, Beob-  
 achtung 114.  
 — im Froschmesenterium 115.  
 — in der Froschschwimmhaut 114.  
 — in der Froschschnauze (114), 115.  
 Blutnachweis, gerichtlich-medizi-  
 nischer 29.  
 Blutplättchen (6), 7.  
 Blutschatten 21.  
 Blutserum, Untersuchung auf Ei-  
 weiß 36.  
 Blutströmung im Auge 213.  
 Bluttransfusion 47, (49), 49.  
 —, Übertragungsschema 48, (49).  
 Blutungszeit, Bestimmung 40.  
 Bogengang, Modell des 177.  
 —, waagerechter 176, 177.  
 Bogenlampe 117.  
 Bogenminute als Grenzwinkel 206.  
 Bowditchsche Uhr 55, 134.  
 Brechkraft 192.  
 —, Bestimmung durch Brennweiten-  
 messung 192.  
 —, — Kompensationsverfahren 192.  
 Brechungsgesetz (SNELLIUS) 180.  
 Brechungshypermetropie 198.  
 Brechungsindex 180.  
 Brechungsmypopie 198.  
 Brechungswinkel 179, (179).  
 Brennebene 181, (183), 183, (189).  
 Brennlinie 189, (191).  
 —, imaginäre 190, (191).  
 Brennpunkt 180, (181), 181, 182,  
 (183), 183, 184, (185), 186, (187),  
 187, (188), 188, (189), 189, 194,  
 (195), (197).  
 —, imaginärer 186, (188), 188.  
 Brennpunkte bei beidseitig unglei-  
 chem Medium 180, (181), 181,  
 (183), (184), 184, 194.  
 Brennweite 182, (183), 184, (184).  
 Brennweiten bei beidseitig unglei-  
 chen Medien (181), 182, (183),  
 184, (184).  
 Bronchiales Atmen 93.  
 BRONDGEESTscher Reflextonus 155.  
 BROWNSche Wimmelbewegung 14.  
 BROWNING, Spektroskop (33), 33.  
 Brückenverfahren zur Spannungs-  
 messung 247, (248).  
 Brustkorb, Orientierung 89, (91).  
 BUNSENSches Spektroskop 31, (32).  
 Chlorhämmin 24, 25, 26, 28.  
 Chlorhäminkristalle 28.  
 Chronaxie 57, 150.  
 —, Meßmethoden 150.  
 Chronoskop 157.  
 Ciliarmuskel 196.  
 CORTISche Membran 162.  
 Cranio-labyrinthäre Leitung 163,  
 170.  
 — -tympanale Leitung 163.  
 Crownnglas 33.  
 Cupula, Ablenkung 177.  
 Curare 60.  
 D-Linien (34), 35.  
 Darmbewegungen 136.

- Dauerkontraktion 59, 76.  
 — bei Reflexen 151.  
 Dauerwirkungen des galvanischen Stromes 58.  
 Deckfarbe 21.  
 Dekapitieren des Frosches 61.  
 Dermographismus 154.  
 Diastole (Froschherz) 63.  
 Diastolischer Blutdruck 112, 113.  
 — Herzton 94.  
 Diasklerale Beleuchtung 209.  
 Diathermie 221, 223.  
 Differente Elektrode 79, (141), 142, 146, 148.  
 Differentialzählung 9.  
 Dikrote Erhebung 109.  
 Dioptrie 192.  
 Direkte Reizung 59.  
 Dissoziation 218.  
 Doppelschlüssel 239.  
 —, Schaltungen 239, (240), 241.  
 Doppelabgewendete Anordnung zur Hörprüfung 164.  
 Dosenmanometer 111.  
 Dosieren eines Stromes 244.  
 Drehnystagmus 176.  
 Drehspulenteinstrumente 236.  
 Drehstuhl 176.  
 Druck, unterschwelliger 161.  
 Druckpunkte 161.  
 Dunkelfeldbeleuchtung 12.  
 Dunkelfeldkondensator 13.  
 Dynamomaschine 222.  
  
 Effektor 150.  
 Eich-tabelle zur GALTON-Pfeife 168.  
 Eichung (Elektrokardiogramm) 104.  
 Eigenbewegung glatter Muskeln 136.  
 Eigenreflexe 151.  
 Eigenschwingung 173.  
 Eigenvergrößerung von Objektiven und Okularen 4.  
 Einfaches optisches System 182, (183).  
 Einfallswinkel 179, (179).  
 Einschleichen 57, 131, 244.  
 Einstich zur Blutgewinnung 1.  
 Einzelreizung 253.  
 Eisenbahnnystagmus 176.  
 Eisenkern, unterteilter 252.  
 Eisringer 72.  
 Eiweißfällung im Blutserum 36.  
 Eiweißfenster 21.  
  
 Elektrische Energie 226.  
 Elektrisiermaschine 222.  
 Elektrizitätsmenge 225.  
 Elektroaudiograph 95, 102, (103).  
 —, Schaltplatte (103), 103.  
 Elektrode, differente 79, (141), 142.  
 —, indifferente 79, (141), 142, 146, 148.  
 Elektroden, reelle 142.  
 —, unpolarisierbare (78), 78.  
 —, —, Anfertigung (78), 78.  
 —, virtuelle 142.  
 Elektrokardiogramm 101, (104).  
 —, Ableitung 101, (102).  
 —, Ableitungen (102), 102.  
 —, Verzitterung 101.  
 —, Aufnahme 105.  
 —, Auswertung 106.  
 Elektrolyse 219.  
 —, Änderung der H-Ionenkonzentration 231.  
 Elektrolyt 219.  
 Elektromotorische Kraft 225.  
 — —, Messung (Brückenverfahren) 247, (248).  
 — —, — (Kompensationsverfahren) 245, (246).  
 — —, — (Voltmeter) 236, (237).  
 Elektron 218.  
 Elektronenleiter 218, 219.  
 Elektrotherapiegeräte, neuzeitliche 254.  
 Elektrophor 22.  
 Elektrotonus 77.  
 — am Froschherzen (78), 78.  
 — am Froschnerven 139.  
 Elementarladung 218.  
 Element, konstantes 223.  
 —, inkonstantes 223.  
 Elemente, galvanische 138, 223.  
 —, Schaltung 228.  
 Elementpole, äußere 223.  
 Emissionsspekttra 31.  
 Empfindlichkeit von Meßinstrumenten 237.  
 Empfindungsfläche 162.  
 Endolymph, Trägheit 177.  
 Endoskopielämpchen, Einschaltung 233.  
 Energie, elektrische 226.  
 Energieübertragung durch Resonanz 174.  
 Entartungsreaktion 149.

- Entladung eines Akkumulators 224.  
 Erdschluß 144, 145, 230.  
 Erdschlußfreiheit 230.  
 Erfolgsorgan 150.  
 Erholung des Muskels 134.  
 Ermüdungskurve des Muskels 134.  
 Erregbarkeitsänderungen, elektrotonische 58, 77, 139, 220.  
 Erregungsablauf, rückläufiger 67.  
 Erregungsgesetz, polares 58.  
 Erregungsspielraum 57.  
 Erythrozyten des Menschen 1, 5, (6), 8, 14, 20, 22, 23, 43, (44), 48.  
 —, Resistenz gegen Hypotonie 22.  
 —, Schrumpfformen 20.  
 —, Zählung 17.  
 Erythrozytenmembran 20.  
 Extrastrome 251.  
 Extrastromklemmen (250), 252.  
 Extrasystolen 81, (82).
- Faradisation 75, 83, (87), 87, 133, 135, 145, 146, 155, 253.  
 Faradische Reizung beim Menschen 144, 146.  
 — — eines Muskels 75.  
 Faradischer Strom 251.  
 Farbenzerstreuung 30.  
 Färbeindex 25, 28.  
 Färbung nach PAPPENHEIM 8.  
 Fehler, parallaxtischer 114.  
 Fernpunkt 196, 198, (199), 203, 204.  
 Femur (Frosch) 127, (129).  
 Fingerplethysmograph (110), 110.  
 Flintglas 33.  
 Fluoreszenzschirm 95.  
 Flüstersprache 164.  
 —, akzentuierte 164.  
 Förderung, elektrotonische 77, 139.  
 FRAUNHOFERSche Linien 31, (34), 34.  
 Fraktionierte Eiweißfällung 37.  
 FRENKEL, Holzprisma 159.  
 —, Stöpselbrett 159, 160.  
 Frenulum (Froschherz) 63.  
 Fremdreflexe 151, 155.  
 Frontlinse des mikroskopischen Objektivs 3.  
 Frosch, Betäubung und Tötung 60.  
 Froschhaut, Sekret 60, 124.  
 Froschherz (62), 62.  
 —, Freilegung 61, (62).
- Froschherz, Temperatureinfluß 64, 69, (71), (73).  
 Froschmesenterium 115.  
 Froschrückenlymphsack 11, 61, 135.  
 Froschschwimmhaut 114.  
 Froschzunge (114), 115.  
 Funkenstreckensender 223.
- GALTON-Pfeifen 167, (168), 168, (169), 169.  
 GALVANI 138.  
 Galvanisation 145, 148.  
 Galvanische Pinzette 137.  
 — Reizung am Menschen 144.  
 — — eines Muskels 74.  
 — — in situ 58.  
 Galvanofaradisation 145.  
 Ganglienzellen 151.  
 Gansättigung (Eiweißfällung) 37.  
 Gastriode 146, 254.  
 Gefäßreflex 154.  
 Gefäßschattenfigur im Auge 209.  
 Gegenspannung 220.  
 Gehörgang, äußerer, Schallverlust 170, 171, 172.  
 Gerinnungszeit des Blutes, Bestimmung 39.  
 Gesichtsfeld 215, (216).  
 GIEMSA-Lösung 8.  
 Gläser, Untersuchung 190.  
 Glatte Muskeln 136.  
 Gleichrichter 145, 222.  
 Gleichstrom, Erkennung 231.  
 — inkonstanter 220, (221), 223.  
 — konstanter 220, (221), 223.  
 —, zerhackter 251.  
 Gleichströme 220, (221), 222.  
 Glimmröhre 146, 254.  
 Globuline, Fällung 37.  
 Glühdraht 233.  
 Glycerin 117.  
 GOLTZscher Klopfversuch 63.  
 Grammkalorien je Wattsekunde 226.  
 Grasfrosch, braungrüner 154.  
 Grenzfläche zwischen optischen Medien 178, (179), 180, (181).  
 Grenzpfleifen 167, (168), 168, (169), 169.  
 Grenzwinkel der Sehschärfe 206.  
 Größe der Erregbarkeit 142, 149.  
 GUTZMANN, Pneumograph 119.
- Halbabgewendete Anordnung zur Hörprüfung 164.

- Halbsättigung (Eiweißfällung) 37.  
 Halbwelle 221.  
 Hämoglobinbestimmung 23, 26.  
 Hämoklonien 1, 12.  
 Hämolyse 21.  
 Hämometer nach SAHLI 24.  
 —, ZEISS-IKON 26, (27, 28).  
 Handspektroskop (33), 33.  
 Hauptebene 182, (183), 186, (187),  
 187, (188).  
 Hauptebenen (184), 184, 188 (189).  
 Hauptmeridiane beim Astigmatismus 204.  
 Hauptpunkt 186, (187), 187, (188),  
 188.  
 Hauptpunkte 183, (184), 184, 188,  
 (189), 194, (195).  
 Haut, Sinnesstellen 161.  
 Hautrundschnitt zur Freilegung  
 des Froschherzens (61), 61.  
 Hemmung, elektrotonische 77, 139.  
 — von Reflexen 151.  
 Herz, Wirkung von Kälte und  
 Wärme 64, 69, (71), (73).  
 Herzbewegungen, Aufzeichnung (80)  
 81.  
 Herzbrettchen 80, (81).  
 Herzdämpfung, absolute 90, (91), 91.  
 —, relative (91), 91, 92.  
 Herzgeräusche 94.  
 Herzklammer (81), 81.  
 Herz-Lungen-Präparat beim Frosch  
 (86), 86.  
 Herzmuskel, Alles-oder-Nichts-Ge-  
 setz 83.  
 —, elektrische Reizung 80, 83.  
 —, Nichttetanisierbarkeit 84.  
 —, Refraktärzeit 82.  
 Herznerven, Wirkung 85.  
 Herzspitzenstoß (91), 91.  
 Herzfähigkeit, Stillebung 83.  
 —, Veränderung bei Arbeitsleistung  
 95, 107, 109, 113.  
 Herzton, diastolischer 94.  
 —, systolischer 94.  
 Herztöne 84, (104), 105.  
 —, Abhorchstellen (91), 94.  
 —, Akzentuation 94.  
 Hintereinanderschaltung (Ele-  
 mente) 228.  
 Hinterwurzel durchschneidung 155.  
 Hitzekoagulation des Bluteserums 38.  
 Hochfrequenz 221.  
 Hochfrequenz, Erzeugung 223.  
 Hochfrequenzströme, Wärmewir-  
 kung 221.  
 Hohlraum, Abstimmung 174.  
 Holzprisma nach FRENKEL 159.  
 Homolateraler Beugereflex 154.  
 Homozentritätsgesetz 182.  
 Hören, binaurales 163.  
 Hörgrenzen 165.  
 Hörgrenze, obere, Bestimmung mit  
 GALTON-Pfeifen 169.  
 —, —, Bestimmung mit KÖNIGSchen  
 — Stäben 166.  
 —, untere, Bestimmung 165.  
 Hörlücken 163, 172.  
 Hörprüfung mit der Flüstersprache  
 164.  
 — mit der Umgangssprache 163.  
 —, Testwörter 164.  
 Hörweite 163.  
 — für Sprache 164.  
 — Herabsetzung 170.  
 HUTCHINSONSches Spirometer (122),  
 122.  
 Hypermetropie 198, (199), 204.  
 Hypertonische Kochsalzlösung 20.  
 Hypotonische Kochsalzlösung 20.  
 Hysterie, Fehlen des Kornealreflexes  
 152.  
 Hz 221.  
 Indifferente Elektrode 79, (141),  
 142, 146, 148.  
 Indirekte Reizung 58.  
 Induktion, magnetische 230, 251.  
 Induktionsströme, Schwächung 252.  
 Induktorium, medizinisches 76, 81,  
 83, 84, 86, 132, 133, 134, 135,  
 144, 147, 154, 222, 223, (250),  
 250, 251, 252.  
 Innenohrschwerhörigkeit 165.  
 Interferenz von Schallschwingungen  
 175.  
 Ionen 218.  
 Ionenleiter 218, 219.  
 Ionensiebe 220.  
 Ionenstauung 220.  
 Iris 207.  
 Irisblende 207.  
 Isoagglutinine 89.  
 Isolatoren 218.  
 Isotonische Kochsalzlösung 20.  
 Isotonische Harnstofflösung 21.

- JAVAL-SCHIÖTZ**, Ophthalmometer 205.  
**JENDRASSIKScher** Kunstgriff 152.  
**Kältepunkte** 161.  
**Kältewirkung** am Froschherzen 64, (71), 72.  
**Kapillaren** der Haut 117, (119).  
**Kapillarelektrometer** 97, (98), (99), (100).  
 —, **Aufstellung** 98, (99).  
**Kapillarerweiterung** reflektorische 154.  
**Kardinalpunkte** 183, 194, (195), (197).  
 — **des Auges** 194, (195).  
**Karotispuls**, **Aufzeichnung** 109.  
**Katakroter Schenkel** 109.  
**Katelektrotonus** 77.  
**Kathode** 58, 142, 219, 231.  
 —, **reelle** 58, 142.  
 —, **virtuelle** 58, 142, 149.  
**Kathodenöffnungszuckung** 148.  
**Kathodenreizwirkung** 58.  
**Kathodenschließungsregung** 58.  
**Kathodenschließungstetanus** 58, 148  
**Kathodenschließungszuckung** 148, 149.  
**Kationen** 219.  
**Keratoskop** 205.  
**kHz** 221.  
**Kilowattstunde** 226.  
**Kippschwingungen** 254.  
**KIRCHHOFFSches** Verzweigungsgesetz (249), 249.  
**Klangerscheinungen**, **sekundäre** 175.  
**Klangfarbe** der Stethoskope 93.  
**Klappentöne** (Herz) 94.  
**Klingeltransformator** 230, (235).  
**Kniebeugen** als Arbeitsleistung 107, 113, 121.  
**Kniehakenversuch** 159.  
**Knochenleitung** 162, 170, 171, 172.  
 —, **verkürzte** 171.  
**Knotenpunkt** 180, (181), (182), 182, (185), 186, 194, (195), (197).  
**Kochsalzlösung**, **hypertonische** 20.  
 —, **hypotonische** 20.  
 —, **isotonische** (Frosch) 20.  
 —, — (Mensch) 20.  
**Kohlenoxydhämoglobin**, **Herstellung** 36.  
**Kohlenoxydhämoglobinspektrum** (34), 34, 36.  
 —, **Reduktionsversuch** 36.  
**Kollimatorrohr** 31, (32), (33), 33.  
**Kombinationen** von Linsen 192.  
 — — **sphär.** und **zyl.** Linsen 192.  
**Kommutator** (232), 232.  
**Kompensationsmethode** zur Dioptrienbestimmung 192.  
**Kompensationsverfahren** zur Spannungsmessung 245, (246).  
**Kompensatorische Pause** (82), 82.  
**Komplementärluft** (122), 122.  
**Kondensatorentladung** (Chronaxie) 150.  
 —, **rhythmische** 146, (254), 254.  
**KÖNIGSche** Stäbe 166.  
**Konjugierte Punkte** 182, (183), 183.  
**Konkavlinse** 186, (188), 190, 192.  
 —, **Erkennung** 190.  
**Konkavlinse**, **Bildkonstruktion** (188), 188.  
 —, **Brechkraftbestimmung** 192.  
**Konsensuelle Pupillenreaktion** 153.  
**Kontaktglas** 204.  
**Kontraktion**, **isotonische** 130, (131).  
**Konvektionsstrom** 218, 219.  
**Konvergenzreaktion** der Augen 153.  
**Konvexlinse** 186, (187), 190, 192.  
 —, **allgemeines optisches Schema** 188, (189).  
 —, **Erkennung** 190.  
**Konvexlinsen**, **Bildkonstruktion** 186, (187), (189).  
 —, **Brechkraftbestimmung** 192.  
**Konvexspiegel** 205.  
**Koordination** der Muskelbewegungen 159.  
**Kornealreflex** 152.  
**Körperschallmikrophon** 95, 105.  
**Kraft**, **elektromotorische** 225.  
**Kreuzbein** (Frosch) (126), 126.  
**Kurarisierung** 135.  
**Kurzschluß** 228.  
**Kurzschlußschaltung** 227, (249), 249, 253.  
 — **mit Stromschlüssel** (249), 249.  
**Kurven**, **Fixieren** 52.  
**Kurzwellen** 221, 223.  
**Kymographion** 50, (51).  
**Kymographiontrommel**, **Berussen** 52.  
 —, **Bespannen** 51, (53).

- Labium (GALTON-Pfeife) 167.  
 Labyrinthreizung 176.  
 Lackfarbe 21.  
 Lackmuspapier zur Polbestimmung 231.  
 Ladung, elektrische 218.  
 — eines Akkumulators 224.  
 — negative 218.  
 — positive 218.  
 Latenzzeit 59.  
 Lateralisierung der Schallempfindung 171.  
 LEBLANCHÉ-Element 223, 225.  
 Leiter 218, 225.  
 — erster Klasse 218.  
 — gute 225.  
 — schlechte 225.  
 — zweiter Klasse 218.  
 Leitfähigkeit 225.  
 Leitung, cranio-tympanale 163.  
 —, cranio-labyrinthäre 163, 170.  
 Leitungsstrom 218.  
 Leukozyten (6), 7, 10.  
 —, basophile 10.  
 —, eosinophile 10.  
 —, mononukleäre 10.  
 —, neutrophile 10.  
 Leukozytenbewegung, Beobachtung beim Frosch 10, (11).  
 Leukozytenformen beim Menschen 10.  
 Licht, monochromatisches 35.  
 Lichtdolch 117.  
 Lichtstarre der Pupille 153.  
 Linienspektrum 30.  
 Linse, optische 185.  
 Linsen, sphärische 186, 190.  
 —, zylindrische 188, (191), 191.  
 Linsendicke, Einfluß 188, (189).  
 Linsenwölbung bei der Akkommodation 196.  
 Lipoidfenster 21.  
 Lochblende 204, 208.  
 Lösungstension 223.  
 Luftsauerstoff-Batterie 224.  
 Luftleitung 162, 170, 171, 172.  
 —, verkürzte 172.  
 Lungen-Leber-Grenze, Perkussion 90.  
 Lungengeräusche 93.  
 Lymphherzen, coccygeale beim Frosch (65), 65.  
 —, —, Stilllegung 66.  
 Lymphozyten 7, 10.  
 Magenblase (96), 96.  
 Manometer 111, (112).  
 MAREYSche Kapsel (108), 108, 120.  
 Maulweite (GALTON-Pfeife) 167.  
 MAY-GRÜNWARD-Lösung 8.  
 Mechanische Reizung des Nerven 137.  
 Medioklavikularlinie 89.  
 Medium, optisches, mit verschiedener Dichte 178, (179), 179, (181) 182, (183), 194.  
 Meßdraht (241), 241, (242), 242, (243), 243, 244.  
 Meßinstrumente 235.  
 —, Empfindlichkeit 237.  
 —, Meßbereich 237.  
 —, Polbezeichnung 236.  
 —, Schaltung 234, (235), 236, (237).  
 Meßokular 99.  
 Metallionen, positive 218.  
 Metronom 55.  
 Mikrometerschraube (2), 2.  
 Mikroskop 1, (2).  
 —, Berechnung der Vergrößerung 4.  
 —, Einstellen der Beleuchtung 2.  
 —, Feineinstellung (2), 2.  
 —, Grobeinstellung (2), 2.  
 —, Irisblende (2), 2.  
 —, Prüfung auf Verschmutzung 4.  
 Milchsäurebildung im Muskel 135.  
 Milliampere 225.  
 Milliamperemeter 236.  
 Mindestzeit 57.  
 Minimalzeit 57, 149.  
 Mischpipette 15, (16).  
 —, Reinigung 15.  
 Mitschwingen, erzwungenes 173.  
 —, freiwilliges 174.  
 Mittelohrschwerhörigkeit 165.  
 Monozyten 7, 10.  
 Motorische Reizpunkte 141, (143) (144).  
 MÜLLERScher Versuch 97.  
 Muskel, Erregung 59, 74.  
 Muskeln am Froschschenkel (127), 127.  
 —, glatte 136.  
 Muskelpräparat 123, 128.  
 —, Herstellung (124), 124, (125), (126), (127), (128), (129).  
 Muskelreizpunkte 141, (143), (144), 147, 148.  
 Muskelreizung 123, 132, 133, 134.

- Muskelspindeln 150, 151, 152.  
 Muskelton (Herz) 94.  
 Myopie 198, (199), 204, 212.  
 —, künstliche 203.  
 Nachnystagmus 177.  
 Nagelfalz, Kapillaren 117, (119).  
 Nahpunkt 196, 198, 201, 202, 203.  
 Nahpunktbestimmung 201, 202.  
 Naphtholgrünfilter 119.  
 Narkose des Frosches 60.  
 Nasenspitzen-Zeigeversuch 159.  
 Natriumlicht 35.  
 Nebeneinanderschaltung (Elemente) 229.  
 Nebenschlußschaltung zur Spannungsteilung 241, (242), 242, (243), 243, 244, (245), 245.  
 Nerv, Erregung 137.  
 — -Muskel-Präparat 123, 127.  
 — — —, Herstellung (124), 124, (125), (126), (127), (128).  
 Nervenreizpunkte 141, (143), (144), 147, 148.  
 Nervenreizung, osmotische 137.  
 —, mechanische 125, 137.  
 — mit galvanischer Pinzette 137.  
 Nervenwurzeln, Freilegung 124, (125), 156.  
 Nerv. ischiadicus (Frosch) 124, (125), (126), (128), (129).  
 — —, Durchschneidung bei Reflextonus 156.  
 Nervus opticus 210, 213, (215).  
 Nerv-Unterschenkel-Präparat 127, 137, 138, 140.  
 Neuron, peripheres motorisches 149, 151.  
 —, zentrales 151.  
 Nichtleiter 218.  
 Nichttetanisierbarkeit des Herzmuskels 84.  
 Niederfrequenz 221.  
 Niedervoltage 102.  
 Niedervoltlämpchen, Einschaltung (233), 233, (235), 235, (237).  
 Nullpunktverfahren 246, 248.  
 Nutzzeit 149.  
 Nystagmus 175, 176, 177.  
 —, Dreh- 176.  
 —, Eisenbahn- 176.  
 —, physiologischer 176.  
 Objektive, mikroskopische 2, (2), 3, 4.  
 Objektträger für Dunkelfeldbeleuchtung 13.  
 Öffnungsextrastrom 252.  
 Öffnungsinduktionsstrom 251, (252), 252.  
 Öffnungs-Selbstinduktionsstrom 252.  
 Öffnungsschlag 251, (252), 252, 253.  
 Öffnungszuckung 130, 148.  
 Ohm 225.  
 OHMSches Gesetz 225.  
 Ohr, Funktionsprüfung mit Flüstersprache 164.  
 —, — mit Taschenuhr 163.  
 —, — mit Umgangssprache 163.  
 Ohroliven 93, 163, 170.  
 Okulare, mikroskopische 2, (2), 4..  
 Optisch-photographische Registrierung 50.  
 Omnicurrent 146.  
 Ophthalmometer 205.  
 Optisches System, einfaches 182, (183).  
 — — zusammengesetztes 183, (184) 184, 186.  
 Orientierung am Brustkorb 89.  
 Oxyhämoglobinspektrum 34, (34), 35, 36.  
 —, Abhängigkeit von der Konzentration 35.  
 —, Reduktionsversuch 36.  
 Palpatorische Blutdruckmessung (112), 112.  
 Pantostat 145.  
 Papille 210, 213, 214, (215).  
 PAPPENHEIM, Färbung nach 8.  
 Parallaktischer Fehler 114.  
 Parallele Strahlen, Brechung durch eine Linse 181.  
 Parallelschaltung (Elemente) 229.  
 Parasternallinie 89.  
 Patientenkabel 103.  
 Pause, kompensatorische (82), 82.  
 Pendel (Chronaxiemesung) 150.  
 Perimeter 215.  
 —, selbstregistrierendes 216.  
 Periode (221), 221.  
 Perilymphe 162.  
 Perizyten 118.  
 Perkussion 88.  
 Perkussionsfinger 88.  
 Perkussionserschall 89.

- Pfeifenlänge (GALTON-Pfeife) 167, 168, 169.  
 PFLÜGERSches Zuckungsgesetz 58, 138, (138).  
 pH-Verschiebung im Muskel 135.  
 Phagozytose 12.  
 Phenolrot 135.  
 Phenolphthaleinpapier zur Polbestimmung 231.  
 Pigmentzellen beim Frosch 114.  
 Pinzette, galvanische 137.  
 Pipette, bakteriologische 23.  
 PLACIDO, Keratoskop 205.  
 Planglas 186, 190.  
 —, Erkennung 190.  
 Planglaswirkung von Linsenkombinationen 192, 193.  
 Plasma, Gewinnung für die Blutgruppenbestimmung (45), 45, (47).  
 Plessimeterfinger 88.  
 Plexus lumbalis 124, (125), 156.  
 Plethysmograph 110.  
 Pneumatische Übertragung 108, 119.  
 Pneumograph 119, (120).  
 Polares Erregungsgesetz 58.  
 Polarisation 219.  
 — an Grenze von Ionen- und Elektronenleitern 219.  
 Polarisationsstrom 58, 219, 223.  
 Polarisierender Strom 58, 219.  
 Polbestimmung 231.  
 Polbezeichnung bei Meßinstrumenten 236.  
 Polreagenspapier 231.  
 Postkathodische Beule 78, 80.  
 Potential 242.  
 Potentialdifferenz 225.  
 Präparierbesteck 60.  
 Presbyopie 197, 208.  
 Presbyopenbrille 208.  
 Preßdruckprobe 97.  
 Primärkreis 227, 253.  
 Primärspule 222, 230, 250, 253.  
 Primärstrom 250, 251, (252), 252.  
 Primärstromklemmen (250), 250, 253.  
 Primärtöne 175.  
 Prisma 186, 191.  
 Progressive Paralyse (Lichtstarre) 153.  
 Prismenglas, Erkennung 191, 192.  
 Pseudoagglutination 45.  
 Pseudopodien 10.  
 Puls und Arbeitsleistung 107.  
 —, Aufzeichnung 107.  
 Puls, Palpation 107.  
 Pulsdruckamplitude 111.  
 Pulsqualitäten 107.  
 Punkte, konjugierte, 182, (183), 183.  
 Pupillarreflex 153.  
 Pupille 153.  
 Pupillenerweiterung durch Atropin 213.  
 Pupillenreaktion bei Akkommodation 153.  
 —, konsensuelle 152.  
 Quecksilbermanometer 111, (112).  
 Quecksilberschlüssel 227.  
 Rana esculenta, Besonderheiten 78, 154.  
 — temporaria, Besonderheiten 78, 154.  
 Reaktionsreiz 158.  
 Reaktionszeit 156.  
 Rechteckstoß 57.  
 v. RECKLINGHAUSEN, Blutdruckmesser 111.  
 Reduziertes Hämoglobin, Spektrum (34), 34, 36.  
 Reduziertes Auge 194, (197), (210), (211).  
 Reelle Elektroden 142.  
 Refraktärzeit des Herzens 82.  
 — —, Nachweis 84.  
 Refraktion, dynamische 196, 198, 202.  
 — statische 196.  
 Refraktionsanomalien 198, (199), 203, 204, 207, 208, 210, 211, 212, 213.  
 Refraktionsbestimmung, objektive 210.  
 Reflex 150.  
 Reflexe, angeborene 151.  
 —, bedingte 151.  
 —, heterozeptive 151.  
 —, propiozeptive 151.  
 Reflexauslösung, elektrische 154.  
 — mechanische 152, 154.  
 Reflexbogen 150.  
 Reflextonus 155.  
 Reflexzeit 151.

- Registrierung 49, (53).  
 Reibungselektrizität 222.  
 Reiz, maximaler 57.  
 —, übermaximaler 57.  
 —, überschwelliger 57..  
 —, unterschwelliger 57.  
 Reizelektrode 142, 146, 148.  
 Reizelektrodenpaar (86), 87.  
 Reizgesetze, allgemeine 56.  
 Reizpunkte, motorische 141, (143),  
 (144).  
 Reizschreiber 54.  
 —, richtiges Anlegen an die Trommel  
 (53), 53.  
 Reizschreibung 54, (55), (82), (87).  
 Reizschwelle 57.  
 — für Drucke 161.  
 Reizspannung 130.  
 Reizung, direkte 59.  
 —, faradische 144, 146.  
 —, —, beim Menschen 141, 146.  
 —, galvanische 144.  
 —, —, beim Menschen 141, 144, 148.  
 —, indirekte 58.  
 —, in situ 141.  
 — mit Teilspannung 244.  
 —, tetanisierende 253.  
 REMAKSCHES Ganglion 66.  
 Reserveluft (122), 122, 164.  
 Resistenzbestimmung der Erythro-  
 zyten 22.  
 Resonanz 174, 175.  
 —, Energieübertragung 174.  
 Resonanztheorie 174.  
 Resonatoren 174.  
 Respirationsluft (122), 122.  
 Respiratorische Arrhythmie 107.  
 Respiratorische Verschieblichkeit  
 90, 96.  
 Retina, Bildgröße 195, (197).  
 Revolver des Mikroskops 2, (2).  
 Rezeptor 150.  
 Reziproke Antagonistenhemmung  
 151, 152.  
 —, Antagonisteninnervation 154.  
 Rheobase 150.  
 Reziprozitätsgesetz 182.  
 Rhythmische Kondensatorentla-  
 dungen 146, (254), 254.  
 Rieselströme 146.  
 Richtungsstrahl 182, (183), (184),  
 (187), (188), (189), 194, (195).  
 (197), 206, (210), 210, (211), 212.  
 Ringerlösung 60, 69, 87, 124.  
 RINNE, Stimmgabelversuch 171.  
 RIVA-ROCCI, Blutdruckmesser 111.  
 Röhrensender 223.  
 Rollenabstand (Spulenabstand) 253.  
 ROMBERG'Scher Versuch 159.  
 Röntgenbild des Brustkorbes 95,  
 (96).  
 Röntgenstrahlung 95.  
 Rotor 222.  
 ROUGET'Sche Zellen 118.  
 Rückenlymphsack des Frosches 11.  
 Rückenmark, Ausbohren (Frosch)  
 61.  
 Rückenmarksfrosch 154, 155.  
 Rückwirkung des Spenderbluts 48.  
 Ruhezustand des Auges 194.  
 Rußkurven, Fixieren 52.  
 Rußschreibung 49.  
 SAHLI, Hämometer 24.  
 Sammellinse 186, (187), 190, 192.  
 —, Erkennung 190.  
 Schall, voller 89.  
 —, gedämpfter 89.  
 Schallabströmung durch den äußeren  
 Gehörgang 170, 172.  
 Schallerscheinungen über dem Herzen  
 94.  
 — über der Lunge 93.  
 Schalleitender Apparat 165, 170,  
 171, 172.  
 Schalleitungshindernis 171, 172.  
 Schallperzipierender Apparat 165,  
 170, 171, 172.  
 Schaltelemente, Zeichen (229).  
 Schaltzelle 151, 155.  
 Scheinbewegung 190, 191.  
 SCHEINER'Scher Versuch 200, (201).  
 — — zur Nahpunktbestimmung  
 201.  
 Schiebewiderstand 100, 134, (233),  
 233, 234, (235), 235, 237, (238),  
 238, (245), 245.  
 Schlagfrequenz - Temperaturkurve  
 des Herzens 69, (71), (73).  
 Schlauchstethoskop 93.  
 Schließungsextrastrom 252.  
 Schließungsinduktionsstrom 251,  
 (252), 252.  
 Schließungsschlag 251, (252), 252.  
 Schließungs-Selbstinduktionsstrom  
 252.

- Schließungszuckung 130, 148.  
 Schlittenapparat 76, 81, 83, 84, 86,  
 132, 133, 134, 135, 144, 147,  
 154, 222, 223, (250), 250, 251.  
 Schmerzpunkte 161.  
 Schneidenwindsschwingungen 167.  
 Schnepfer 1.  
 Schreiber, elektromagnetischer (52),  
 53, 228.  
 —, richtiges Anlegen an die Trom-  
 mel (52), 53.  
 Schreibhebel (53), 53, 54, 69, (70),  
 80, (81), (108), 108, 120, 129,  
 130, (131), 136.  
 Schüttelströme 146.  
 SCHWABACH, Stimmgabelversuch 171,  
 172.  
 Schwebungen 175.  
 Schwellenwert 57.  
 Schwellenstromstärke 142.  
 Schwellströme 146.  
 Schwerhörigkeit 165.  
 Sehleistung 206, 207.  
 Sehnerveneintritt 210, 213, 214.  
 (215).  
 Sehprobentafel 206, 207.  
 Sehschärfe 207.  
 Seitenklemmen (Wippe) (238), 239.  
 Sekundäre Zuckung 140.  
 Sekundärkreis 227, (249), 249.  
 Sekundärspule 222, 230, 250, 252.  
 Sekundärstrom 251, (252), 252, 253.  
 Selbstinduktion 252.  
 Selbstinduktionsströme 252.  
 Serienschaltung (Elemente) 228.  
 Shunt (249), 249.  
 Sicherung 228.  
 Sicherungsautomaten 228.  
 Siebglieder 145, 222.  
 Simultanschwelle 162.  
 Sinnesstellen der Haut 161.  
 Sinus des Froschherzens (62), 63.  
 Sinusstrom 221.  
 SNELLENSche Tafel 206, 207.  
 SNELLIUSches Brechungsgesetz 180.  
 Spaltung des Beckens (Frosch) (126),  
 126.  
 Spannung 225.  
 — der Elemente 225.  
 Spannungsmesser 236.  
 Spannungsteilerschaltung, Anwen-  
 dung 244.  
 — mit Meßdraht (241), 241, (242),  
 242, (243), 243, 244.  
 Spannungsteilerschaltung mit  
 Schiebewiderstand (245), 245.  
 Spektren verschiedener Lichtquellen  
 34.  
 Spektroskop 31, (32).  
 —, geradsichtiges 33, (33).  
 —, Handhabung 33.  
 Spektrum, diskontinuierliches 30.  
 —, kontinuierliches 30.  
 Spezifisches Gewicht des Blutes 41.  
 Sphärische Linsen 168, (187), (188),  
 (189), 190.  
 — Linse, Erkennung 190.  
 Sphygmomanometer 110.  
 Spirometer (122), 122.  
 Sprechatmung 121.  
 Spulenabstand (Rollenabstand) 82,  
 83, 84, 87, 132, 133, 136, 147,  
 155, 252.  
 Stahlstäbe, schwingende 166.  
 STANNIUSSche Ligaturen 66.  
 Stator 222.  
 Steigerung von Reflexen 151.  
 Steißbein (Frosch) (126), 126.  
 Stenopäische Brille 204, 208.  
 Stenopäisches Sehen 207.  
 Stereognosie 159.  
 Stethoskop 53.  
 Stimmgabel zur Bestimmung der  
 unteren Hörgrenze (166), 166.  
 Stimmgabelversuche 170, 173, 174,  
 175.  
 Stöpselbrett nach FRENKEL 159, 160.  
 Störnebel, akustischer 173.  
 Strahlenbrechung 30, 33, 178, (179).  
 Strom, elektrischer 218.  
 —, elektrotonisierender 77.  
 —, galvanischer 222, 244.  
 —, polarisierender 58, 220.  
 —, thermoelektrischer 222.  
 Ströme, absteigende (139), 139.  
 —, aufsteigende (139), 139.  
 Stromarbeit 226.  
 Stromarbeit und Wärme 226.  
 Stromflußzeit 57, 149, 150.  
 Stromkurven 220, (221).  
 Stromleistung 226.  
 Strommesser 236.  
 Stromquellen 221.  
 —, biologische 222.  
 —, chemische 222.  
 —, im Praktikum 227.  
 —, innerer Widerstand 229, 230.  
 —, physikalische 222.

- Stromrichtung, konventionelle Bezeichnung 219.
- Stromschlüssel 226, (227).
- , Kurzschlußschaltung (249), 249, 253.
- Stromstärke 225.
- Stromstärkemesser 236.
- Stromverzweigung (249), 249.
- Stromwender (232), 232.
- , Wippe als (240), 241.
- Stromwirkungen, chemische 219, 231.
- , physikalische 219, 221.
- Stromzähler 226.
- Summation 151.
- Summenkurve (Elektrokardiogramm und Herztöne) (104), 106.
- Suspensionsverfahren zur Aufzeichnung der Herzbewegungen (in Flüssigkeit) 69, (70).
- — (Luft) (81), 81, (86), 86.
- System, einfaches optisches 182, (183).
- zusammengesetztes optisches 183, (184), 184, 186.
- Systole (Froschherz) 63.
- Systolischer Blutdruck 111, 112, 113.
- Herzton 94.
- Tabes dorsalis** (Lichtstarre) 153.
- Taschenaugenspiegel 214.
- Tastborste (160), 160.
- Tastzirkel 162.
- Täuschungen beim stenopäischen Sehen 208.
- Teilspannung 243.
- Temperaturmessung, thermoelektrische 222.
- Temperaturpunkte 161.
- Testwörter zur Hörprüfung 164.
- Tetanisierende Reizung 253.
- Tetanus 59, 76, 253.
- bei Reflexen 151.
- , unvollkommener 133.
- , vollkommener 133.
- Thermoden 161.
- Thermoelektrizität 222.
- Thermokauter 145, 233.
- Thorakale Atmung 119.
- THORNEscher Augenspiegel 214.
- Thrombozyten (6), 7, 38.
- Thrombozytenzerfall 38.
- Tiefensensibilität 158.
- Tintenschreibung 49.
- Tonstiefelektroden, Aufertigung (78), 78, 138.
- Tonus der Muskeln 155.
- Topographie der Muskeln am Froschschenkel (127), 127.
- Transformator 222, 223, 230, (235), 250.
- Tricepsreflex 152.
- Trockenelement 224.
- Trichterblende 13.
- Truncus arteriosus (Frosch) (62), 62.
- Tubus des Mikroskops (2), 2.
- Tyrodolösung 136.
- Überleitungszeit 101.
- Übertragung, pneumatische 108, 119.
- Überventilation 121.
- „Uhrleitung“ 227.
- Umformer 250.
- Umgangssprache 164.
- Unermüdbarkeit bei Reflexen 151.
- Unpolarisierbare Elektroden 78, 100, (101), 138, 220.
- , Anfertigung (78), 78.
- —, Verwendung (78), 78, 100, (101), 138.
- Unpolarisierbarkeit von Zn in ZnSO<sub>4</sub> 220.
- Unsymmetrie der Induktionsschläge 251, (252), 252.
- Unterbrechung, einpolige 239, (240).
- , zweipolige 239, (240).
- Unterschenkelpräparat 123.
- , Herstellung (124), 124, (125), (126), (127), (128), (129).
- Unterteilter Eisenkern 252.
- Untersuchung von Gläsern 190.
- Urethannarkose (Frosch) 60.
- Vagusreizung am Froschherzen 85, (86), (87).
- VÄLSALÄscher Versuch 97.
- Vena abdominalis (Frosch) (61), 61.
- Ventil, elektrisches 254.
- Verdeckungseffekt 173.
- Verdünnungsversuch zum Eiweißnachweis im Serum 37.
- Vorbeizeigen 178.
- Vergrößertes Bild beim Sehen durch enge Blenden 208.
- Verkürzungsrückstand 134.
- Verschließlichkeit, respiratorische 90, 96.

- Verstärker-Elektrokardiograph 102.  
 Vertebra prominens 90, 93.  
 Verzitterung (Elektrokardiogramm) 101.  
 Vesikuläres Atmen 93.  
 Virtuelle Elektroden 142, 143.  
 Vitalkapazität (122), 122.  
 Volt 225.  
 VOLTAsches Element 223.  
 Voltmeter 236.  
 Volumpuls 110.  
 Vorschaltwiderstand 233.  
  
**WAGNERScher Hammer** (250), 252, 253.  
 Wahlzeit 156.  
 Wärmelähmung (Froschherz) 72.  
 Wärmepunkte 161.  
 Wärmestarre (Froschherz) 72.  
 Wärmestrahlen, Filterung 117, (118).  
 Wärmewirkung am Froschherzen 64, 69, (71), (73).  
 Wasserelektrolyse 231.  
 Wasserfrosch, grüner 154.  
 Watt 226.  
 Wattsekunde 226.  
 Weber, Stimmgabelversuch 171.  
 Wechsel (221), 221.  
 Wechselrichter 250.  
 Wechselstrom, Erkennung 231.  
 —, Drehspulinstrumente 236, 237.  
 —, Frequenz 221.  
 Wechselströme 220, (221), 222, 251.  
 Weicheiseninstrumente 236, 237.  
 Widerstand, äußerer 225.  
 —, elektrischer 225.  
 —, innerer 225, 229, 230.  
 —, spezifischer 225.  
 —, als Spannungsteiler 241, (245).  
 —, Anwendung 233.  
 —, Belastbarkeit 234.  
 —, Hauptschlußschaltung (233), 233, (235).  
 Widerstand, Messung 237, (238).  
 —, Nebenschlußschaltung 241, (245).  
 —, Temperaturabhängigkeit 225.  
 Winkelverzerrung 190.  
 Wippe (238), 238.  
  
 Wipp, als Stromschlüssel 239, (240).  
 — als Stromwähler 239, (240).  
 — als Stromwender (240), 241.  
 — als zweipoliger Unterbrecher 239, (240).  
 — als Umschalter (240), 241.  
 —, Schaltungen 239, (240), 241.  
 Wippenachse (238), 238.  
 Wippenkreuz (238), 239, 241, (246), 246, (248), 249.  
 Wogen des Herzens 84.  
 Wühlen des Herzens 84.  
  
**Zählkammer, Füllung** (17), 17.  
 — nach THOMA-ZEISS, ältere Form (16), 16.  
 — —, neue Form 19.  
 — nach TÜRK 20.  
 Zählung der Blutkörperchen 14.  
 Zählweise, deutsche, der Schwingungszahl 167.  
 —, romanische, der Schwingungszahl 167.  
 Zedernöl 3, 117.  
 Zeigeversuch 177.  
 ZEISS-ICON-Hämometer 26 (27, 28).  
 Zeitachse 49.  
 Zeitschreiber 53, 228.  
 —, richtiges Anlegen an die Trommel (53), 53.  
 Zeitschreibung (55), 55, 56, 221, 228.  
 Zellmembranen 20, 220.  
 Zerstreuungslinse 186, (188), 190, 192.  
 —, Erkennung 190.  
 Zonula Zinnii 196.  
 Zuckung 59, 76, 253.  
 — beim Herzmuskel 59.  
 — bei Reflexen 151.  
 —, sekundäre 140.  
 Zündspannung 254.  
 Zusammengesetztes optisches System 183, (184), 184, 186.  
 Zusatzwiderstand 233.  
 Zylinderachse 189, (191), 191, 193.  
 Zylinderglas, Erkennung 190, 191.  
 Zylindergläser 188, (191), 191, 206.  
 Zylinderlinsen 188, (191), 191, 206.  
 Zylinderlinse, Erkennung 190, 191.