

Kompendium der Physiologie des Menschen : für Studierende und Ärzte / von Paul Schultz.

Contributors

Schultz, Paul, 1872-

Publication/Creation

Berlin : Karger, 1905.

Persistent URL

<https://wellcomecollection.org/works/kgs82pfv>

License and attribution

Conditions of use: it is possible this item is protected by copyright and/or related rights. You are free to use this item in any way that is permitted by the copyright and related rights legislation that applies to your use. For other uses you need to obtain permission from the rights-holder(s).



Wellcome Collection
183 Euston Road
London NW1 2BE UK
T +44 (0)20 7611 8722
E library@wellcomecollection.org
<https://wellcomecollection.org>

Physiologie

VON

Dr. P. Schultz

Dritte Auflage



BERLIN
Verlag v. S. Karger



22101439145

Med
K10559

Kompendium
der
Physiologie des Menschen

Für Studierende und Ärzte

von

Prof. Dr. Paul Schultz,

Abteilungsvorsteher am physiologischen Institut der Universität Berlin

Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 47 Abbildungen im Text und einer lithogr. Tafel



Berlin 1905
Verlag von S. Karger
Karlstraße 15

1471294

Alle Rechte, speziell das der Übersetzung in fremde Sprachen
vorbehalten.

WELLCOME INSTITUTE LIBRARY	
Coll.	welMOmec
Call	
No.	QT

Vorwort zur dritten Auflage.

In der vorliegenden Auflage hat das Buch in allen seinen Teilen eine eingehende Durcharbeitung erfahren. Außer sachlichen Berichtigungen und Verbesserungen des Ausdrucks hat sich als notwendig erwiesen, einzelne Teile, die früher zu kurz behandelt waren, etwas ausführlicher zu gestalten und durch Einschiebungen den gesicherten Neuerwerb an Ergebnissen aufzunehmen. Dadurch ist der Umfang des Ganzen um einige Bogen vermehrt worden. Doch ist immer das Bestreben gewesen, nicht über den Rahmen der ursprünglichen Anlage hinauszugehen, nicht mehr zu geben als einen kurzen leichtfaßlichen Abriß der wichtigsten Tatsachen der Physiologie, der das, was aus Vorlesung und Lehrbuch gelernt ist, schnell in das Gedächtnis zurückzurufen gestattet.

Berlin, Mai 1905.

Paul Schultz.

Aus dem Vorwort zur ersten und zur zweiten Auflage.

Knappheit und Klarheit in der Darstellung der zur Zeit anerkannten Tatsachen sollten die wesentlichen Eigenschaften eines Kompendiums sein. Mögen sie in dem vorliegenden verwirklicht sich finden. Möge dies Kompendium weder zu den Büchern gehören, die nach Terassons treffendem Wort viel kürzer sein würden, wenn sie nicht so kurz wären, noch zu denjenigen, die, wie Kant hinzufügt, viel deutlicher geworden wären, wenn sie nicht gar so deutlich hätten werden sollen.

Ob es freilich nützlich ist, dem Zug der Zeit nach Lichtstrahlensammlungen und Kompendien zu fröhnen, kann mit Recht bezweifelt werden. Das ist aber jedenfalls für mich unzweifelhaft, und das möchte ich denen, die das vorliegende Büchlein benutzen, ausdrücklich ans Herz legen: daß durch das Auswendiglernen der mitgeteilten dürftigen Data nimmermehr der Besuch des Kollegs oder das Studium eines größeren Lehrbuches, deren wir bereits vortreffliche haben, irgendwie ersetzt werden kann. So wenig, wie eine Landkarte uns eine anschauliche Vorstellung von Bergen, Tälern, Wäldern und Flüssen geben, so wenig wie das Verfolgen einer Route auf ihr uns den Genuß der frischen fröhlichen Fußwanderung ersetzen kann.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Chemische Bestandteile des menschlichen Körpers	15
II. Zellenlehre	37
III. Allgemeine Muskelphysiologie	49
IV. Allgemeine Nervenphysiologie	70
V. Drüsenphysiologie	83
VI. Blut und Lymphe	92
VII. Atembewegungen	107
VIII. Atmen, chemisch	119
IX. Physiologie des Herzens	127
X. Kreislauf	145
XI. Tierische Wärme	163
XII. Nahrungsmittel	171
XIII. Mundverdauung	187
XIV. Magenverdauung	196
XV. Leber und Galle	205
XVI. Pankreas und Darm	214
XVII. Harn und Schweiß	225
XVIII. Spezielle Nervenphysiologie	242
XIX. Reflexbewegungen	255
XX. Physiologie der Zentralorgane	264
XXI. Lehre von den Bewegungen	286
XXII. Stimme und Sprache	295
Einleitung zur Sinnesphysiologie	307
XXIII. Gesichtssinn	310
XXIV. Gehörsinn	342
Geruchssinn	359
Geschmacksinn	361
XXV. Gefühlsinn	364
XXVI. Zeugung	373
Daten und Tabellen	382



Digitized by the Internet Archive
in 2016

<https://archive.org/details/b28054738>

Einleitung.

Begriff und Aufgabe der Physiologie.

Unter **Physiologie**, (dem Namen nach Naturlehre) versteht man heut die **Lehre von den Verrichtungen** belebter **Wesen, Organismen**, der Tiere und der Pflanzen; man hat sie daher auch genannt die **Dynamik der Organismen**, im Gegensatz zur Anatomie, der Statik der Organismen.

Die Physiologie der Tiere insbesondere lehrt die Leistungen des Tierkörpers und, da dieser aus Organen besteht, zunächst die Leistungen der einzelnen Organe kennen. Zu dem Zweck ermittelt sie die Bedingungen ihrer Tätigkeit und untersucht im Experiment den Einfluß verschiedener Variablen darauf, von denen eine der wichtigsten der Einfluß der Organe selbst auf einander ist. Die Tätigkeit der Organe setzt sich zusammen aus der Tätigkeit der Gewebe, diese wieder aus der Tätigkeit der Zellen, die zur Zeit anatomisch wie physiologisch die letzten reellen Einheiten darstellen. So leitet die Organphysiologie schließlich zur Zellularphysiologie.

Organismen, **Organisches** überhaupt unterscheidet sich von **Anorganischem** nicht durch die Stoffe, nicht durch die Kräfte; sie sind in beiden Reichen von gleicher Art, insbesondere gibt es keine organische Kraft sui generis, keine Lebenskraft. Sie unterscheiden sich vielmehr lediglich durch die Anordnung der Kräfte.

„Im **Anorganischen** herrscht **statisches Gleichgewicht** (stabiles, labiles, indifferentes), im **Organischen** **dynamisches Gleichgewicht** (wie in der Bevölkerungszahl einer Stadt oder in der Wassermasse eines Teiches, der Zu- und Abfluß hat).“ Hierzu kommt: „Der Kristall ruht ewig bedürfnislos in sich, das Lebewesen ist von

gewissen äußeren Bedingungen (integrierenden Reizen) abhängig und unterliegt dem zeitlichen Verlauf“ (du Bois-Reymond).

Physiologie, wie erklärende Naturwissenschaft überhaupt, erstrebt als letztes Ziel eine streng mathematische Theorie der Erscheinungen zu geben, wie es die Astronomie auf ihrem Gebiet tut. Denn nur diejenige Naturlehre wird den Anspruch erheben können, Naturwissenschaft zu sein, welche

1. in der Form eines Systems, d. h. als Ganzes von Erkenntnissen, nach Prinzipien geordnet, sich darbietet, und

2. welche Gesetze von apodiktischer Gewißheit verkündet, d. h. Gesetze, welche mit dem Bewußtsein der Allgemeinheit und Notwendigkeit verbunden sind. Solche Gesetze sind aber, wie die Erkenntnistheorie nachweist, allein die Axiome der Mathematik. Diese gelten auch für die physische Welt, sind zugleich Naturgesetze, „weil die Anschauung, die sie bestimmen, diejenige Form ist, in welcher Natur sich in unserem Bewußtsein zusammenordnet, weil wir nur durch diesen Anschauungsprozeß Natur erfahren, Erfahrung machen können.“ Soweit also eine Naturlehre das Dasein und das Geschehen als räumlich-zeitliche Relation beschreibt, soweit kann sie auch Mathematik anwenden und soweit allein gilt sie als Wissenschaft. „In jeder Naturlehre ist nur soviel eigentliche Wissenschaft enthalten, als Mathematik in ihr angewandt werden kann.“ (Kant.) Wie die Anwendung der Mathematik in der Naturwissenschaft durch Aufnahme gewisser Grundbestimmungen (Materie, Bewegung, Kraft), die durch Erfahrung gewonnen sind, im einzelnen möglich ist, hat Kant in seinen „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“ gezeigt.

Außer den mathematischen Sätzen enthält aber Naturwissenschaft selbst noch letzte Sätze (wie das Gesetz der Erhaltung des Stoffes, Gesetz der Trägheit, das Gesetz der Wechselwirkung, das Gesetz der Stetigkeit, das Gesetz der Erhaltung der Energie), die im Fortschritt der Wissenschaft allmählich aufgestellt und präzisiert wurden. Über ihre Zahl, ihre Bedeutung und über ihren Geltungsbereich herrschte Ungewißheit. Aus der Erfahrung allein konnten sie ihrer apodiktischen Form wegen nicht stammen, bloß logische Sätze konnten sie ihres physikalischen Inhalts wegen auch nicht sein. Man pflegte sie als physikalische Axiome, ohne

weitere Begründung, voranzuschicken. Auch hier haben erst „die Metaphysischen Anfangsgründe“ Klarheit gebracht. Sie zeigen, daß jene Gesetze erkenntnistheoretischen Ursprungs sind, daß sie sich darstellen „als die Bedingungen, unter denen die zeitliche Verknüpfung unserer Wahrnehmungen allein objektive Gültigkeit erlangen kann. Als solche sind sie ihrem Range nach notwendig, ihrer Geltung nach allgemein, ihrer Zahl nach bestimmt.“¹⁾

Begriff und Maß der Kraft.

Der Begriff der *K r a f t* ist abgeleitet aus dem Kausalverhältnis. Von allen populären Vorstellungen gereinigt sagt er aus, daß eine bestimmte Veränderung einer Substanz notwendig verbunden ist mit einer bestimmten Veränderung einer anderen Substanz; er enthält also nichts weiter, als die notwendige Verknüpfung zweier Zeitverhältnisse.

Auch das *G e s e t z* drückt die Kausalität einer Bewegungsänderung aus. Während aber das Gesetz die gegenseitige notwendige Beziehung als solche beschreibt, lege ich in der Kraft der Substanz eine Eigenschaft bei, welche als Ursache dieser Beziehung gedacht wird. Wenn ich sage, das Licht wird bei dem Übertritt von Luft in Glas dem Einfallslote zugebrochen, so ist das ein Gesetz (Brechungsgesetz); sage ich, das Glas hat die Eigenschaft, das aus der Luft kommende Licht nach dem Einfallslote zu abzulenken, so setze ich eine Kraft (Brechkraft). „In den Gesetzen zähle ich die verschiedenen Formen des Geschehens auf; durch die Kräfte beschreibe ich die Grundeigenschaften der Materie.“

Da ich mir also die Kräfte als Ursachen des Geschehens *d e n k e*, so sind sie nicht sinnlich wahrnehmbar (so wenig wie das Gesetz), aber sie sind *m e ß b a r*, indem eben das durch sie bewirkte Geschehen als Veränderung im Raume gemessen wird. Aus dem richtig formulierten Trägheitsgesetz (alle Veränderung

¹⁾ A. Stadler, Kants Theorie der Materie, Leipzig 1883. Vgl. ferner Cohen: Kants Theorie der Erfahrung, Berlin 1885. Beide Werke, die zugleich als Kommentar der oben zitierten Schrift Kants dienen können, seien demjenigen, der sich über die theoretischen Grundlagen der Naturwissenschaft unterrichten will, angelegentlich zum Studium empfohlen.

der Materie hat eine äußere Ursache) folgt ferner, daß diese Kräfte nur Fernkräfte sein können. Wir können uns auch eine andere Wirkungsart gar nicht vorstellen; „ein jedes Ding im Raume wirkt auf ein anderes nur an einem Orte, wo das Wirkende nicht ist“.

Die reinste Form des Ausdruckes der Kraft ist die der *m e c h a n i s c h e n K r a f t*, die auf einen Massenpunkt wirkt.

Die Größe der Kraft, die *K r a f t i n t e n s i t ä t*, wird gemessen durch die Beschleunigung (v) der Masse (m), auf die sie wirkt, multipliziert mit der Masse = $m v$ (*B e w e g u n g s - g r ö ß e*).

A r b e i t heißt die Leistung einer Kraft. Besteht diese in der Fortbewegung eines Körpers, so ergibt sich als Maß der Arbeit das Produkt der zurückgelegten Strecke in das Maß der Kraft. Da es sich bei den Arbeitsgrößen meist um Vorgänge in der Nähe der Erdoberfläche handelt, so wird in der obigen Kraftformel $v = g$, also in diesem Falle das Maß der Kraft = mg , das ist aber das *G e w i c h t* eines Körpers. Man kann also Kräfte nach Gewichten messen, und die Arbeit wiederum nach Wegstrecke \times Gewicht. Als *E i n h e i t* der Arbeit dient das Meterkilogramm. Die Arbeit pro Sekunde heißt *E f f e k t*. Derjenige Effekt, bei welchem in 1 Sekunde eine Arbeit von 75 Meterkilogramm geleistet wird, heißt *P f e r d e k r a f t*.

E n e r g i e ist die Fähigkeit eines Körpers, Arbeit zu leisten. Sie wird gemessen durch das halbe Produkt aus Masse und Quadrat der Geschwindigkeit = $\frac{1}{2} m v^2$. Die bewegte Masse kann entweder ein sinnlich wahrnehmbarer Körper sein oder der gedachte kleinste Bestandteil dieses Körpers bez. des zwischen diesen Teilchen befindlichen Äthers. Wir sprechen im ersten Fall von *m o l a r e r E n e r g i e*, im zweiten Fall von *m o l e k u l a r e r E n e r g i e*. Aber nicht bloß ein bewegter Körper vermag Arbeit zu leisten, sondern auch ein ruhender. Wenn ein Gewicht auf eine bestimmte Höhe gehoben wird, so ist dazu eine bestimmte Arbeit erforderlich. Diese in dem ruhenden Gewicht gleichsam aufgespeicherte Arbeit wird wieder frei, sobald das Gewicht herunter fällt. Man unterscheidet daher *E n e r g i e d e r B e w e g u n g* oder *k i n e t i s c h e E n e r g i e* (lebendige Kraft) und *E n e r g i e d e r L a g e* oder *p o t e n t i e l l e E n e r g i e* (Spannkraft).

Energie der molaren Bewegung: Sinkende Last, Wasserfall.

Energie der molaren Lage: Gehobene Last; Wasser im Teich, aus dem der Wasserfall kommt.

Energie der molekularen Bewegung: Erwärmter Körper, Gase.

Energie der molekularen Lage: Gespannte Feder, Oberflächenspannung der Flüssigkeiten, chemische Spannkraft.

Energie der Bewegung des Äthers: Strahlende Wärme, Licht, strömende Elektrizität.

Energie der Lage des Äthers: Ruhende Elektrizität.

Die Umwandlung von potentieller Energie in kinetische kann (wie im Organismus) geschehen durch Einwirkung einer *a u s l ö s e n d e n K r a f t*. Durch diese wird der labile Gleichgewichtszustand zweier Spannkräfte beseitigt. (Uhrwerk mit Sperrhaken: Schwere des Gewichts und Kohäsion der Sperrvorrichtung; Lawine: Schwere der Schneemasse und Kohäsion der einzelnen Flocken.)

Auslösende Kraft und ausgelöste Kraft sind in bezug auf Größe und Beschaffenheit voneinander unabhängig. Die auslösende Kraft kann daher ganz andersartig und kann sehr gering sein gegenüber der ausgelösten Kraft, und in diesem Sinne wird sogar der Begriff der Auslösung meist gebraucht.

Als man erkannt hatte, daß mechanische Prozesse, daß Massenbewegung sich in Wärme umsetzen könne, daß Wärme kein Stoff, sondern lebendige Molekularkraft sei, war der induktive Beweis gewonnen, daß die verschiedenen Energieformen sich in einander verwandeln können.

Energie kann weder entstehen noch vernichtet werden. Sie kann nur ihre Form verändern oder aus dem einen ihrer beiden Zustände in den anderen übergehen. (Gesetz der Erhaltung der Energie; Rob. Mayer, Helmholtz.) Das Gesetz sagt nur aus, daß die Kräftebeziehungen, das daß Verhältnis der Grundkräfte in der Natur konstant ist. Über die absolute Kraftgröße sagt es nichts aus; ob dieselbe sich erhält oder nicht, ist ein transcendentes Problem.

Die verschiedenen Energien stehen ihrer Größe nach zueinander in bestimmtem Äquivalentverhältnis: *Mechanisches Wärmeäquivalent* (Joule): 1 Calorie = 425 Grammmeter.

Der Begriff des tierischen Organismus.

Wir definieren nunmehr den tierischen Organismus als ein mechanisches System, das, aus hoch komplizierten chemischen Verbindungen aufgebaut, in dynamischem Gleichgewicht befindlich, durch chemische Zersetzung der eingeführten Stoffe potentielle Energie in kinetische verwandelt. Die kinetische Energie tritt zum Teil auf als tierische Bewegung, zum Teil als Wärme, in einigen Fällen als Elektrizität (elektrische Fische) oder als Licht (Leuchttiere).

Das dynamische Gleichgewicht

mit positiver Bilanz = Wachstum,

mit der Bilanz = 0, Erhaltung des Bestandes, Blütezeit,

mit negativer Bilanz = Schwund, Tod,

wird unterhalten durch den Stoffwechsel, durch „den das Tier durchrauschenden Strom der Materie“. Derselbe besteht in der Aufnahme von Stoffen und ihrer Umwandlung in die den Organismus konstituierenden Elemente, Assimilation, und der Zersetzung und Abgabe der verbrauchten Elemente, Dissimilation. (Hering.) Beide Prozesse sind nicht zwei völlig getrennte, parallel nebeneinander laufende, sondern innig miteinander verbundene, nicht wirklich, sondern nur begrifflich zu trennende Vorgänge.

Bei der Assimilation findet Aufspeicherung von potentieller Energie statt, die Dissimilation ist die Quelle der vom Organismus produzierten kinetischen Energie. Die Assimilation besteht einmal in der Anbildung von Zellsubstanz, Zuwachs von Protoplasma, zweitens in der Synthese neuer Substanzen, die nicht in das lebendige Protoplasma übergehen. Die wichtigste dieser Synthesen, weil sie den Beginn und den Ausgangspunkt aller übrigen organischen Synthesen im Tier- und Pflanzenreich darstellt, ist die Bildung der Stärke in den grünen Pflanzenteilen.

Die grüne Pflanze nimmt einfache anorganische Verbindungen (CO_2 , bez. ihr Hydrat H_2CO_3 und H_2O) auf und verwandelt sie bei Einwirkung des Sonnenlichtes unter Reduktion¹⁾ in die hoch komplizierte organische Verbindung Stärke, die in den Chlorophyllkörpern in Form feiner stark lichtbrechen-

¹⁾ Reduktion heißt jede Wasserstoffzufuhr, wobei entweder der Wasserstoff an die Verbindung angelagert wird, oder Sauerstoff in Form von Wasser abgespalten wird.

der Körnchen auftritt, wobei als erstes Produkt der pflanzlichen Assimilation Formaldehyd $\text{H} \cdot \text{COH}$ sich bilden soll (etwa nach der Formel $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCOH} + \text{O}_2$). Aus der Stärke bilden sich die Zuckerarten, weiterhin die Fette; schließlich beteiligt sie sich auch an dem Aufbau der Eiweißkörper. Dazu werden mit den Salzen des Bodens und des Regenwassers noch Stickstoff und mit den Salzen des Bodens ferner Schwefel, bei einigen Phosphor aufgenommen. Organische Nährstoffe brauchen die chlorophyllhaltigen Pflanzen (nur diese) nicht, doch sind zu ihrer Entwicklung noch einige mineralische Bestandteile (vor allem Eisen zur Bildung des Chlorophylls, das übrigens seinem chemischen Aufbau nach dem Blutfarbstoff nahe verwandt ist, ferner Kalium, Magnesium, Calcium) notwendig. Die grünen Pflanzen sind also die notwendige Bedingung für alle lebenden Wesen auf der Erde. Sie setzen die lebendige Kraft der Sonne, „dieser beständig sich spannenden Feder unseres Planetensystems“, in chemische Spannkraft um.

Einige Bakterien, besonders die Knöllchenbakterien der Leguminosen (Erbsen, Bohnen, Lupinen, Klee) verwerten den freien Stickstoff der Luft. Da die Pflanze zum Aufbau des Eiweiß Stickstoff braucht, so muß, wenn der Boden daran verarmt ist, wieder Stickstoff zugeführt, „gedüngt“ werden. Dies kann entweder in Form organischer Zersetzungsprodukte geschehen oder durch Bestellen der Felder mit Lupinen, die dann durch Unterpflügen dem Boden beigemischt werden („Gründüngung“).

Das Tier nimmt aus dem Pflanzenreiche, daher angewiesen auf dieses, „Parasit der Pflanzen“, hoch komplizierte, organische Verbindungen auf und zersetzt sie vorwiegend unter Oxydation,¹⁾ z. T. unter hydrolytischer Spaltung (d. h. Spaltung unter Wasseraufnahme) zu einfachen anorganischen Verbindungen (CO_2 , H_2O , NH_3 bzw. dessen Derivat $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), es verwandelt die chemische Spannkraft der Pflanzen in lebendige Kraft. Diese einfachen Dissimilationsprodukte der Tiere können von den Pflanzen wieder assimiliert werden. Kreislauf des Lebens.

Alle Organismen haben eine Atmung, d. h. nehmen O_2 auf und geben CO_2 ab. Nur erfolgt die O_2 -Aufnahme

¹⁾ Oxydation heißt jede Sauerstoffzufuhr, wobei der Sauerstoff entweder an die Verbindung angelagert wird, oder Wasserstoff in Form von Wasser abgespalten wird. Alle Verbrennung ist Oxydation; Atmung ist Verbrennung (Lavoisier).

in verschiedenem Umfang und in verschiedener Form. Es ist nicht freier O_2 nötig. Die anaëroben Bakterien (Tetanusbakterien, Rauschbrandbazillen) entnehmen ihn wahrscheinlich den Salzen ihres Mediums. Ohne Sauerstoff kann auf die Dauer kein Leben bestehen.

Auch die Pflanzen haben eine Atmung, nehmen O_2 auf und geben CO_2 ab. Nur ist sie viel geringer als bei den Tieren und wird überdies bei den grünen Pflanzen in der Helligkeit verdeckt durch die gleichzeitig und in stärkerem Maße stattfindende CO_2 -Aufnahme und O_2 -Ausscheidung. Im Dunkeln dagegen nehmen alle Pflanzen, wie in der Helligkeit auch die nichtgrünen Pflanzen und Pflanzenteile (Pilze, Keime) O_2 auf und geben CO_2 ab.

Synthese und Reduktion kommt auch im Tierkörper vor: Überführung der C-armen und O-reichen Kohlehydrate in die C-reichen und O-armen Fette, Verwandlung der Benzoësäure in Hippursäure, des Zuckers in der Leber in Glykogen u. a.

Der Begriff des Reizes.

Unter Reiz [Haller] verstand man früher diejenige Wirkungsweise von Körper auf Körper, welche nur in der organischen Natur vorkäme.

Dies ist irrig. „Es gibt in der ganzen Natur nur eine Art Veränderung, nämlich Bewegung, nur eine Art der Wirkung von Körper auf Körper, nämlich die mechanische. An die Stelle des Begriffes der Reizung tritt der Begriff der Auslösung“ (du Bois-Reymond). Diese Auslösung findet in der obenerwähnten Weise statt. Den Reiz charakterisiert daher die Disproportionalität zwischen Reizursache und Reizwirkung.

Die Eigenschaft, die aller lebendigen Substanz zukommt, große Mengen potentieller Energie auf dem Wege der Auslösung in kinetische zu verwandeln, heißt Reizbarkeit.

Die Reaktion auf einen Reiz bleibt nicht auf den gereizten Punkt beschränkt, sondern breitet sich über die angrenzenden Teile aus durch Reizleitung.

Die Reizqualitäten sind: Mechanische (Druck, Zug, Stoß, Tonschwingung), thermische, photische, elektrische und chemische.

Der Intensität nach unterscheidet man ein Reiz-Maximum, ein Reiz-Minimum und ein Reiz-Optimum.

Reiz-Schwelle heißt dasjenige Reizminimum, bei welchem zuerst eine Wirkung eintritt, darunter bleibt sie aus.

Findet unter der Einwirkung von Reizen eine Steigerung aller oder einzelner Lebenserscheinungen statt, so spricht man von *E r r e g u n g*; von *L ä h m u n g*, wenn eine Herabsetzung aller oder einzelner Lebenserscheinungen eintritt. [Verworn.]

Die Herabsetzung der Lebenserscheinungen durch die infolge der Tätigkeit aufgehäuften Dissimilationsprodukte heißt *E r m ü d u n g*, in höherem Grade *E r s c h ö p f u n g*; werden diese Produkte entfernt, so tritt *E r h o l u n g* ein.

Die Orientierung in der Welt der Erscheinungen.

Allein der menschlichen Erkenntnis gegeben sind die Tatsachen seines Bewußtseins: Empfindung und daraus sich aufbauend Vorstellung. Alles was ist, die ganze Welt ist meine Vorstellung und nichts als meine Vorstellung.

Die bloße Empfindung wird zur Vorstellung, zu meiner Vorstellung erst dadurch, daß das Bewußtsein vor sich als Einheit (Ich, Subjekt) hinstellt eine andere Einheit (Nicht-Ich, Objekt), auf die sie als ein Beharrliches die wechselnden Empfindungen bezieht. Kraft der dem Bewußtsein eigentümlichen Raumanschauung setze ich dieses Beharrliche, diese Vereinigung von Vorstellungen (Substanz, Materie, Ding) als außer mir seiend. Bewußtsein und Materie sind also nicht zwei verschiedene Arten des Daseins; es gibt nur eine solche Art, und die ist Vorstellung. Auch die Materie ist nur Vorstellung, nur eine Form des Bewußtseins, einen unbekannten Gegenstand zu denken, nur ein Gedanke; deswegen aber ebenso wirklich und notwendig, wie mein Bewußtsein selbst. Ist also auch die ganze Welt nur Erscheinung für mich, so ist sie doch kein leerer Schein, keine Täuschung. Die Existenz der Gegenstände außer uns in Zweifel ziehen, heißt an unserem eignen Ich zweifeln. Ohne Subjekt kein Objekt, ohne Bewußtsein keine Materie.

Wir haben demnach zwei Arten von Vorstellungen, in welchen Alles, was Gegenstand der Erfahrung sein kann, die ganze Natur sich darstellt. Die eine bezieht sich auf die beständig wechselnden Empfindungen in uns, die andere auf die uns umgebende Körperwelt, wozu auch unser eigener Leib gehört. Demgemäß zerfällt die *N a t u r* in zwei Hauptteile, und die Naturlehre ist eine zwiefache, *K ö r p e r l e h r e* und *S e e l e n -*

lehre. Wie schon gezeigt, kann nur diejenige Naturlehre Naturwissenschaft werden, in welcher Mathematik angewendet werden kann. Das ist in der Seelenlehre unmöglich, da ihre Objekte nicht räumlich angeschaut werden können; folglich kann Psychologie nicht den Anspruch auf den Rang einer Wissenschaft machen in dem Sinne, wie wir oben Wissenschaft definiert haben. Nun aber lehrt die Erfahrung, daß psychische Vorgänge der Zeit nach mit materiellen, mit Gehirnvorgängen verbunden sind. Diese sind Objekte der Wissenschaft, dadurch können auch die psychischen Vorgänge mittelbar Gegenstand wissenschaftlicher Erfahrung und die Seelenlehre kann Wissenschaft freilich nur „uneigentliche“ werden.

In der Körperwelt orientieren wir uns durch Sammlung von Wahrnehmungen, E r f a h r u n g. Diese täuscht niemals, in ihr allein ist Wahrheit. Wohl aber können wir uns in der Beurteilung derselben täuschen. Die Sinne nehmen „wahr“, der Verstand urteilt und — irrt.

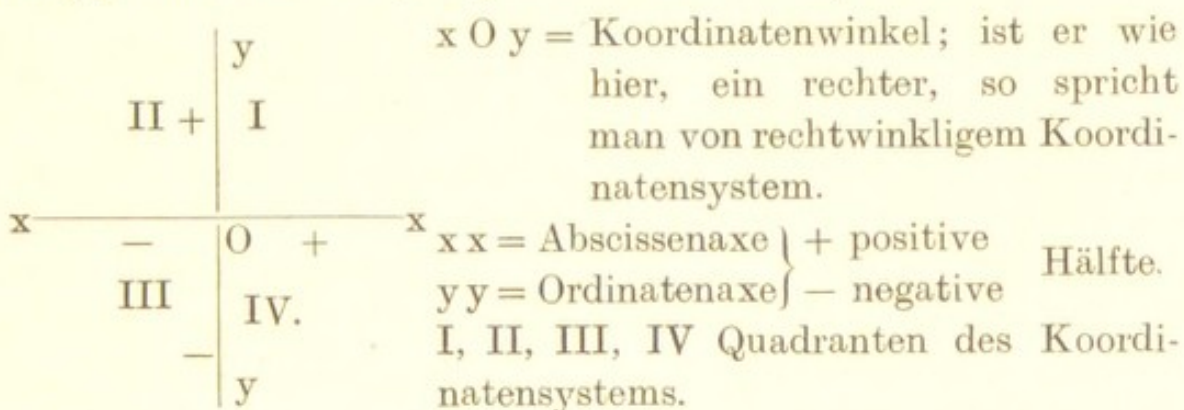
Wird die Erfahrung zu bestimmtem wissenschaftlichen Zweck in bestimmter Richtung benutzt oder methodisch angestellt, so entsteht B e o b a c h t u n g; sie wird ergänzt durch die absichtlich herbeigeführte Beobachtung, den V e r s u c h, *luciferum experimentum* (Baco). „Im Experiment läuft die Kette der Ursachen durch unser Selbstbewußtsein“ (Helmholtz). Wir bringen im Experiment die Erscheinungen (teilweise, ganz oder neue) selbst hervor. „Wir erkennen vollständig nur, was wir selbst hervorbringen können.“

Durch I n d u k t i o n steigen wir von einzelnen Erfahrungen zu einem Allgemeinen (Gesetz) auf. Doch machen wir dabei schon eine Annahme, H y p o t h e s e, über den möglichen Zusammenhang dieser Erscheinungen. Mit der Hypothesenbildung hebt erst die Wissenschaft an. Indem wir durch D e d u k t i o n das gefundene Allgemeine auf neue einzelne Erscheinungen anwenden, prüfen wir es auf seine Richtigkeit, um eventuell eine neue Hypothese zu bilden. (Licht: Emanations-Theorie, Undulations-Theorie; Elektrizität: Theorie der Fluida, Undulations-Theorie.)

Induktion ist also zwar die positive Grundlage alles Erkennens, bedarf aber der Deduktion; in Wirklichkeit sind beide nicht scharf zu trennen.

Die graphische Methode.

Die Physiologie bedient sich, wie auch andere Naturwissenschaften, zur anschaulichen Darstellung ihrer Gesetze und Regeln der graphischen Methode. Diese wendet den Kunstgriff der analytischen Geometrie (Descartes) an, Zahlengruppen geometrisch durch Punkte darzustellen, wobei eine Größe als geometrische Funktion einer anderen erscheint. Das geschieht durch das Koordinatensystem. O = Anfangspunkt oder Ursprung des Koordinatensystems.



In der Physiologie handelt es sich vielfach darum, den Ablauf eines Vorganges in der Zeit darzustellen. Dann wird die Zeit gewöhnlich auf die Abscisse abgetragen, und in den einzelnen Zeitpunkten die ihnen entsprechenden verschiedenen Größen des Vorganges als verschieden hohe Ordinaten errichtet. Verbindet man die so gewonnenen Höhepunkte der Ordinaten, so erhält man eine Kurve, welche den zeitlichen Verlauf des betreffenden Vorganges sofort veranschaulicht.

Ludwig hat 1847 zuerst das schon vorher in einzelnen Fällen (im 18. Jahrhundert bei meteorologischen Beobachtungen, dann von J. Watt bei der Dampfmaschine) benutzte Verfahren in die Physiologie eingeführt, den zu beobachtenden Vorgang sich selbst auf eine bewegte Fläche verzeichnen zu lassen: Auto-graphische Methode.

Die Descendenztheorie.

Den außerordentlichen Formenreichtum der Organismen, der uns heute auf der Erde entgegentritt, sucht die Descendenztheorie zu erklären. Dieselbe (von Geoffroy St. Hilaire, Lamarck und Darwin begründet, von Hückel und Weismann ausgebaut), lehrt, daß alle die verschiedenen Organismen,

die heute leben und je gelebt haben, in ununterbrochener Aufeinanderfolge abstammen von einer ersten und einfachsten lebendigen Substanz.

Es sind also all die mannigfaltigen Formen nicht von einer voraussehenden Intelligenz nach einem aufgestellten Plane, jede in ihrer Art, geschaffen (Teleologie), sondern sie haben sich mechanisch-kausal in aufsteigender Fortentwicklung aus dem oder den ersten Keimen entwickelt. Dabei hat man sich diese Fortentwicklung nicht unter dem Bilde eines Baumes vorzustellen, dessen Wipfel den breitesten Raum einnimmt, gerade umgekehrt bilden die niedrigsten Formen, die das Begriffsnetz von Spezies, Art, Gattung nicht mehr umspannt, den mächtigen breiten Unterbau für die daraus sich erhebenden klarer gesonderten höheren Pflanzen- und Tierformen.

Die Differenzierung kommt nun zu stande durch die Neigung der Individuen, auch bei scheinbar gleichbleibenden äußeren Bedingungen vom Elternpaar abzuweichen, individuelle Variabilität, und zweitens dadurch, daß ganze Spezies bei Störungen des äußeren Gleichgewichts die Fähigkeit der Anpassung an die auftretenden Veränderungen besitzen. Solche Störungen sind klimatische Veränderungen, Einfluß des Menschen, Migration, Isolation und dergl. mehr.

Die Vermehrung der Organismen geschieht in geometrischer Progression. Würden alle Keime eines Individuums zur Entwicklung kommen, so würde die Erde mit seinen Nachkommen schon nach wenigen Generationen übervölkert sein. So aber gehen die meisten zu Grunde, teils an der Ungunst der äußeren Bedingungen, teils im Streit mit einander. Die Arten müssen um ihre Existenz ringen, es findet ein Kampf um das Dasein statt.

Die sogenannte naturgemäße Entwicklung ist nur ein Spezialfall aus tausend Vernichteten.

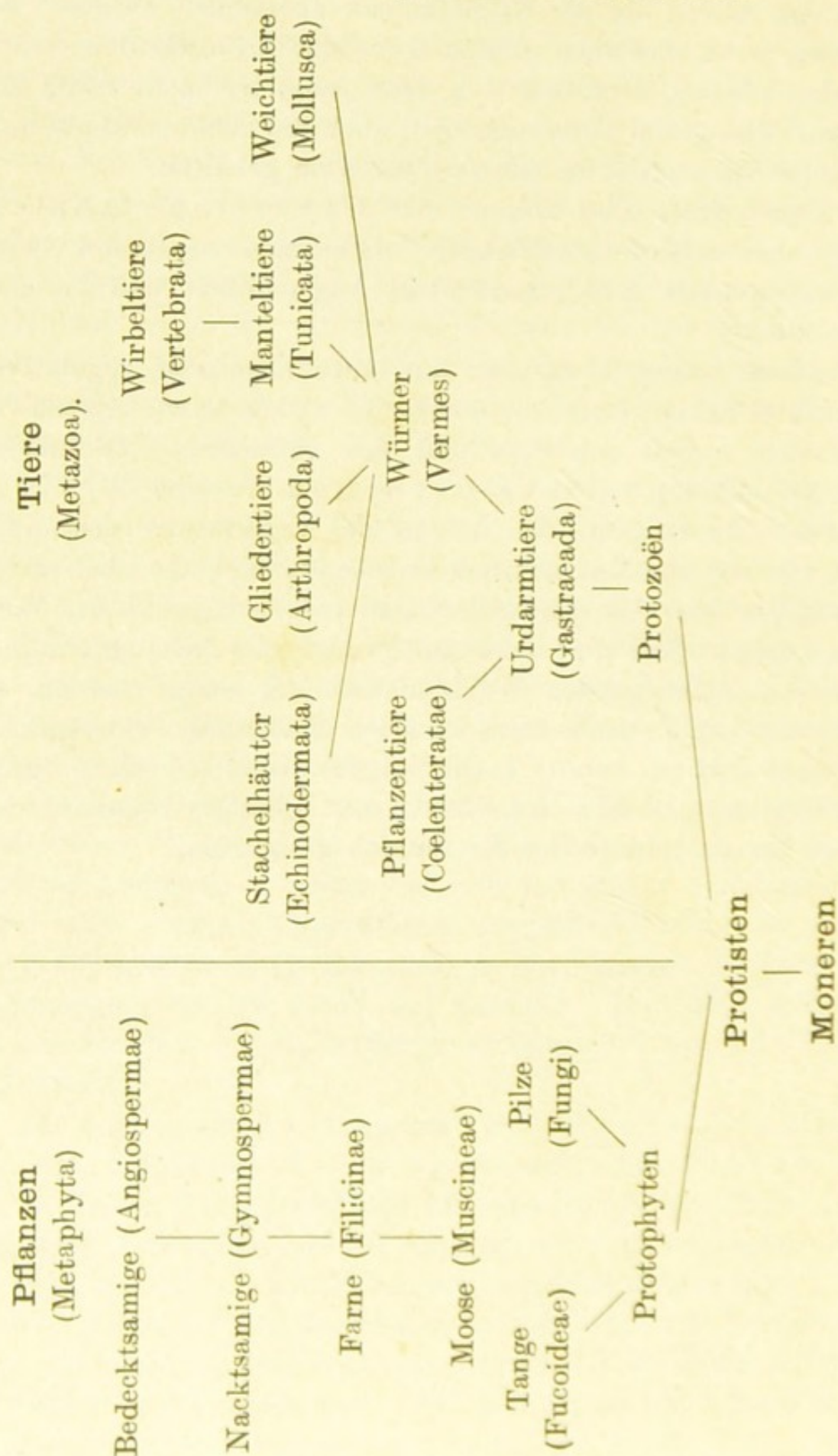
In diesem Kampf überlebt nur das für die jeweiligen Bedingungen Passendste, wie wir anthropomorphistisch sagen: das Zweckmäßige. Hierzu kommt die geschlechtliche Zuchtwahl, durch die nur die kräftigsten Männchen zur Fortpflanzung zugelassen werden; sekundär wirkt dies auch wieder auf die weiblichen Nachkommen fort. Bei den Vögeln spielt bei dieser Wahl auch Farbenschmuck und Gesang eine Rolle.

Die Erhaltung der so erlangten Abweichungen geschieht durch V e r e r b u n g , vermöge deren Eigenschaften und Formen von den Eltern auf die Nachkommen übertragen werden. Bestritten wird, daß auch zufällig erworbene Eigenschaften vererbt werden können, doch läßt sich diese Annahme nicht völlig umgehen. Durch die Vererbung wird auch die oben erwähnte individuelle Variabilität in gewissen Grenzen gehalten.

Durch alles Dies kommt eine n a t ü r l i c h e A u s l e s e unter den zahllos entstehenden Organismen zu stande, deren Enderfolg eben ihre gegenwärtige Angepaßtheit und Formenfülle ist.

Diese Auslese kann aber nur einen negativen, regulativen Charakter haben; damit sie überhaupt wirken kann, müssen Organismen vorerst entstehen und sich vermehren. Es müssen also i n n e r e p o s i t i v e U r s a c h e n für eine W e i t e r - e n t w i c k l u n g in der Anlage des Organismus vorhanden sein, die uns zur Zeit gänzlich unbekannt sind, die aber nichts Mystisches oder Metaphysisches sind (wie Schopenhauers Wille zum Leben). Nur darf diese Anlage nicht als Neigung zur progressiven, aufsteigenden Weiterentwicklung gefaßt werden, da sie sonst einer mechanisch-kausalen Erklärung widerspricht. Übrigens sind uns bereits Tatsachen, die direkt auf solche innere Entwicklungsursachen hinweisen, zur Genüge bekannt; wir fassen sie als Gesetze der Korrelation zusammen.

Auf Grund der Descendenzlehre hat man folgendes Schema der Organismen aufgestellt:



1. Chemische Bestandteile des menschlichen Körpers.

Elemente.

Die Elemente, die den Körper zusammensetzen, sind folgende:

Metalloide: C, H, O, N, S, P, Cl, I, Fl, Si.

Metalle: K, Na, Mg, Ca, Fe.

Von diesen finden sich nur 12 Elemente konstant in jeder Zelle: C, N, S, H, O, P, Cl, K, Na, Mg, Ca, Fe.

Zufällige Bestandteile können sein: Zn, Pb, Hg, As, Cu, Li.

Als Elemente, in freiem Zustande, gasförmig kommen nur vor:

1. O_2 , wird aus dem umgebenden Medium durch die „Atmung“ aufgenommen (s. S. 7), findet sich in allen Flüssigkeiten des Körpers bes. im Blut, wird zur Verbrennung (Oxydation) verwendet.

2. N_2 (und Argon,) gelangt in freiem Zustand in die Luftwege, wird ferner mit der Nahrung verschluckt und findet sich daher im Darmkanal, in geringer Menge gelöst im Blut. Verläßt den Körper durch den Darm, in Spuren durch Lunge und Haut.

3. H_2 , in geringer Menge im Darmkanal als Zersetzungsprodukt, kann von da in Spuren ins Blut und in die Ausatemluft gelangen.

Alle anderen Elemente kommen nur als Verbindungen vor. Man unterscheidet unorganische und organische oder C-Verbindungen.

Unorganische Verbindungen.

A. Wasser.

Bildet quantitativ den Hauptbestandteil der Organismen. Der Säugetierkörper enthält etwa 64 pCt. seines Gewichtes an Wasser und ohne die Knochen, die selbst nur 30 pCt. Wasser

enthalten, sogar über 70 pCt.; der Wassergehalt ist am reichlichsten beim Fötus, nimmt mit zunehmendem Alter ab. Findet sich nicht bloß in den tierischen Flüssigkeiten, sondern auch in allen Geweben. Der Gehalt an Wasser darf nicht unter eine bestimmte Grenze sinken, wenn das Leben fortbestehen soll. Es dient zur Auflösung aller im Körper gelöst vorkommenden Stoffe. „Alle Organismen leben in fließendem Wasser.“

B. Säuren.

1. **Kohlensäure** CO_2 findet sich als Gas in Lunge und Darm; im Blut wie in den meisten tierischen Flüssigkeiten zum größten Teil physikalisch absorbiert. Sie wird im Körper selbst als Endprodukt der Oxydationsvorgänge des Kohlenstoffs gebildet. Sie verläßt den Körper hauptsächlich durch die Expirationsluft (900 g in 24 Std. beim Menschen), geringe Mengen durch Haut und Darm.

2. **Salzsäure** HCl findet sich frei im Magensaft (s. Magenverdauung), wird erst im Organismus aus Chlornatrium gebildet. Ist ein notwendiger Bestandteil des Magensaftes aller Säugetiere, vielleicht aller Wirbeltiere.

Im Speichel und Magensaft der Mittelmeerschnecke *Dolium galea* findet sich freie Schwefelsäure.

C. Salze.

Sie kommen teils in löslicher, teils in fester (Knochen) Form vor. Sie machen den Hauptbestandteil der beim Verbrennen der Gewebe übrigbleibenden **Asche** aus, die außerdem noch Substanzen enthält, die vorher im Körper nicht als Salze, sondern in organischer Bindung (Fe an Hämoglobin, S und P im Eiweiß) vorhanden waren. Die Gesamtasche macht 5 pCt. des Körpergewichts aus, davon entfallen mehr als 80 pCt. auf das Skelett und 10 pCt. auf die Muskeln.

1. **Chlorsalze**: NaCl , von allen anorganischen Salzen am reichlichsten; findet sich konstant im Blutplasma, in der Lymphe und in der Gewebsflüssigkeit (zu etwa 0.6 pCt.). In großer Menge im Harn (15 g in 24 Std. beim Menschen), wo es selbst beim NaCl -Hunger in geringer Menge vorhanden ist.

KCl in geringerer Menge, bes. in roten Blutkörperchen, Muskeln, Nerven.

Kaliumsalze, in größerer Dosis ins Blut gespritzt, sind heftige Herz-, überhaupt Muskelgifte, Natriumsalze nicht; in kleiner Dosis regen die Kalisalze die Verdauung und die Kreislauffähigkeit an (Verstärkung und Beschleunigung der Herztätigkeit, Steigerung des Blutdruckes).

Natrium- und Kaliumsalze finden sich in allen tierischen Organen und Säften; während die Natriumsalze in den Flüssigkeiten überwiegen (ausgenommen die Milch), überwiegen die Kalisalze in den geformten Bestandteilen. K ist bes. für wachsende Organismen erforderlich.

Durch die Verwitterung des Granits wird neben SiO_2 auch K frei; dies gelangt mit dem Regen und Gebirgswasser in die Ackerkrume, in die Pflanzen, in die Herbivoren, in die Karnivoren.

Ca Cl_2 Chlorcalcium ein geringer Bestandteil der Knochenerde.

2. Fluor in den Knochen und im Schmelz der Zähne als Ca Fl_2 .

3. Calcium kommt wahrscheinlich in jeder Zelle vor, findet sich als Fluorsalz, als Chlorid (s. o.), als phosphorsaures und kohlsaures Salz (s. u.); ferner als schwefelsaures, harnsaures und oxalsaures Salz im Harn, als zitronensaures Salz in der Milch. Der Hauptmenge nach stammt es aus der pflanzlichen Nahrung und aus dem Trinkwasser.

4. Magnesium als Phosphat und Karbonat (s. u.).

5. Silicium in den Pflanzen; die Epidermiszellen mancher Gräser sind mit SiO_2 imprägniert, daher schneiden sie; SiO_2 geht in den Harn grasfressender Tiere (Pferd, Rind, Schaf) über. SiO_2 ferner in den Haaren von Menschen und Säugetieren, in den Federn der Vögel; soll in jeder Art Bindegewebe vorkommen.

6. Jod in manchen Seepflanzen (Tangen), in der Schilddrüse; ferner in Spuren in Thymus, Milz, Hypophyse, Ovarien.

7. Schwefel gehört zu den Bildnern des Eiweiß und damit des Zellprotoplasmas, aus dem man ihn beim Veraschen als Sulfat gewinnt. Kommt ferner vor als Alkalisalz ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$ und $\text{K}_2 \text{SO}_4$ in geringen Mengen fast überall, fehlen nur in Milch, Galle, Magensaft), als Salz der gepaarten Schwefelsäuren im Harn (s. dort), im Taurin (s. Gallensäuren), als $\text{H}_2 \text{S}$ im Darm.

8. Phosphate als $\text{Na}_3 \text{PO}_4$, $\text{K}_3 \text{PO}_4$, $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3 (\text{PO}_4)_2$. }

9. Karbonate als $\text{Na}_2 \text{CO}_3$, $\text{K}_2 \text{CO}_3$, CaCO_3 , MgCO_3 . }

finden sich überall im Körper in wechselnder Menge. Am reichlichsten in Knochen, wo sie als phosphorsaures Calcium, phosphorsaures Magnesium, kohlsaures Calcium und Fluorcalcium die Knochenerde bilden.

Von ihnen liefert Calciumphosphat weitaus die größte Masse: Ohne Calciumphosphat keine Knochenbildung; es ist daher unentbehrlich für die Säuglingsernährung; es gehört überhaupt zu den für die Gewebsbildung wichtigsten Salzen. Über ein Viertel des trockenen Skeletts ist Phosphorsäure, also für den erwachsenen Menschen etwa 2000 gr.

Phosphor ferner in dem verbreiteten Protagon (s. S. 29).

10. Als Salz findet sich ferner Eisen, in den Pflanzen nur sehr wenig, doch können ohne Eisen die Chlorophyllkörner sich nicht bilden (s. auch S. 7). Das Hämoglobin der roten Blutkörperchen enthält Fe in chemischer Bindung. Die Fe-Menge im Gesamtblut des Menschen beträgt etwa 3 gr (Stricknadel, Maximaldosis p. dosi vom Chloralhydrat), des Pferdes ca. 18 gr. In geringer Menge ferner in Harn, Galle (als Phosphat), Eidotter, Milch, Leber. Cu ist häufig in der Leber gefunden worden.

Organische Verbindungen.

A. Stickstoffhaltige

a) Eiweißkörper:

1. Proteine,
2. Proteide,
3. Albuminoide,
4. Farbstoffe.

b) Körper, die aus den Eiweißen bei ihrer Zersetzung im Körper entstehen.

B. Stickstofffreie

1. Kohlehydrate,
2. Fette,
3. Stickstofffreie Säuren.

Eiweißkörper.

Sie bilden der Masse und Bedeutung nach den Hauptbestandteil aller lebendigen Substanz. Sie bestehen aus C, H, N, O, S (daher entsteht bei ihrer Fäulnis H_2S), in manchen findet sich auch P, in wenigen Fe, in einem J (Jodothyron). Im Mittel ist C zu 52 pCt. enthalten, O zu 23 pCt., N zu 16 pCt.,¹⁾ H zu 7 pCt., S zu 2 pCt. Sie enthalten eine außerordentlich große

¹⁾ Daraus folgt, daß einem Gramm N: $\frac{100}{16} = 6.25$ gr Eiweiß entsprechen; ferner daß der N-Gehalt zum C-Gehalt sich verhält wie 1 : 3.3. Kennt man also den N-Gehalt einer organischen Substanz, so kann man den C-Gehalt berechnen. Nach Voit berechnet man den N statt auf Eiweiß auf Körpergewebe, als dessen Typus man das Muskelfleisch nimmt. Das enthält durchschnittlich 3.4 % N, sodaß je 1 gr N = 30 gr Fleisch (Körperfleisch) entspricht.

Zahl von Atomen im Molekül und haben daher ein enormes Molekulargewicht. Sie sind äußerst unbeständig und werden leicht durch verschiedene Einwirkungen verändert.

Sie kommen in zwei Modifikationen vor: 1. einer löslichen, 2. einer unlöslichen. Der Übergang von der ersten in die zweite heißt Gerinnung, Koagulation.

Die Eiweißlösungen drehen die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes nach links, nur einige (Hämoglobin, Nukleoproteide) nach rechts. Sie diffundieren (mit Ausnahme der Peptone) schwer oder gar nicht; sie sind in einigen Fällen kristallisiert erhalten (Hämoglobin, Vitellin, Eier-, Serumalbumin, mehrere Pflanzeneiweiße).¹⁾

Die Eiweißkörper zerfallen bei der Einwirkung hochgespannter Wasserdämpfe, beim Erhitzen mit Säuren und Alkalien und bei der Fäulnis unter Hydratation (Aufnahme der Elemente des Wassers) neben Abspaltung von NH_3 und H_2S in Tyrosin (ein aromatischer (Benzol-) Körper), in Leuzin, Asparaginsäure (beides Fettkörper) und mehrere andere Körper (s. u.).

Die eigentlichen Eiweißkörper, die Proteine, werden in Lösungen nachgewiesen durch Fällungsreaktionen²⁾ und Färbungsreaktionen.

Der N-Gehalt wird jetzt meist nach der Methode von Kjeldahl bestimmt: Die organische Substanz wird durch Erhitzen mit P_2O_5 -haltiger Schwefelsäure zersetzt. Der N wird dabei in Form von NH_3 frei, das zunächst an die Säure gebunden ist. Man übersättigt mit Natronlauge, destilliert das frei gewordene NH_3 und fängt es in Normalsäure auf. Darin wird es durch Titration bestimmt.

¹⁾ Schon damit ist erwiesen, daß die früher übliche Unterscheidung von Graham in kolloide Substanzen, eben die Eiweiße, die, wie der Leim (colla), nicht diffundieren und nicht kristallisieren sollten, und in kristalloide Substanzen, die kristallisieren und diffundieren sollten, nicht streng allgemein gültig ist. Überdies gibt es unter den Nicht-Eiweißen, also den früheren kristalloiden Körpern solche, die nicht diffundieren: die in Wasser löslichen Polysaccharide, ferner unter den anorganischen Verbindungen: Kieselsäure, Eisenoxyd.

²⁾ Fällung ist die unter Einwirkung eines Reagens auftretende Ausscheidung einer festen Masse aus einer klaren Flüssigkeit. Bei den Eiweißkörpern kann die Fällung zu stande kommen, indem das Reagens 1. nur die Koagulation (s. o.) bewirkt (Hitze, Mineralsäuren), 2. indem es mit den Eiweißkörpern in Wasser unlösliche Verbindungen eingeht (Schwermetallsalze).

Bei den nicht künstlichen Gerinnungen (Blut, Milch, Muskelplasma) sind Fermente oder Enzyme das die Koagulation bewirkende Agens.

I. Fällungsreaktionen:

1. Erhitzen (in stark sauren und stark alkalischen Lösungen nicht). Die verschiedenen Eiweißkörper gerinnen bei verschiedenen Temperaturen, aber alle unter 100°. Man kann daher die Eiweißkörper durch Erwärmen auf die verschiedenen Gerinnungstemperaturen von einander trennen („fraktionierte Koagulation“).
2. Konz. Mineralsäuren in der Kälte; bes. Salpetersäure gibt scharfe Reaktion (Heller'sche Probe).
3. Schwermetallsalze (daher die giftige, aber auch desinfizierende Kraft des Quecksilberchlorids, Sublimats, und des Silbernitrats, Arg. nitric.); es entstehen in Wasser unlösliche salzartige Verbindungen (Metallalbuminate).
4. Aussalzen: Sättigen mit Neutralsalzen (NaCl, Sulfate des Magnesiums, Natriums und bes. des Ammoniums). Zusatz von Essigsäure begünstigt die Fällung.
5. Durch die sog. Alkaloïdreagentien: Ferrocyanwasserstoffsäure (Zusatz von Essigsäure + Ferrocyankalium), Phosphorwolframsäure, Pikrinsäure, Jod in Jodkalium, Gerbsäure, Trichloressigsäure.
6. Von organischen Stoffen: Alkohol; ferner: Karbolsäure, Kreosot (κρέας, σώζω).

II. Färbungsreaktionen:

1. konz. Salpetersäure in der Wärme gibt Gelbfärbung, es entsteht Xanthoproteinsäure. Darauf Übersättigen mit Ammoniak: tief orangegelbe Farbe.
2. Millon's Reagens (Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd mit etwas salpetriger Säure) gibt grauweißen Niederschlag, der beim Erhitzen mehr oder minder dunkelrote Färbung annimmt; rührt her von Phenolkörpern (Tyrosin).
3. Verdünnte Kupfersulfatlösung (2%) nach Zusatz von Kalilauge gibt in der Kälte blauviolette, beim Erhitzen rosa-rote bis purpurrote Färbung (Biuret, ein Harnstoffderivat, gibt in der Kälte ebenfalls die rote Färbung).
4. Rohrzucker und konz. Schwefelsäure färben beim Erwärmen schön purpurrot oder violett.

5. Zusatz von Eisessig gibt, mit konz. H_2SO_4 unterschichtet, an der Berührungsstelle purpurrote bez. violette Färbung. Adamkiewicz' Reaktion.

Da keine einzelne dieser Färbungsreaktionen dem Eiweiß allein zukommt, so müssen in jedem Fall mehrere angestellt werden.

Man teilt die Eiweißkörper ein in: Proteïne, Proteïde, Albuminoïde, Farbstoffe.

1. Proteïne.¹⁾

Die Proteïne finden sich im Körper hauptsächlich in Blut, Lymphe und serösen Flüssigkeiten, „zirkulierendes“, auch „totes Eiweiß“ genannt, gegenüber demjenigen, welches durch die Arbeit der lebendigen Zelle in lebendes Protoplasma, in „lebendiges Eiweiß“, übergeführt wird. Dieses letztere soll sich dem „toten“ gegenüber durch größere Neigung zu intramolekularer Umlagerung auszeichnen.

Das Eiweiß, wie es in der Natur vorkommt (z. B. Hühner-eiweiß), nennt man g e n u i n e s oder n a t i v e s Eiweiß; das sind die Proteïne im engeren Sinne, die eigentlichen Proteïne.

Ihm gegenüber stellt man das transformierte oder d e n a t u r i e r t e Eiweiß, welches durch chemische (Säuren, Alkalien), physikalische (Hitze: Koagulation) oder biologische (Verdauung) Einwirkung verändert ist.

A. Zu den eigentlichen Proteïnen gehören:

- a) Albumine, die schwefelreichsten Eiweißkörper, löslich in Wasser: Serum-, Eier-, Milch-, Muskel-Pflanzen-Albumin.
- b) Globuline, unlöslich in Wasser, enthalten weniger S als die Albumine: Eier-, Serum-, Lakto-Globulin, Fibrinogen, Myosinogen (oder Myogen), Pramyosinogen (Myosin).
- c) Nukleoalbumine: phosphorhaltige Eiweißkörper, wurden deshalb früher mit den Nukleoproteïden (s. u.) zusammengestellt, geben aber bei der Spaltung keine Nukleinsäuren und keine Xanthinbasen. Der abspaltbare phosphorhaltige Komplex wird auch Paranukleïn oder Pseudonukleïn genannt.

¹⁾ Von πρωτεῖον nehme den ersten Rang ein.

Hauptrepräsentant der Nukleoalbumine, weil am besten bekannt, ist das Kasein, der Käsestoff der Milch. Es ist unlöslich in Wasser, seine Salze (Eukasin, Nutrose, Plasmon) dagegen sind leicht löslich in Wasser; in der Milch ist es als Kaseincalcium enthalten. Es gerinnt nicht beim Kochen, wird aber gefällt durch schwache Säuren. Unter Einwirkung des Labferments (Chymosin s. Magenverdauung) entsteht Parakasein, das mit den Kalksalzen der Milch eine unlösliche Verbindung, den Käse, bildet.

Zu den Nukleoalbuminen gehören ferner das Vitellin im Dotter der Eier und eine Reihe von Zellnukleoalbuminen.

B. Denaturierte Proteine sind:

- | | |
|--|--|
| a) Acid-Albumine, Syntonine, entstehen durch Behandlung der Proteine mit Säuren; | } sind in Wasser unlöslich und koagulieren nicht mehr beim Kochen. |
| b) Alkali-Albuminate, entstehen durch Behandlung der Proteine mit Alkalien; | |
| c) Proteosen, entstehen aus Proteinen und Proteiden bei der Verdauung (s. d.): Albumosen und Peptone. | |
| d) Koagulierte Proteine, die durch Gerinnungsmittel (seien es künstliche (Hitze) oder Enzyme) umgewandelten Proteine (Parakasein, Fibrin, Myogenfibrin, Myosinfibrin). | |

Den Proteinen nahe stehen die Protamine, stark basische Körper von hohem N-Gehalt: Salmin (im Lachssperma), Clupein (in Heringsperma) usw., ferner die Histone, ebenfalls basische Eiweißstoffe.

2. Proteide

Sind Verbindungen von Eiweiß mit anderen hoch zusammengesetzten Stoffen.

- a) Nukleoproteide, finden sich in den Zellen im Protoplasma und machen den Hauptbestandteil der Kerne aus, übertreffen daher in zellenreichen, drüsigen Organen alle anderen Eiweißkörper an Menge. Sie verhalten sich wie Säuren, sind unlöslich in Wasser und Neutralsalzen,

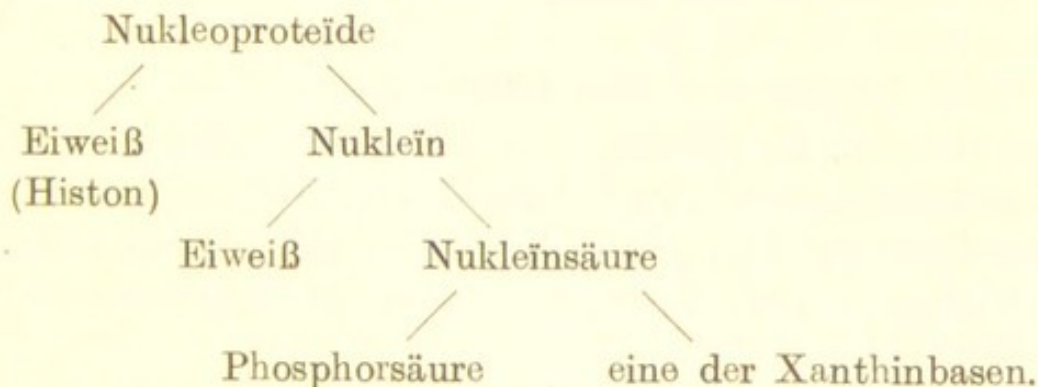
leicht löslich bei Zusatz von wenig Alkali und werden, wie die nativen Eiweiße, durch Hitze oder andere Mittel koaguliert und denaturiert. Werden sie mit Pepsin-Salzsäure behandelt, „verdaut“, so spalten sie sich in einen Eiweißkörper, Histon, und Nukleïn.

Die N u k l e i n e, zuerst im Zellenkern gefunden, daher der Name, sind Verbindungen von Eiweiß mit einer Nukleïnsäure.

Die Nukleïne sind stärker sauer als die Nukleoproteïde, sie geben ebenfalls die meisten Reaktionen der Proteïne.

N u k l e i n s ä u r e n sind Verbindungen von Phosphorsäure mit einer der Xanthinbasen: Xanthin¹⁾, Guanin, Hypoxanthin (oder Sarkin), Adenin und, aus Thymusnukleïn erhalten, Cytosin; sie werden auch Nukleïnbasen genannt.

Es ergibt sich also folgendes Schema für die



- b) C h r o m o p r o t e i d e, Verbindungen von Eiweiß mit einem Farbstoff; die wichtigsten sind die H ä m o g l o b i n e, Verbindungen von Eiweiß (Globulin) mit dem Fe-haltigen Farbstoff Hämatin. Sie gehören zu den wenigen kristallisierbaren Eiweißstoffen.

Hämoglobin, Oxyhämoglobin, Methämoglobin, Kohlenoxydhämoglobin (s. Blut).

- c) G l y k o p r o t e i d e, Verbindungen von Eiweiß mit Substanzen der Kohlehydratgruppe; hierher gehören die Mucine und ihnen ähnliche, einige Hyalogene und Mucoïde; Mucinogen ist die im Schleim vorkommende Vorstufe der Mucine.

¹⁾ Methylderivate des Xanthins sind Heteroxanthin, Theobromin, Theophyllin, Paraxanthin, Koffein.

Die Mucine sind nur im Tierkörper gefunden: im Speichel, im Schleim der Schleimhäute, in Sehnen, im Schleimgewebe. Haben sauren Charakter, sind in H_2O unlöslich, quellen aber darin auf, lösen sich in Alkalien, in der Siedehitze gerinnen sie nicht, werden durch Alkohol ausgefällt. Charakteristische Reaktion: Werden durch Essigsäure gefällt und im Überschuß derselben nur schwer gelöst.

- d) Noch höher zusammengesetzte Verbindungen sind die Phosphoglykoproteide (Ichthulin in Fischeiern, einige Hyalogene), die bei der Spaltung Pseudonukleïn und ein Kohlehydrat geben; die Nukleoglykoproteide, die bei der Spaltung Nukleïn und ein Kohlehydrat geben, Lezithalbumine, die aus Eiweiß und Lezithin zusammengesetzt sind; Chondropoteide, Verbindungen von Leim bez. Eiweiß mit Chondroitinschwefelsäure, im Knorpel und im Amyloid der Pathologie.

3. Albuminoïde

sind Derivate der Eiweißkörper, zeigen daher noch deren charakteristische elementare Zusammensetzung, sind ihnen physiologisch aber nicht gleichwertig; auch weichen sie in ihrem chemischen und physikalischen Verhalten von den Eiweißkörpern nicht unbedeutend ab.

Sie sind ein spezifisches Produkt des tierischen Körpers, können aber in ihm nicht wieder in Eiweiß zurückverwandelt werden. Im Gegensatz zu den Proteïnen und Proteïden, die den Hauptbestandteil der Zellen bilden, kommen die Albuminoïde nur als Ausscheidungsprodukte der Zellen, als Interzellulärsubstanzen vor. Sie bilden die Grundsubstanzen der verschiedenen Gewebe und fungieren als Gerüst- und Deckssubstanzen des Körpers. Sie können diesen Zweck erfüllen, da sie unlöslich sind in allen tierischen Flüssigkeiten, in Wasser und Salzlösungen, meist auch in verdünnten Säuren und Alkalien.

Es gehören dazu:

- a) Die Kollagene. Kollagen, leimgebende Substanz, kommt vor im fibrillären Bindegewebe, Knorpel und Knochen. In H_2O anhaltend gekocht, löst es sich unter Wasseraufnahme, bildet beim Abkühlen eine feste Gallerte

Leim (colla): Glutin, Knochenleim, entsteht beim Kochen der Knochen und des Bindegewebes; Chondrin, Knorpelleim, beim Kochen des embryonalen und permanenten Knorpels, soll nur eine lockere Verbindung von Glutin mit chondroitinschwefelsauren Alkalien sein. Leim ist löslich in heißem Wasser; aus den Lösungen wird Glutin durch Gerbsäure, Chondrin durch neutrales Bleiazetat (Bleizucker) gefällt. In kaltem Wasser quillt der Leim auf; Leimlösungen diffundieren nicht, „Kolloide“. Unter Einwirkung von Magensaft oder Trypsin wird Leim in Leimalbumosen und Leimpeptone verwandelt. Leim gibt die Biuret- und die Xanthoproteinreaktion. Zersetzungsprodukt des Leimes ist neben Leuzin Glykokoll.

- b) Die Elastine. Die elastischen Fasern im fibrillären Bindegewebe und das elastische Gewebe bestehen wesentlich aus Elastin; es enthält S, ist unlöslich in Wasser, Alkohol, Äther, nur langsam löslich in konzentrierten Alkalien und Mineralsäuren.
- c) Die Keratine. Hornstoffe, reich an Schwefel, in Haaren, Borsten, Federn, Nägeln, Horn, Epidermis; hierzu auch das Neurokeratin der markhaltigen Nervenfasern. Keratin quillt in heißem Wasser auf (Wirkung der heißen Bäder auf die Epidermis), erweicht mit verdünnten Alkalien (beim Waschen mit Seife), löst sich in kaustischen Alkalien.
- d) Die Skeletine. Chitin im Panzer der Crustaceen und Insekten, Spongin im Badeschwamm u. a.

4. Farbstoffe

sind N-haltige Verbindungen unbekannter Konstitution, sind als Derivate der Proteine und Proteide anzusehen. Sie sind zum Teil kristallinisch, zum Teil amorph, kommen gelöst in Flüssigkeiten vor oder als amorphe Körnchen, sog. Pigmente, abgelagert.

Gelöste Farbstoffe: Gallenfarbstoffe (s. d.), Harnfarbstoffe (s. d.), Lutein, der gelbe Farbstoff des Eidotters und der Sehpurpur der Netzhaut.

Amorphe Farbstoffe, sog. Pigmente: Melanin in der Chorioidea, Iris, Epidermis, Haaren.

5. Stoffe der regressiven Metamorphose des Eiweiß.

Die als die eigentlichen Gewebsbildner im Körper vorkommenden Eiweißkörper, die den wesentlichen Bestandteil des Tierleibes ausmachen, bilden sich erst aus der aufgenommenen Nahrung, „Assimilation“ oder „progressive Metamorphose“; dabei finden verschiedenartige chemische Vorgänge statt, in denen die Synthese überwiegt; einfachere Moleküle werden zu zusammengesetzteren aufgebaut (Polymerisation). Durch den Stoffwechsel werden die Gewebsbildner wieder abgebaut (depolymerisiert), „Dissimilation“ oder „regressive Metamorphose“ wobei ebenfalls wechselnde chemische Vorgänge sich in schneller Folge abspielen, unter denen aber die Spaltung überwiegt; diese Spaltung kann teils direkt (einfache Zerlegung), teils durch Aufnahme von Wasser, teils durch Aufnahme von Sauerstoff erfolgen.

Während die Fette und Kohlehydrate im Körper vollständig zu Wasser und Kohlensäure verbrennen, werden die Eiweißstoffe nur unvollständig zersetzt. Im einzelnen ist der Abbau des Eiweiß im Körper noch wenig bekannt und jedenfalls sehr kompliziert. Stickstofffreie Endprodukte sind H_2O , CO_2 und als Oxydationsprodukte des S und des P im Eiweiß, Schwefelsäure und Phosphorsäure, die als Salze ausgeschieden werden. Gerade die stickstoffhaltigen Endprodukte sind meistens noch brennbar. Es entsteht eine Reihe N-haltiger Zersetzungstoffe, die im Körper nicht weiter verwertet werden. Solche (über ihr weiteres Schicksal s. Harn) sind:

α) Leuzin, Amidokapronsäure¹⁾ $C_5H_{10} \begin{smallmatrix} NH_2 \\ < \\ COOH \end{smallmatrix}$ ($C_5H_{11} - COOH$ Capronsäure), findet sich normalerweiser in vielen Organen und Geweben, entsteht im Darm bei der Pankreasverdauung.

β) Tyrosin, Oxyphenylamidopropionsäure, $C_9H_{11}NO_3$, zusammen mit Leuzin im alten Käse (τυρός, daher der Name); scheint niemals normalerweiser in den Organen und Geweben höherer Tiere vorzukommen, sondern nur im Darm bei der Pankreasverdauung, entsteht auch bei Fäulnis der Eiweißkörper.

¹⁾ Die Amidverbindungen (auch Amino-) enthalten das Radikal des Ammoniaks, die einwertige Gruppe $-NH_2$.

γ) Glykokoll, Glyzin oder Leimzucker: Amidoessigsäure $\text{CH}_2 < \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \text{COOH} \end{smallmatrix}$, kommt als solches in den Muskeln von Pecten irradians vor, ferner als Spaltungsprodukt des Leimes, außerdem in 2 gepaarten Säuren:

1. mit der Cholsäure als Glykocholsäure in der Galle,
2. mit Benzoesäure ($\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$) als Hippursäure im Harn.

δ) Asparaginsäure, Amidobernsteinsäure, $\text{C}_4\text{H}_7\text{NO}_4$, ist als Amid (Asparagin) in den Pflanzen viel verbreitet.

ε) Glutaminsäure, Amidopyroweinsäure.

ζ) Lysin, Diamidokapronsäure $\text{C}_5\text{H}_9 < \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \text{NH}_2 \\ \text{COOH} \end{smallmatrix}$; Arginin

$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4\text{O}_2$; Histidin $\text{C}_6\text{H}_9\text{N}_3\text{O}_2$; diese drei sind als Hexonbasen zusammengefaßt worden.

η) Kreatin in allen Flüssigkeiten des Körpers, bes. in den Muskeln; wird vom Guanidin = Imidoharnstoff $\text{C}(\text{NH})(\text{NH}_2)_2$ abgeleitet.¹⁾

θ) Kreatinin, das Anhydrid des Kreatins, namentlich im Harn.

ι) Tryptophan, Skatolaminoessigsäure, eine chromogene Substanz, färbt sich mit Bromwasser rötlich violett, soll bei jeder Aufspaltung des Eiweißmoleküls entstehen.

κ) Die Xanthinbasen.²⁾ Xanthin und Hypoxanthin im Muskel und anderen Geweben in geringer Menge; Adenin, Guanin in Spinnenexkrementen und Guano, in geringer Menge in Pankreas und Leber.

λ) Harnsäure $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$ hauptsächlich im Harn, in den Exkrementen der Vögel und Reptilien.

μ) Harnstoff $\text{CO} < \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$

ν) Ammoniak, NH_3 , kommt als Ammoniaksalz in geringer Menge zur Ausscheidung, wird zum größten Teil in der Leber in Harnstoff (s. Harn) verwandelt.

¹⁾ NH ist die zweiwertige Imid-Gruppe.

²⁾ Diese 4 Xanthinbasen, auch Nukleïnbasen oder Alloxurbasen (weil sie einen Alloxanrest [Alloxan = Mesoxalylharnstoff $\text{C}_4\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_4$] enthalten) genannt, und die Harnsäure werden neuerdings als Derivate einer gemeinsamen Muttersubstanz, des Purins $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4$, angesehen und daher auch Purinkörper genannt.

Indol, Skatol, Phenol, Kresol, Fäulnisprodukte der Eiweißkörper, die im Darm entstehen. Sie gehören zur aromatischen (Benzol-)reihe. Den ersten beiden verdanken die Fäkalien ihren charakteristischen Geruch.

Anhang.

Fermente.

Man teilt sie in organisierte oder geformte Fermente: Mikroorganismen (Bakterien, Pilze), und nicht organisierte, ungeformte oder chemische Fermente: Enzyme. Die Enzyme rechnet man zu den Eiweißkörpern, da sie einige Eigenschaften mit ihnen gemein haben (löslich in H_2O und Glyzerin, dies sind nicht echte, sondern kolloidale Lösungen; sie sind fällbar durch Alkohol, nicht diffusibel, geben die Eiweißfarbreaktionen). Sie sind Produkte des tierischen und pflanzlichen Organismus. Sie haben die charakteristische Fähigkeit, selbst in sehr geringer Menge große Mengen gewisser Substanzen umzusetzen, und werden dabei selbst nur wenig verbraucht. Ihre Wirkung ist abhängig von der Temperatur (in mittleren Graden liegt das Optimum ihrer Wirkung), von der Reaktion und der Konzentration der Lösung der Substanz. Anhäufung der Spaltungsprodukte kann ihre Wirkung hemmen. Für die Ferment- oder Enzymwirkung ist Gegenwart von Wasser nötig, im trockenen Zustand tritt keine Spaltung ein. Es gibt Reagentien (Phenol, Toluol, Borsäure u. a.), welche die Fermente töten, die Enzyme aber nicht angreifen. Jedes Enzym wirkt nur auf eine bestimmte Substanz oder Substanzgruppe, was besonders auffällig bei den invertierenden Enzymen ist. Man unterscheidet:

1. Verdauungsenzyme, in den Sekreten der Verdauungsdrüsen, auch hydrolytische genannt, da die Spaltungen unter Aufnahme von Wasser stattfinden: a) Diastatische oder amylolytische (Speichel, Pankreas, Milz) führen Amylum in Zucker über, b) Eiweißspaltende oder proteolytische (Magen, Pankreas) führen Proteine in Proteosen über, c) Fettspaltende oder lipolytische (Pankreas) zerlegen Fett in Fettsäuren und Glyzerin. Diese Enzyme werden in den betreffenden Verdauungsdrüsen selbst gebildet; sie finden sich aber meist nicht als solche in der ruhenden Drüse vor, sondern sind dort in einer Vorstufe,

sog. *Z y m o g e n*, abgelagert. Erst bei Beginn der Sekretion werden die Zymogene durch gewisse Stoffe in die Enzyme verwandelt.

2. *G e r i n n u n g s e n z y m e*: a) Labferment (Magen) fällt das Kasein aus der Milch, b) Fibrinferment (Blut) bewirkt die Blutgerinnung, c) Myosinferment im Muskelplasma.
3. Invertierende Enzyme (Invertasen), zerlegen die Disaccharide (s. u.) in ihre Komponenten, a) Das Invertin (in der Hefe) den Rohrzucker, b) die Laktase den Milchezucker, c) die Maltase (oder Glukase) den Malzzucker.
4. Ureolytische Enzyme; der *Micrococcus ureae* erzeugt ein Enzym, welches die alkalische Harn gärung hervorruft, wobei der Harnstoff in kohlensaures Ammoniak umgewandelt wird.

Kohlehydrate.

Sie finden sich reichlich in allen Pflanzen; im Tierkörper kommen sie zwar regelmäßig, aber nur in sehr geringer Menge vor. Neben dem C kommen in ihnen nur noch H und O in demselben Verhältnis wie im Wasser vor. Ihr C-Gehalt beträgt rund 40 pCt., ihr O-Gehalt rund 50 pCt., sie sind höher oxydiert als die Fette, erfordern also zur vollständigen Verbrennung weniger O, erzeugen daher auch weniger Wärme als diese. Übrigens können sie trotz ihres Namens (Hydrate) sehr verschiedene chemische Konstitution haben. Je nach der Zahl der Kohlenstoffatome unterscheidet man Triosen, Tetrosen, Pentosen, Hexosen, Heptosen, Oktosen, Nonosen.

P e n t o s e n $C_5H_{10}O_5$, im Pflanzenreich sehr verbreitet, unter gewissen Umständen auch im Menschenharn nachgewiesen, sind nicht gärfähig. Die wichtigsten sind Arabinose; Xylose; Rhamnose ($C_5H_9O_5CH_3!$).

Die *H e x o s e n* und deren Zusammensetzungen, die *H e x o b i o s e n* heißen Zucker, schmecken süß (die Hexobiosen stärker), sind leicht löslich in Wasser, schwer oder gar nicht löslich in Alkohol und Äther, diffundieren und kristallisieren, drehen die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes nach links oder rechts. Sie sind Aldehyde oder Ketone 6-wertiger Alkohole, werden daher als Aldehydzucker, Aldosen, und Ketonzucker, Ketosen, unter-

schieden. Gemeinsam ist allen, daß sie durch trockenes Erhitzen in Karamel übergeführt werden und sich mit α -Naphthol und Schwefelsäure rot färben.

a) Monosaccharide, $C_6H_{12}O_6$, Glykosen.

Dazu gehören Traubenzucker, Glukose, in süßen Früchten und Honig, ferner im Blut, Muskeln, Leber und anderen Geweben, pathologisch im Harn; Fruchtzucker, Fruktose, in Früchten und Honig; Galaktose, Bestandteil des glykosidartigen¹⁾ Cerebrins in der Gehirnsubstanz, daher früher Gehirnzucker genannt.

Die Glykosen sind optisch aktiv: drehen die Ebene des polarisierten Lichtes, z. B. Traubenzucker nach rechts, daher früher Dextrose genannt, Fruchtzucker nach links, daher früher Lävulose genannt.

Sie sind leicht oxydierbar und reduzieren daher stark. Darauf beruht der Nachweis des Traubenzuckers durch folgende Proben:

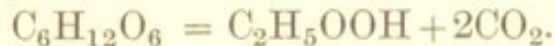
- I. Trommer'sche Probe: Zusatz von Kalilauge und verdünntem Kupfersulfat gibt beim Erwärmen einen Niederschlag von gelbem oder rotem Kupferoxydul.
- II. Böttger'sche Probe: Zusatz von Kalilauge und basisch-salpetersaurem Wismuthoxyd gibt beim Erwärmen schwarzen Niederschlag = metallisches Wismuth.
- III. Moore'sche Probe: Beim Erhitzen mit Kali- oder Natronlauge werden die Zucker oxydiert und färben sich gelbbraunlich; gleichzeitig tritt Karamelgeruch auf, noch deutlicher nach Zusatz von Säure.
- IV. Mulder'sche Probe: Zusatz von Natronkarbonat und Indigolösung gibt beim Erwärmen Entfärbung des Indigo.

Die Glykosen lassen sich ferner nachweisen durch:

- V. Zusatz von Phenylhydrazin in essigsaurer Lösung, giebt gelbe in Wasser unlösliche Körper (Osazone).
- VI. Die Gärungsprobe: Hier seien 3 Arten von Zuckergärung erwähnt:

¹⁾ Glykoside sind ätherartige Verbindungen, bestehend aus einem Kohlehydrat und aus einem Alkohol-, Aldehyd- oder Phenolrest. Beim Salizin, Popilin, Hesperidin, Amygdalin ist Traubenzucker das Kohlehydrat.

- 1) Die alkoholische oder geistige Gärung: Fast alle Monosaccharide spalten sich bei Einwirkung des Hefepilzes (*Saccharomyces*) in Alkohol und Kohlensäure



Sie gibt den sichersten Nachweis für Traubenzucker.

- 2) Die Milchsäuregärung: Die meisten Glykosen werden unter Einwirkung des *Bacterium lactis* in Gärungsmilchsäure ($C_3H_6O_3$) gespalten.
- 3) Die Buttersäuregärung: Unter Einwirkung des *Bacillus butyricus* entsteht aus Traubenzucker Buttersäure. Säuert die Milch lange, so schließt sich die Buttersäuregärung an die Milchsäuregärung an.

b) Disaccharide, $C_{12}H_{22}O_{11}$, Saccharosen.

Es sind Anhydride aus zwei Monosacchariden, daher auch Bi-osen genannt. Hierher gehören:

Rohrzucker (Saccharose) = Traubenzucker + Fruchtzucker.

Milchzucker (Laktose) = Traubenzucker + Galaktose.

Malzzucker (Maltose) = Traubenzucker + Traubenzucker.

Isomaltose, entsteht wie Maltose, bei Einwirkung der Diastase auf Stärke, Glykogen usw.

Beim Kochen mit Mineralsäuren werden sie in ihre Komponenten gespalten, „invertiert“, dasselbe geschieht unter Einwirkung gewisser Enzyme (s. S. 29). Ihre Synthese aus den Hexosen ist noch nicht gelungen.

Sie sind alle optisch rechtsdrehend; mit Ausnahme des Rohrzuckers reduzieren sie und bilden Osazone (s. o.). Milchzucker, spezifisches Produkt des Tierkörpers, kommt nur in der Milch vor, gibt keine alkoholische Gärung, wohl aber die Milchsäuregärung.

c) Polysaccharide $(C_6H_{10}O_5)_n$, Amylosen,

wobei n die noch unbekannte Zahl bedeutet, mit der die Formel zu multiplizieren ist. Es sind Anhydride von Vielfachen der Monosaccharide. Sie kristallisieren nicht, schmecken nicht süß, sind in Wasser teils löslich, teils unlöslich, teils quellbar, diffun-

dieren schwer oder gar nicht, reduzieren nicht (ausgenommen einige Dextrine), geben keine Osazone, keine Hefegärung, drehen optisch rechts, werden fast alle durch Mineralsäuren und gewisse Enzyme in Monosaccharosen, bes. Traubenzucker, gespalten. Es gehören dazu:

1. *C e l l u l o s e*, als Pflanzenmembran sehr verbreitet, im Tierreich im Mantel der Tunicaten und im Chitinpanzer der Insekten, zerfällt durch Kochen mit Schwefelsäure erst in Amyloïd, dann in Dextrin und Dextrose; Amyloïd gibt mit Schwefelsäure und Jod eine blaue Färbung.¹⁾ Unlöslich in allen gewöhnlichen Lösungsmitteln, löst sich nur in ammoniakalischer Lösung von Kupferoxyd (Schweitzer's Reagens). Holz und Kork sind Umwandlungsprodukte der Cellulose.
2. *S t ä r k e*, *A m y l u m*,²⁾ in den Stärkekörnern der chlorophyllhaltigen Pflanzen, unlöslich in kaltem Wasser, in kochendem quillt es und löst sich unvollkommen (Kleister), gibt mit J intensiv blaue Färbung, die beim Erhitzen verschwindet, in der Kälte wieder auftritt. Bei Einwirkung von Diastase und Ptyalin entsteht lösliche Stärke, dann verschiedene Dextrine und Maltose und Isomaltose und ein wenig Traubenzucker.
3. *G l y k o g e n*, tierische Stärke, Leberstärke, hauptsächlich in der Leber, in geringer Menge in Muskeln, Blut und anderen Geweben, auch im Pflanzenreich (Trüffeln, Hefe) angetroffen; wegen der Isomeriebildung der Zucker gibt es wahrscheinlich eine große Anzahl von Glykogenen. Der Tierkörper bildet auch aus Eiweiß Glkyogen. Zweck der Glykogenbildung ist Aufspeicherung von Kohlehydraten im Tierkörper. Ist amorph, quillt nur auf in kaltem Wasser, gibt mit J weinrote Färbung, die beim

¹⁾ Das Amyloïd der Pathologie (Entartung) gibt ähnliche Reaktion, gehört aber zu den Proteïden (S. 24).

²⁾ Nach der Herkunft unterscheidet man Kartoffel-, Reis-, Weizenstärke, Sago aus dem Mark der Palmen, Arrow-root aus der Pfeilwurzel.

³⁾ Jodstärke bildet eine sog. dissoziabile Verbindung, d. h. eine so lockere chem. Verbindung, daß sie schon durch physikalische Maßnahmen, in diesem Falle Erhitzen, gelöst wird. Es tritt Dissoziation ein. Beim Erkalten stellt sich die Verbindung wieder her.

Erhitzen verschwindet, beim Erkalten wiederkehrt. Ptyalin und Diastase verwandeln es ebenfalls in Maltose und schließlich in Traubenzucker.

4. *Dextrin* entsteht, wenn trockene Stärke stark erhitzt wird. Dextrine treten als Übergangsprodukte in der Verzuckerung der Stärke auf, zuerst Erythrodextrin, das sich mit Jod burgunderrot färbt, dann Achroodextrin, das sich mit Jod nicht färbt.
5. *Arabischer Gummi* (löslich in Wasser), *Pflanzenschleim* (Salepwurzel, Traganthgummi; quillt in Wasser schleimig auf), *Pectin* (mit Wasser und Zucker gekocht liefert Gelée); sie sind mit Amylum isomer.

Fette.

Sie enthalten 60—80 pCt. C und 10—30 pCt. O. Sie brauchen also viel O zu ihrer völligen Verbrennung zu CO_2 und H_2O und erzeugen daher viel Wärme.

Es sind Verbindungen von einbasischen Fettsäuren mit dem 3-wertigen Alkohol Glyzerin ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$). Die Fette stellen sich also dar als *Ester des Glyzerins*, und da die 3 H des Hydroxyls durch das Fettsäureradikal vertreten sind, so kann man sie auch als *Triglyzeride* bezeichnen. Sie sind unlöslich in Wasser und kaltem Alkohol, leicht löslich in heißem Alkohol, Äther, Benzol, Chloroform. Sie färben sich mit Osmiumsäure schwarz. Wegen ihres starken C-Gehaltes brennen sie leicht mit leuchtender stark russender Flamme. Wird Fett, ohne zu brennen, erhitzt, so zersetzt es sich unter Bildung von stark riechendem, die Schleimhäute heftig reizenden *Akrolein*.

Bei den tierischen Fetten kommen hauptsächlich 3 Säuren in Betracht: Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure. Dem entsprechend sind die wichtigsten tierischen Fette: Palmitin (Schmelz-Punkt 71.5°), Stearin (S.-P. 62°) und Olein (S.-P. 0°). Die Mischung der drei bildet das Fett im gewöhnlichen Sinne, dessen Aggregatzustand durch das Zurücktretreten oder Vorwiegen eines dieser Ester bedingt wird. Je höher der Gehalt an Olein, um so niedriger der Schmelzpunkt. Der Gehalt eines Fettes an Olein wird bestimmt durch die Jodzahl, d. i. die Menge Jod die von dem betreffenden Fett durch Addition aufgenommen wird. Außer diesen Fetten kommen in der Milch noch vor an das Gly-

zerin gebunden: Buttersäure, Capronsäure, Caprylsäure, Caprinsäure, Myristinsäure.

Eine besondere Gruppe unter den Fetten machen die Wacharten aus, der Wallrath (in den Schädelknochen des Pottwalls und das Wollfett. Sie enthalten außer den ebengenannten Fetten noch Ester mit anderen Fettsäuren und mit anderen Alkoholen. Bienenwachs enthält Cerotinsäure, Wallrath Ester des Cetylalkohols, Wollfett Ester des Cholestearins (s. u.); aus dem Wollfett wird das Lanolin gewonnen.

Bei dem Zusammenbringen mit Alkalien, *V e r s e i f e n*, zerlegen sich die Fette unter Wasseraufnahme in Glyzerin und Fettsäuren, die sich mit den Alkalien verbinden; die entstehenden fettsauren Alkalien sind Seifen (Natronseife: fest; Kaliseife; Schmierseife).

Fette, in denen die Fettsäuren vollständig an Glyzerin gebunden sind, reagieren neutral, „Neutralfette“. Solche Fette, der Oxydation an der Luft oder der Einwirkung bestimmter Fermente (Steapsin im Pankreassaft) überlassen, spalten sich unter Wasseraufnahme in Glyzerin und freie Fettsäuren. Ein so teilweise zersetztes Fett (= Neutralfett + Fettsäuren + Glyzerin) ist *r a n z i g e s* Fett, es reagiert infolge der freien Fettsäuren sauer.

Fette und Fettsäuren sind in Wasser unlöslich, Seifen dagegen löslich.

R a n z i g e F e t t e werden bei Gegenwart von Wasser und wenig Alkali spontan emulgiert, d. h. sehr fein verteilt, indem die Fettsäuren mit dem Alkali Seifen bilden. Die Bildung von Seifen ist notwendig zur spontanen Emulgierung, daher emulgieren neutrale Fette (solche, die keine freien Fettsäuren haben) unter gleichen Umständen nicht.

Während die Fette in reichlicher Menge nur bei wenigen Pflanzen vorkommen, findet eine Anhäufung derselben bei allen Tieren, nach guter Ernährung sogar in beträchtlichem Umfange statt. Der *Gesamtfettbestand des Körpers* schwankt zwischen 10—20 pCt.; die Hauptfettreservoirs sind Unterhautfettgewebe, Knochenmark, Nierenfett, Mesenterium (Gekröse). Es findet sich zum allergrößten Teil eingeschlossen in besondere Zellen, Fettzellen. In sehr geringen Mengen kommt es auch im Blut und in anderen Körperflüssigkeiten vor.

Das mit der Nahrung eingeführte Fett wird teils verbrannt zu CO_2 und H_2O , teils gelangt es zum Ansatz und dient dann

1. zur Speicherung von Verbrennungsmaterial,
2. zur Verhinderung der Abkühlung als schlechter Wärmeleiter,
3. zur Einhüllung zarter Organe (Auge, Niere).

Anhang.

Lezithine sind P-haltige Substanzen, von wachsartiger Konsistenz, welche in Nerven, Gehirn, Blut, Milch, überhaupt fast in allen Körperflüssigkeiten und Tier- und Pflanzenzellen vorkommen, bes. reichlich im Eidotter (*λέχιθος*, daher der Name). Sie sind Verbindungen von je einem Molekül Glyzerinphosphorsäure mit zwei Fettsäuremolekülen und einem Molekül Cholin. Sie sind unlöslich in Wasser, quellen aber darin (Myelinformen), löslich in heißem Alkohol und kristallisieren daraus. Bei der Zersetzung entsteht neben Cholin nur Glyzerinphosphorsäure auch leicht das zu den Leichenalkaloiden gehörige sehr giftige Neurin. Glyzerinphosphorsäure ist eine syrupöse Flüssigkeit, welche beim Erhitzen in Glyzerin und Phosphorsäure zerfällt, aus denen es auch synthetisch dargestellt werden kann. Cholin, eine ölige farblose Flüssigkeit, sehr unbeständig, zerfällt beim Erhitzen in Trimethylamin, Äthylenoxyd und Wasser.

Das **Jekorin**, in der Leber und im Blut nachgewiesen, stellt eine Verbindung von Lezithin und Glukose dar.

Das **Cholestearin** ist sehr verbreitet im tierischen Körper, begleitet die Fette, besonders reichlich in der Galle und im Nervengewebe. In vielen pathologischen Gebilden; die meisten Gallensteine bestehen daraus. Es stellt einen einwertigen Alkohol dar, der, wie das Glyzerin, mit Fettsäuren Ester bildet. Es ist, wie Fette, unlöslich in Wasser, löslich in heißem Alkohol, Benzol, Chloroform; im Gegensatz zu den Fetten aber unlöslich in Laugen. Cholestearinkristalle, perlmutterartig glänzende rhombische Tafeln, färben sich mit konz. Schwefelsäure und Jod blau, das durch rot und grün in violett übergeht.

Protagon, N- und P-haltiger Körper von unbekannter Konstitution, Bestandteil des Nervensystems; am reichlichsten

im Gehirn, ferner in Milz, roten Blutkörperchen, Leukozyten usw. zerfällt leicht in das P-haltige Lezithin und das P-freie, stickstoffhaltige glykosidartige Cerebrin, das als Kohlehydrat Galaktose enthält (s. S. 30).

Stickstofffreie Säuren.

- a) O x a l s ä u r e COOH—COOH , kommt im Harn vor (als oxalsaurer Kalk in Briefkouvertform).
- b) M i l c h s ä u r e n , $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$; es gibt drei Säuren:
 1. Die α -Oxypropionsäure, Aethylidenmilchsäure, dreht die Polarisationssebene nach rechts, im Muskel enthalten, daher auch Fleischmilchsäure oder Paramilchsäure genannt. Es gibt auch eine linksdrehende Modifikation.
 2. Die β -Oxypropionsäure, Äthylidenmilchsäure, kommt im Tierkörper nicht vor.
 3. Gärungsmilchsäure, gewöhnliche Milchsäure, aus der sauren Gärung des Milchzuckers entstanden, hat dieselbe Konstitution wie 1, optisch inaktiv, weil sie aus gleichen Mengen rechts- und linksdrehender Säure besteht. Der linksdrehende Anteil kann durch Gärung zerstört werden, dann bleibt Paramilchsäure übrig.

Pathologisch können auch Acetessigsäure und Oxybuttersäure im Harn auftreten.

2. Zellenlehre.

Bedeutung der Zellen.

Die den ausgebildeten Körper darstellenden Organe sind zusammengesetzt aus kleinsten Bestandteilen von verschiedener Beschaffenheit. Es sind dies nicht weiter in gleichartige und lebensfähige Teile zerlegbare, meist mikroskopische Gebilde, Zellen¹⁾ oder Elementarteile. Die Zelle ist das einfachste physiologische Individuum, wie sie auch anatomisch die letzte und wesentliche Formeneinheit des Körpers darstellt. Sie besitzt eigene Lebenstätigkeit und kann, ohne von den Nachbarzellen abhängig zu sein, gewisse Lebensfunktionen ausüben. Alle an der Zelle sich kundgebenden Vorgänge lassen dieselbe als ein lebendes Gebilde nicht nur, sondern auch als einem Organismus vergleichbar erscheinen. Brücke (1861) nannte sie daher Elementarorganismus. Entdeckt wurde zuerst die pflanzliche Zelle und ihre Bedeutung als primäres Formelement aller pflanzlichen Gebilde erkannt (Schleiden 1838). Dann wurde (Schwann 1839) der Nachweis geführt, daß das zellulare Prinzip auch für den tierischen Organismus gelte. Weiterhin gelangte man zu der Einsicht, daß viele Tiere und Pflanzen während ihres ganzen Lebens nur aus einer einzigen Zelle bestehen. Die Definition, was eine Zelle sei, hat sich unter den fortschreitenden Untersuchungen (Remak, Reichert, Brücke, M. Schultze, Beale) wesentlich geändert; sie wird heute dahin gegeben, daß man unter Zelle ein räumlich begrenztes Formelement versteht, dessen wesentliche Bestandteile *P r o t o p l a s m a* und *K e r n* sind.

Bau der Zellen.

Protoplasma (H. von Mohl 1846), Zellsubstanz, Sarkode, ein Sammelbegriff, ist ein Gemisch verschiedener morphologischer

¹⁾ Der Name der Zelle, *cellula*, rührt von der Ähnlichkeit pflanzlicher Zellen mit den Bienenwaben her.

und chemischer (bis jetzt noch wenig bekannter) Bestandteile. Es stellt eine alkalisch reagierende, weiche, zähflüssige Substanz dar, die, in Wasser unlöslich, aber quellungsfähig, hauptsächlich aus Eiweißkörpern, viel Wasser und Salzen besteht und einen besonderen N-haltigen Körper, das Plastin, führt. Es finden sich im Protoplasma Körnchen mannigfaltiger Art, die Mikrosomen, in wechselnder Menge eingestreut. Vielfach wird angenommen, das Protoplasma bestehe aus einem Netzwerk oder Wabenwerk (Filarsubstanz), in dessen Lücken die anderen Bestandteile (Interfilarsubstanz) in flüssigem Zustand enthalten seien.

Der Zellenkern, Nucleus (von Robert Brown 1833 entdeckt), ein nahezu in der Mitte gelegener, meist bläschenförmiger, wasserheller, scharf begrenzter Körper. Er ist ein notwendiger Bestandteil der entwicklungsfähigen Zelle. Sein Aufbau hat sich nach den neueren Untersuchungen als sehr verwickelt dargestellt; er ist ebenfalls ein Gemisch von verschiedenen Bestandteilen. Chemisch besteht er aus verschiedenen Proteïnsubstanzen; darunter hat man aus ihm zuerst die Nukleïne dargestellt. Er besteht aus:

- a) **Gerüstsubstanz**¹⁾: α) achromatische Kernsubstanz, bildet ein Gerüst aus feinen Strängen, die sich mit den typischen Kernfärbemitteln nicht färben; β) chromatische Kernsubstanz (Chromatin), färbt sich gerade mit diesen Färbemitteln. Sie ist in Form von kleinen Körnchen und Bröckchen dem vorigen aufgelagert.
- b) **Kernsafft**, eine homogene Flüssigkeit, die Grundsubstanz, färbt sich wie α) nicht mit den Kernfärbemitteln. In ihr ist die Gerüstsubstanz enthalten.
- c) **Kernkörperchen**, Nucleolus, ein homogenes, stark lichtbrechendes, mit Kernfärbemitteln sich färbendes Körperchen, gewöhnlich nur eines in einem Kern.

Umschlossen wird dieser Inhalt in vielen Fällen, aber nicht immer von einer Kernmembran. Zu bemerken ist noch, daß die Stränge der chromatischen Substanz an einzelnen Stellen verdickt sind zu Knoten, den Netzknoten, die nicht mit den Kernkörperchen verwechselt werden dürfen. Zum Kern gehört ferner das

¹⁾ Man hat in neuerer Zeit diesen Bestandteilen verschiedene Namen gegeben, die z. T. zugleich die chemische Konstitution ausdrücken sollen. Doch sind die Verhältnisse hier noch viel zu wenig studiert, als daß dies jetzt schon mit einiger Sicherheit möglich ist.

Centrosoma, ein sehr kleines Körperchen, das feine Fäden zum Chromatin und zur Zellenmembran schickt. Bei der Kernteilung wandert es in das Protoplasma und ist dann leichter zu erkennen.

Die meisten Zellen des menschlichen Körpers besitzen einen Kern, nur in einigen sind mehrere (bis 100): Riesenzellen. Fehlt der Kern, so geht die Zelle zu Grunde, ausgenommen Epithelzellen der Hornhaut und rote Blutkörperchen, doch haben diese früher einen Kern gehabt.

Unwesentliche Bestandteile der Zelle sind: die [Zellenmembran, sie ist meist ein zartes, glattes, strukturloses Häutchen, das entweder eine Ausscheidung des Protoplasma oder eine Umwandlung seiner peripherischen Schichten darstellt; ferner Einschlüsse aller Art: Fetttröpfchen, Körner von Pigment, Glykogen, Eleïdin, Fermente usw.

Die Zellen sind sehr verschieden in *G e s t a l t* (kugelig: alle embryonalen Zellen, scheiben-, säulen-, kegel-, spindel-, sternförmig) und in *G r ö ß e* (mikroskopisch: farbige Blutkörperchen bis makroskopisch: das Gelbe des Vogeis).

Bildung und Fortpflanzung der Zellen.

Man unterschied früher (Schwann) freie Entstehung der Zellen und ihre Entstehung durch Vermittelung anderer Zellen. Nach der ersteren, der *U r z e u g u n g*, *Generatio aequivoca*, sollten sich die Zellen in einer gestaltungsfähigen Flüssigkeit, Cytoblastem,¹⁾ bilden. Diese Anschauung ist jetzt gänzlich verlassen. Wir nehmen nur noch die zweite Art der *Z e l l e n - b i l d u n g* an, die durch *T e i l u n g* schon vorhandener Zellen.²⁾ Diese kann innerhalb der ursprünglichen (von einer sehr festen

¹⁾ *κυστίς* Bläschen, *βλάστημα* Keimstoff.

²⁾ Nachdem man mehr und mehr erkannt hatte, daß bei den höheren Tieren, wie sie selbst alle aus einer Zelle, der befruchteten Eizelle hervorgehen, so auch alle später auftretenden Zellen, normale wie pathologische, aus anderen, vorherexistierenden entstehen, wandte man das Problem der Urzeugung auf die niedersten Tiere (einzellige, Bakterien, Infusorien) an. Aber auch hier hat sich eine solche in der Gegenwart nicht nachweisen lassen, sodaß der Satz *omne vivum ex vivo* für jetzt fast axiomatische Bedeutung hat. Dennoch muß die Urzeugung in einer fernen Vorzeit, wo uns bis jetzt noch gänzlich unbekannte Bedingungen herrschten, einmal stattgefunden haben, als überhaupt zum erstenmal Organisches aus Unorganischem entstand.

Membran umgebenen) Zelle eintreten, endogene Zellenteilung (Pflanzen, Knorpel, Ei), oder die Elemente spalten sich selbst vollständig, freie Zellenteilung. In beiden Fällen tritt der Mehrzahl nach Zweiteilung ein, indem erst der Kern, dann die Zelle sich in zwei zerlegt. Hierbei erfolgt eine besondere Anordnung der Kernbestandteile nach bestimmten Gesetzen: Dies ist die *i n d i r e k t e* oder *m i t o t i s c h e* ¹⁾ Teilung.

Diese beginnt damit, daß das Centrosoma aus dem Kern in das Protoplasma wandert, dort gehen in radiärer Richtung feinste Fädchen von ihm aus, Attraktionsphäre. Das Centrosoma teilt sich in zwei durch die Zentralspindel verbundene Centrosome; diese rücken auseinander, wobei die Zentralspindel schwindet, und nehmen zwei gegenüberliegende Stellen des Kernes ein, Pol und Gegenpol. Im Kern selbst hat inzwischen die Chromatinsubstanz sich zu Strängen, quer zur Längsachse des Kernes, umgebildet. Aus ihnen werden Schleifenstücke, deren Umbiegungstellen, Scheitel, nach der dem ungeteilten Centrosoma zugekehrten Seite, Polseite, zu liegen, und bilden erst den dichten Knäuel, dann, indem sie dicker und in ihrem Verlauf gestreckter werden, den lockeren Knäuel, wo Schleifenscheitel auch an der Gegenpolseite sich finden. Von den Centrosomen, umgeben von ihrer Attraktionsphäre, Polstrahlung, gehen feinste Fäden zu den chromatischen Schleifen in Gestalt einer Spindel, Kernspindel. In deren Äquator, die künftige Teilungsebene des Kernes, rücken jetzt die Schleifen so, daß ihre Scheitel gegen die Spindelachse, ihre offenen Enden gegen die Peripherie des Äquators gerichtet sind. Daher erscheint die chromatische Substanz, von einer Spindelspitze aus gesehen, als Stern, Mutterstern, Monaster. Die Schleifen teilen sich nunmehr, oft schon früher, der Länge nach, so daß aus jeder zwei Schwesterschleifen entstehen. Dann erfolgt die Teilung des Kernes genau in zwei Hälften, indem infolge der Kontraktion der Spindelfäden die eine Hälfte der Schleifen zum Pol, die andere zum Gegenpol gezogen wird, Metakinesis. Es erscheinen jetzt die Kernsegmente als zwei Tochtersterne, oder als Dyaster. Jeder Tochterstern bildet sich nun in ähnlicher Weise zum ruhenden Kern zurück.

Die Dauer solcher Teilung beträgt etwa $\frac{1}{2}$ Stunde (beim Menschen) bis 5 Stunden (bei Amphibien).

In seltenen bes. pathologischen Fällen erfolgt nach diesem Typus gleichzeitige Teilung in mehr als zwei Kerne.

Der Mitose gegenüber steht die *d i r e k t e* oder *a m i t o t i s c h e* Teilung, wobei die Kerne einfach zerschnürt werden. Diese kommt bei einzelligen Organismen (Amöben) vor, bei Wirbeltieren wahrscheinlich nur bei Zellen, die zu Grunde gehen (Leukozyten, Epithelzellen).

¹⁾ μίτος Faden.

Leben und Wachstum der Zelle.

Das Leben der Zellen ist von gewissen äußeren Bedingungen abhängig. Alle Zellen leben in einem flüssigen Medium, das eine bestimmte Beschaffenheit haben muß.

Erstlich muß es geeignetes Nährmaterial und Sauerstoff enthalten. Zweitens muß es auch von bestimmter chemischer Zusammensetzung sein (Seewasser-, Süßwasser-Organismen). Diese kann, wie es scheint, nur innerhalb gewisser Grenzen variieren; plötzliche und große Änderungen führen den Tod herbei, an allmähliche Veränderungen kann Anpassung in gewissem Maße stattfinden. Bei den mehrzelligen Tieren ist das flüssige Medium in dem Körper selbst eingeschlossen und wird von den Zellen selbst gebildet: Gewebsflüssigkeit. Diese in geeigneter Beschaffenheit zu erhalten, dienen verschiedene Apparate. Das Nährmaterial wird durch den Verdauungsapparat aufgenommen und zubereitet, der Sauerstoff wird durch den Atmungsapparat aufgenommen. Diese Bestandteile werden nicht direkt an die Gewebsflüssigkeit abgegeben, sondern eine andere Flüssigkeit, das Blut, dient als Vermittler, es wird durch den Kreislaufapparat in alle Teile des Körpers gebracht. Die entstandenen Zersetzungsprodukte werden durch die Ausscheidungsorgane aus dem Körper entfernt. Drittens muß das Medium eine bestimmte Temperatur haben, die für die verschiedenen Elementar-Organismen verschieden ist. Für die meisten tierischen und pflanzlichen Zellen liegt die obere Grenze der Lebensfähigkeit zwischen 40—47 ° C. Temperaturen unter 0 ° sind für die Zellen noch nicht absolut tödlich.¹⁾

Änderungen des Mediums (chemische, Temperatur-), die das Leben noch nicht gefährden, können die Eigenschaften des Organismus ändern, so bei den pathogenen Bakterien die Virulenz, darauf beruhen die Schutzimpfungen Pasteurs. Hier sind auch die Veränderungen des Organismus zu erwähnen, die bei

¹⁾ In heißen Quellen hat man Algen bei 53 ° C., Infusorien bei 80 ° C. lebend gefunden. Die Sporen mancher Bakterien werden erst durch mehrstündige trockene Hitze von 100 ° C. getötet. Fische, welche bis auf —15 ° C. abgekühlt waren, blieben bei vorsichtiger Wiedererwärmung am Leben, ebenso Frösche bei —20 °. Wurde aber die Temperatur noch weiter erniedrigt, dann starben sie.

chronischen Intoxikationen entstehen (Alkoholismus, Morphinismus).

Das Wachstum der Zellen kann ein allseitiges sein, wenn die Größenzunahme ohne Änderung der Form erfolgt (Eizelle, die meisten Knorpelzellen), oder es ist ein einseitiges dann entstehen verlängerte Zellen (Zylinderzellen, Muskelzellen) oder sternförmige oder verästelte Zellen (Bindegewebzellen, verästelte Muskelzellen, viele Nervenzellen).

Lebensdauer der Zellen.

Die Lebensdauer aller Zellen ist eine beschränkte: die alten gehen zu Grunde und neue treten an ihre Stelle; am auffälligsten ist dies an den geschichteten Oberhautgebilden, wo selbst ganze Organe, die Haare, ausfallen und neue sich bilden. Absterbende Zellen sind charakterisiert durch Volumenabnahme des Kerns und des Protoplasma; dieses färbt sich oft stärker, während die chromatische Substanz des Kerns abnimmt oder in Gestalt unregelmäßiger Klümpchen sich zeigt. Auch Vakuolen im Protoplasma und Kern treten als Absterbeerscheinungen der Zellen auf.

Stoffwechsel der Zellen.

Die meisten Zellen nehmen die Nahrungstoffe gasförmig oder gelöst auf. Dabei wird die ganze Oberfläche von ihnen umspült und tritt entweder direkt in chemische Beziehung zu ihnen, oder eine Membran umschließt die Zelle; dann müssen die Stoffe erst in diffusible Form übergeführt werden.

Geformte Nahrung nehmen nur wenige Zellen auf: einzellige Organismen wie viele Infusorien, bei höheren Tieren die Leukozyten oder weißen Blutkörperchen, daher Phagozyten genannt, und die Darmepithelzellen.

Die Aufnahme geschieht immer durch aktive Bewegung, entweder an jeder beliebigen Stelle der Zelle: alle amöboïden Zellen, wie Rhizopoden, Leukozyten, Darmepithelzellen. Dies ist leicht unter dem Mikroskop zu beobachten; es umschließt allmählich das Protoplasma den Nahrungskörper. Die Leukozyten haben so die für den Schutz des Körpers wichtige Fähigkeit, Bakterien aufzufressen (bakterizide Eigenschaft). Die Darmepithelzellen nehmen mikroskopische Fetttröpfchen auf vermittelt der (als gestreifter Saum erscheinenden) Proto-

plasmafortsätze. Oder die Aufnahme erfolgt durch eine kleine Öffnung der Zellenwand direkt ins flüssige Innere, Endoplasma; Wimpern oder Geißeln führen dann durch ihr Schlagen die Nahrungstoffe heran, wie es z. B. bei der Vorticella sehr deutlich zu sehen ist.

Auch besitzt die lebendige Zelle die Fähigkeit der *Nahrungsauswahl*: Jede Zelle wählt das aus ihrer Umgebung aus, was für ihren Aufbau nötig ist. Merkwürdig ist, wie gewisse frei lebende Zellen, z. B. Vampyrella, ihre Nahrung sich *aufsuchen*.

Alle geformte Nahrung muß, damit sie verwendet werden kann, in den gelösten Zustand übergeführt werden. Corpora non agunt nisi soluta. Diese Überführung heißt *Verdauung*.

Bei den wenigen Zellen, die direkt geformte Nahrung aufnehmen, findet der Vorgang in der Zelle selbst, findet eine „*intrazelluläre Verdauung*“ statt. Bei den meisten anderen Zellen muß jene Umwandlung in den löslichen Zustand außerhalb der Zelle erfolgen, „*extrazelluläre Verdauung*“. Dies geschieht unter Einwirkung bestimmter Sekrete, „*Verdauungsekrete*“, welche gewisse Zellen abgeben. Die dann erfolgende Aufnahme der gelösten Stoffe heißt *Resorption*.

Die *Abgabe der Stoffe* geschieht ebenfalls in gasförmigem, in gelöstem oder in geformtem Zustand. Im letzteren Falle werden entweder die in der Zelle schon geformt liegenden Massen einfach nach Außen abgegeben, oder die ausgeschiedenen Stoffe befinden sich in der Zelle noch im gelösten Zustande und werden im Augenblick der Ausscheidung fest (Chondrin, Chitin, Kalk). Die abgegebenen Stoffe teilt man in Exkrete und Sekrete (s. Drüsen). Es gehören dazu auch die festen und flüssigen Interzellulärsubstanzen.

Bewegungserscheinungen der Zellen.

1. Ohne Änderung der Gesamtform der Zelle.

Bei Zellen mit fester geschlossener Membran findet Saftströmung des Protoplasmas statt, so bei sehr vielen Pflanzenzellen (Staubfadenhaare von Tradescantia, Brennhaare der Brennessel; die Chlorophyllkörner zeigen eine Lageveränderung unter

Einfluß des Lichtes) und gewissen tierischen (Knorpel, Hornhaut)Zellen.

2. Mit Änderung der Form.

Dafür liefern das typische Beispiel die *A m ö b e n*, daher amöboide Bewegung genannt: Fortsätze (Pseudopodien) werden nach verschiedenen Richtungen hin ausgestreckt und wieder eingezogen. Wie oben erwähnt, dient diese Bewegung zur Nahrungsaufnahme, sie ermöglicht aber auch die Ortsveränderung. Sie kommt wie bei den Amöben, ebenso an den farblosen Blutkörperchen, Lymphzellen und verwandten Elementen vor (lymphoide oder Wander-Zellen); ähnlich auch bei den Pigmentzellen, die als kleine schwarze Platten (dann erscheint die Haut hell), oder als weitverzweigte braune Sterne sich darstellen (dann erscheint die Haut dunkel), letzteres Stadium scheint der Ruhe zu entsprechen. Die Rhizopoden oder Radiolarien bilden mit ihren Pseudopodien, den Saugröhren oder Fangfäden, den Übergang zur folgenden Gruppe.

3. Bewegungen durch besondere Organe.

Hierher gehören die beweglichen Anhänge der Protisten, als Wimpern, Tentakeln, Geißeln, Borsten usw.; ferner die pulsierenden Vakuolen gewisser Protisten¹⁾; sodann die kontraktile Fibrillen, „Myonemen“ genannt, der ciliaten Infusorien; schließlich die Wimper- und Flimmerhaare bei höheren Tieren. Solche Flimmerzellen kommen auch beim Menschen auf manchen Schleimhäuten vor: Atmungswege, Uterus bis zur Mitte des Cervix, Nebenhoden, Tuben, Ependym der Hirnhöhlen und Zentralkanal des Rückenmarks.

Die Flimmer- (Wimper-, Cilien-) bewegung ist eine geordnete Bewegung; sie ist monotrop und metachron, d. h. die kleinsten Teilchen eines Flimmerhaares bewegen sich nur nach einer bestimmten Richtung und in regelmäßiger Folge nach einander;

¹⁾ Eine eigentümliche Art von Bewegung zeigen verschiedene einzellige Wassertiere (Radiolarien, Rhizopoden), sie können sich durch Veränderung ihres spezifischen Gewichtes heben und senken. So erzeugen Urzellen und Difflugien ein Kohlensäurebläschen und steigen auf; indem sie es zum Zerplatzen bringen, sinken sie wieder.

außerdem kommt ihr Rhythmizität zu. Indem die Bewegung nach der einen Seite schneller geschieht als nach der andern, können kleine Körperchen in ersterer Richtung vorwärts bewegt werden und zwar mit einer Geschwindigkeit von 0·1—0·5 mm pr. Sek. Alle Haare einer Zelle schlagen zu gleicher Zeit (isochron), durchschnittlich erfolgt die Bewegung mindestens 6—8 mal pr. Sek. Die Flimmerhaare sitzen der Zelle vermittelt kurzer dicker Fußstücke auf, von ihnen gehen feine Fortsätze, die Wimperwurzeln in das Innere der Zellen zum basalen Teil, der wahrscheinlich sowohl für die Bewegung als auch für die Regulation von Bedeutung ist. Vom Nervensystem ist die Flimmerbewegung unabhängig. Die Flimmerhaare sind doppelbrechend mit der optischen Axe in der Längsrichtung der Fasern. Die Arbeitsleistung hat man zu 7 grm pro qcm Flimmerfläche und Minute berechnet. Die Flimmerbewegung wird durch O₂, durch schwache Alkalien, durch elektrische Ströme begünstigt. Verdünnte Säuren, CO₂, Metallsalze, Äther, Alkohol, starke elektrische Ströme heben sie auf. Zu ihrer Veranschaulichung dient die Flimmermühle.

4. Bewegungen besonders umgewandelter Zellen.¹⁾

Solche Zellen sind die Samenfäden, welche sich durch besondere aus Teilen des Kerns entstandene Fäden und membranöse Bildungen (undulierender Saum) bewegen (s. Zeugung). Die Bewegung kann durch dieselben Mittel verstärkt oder gelähmt werden, wie die Flimmerbewegung.

Vor allem gehören hierher die eigentlichen Muskelzellen.

In chemischer Beziehung ist der kontraktile Zelleninhalt überall ein N-haltiger, zu den Eiweißkörpern gehöriger Stoff; am besten ist der aus den Muskeln bekannt, das Myosinogen (s. S. 51). In physikalischer Beziehung ist derselbe überall als anisotrop (doppelbrechend) nachgewiesen.

¹⁾ Die Brown'sche Molekularbewegung ist auf rein physikalische, vom Leben unabhängige Ursachen zurückzuführen. Sie findet sich in Flüssigkeiten, die feine Partikelchen enthalten, als Zittern oder Tanzen derselben, aber auch in Zellen (Pigmentzellen der Chorioidea, Schleimkörperchen).

5. Bewegungen nicht kontraktiler Substanzen durch Wirkung einseitiger Reize.

Bei nicht kontraktilen Gebilden können auf gewisse Reize Bewegungen auftreten, die bei festsitzenden Organismen (Pflanzen) als Krümmungen nach einer bestimmten Richtung erscheinen, „Tropismus“, bei freibeweglichen Organismen als Bewegungen nach einer bestimmten Richtung hin oder Einnahme bestimmter Stellungen, „Taxis“. Die Bewegung nach der Reizseite heißt positive Wirkung, die von ihr weg negative Wirkung. Diese Namen dienen nur die Erscheinungen zu schematisieren, deuten nicht etwa auf ein gemeinsames zu Grunde liegendes Prinzip hin.

a. Chemotropismus und Chemotaxis. Bei Pilzfäden und vielen Infusorien zu beobachten. Gewisse Bakterienformen, die in faulenden Aufgüssen leben, sammeln sich in großen Massen in der Nähe von Sauerstoffquellen an; sie können daher zum mikroskopischen Nachweis kleinster O_2 -Mengen dienen. Eine wichtige Rolle spielt die Chemotaxis bei der Entzündung für die Wanderung der Leukozyten; ferner bei der Befruchtung. Das Spermatozoon wird durch die Stoffwechselprodukte der gleichartigen Eizelle zu ihm hingeleitet.

b. Geotropismus und Geotaxis, die Erscheinung, daß gewisse Organismen in Bezug auf ihre Medianaxe der Richtung der Schwerkraft unterliegen, ist am längsten bei den Pflanzen bekannt. Die Wurzeln wachsen nach der Richtung des größten Druckes, dem Erdmittelpunkt zu, der Stamm von ihm weg. Auch an gewissen Paramäcien beobachtet, die in einer offenen oder geschlossenen Glasröhre sich immer am oberen, dem geringeren Druck entsprechenden Ende ansammeln.

c. Photo-(oder Helio-)tropismus und Phototaxis. Ebenfalls längst an den Pflanzen (junge Keimpflanzen, Sonnenblumen, Kompaßpflanzen) bekannt. *Bacterium photometricum* läßt sich, wenn eine Stelle allein im Gesichtsfeld sehr hell erleuchtet ist, in ihr, wie in einer Falle, „Lichtfalle“, fangen; im Spektrum suchen sie hauptsächlich das Ultrarot, dann das Orange und Gelb auf. Bei den höheren Tieren finden in der Retina unter Einwirkung des Lichtes Bewegungen der Zapfen und Pigmentzellen statt.

d. *Thermotropismus* und *Thermotaxis*. Wird ein Objektträger auf einer Seite auf 38°, auf der anderen auf 26° erwärmt, so fliehen gleich verteilte *Paramäcien* alle nach der letzteren Seite zu.

e. *Galvanotropismus* und *Galvanotaxis*. Beim längeren Durchfließen eines konstanten Stromes krümmen sich die Wurzelfäden nach der Kathode zu. Geht ein konstanter Strom durch einen mit gewissen *Rhizopoden* oder *Infusorien* angefüllten Tropfen, so versammeln sich die einen an der Anode, die anderen an der Kathode; noch andere (*Spirostomum ambiguum*, ein *Wimperinfusorium*) stellen sich quer zur Richtung des Stromes. *Kaulquappen* und *Fischembryonen* stellen sich in der Richtung des Stromes ein mit dem Kopf der Anode zu. Wird der Strom umgekehrt, machen sie wie auf Kommando kehrt.

f. *Thigmotropismus* und *Thigmotaxis*. Manche *Rhizopoden* wenden sich bei der Berührung mit einer festen Unterlage dieser zu, bei starker Berührung von ihr ab.

g. *Rheotropismus* und *Rheotaxis* nennt man die von der Strömung des Wassers oder der Luft hervorgebrachten Orts-Veränderungen. Keimender Mais, in fließendes Wasser gebracht, wächst mit den Wurzeln gegen den Strom. *Spermatozoën* im mikroskopischen Präparat schwimmen gegen den Strom, auch im Leben bewegen sie sich gegen den von dem Flimmer-epithel erzeugten Strom zum ovarialen Ende der Tuben hin.

Andere Lebensäußerungen der Zelle.

1. Erzeugung von Licht.

Das Meerleuchten rührt von gewissen niederen Meertierchen her. Auch manche Fäulnisbakterien, gewisse Pilze und einzelne Insekten vermögen zu leuchten. Diese Lichtproduktion beruht auf einer Thätigkeit des lebendigen Protoplasmas; beim Leuchtkäfer, *Lampyris*, läßt sich ihre Abhängigkeit vom Nervensystem nachweisen, der Käfer dämpft das Licht bei Geräusch.

2. Erzeugung von Elektrizität.

Der ruhende Muskel und Nerv unter gewissen Umständen und der tätige Muskel und Nerv zeigen elektrische Ströme. Auch an den Drüsen hat man elektrische Ströme nachgewiesen. Bei

den elektrischen Fischen können besondere Organe, die in der Ruhe stromlos sind, unter dem Einfluß des Nervensystems starke elektrische Ströme (bei Torpedo bis 31 Volt, bei *Malapterurus* bis über 100 Volt Spannung für 10 cm Organstrecke) erzeugen. Bei den Torpedineen und bei dem *Gymnotus electricus* sind diese Organe metamorphosierte Muskeln, nur beim *Malapterurus electricus* sind es umgewandelte Hautdrüsen.

3. Erzeugung von Wärme.

Alle dissimilatorischen Prozesse sind mit Wärmebildung verbunden, daher produzieren alle Organismen Wärme. Sie läßt sich aber nicht immer mit unseren Hilfsmitteln nachweisen. Am deutlichsten tritt ihre Abhängigkeit von der Lebenstätigkeit bei den sog. Warmblütern in die Erscheinung.

Die Bedeutung der Zellenbestandteile.

Der Stoffwechsel der Zellen läuft hauptsächlich am Protoplasma ab; dieses ist also der bei dem Chemismus der Zelle vorzugsweise beteiligte Stoff. Der Kern dagegen, wie er die Befruchtung bedingt, ist auch der Träger der Vererbung; er spielt daher eine wesentliche Rolle bei der Zellteilung. Ohne Kern keine Zellenvermehrung. Man hat einzellige Organismen in einen kernhaltigen und kernlosen Teil zerlegt. Der erstere regeneriert sich zu einer vollständigen Zelle, der letztere zeigt zwar noch eine Zeit lang normales Verhalten, insbesondere dauern die Bewegungserscheinungen fort, schließlich geht er doch zu Grunde. Regeneration tritt auch ein, wenn nur ein Teil des Kernes erhalten ist. Ferner aber kommt ihm noch Bedeutung zu für das Wachstum, für die Ernährung und die Gestaltung der Zellen, für die Bildung von Niederschlägen und Auflösung von Zellteilen und schließlich für die Sekretion. Andererseits kann der Kern für sich auch nicht bestehen. Im übrigen ist die Art der Wechselwirkung zwischen Kern und Protoplasma zur Zeit noch völlig unbekannt.

3. Allgemeine Muskelphysiologie.

Man unterscheidet zwei Arten von Muskeln: quergestreifte und glatte Muskeln.

Die quergestreiften Muskeln.

Sie sind meist zylindrische oder walzenförmige Gebilde, die die Fähigkeit haben, sich zu verkürzen, zu kontrahieren. Sie bilden die Organe, durch welche die aktiven Bewegungen ausgeführt werden und äußere Arbeit geleistet wird. Sie bestehen aus Fasern (Muskelprimitivbündel), d. s. Zellen, die durch außerordentliches Längenwachstum, durch wiederholte Teilung der Kerne, sowie durch Differenzierung ihres Protoplasma zu höchst komplizierten Gebilden sich gestaltet haben.

Feinerer Bau.

Die einzelnen Muskelfasern sind zylindrische Fäden bis zu 12 cm Länge und 10—100 μ ¹⁾ Dicke. Starke Muskeln besitzen dicke, zarte Muskeln dünne Fasern; größere Tiere besitzen dickere Muskelfasern als kleinere. Unter dem Mikroskop zeigt jede Faser, jedes Primitivbündel *Q u e r s t r e i f u n g* und *L ä n g s s t r e i f u n g*. Erstere kommt zu Stande dadurch, daß breite dunkle Querbänder von anisotroper (doppelbrechender) Substanz abwechseln mit schmalen hellen Querbändern von isotroper (einfachbrechender) Substanz. Die Längsstreifung rührt her von Fibrillen. Diese sind das wesentliche, kontraktile Element der Muskelfasern.

Jede *F i b r i l l e* innerhalb der Faser, der Zelle, besteht aus den abwechselnd aufeinanderfolgenden Schichten von isotroper und anisotroper Substanz (cf. Fig. 1 i, a). Jede der Schichten

¹⁾ Ein Mikron = 1 μ = 0·001 mm.

läßt noch eine weitere Gliederung erkennen. In der schmalen isotropen (hellen) Querschicht findet sich in der Mitte ein dunkler Streifen, Zwischenscheibe; sie bildet die Grenze zwischen zwei benachbarten Muskelementen, aus denen, als Einheiten, man sich die Fibrille aufgebaut denkt. Zu beiden Seiten der Zwischen-

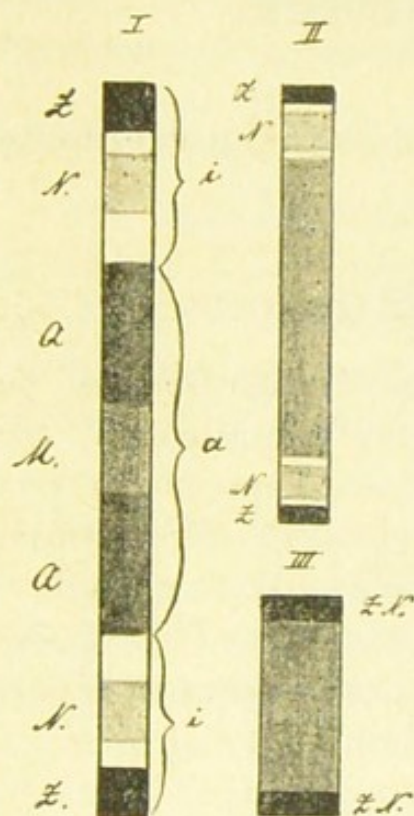


Fig. 1. Ein Muskelement. I in der Ruhe, II im Übergangstadium, III im Kontraktionszustand. Z = Zwischen-, N = Neben-, Q = Quer-, M = Mittelscheibe. a = anisotrope, i = isotrope Schicht.

schicht liegt in der isotropen Schicht ein dunkles Scheibchen, Nebenscheibe. In der breiten anisotropen (dunklen) Querschicht findet sich in der Mitte ein heller Streifen, die Mittelscheibe.

Mehrere Fibrillen, parallel nebeneinander gelegt, bilden ein Bündel, Muskelsäulchen; sie werden durch protoplasmatische Zwischensubstanz, das Sarkoplasma, zusammengehalten. Mehrere Muskelsäulchen (ihr Querschnittsbild gibt die Cohnheim'schen Felder) werden wieder durch das Sarkoplasma zu einer Muskelfaser verbunden.

Jede Muskelfaser, Muskelzelle, Primitivbündel wird umschlossen von einem strukturlosen Häutchen dem Sarkolem.

Neben dem Zerfall in Fibrillen läßt sich bei manchen Tieren unter der Einwirkung gewisser Reagentien entsprechend den Querstreifen ein

Zerfall in Querscheibchen beobachten, *Bowman's discs*, die von der Fläche gesehen eine dunkle Punktierung, entsprechend den optischen Querschnitten der Fibrillen zeigen. Man stellt sich danach vor, daß die Fibrillen aus Fleischprismen, *Bowman's sarcous elements*, bestehen, die in der Längsrichtung vereinigt die Fibrillen, in der Querrichtung vereinigt die Discs geben.

Zu Muskeln vereinigen sich die einzelnen Muskelfasern, indem sie sich neben- und hintereinander legen, durch Hüllen von Bindegewebe zusammengehalten, und von Nerven und Blutgefäßen umspinnen werden.

Bei demselben Tier unterscheidet man Sarkoplasma-arme und Sarkoplasma-reiche Muskeln und in vielen Fällen innerhalb eines und desselben Muskels einen Sarkoplasma-armen und einen Sarkoplasma-reichen Anteil. Die Sarkoplasma-reichen Fasern erscheinen in der Regel ziemlich trübe, in vielen Fällen zugleich intensiv rot; die Sarkoplasma-armen dagegen hell, mehr weißlich. Diesen histologischen Verschiedenheiten entsprechen auch physiologische (s. S. 60, 62).

Der motorische Nerv steht mit dem Muskel in kontinuierlicher Verbindung. Das Neurilemm geht in das Sarkolemm über. Der Achsenzylinder verzweigt sich in einem eigentümlichen Endorgan von körniger Struktur, „Nervenendhügel“ oder „Nervenendplatte“.

Chemische Zusammensetzung.

Der Muskel besteht zum größten Teil aus Wasser, etwa 75 pCt., und aus festen Bestandteilen, etwa 25 pCt.

Unter den letzteren sind o r g a n i s c h e:

a) E i w e i ß s t o f f e etwa 20 pCt., über deren Namen noch nicht Einigkeit herrscht; am reichlichsten ein bei 52 ° gerinnender, das M y o s i n o g e n (oder M y o g e n), das kein Globulin, sondern ein eigener Eiweißkörper sein soll; es macht etwa 15 % des Muskeleiweiß aus. Läßt man einen vom Blut befreiten Muskel gefrieren, zerreibt ihn dann zu Pulver und preßt die wieder aufgetaute Masse durch ein Tuch, so erhält man eine trübe gelbliche syrupartige Flüssigkeit, M u s k e l p l a s m a; Reaktion neutral oder schwach alkalisch. Diese Flüssigkeit gerinnt spontan (wahrscheinlich infolge eines Enzyms). Das sich ausscheidende flockige Gerinnsel besteht zum größten Teil aus Myosin, das sich aus dem löslichen Myosinogen gebildet hat. Das klare M u s k e l s e r u m bleibt zurück; Reaktion sauer. Neben dem Myosin kommt noch ein roter Farbstoff vor, der mit dem Hämoglobin identisch ist; außerdem einige andere bis jetzt wenig bekannte Eiweißkörper.

b) S t o f f e d e r r e g r e s s i v e n M e t a m o r p h o s e der Eiweißkörper etwa 1 pCt., bes. Kreatin, die Xanthinbasen, in geringer Menge auch Kreatinin und Harnstoff; außerdem Fleischmilchsäure im lebenden ermüdeten und im totenstarren Muskel,

bildet sich wahrscheinlich aus dem Glykogen (möglicherweise auch aus dem Eiweiß, bes. im toten Muskel) und verbindet sich mit dem Kaliumphosphat zu milchsaurem Kalium, daneben bildet sich Monokaliumphosphat (KH_2PO_4), von dem die saure Reaktion herrührt.

c) K o h l e h y d r a t e etwa 1 pCt., bes. Glykogen, ferner Dextrose (Muskelzucker), Inosit. Letzterer findet sich von allen tierischen Geweben nur im Muskel; er ist löslich in Wasser, reduziert nicht, ist optisch inaktiv, unterliegt nur der Milchsäuregärung. Er schmeckt süß, ist aber kein Zucker, sondern ein Alkohol der aromatischen Reihe.

d) F e t t e, C h o l e s t e a r i n und L e z i t h i n, zus. etwa 1 pCt.; wenig im Sarkoplasma; hauptsächlich im intermuskulären Bindegewebe.

A n o r g a n i s c h e B e s t a n d t e i l e, etwa 1.5 pCt., sind, wie in allen Geweben, gewisse Salze. Der Muskel ist reich an Phosphor- und an Kaliumsalzen, arm hingegen an Natriumsalzen und an Chlorverbindungen.

Wie in allen Geweben, findet sich auch im Muskel CO_2 .

P h y s i o l o g i s c h unterscheidet man am Muskel den Zustand 1. der Ruhe, 2. der Tätigkeit, 3. des Abgestorbenseins.

1. Zustand der Ruhe.

Die wichtigste Eigenschaft des ruhenden Muskels ist seine E l a s t i z i t ä t. Darunter versteht man in der Physik die in einem Körper unter einem Zwange wachgerufene innere Kraft, oder was dasselbe ist, die äußere Kraft, die nötig ist, um einen Körper in einem Zwangszustande zu erhalten. Sie ist beim Muskel eine sehr mäßige, da er schon durch ein sehr geringes Gewicht gedehnt wird.

Der Muskel zeigt innerhalb eines sehr weiten Bereiches e l a s t i s c h e V o l l k o m m e n h e i t, d. h. selbst nach Einwirkung großer Gewichte kehrt er nach der Entlastung vollständig zu seiner früheren Länge zurück. Dauernde Verlängerungen treten merkbar nur bei Zerreißen innerhalb der Muskelsubstanz ein.

Der E l a s t i z i t ä t s k o e f f i z i e n t (d. h. der Betrag, um den ein Körper von der Längen- und Querschnittseinheit

durch die Belastungseinheit gedehnt wird) des ruhenden Muskels ist nicht konstant, wie bei anorganischen Körpern, wo die Dehnung proportional dem angehängten Gewichte wächst, sondern er nimmt mit steigender Belastung zu, d. h. die Längenzunahme des Muskels bei gleich großem Zuwachs der Belastung ist um so kleiner, je größer die Belastung ist. Trägt man daher die gleichmäßig wachsende Belastung in gleichen Abständen auf eine Abszissenachse auf und errichtet darin nach unten Ordinaten, welche die erfolgte, den betreffenden Gewichten entsprechende Dehnung darstellen, so erhält man eine nach oben konkave Kurve, die Dehnungskurve. (Bei anorganischen Körpern ist sie eine gerade Linie !)

Der Muskel zeigt ferner, wie alle organischen Gewebe, *sekundäre elastische Erscheinungen*. Im Augenblick der Belastung erfährt er eine primäre Dehnung, die weiterhin immer noch zunimmt, wenn auch mit abnehmender Stärke: *Nachdehnung*. Ebenso folgt bei der Entlastung auf die primäre Schrumpfung weiterhin eine *Nachschumpfung*.

Der gedehnte Muskel wird länger und dünner, sein Volumen wird ein wenig vermindert.

Die Elastizität schützt den Muskel vor Zerreißen bei plötzlicher Kontraktion und erleichtert ihm die Arbeit (wie beim Pferdeschoner).

Im Körper finden sich die Muskeln alle in einem gewissen Grad von Dehnung; schneidet man einen Muskel durch, so ziehen sich seine Schnittenden zurück.

2. Zustand der Tätigkeit.

Die Tätigkeit des Muskels, *Zuckung* oder *Kontraktion* genannt, besteht in der Umwandlung chemischer Spannkraft in lebendige Kraft. Diese ist zu einem Teil *mechanische Energie*, zum anderen größeren Teil *Wärme*. Die mechanische Energie kann auftreten als Verkürzung oder als Spannung. Bei der *Verkürzung* werden die beiden Endpunkte (Ursprung und Ansatz) des Muskels und die daran befindlichen Skelettteile einander genähert. Wird dabei ein Gewicht gehoben, so wird *Arbeit* im mechanischen Sinne geleistet. Die Rückkehr in den ruhenden Zustand heißt *Er-*

schlaffung. War der Muskel verkürzt, so wird er wieder länger.

Die Mittel, welche den Muskel aus dem ruhenden in den tätigen Zustand überführen, heißen **Reize**; die Eigenschaft des Muskels, auf diese Mittel tätig zu werden, heißt **Reizbarkeit**, **Irritabilität**.

Der **physiologische**, natürliche **Reiz**, der während des Lebens die Zuckung auslöst, ist der Erregungsvorgang des zugehörigen motorischen Nerven. Außerdem gibt es **künstliche Reize**. Solche sind:

1. **Mechanische**: Schlag, Kneifen, Schneiden, usw.
2. **Chemische**: Mineralsäuren (schon in schwacher Konzentration), Alkalien (erst in starker Konzentration), viele Metallsalze, Ammoniakdämpfe, Glyzerin und konz. Zuckerlösungen, Galle und gallensaure Salze. 0.75 pCt. NaCl-Lösung (physiologische Kochsalzlösung) ist für die Erhaltung der Erregbarkeit der Muskeln und der Nerven günstig.
3. **Thermische**: wirken nur sehr unvollkommen. Bei Erwärmung auf 45°–50° zieht er sich kräftig zusammen und stirbt ab; er wird starr (s. u.).
4. **Elektrische**: Der statischen Elektrizität (Elektriersmaschine, Leydener Flasche) bedient man sich wegen Unbequemlichkeit der Handhabung und Schwierigkeit der Reizabstufung nicht mehr, sondern der fließenden Elektrizität, des elektrischen Stromes.

Allgemeine Gesetze der elektrischen Erregung.

1. Die physiologischen Wirkungen sind abhängig von der Stärke des elektrischen Stromes in der Querschnitts-Einheit, d. h. von seiner Dichte, nicht von seiner absoluten Stärke.

2. Wendet man einen konstanten (**Galvani**: **galvanischen**) Strom an, so zeigt sich, daß **Stromschwankung** mit gewisser Geschwindigkeit¹⁾ **Zuckung** und **Stromdauer** in konstanter Dichte eine **dauernde Verkürzung** bis zu einem gewissen Grade hervorruft.

¹⁾ Läßt man den Strom sehr langsam anwachsen oder abnehmen, so erfolgt keine Zuckung; man läßt dann den Reiz „einschleichen“ oder „aus-schleichen“.

Die Stromschwankung kann durch Öffnung oder Schließung eines konstanten Stromes hervorgebracht werden (bei gleicher Stromstärke wirkt die Schließung stärker erregend als die Öff-

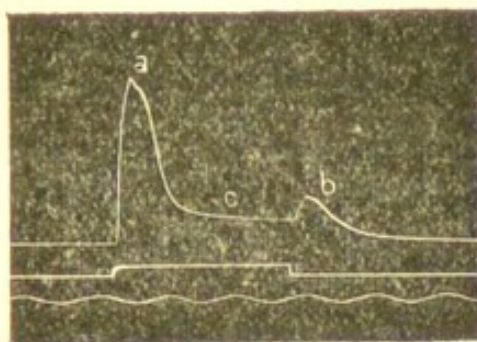


Fig. 2. Reizung mit dem konstanten Strom: a Schließungs-, Öffnungszuckung, c Dauerkontraktion. 1 $\frac{1}{2}$ St. Schw. = 0.5 Sek.¹⁾

nung, s. Nervenphysiologie) oder durch eine plötzlich hervor-gebrachte Veränderung der Dichte eines bestehenden Stromes (Schwankungsrheochord). Die Schließungsdauer des Stromes

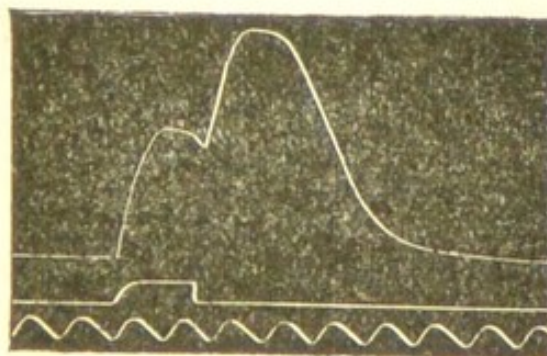


Fig. 3. Summation zweier Reize, 1 St. Schw. = 0.1 Sek.

darf nicht zu kurz sein, wenn eine Erregung ausgelöst werden soll. Je stärker der Strom, um so kürzer braucht die Stromdauer zur Erzielung der gleichen Wirkung zu sein.

¹⁾ Die Schreibfläche bewegt sich hier, wie in allen folgenden Kurven, von rechts nach links, die Kurven sind also in entgegengesetzter Richtung von links nach rechts zu lesen. Eine Stimmgabel oder ein schwingender Stab von einer bestimmten Anzahl Schwingungen in der Sekunde zeichnet diese darunter auf und gibt dadurch die Zeit an. Eine einfache Stimmgabel-Schwingung (in der Fig. bezeichnet mit 1 St. Schw.) wird in Deutschland von Schwingungsberg zu Schwingungsberg gerechnet (in Frankreich von Schwingungsberg zu Schwingungstal).

3. Bei der Schließung des konstanten Stromes findet eine Erregung an der Kathode¹⁾, bei Öffnung an der Anode statt. Die Erregung pflanzt sich wellenförmig von der erregten Stelle fort. Gesetz der polaren Erregung durch den konstanten Strom.

4. Folgen zwei Reize auf einander, so schnell, daß eine Erschlaffung des Muskels zwischen ihnen nicht eintreten kann, so summieren sich die Wirkungen der beiden Reize, und man erhält jetzt eine höhere Zuckung als unter gewöhnlichen

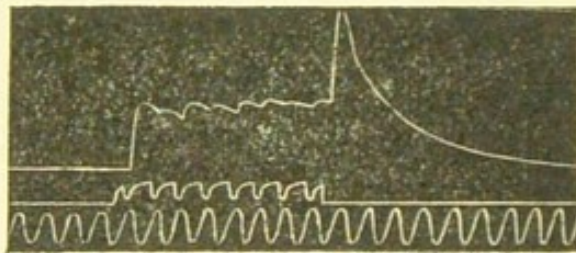


Fig. 4. Unvollkommener Tetanus. 1 St. Schw. = 0·5 Sek.

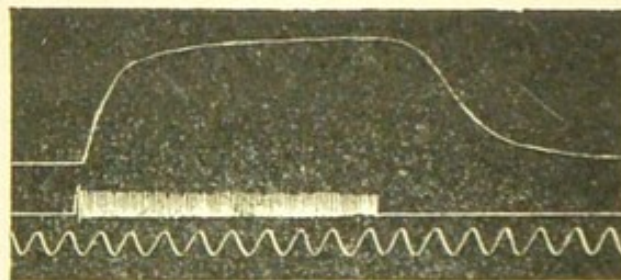


Fig. 5. Vollkommener Tetanus. St. Schw. = 0·1 Sek.

Umständen durch einen einzelnen Reiz. Folgen mehrere Reize in hinreichender Frequenz aufeinander, so entsteht eine anhaltende Zusammenziehung, Tetanus. Die Zahl der dazu nötigen Reize in der Zeiteinheit ist um so größer, je schneller die Einzelzuckung abläuft. Bei frischen Froschmuskeln rufen etwa 12 Reize in der Sekunde Tetanus hervor, bei frischen Säugermuskeln etwa 20. Alles, was den Zuckungsverlauf träger

¹⁾ Beim konstanten Strom bezeichnet man nach Faraday die positive Elektrode, durch die der Strom eintritt, die also dem positiven Pol der Kette entspricht, als Anode; die negative Elektrode, durch die der Strom austritt, die also dem negativen Pol der Kette entspricht, als Kathode; den veränderten Zustand, in den die vom Strom durchflossene Materie gerät, als Elektrotonus.

macht (z. B. Ermüdung, Abkühlung), setzt auch die für den Tetanus erforderliche Reizzahl herab. Die natürliche Kontraktion der Muskeln im Körper ist ebenfalls ein Tetanus; nur die Herz-systole stellt eine Einzelkontraktion dar.

5. Statt des konstanten Stromes wendet man mit Vorteil den viel stärker wirkenden Induktion - (Faraday: faradischen) Strom an.

Derselbe wird in einem sekundären, „induzierten“ Stromkreise, in der sekundären Spirale, hervorgebracht dadurch, daß in dem primären, „induzierenden“ Stromkreise, in der primären Spirale, der Strom schnell hintereinander unterbrochen, geöffnet und geschlossen wird. Dies geschieht am einfachsten durch den Wagner'schen Hammer, wobei der Strom sich selbst öffnet und schließt. Die Induktionströme bestehen also aus schnell aufeinander folgenden Stromschwankungen, es sind Wechselströme. Infolge des Entstehens und Vergehens des primären Stromes wird aber nicht bloß in der sekundären Spirale ein Strom



Fig. 6. Ungleiche Wirkung des Schl.- (a) und des Ö.- (b) Ind.-Schlages.

induziert, sondern auch in der primären selbst. Dieser, Extrastrom genannt, verzögert bei der Schließung den Ablauf des primären Stromes; dadurch steigt auch der induzierte Strom langsam an und fällt langsam wieder ab. Der bei der Öffnung entstehende Extrastrom würde ebenfalls den Ablauf des primären Stromes verzögern; er kann aber nicht zustande kommen, weil nach der Öffnung kein Kreis, in dem er sich ausbreiten könnte, vorhanden ist. Infolgedessen steigt der Öffnungs-Induktionstrom sehr steil zu großer Höhe an und fällt ebenso schnell wieder ab. Die gesamte im sekundären Kreis sich bewegende Elektrizitätsmenge ist in beiden Fällen gleich (daher auch der Ausschlag am Galvanometer gleich), aber verschieden ist die erreichte Höhe und der zeitliche Ablauf. Der Öffnungsinduktionsschlag ist physiologisch von stärkerer Wirksamkeit als der Schl.-Ind.-Schlag. Man erhält also beim Spiel des Wagner'schen Hammers abwechselnd einen (physiologisch) schwachen Schl.- und einen (physiologisch) starken Ö.-Ind.-Schlag. Macht man dagegen dem ursprünglichen Strom in der primären Spirale nicht durch Öffnen des Kreises ein Ende, sondern durch Schließen einer guten Nebenleitung zwischen Stromquelle und primärer Spirale, so kann der entstehende Extrastrom sich ausbreiten, und dann verzögert er auch das Absinken des ursprünglichen Stromes. Auch die Stromabnahme wird jetzt, wie die Stromzunahme,

eine allmähliche. Der Ö.-Ind.-Strom wird, wie der Schl.-Ind.-Strom, geschwächt, sie werden beide annähernd gleich.

Der du Bois-Reymond'sche Schlittenmagnetelektromotor, das sog. Schlitteninduktorium, stellt einen für physiologische Zwecke verwendbaren Induktions-Apparat dar. Hier befindet sich in der primären Rolle noch ein Bündel Eisendrähte, deren durch das Öffnen und Schließen des primären Stromes bewirkte Magnetisierung und Entmagnetisierung ebenfalls Induktionströme in der sekundären Rolle erzeugen, die sich zu den von der primären Spirale allein schon hervorgebrachten hinzuaddieren. Ferner hat Helmholtz eine Einrichtung angebracht, die nach dem oben erwähnten Prinzip des Schließens einer Nebenleitung die Differenz zwischen Ö.- und Schl.-Ind.-Schlag erheblich verringert. Durch Verschieben der sekundären Spirale gegen die primäre kann man die Induktionströme sehr genau abstimmen. Dabei ist aber die Stromstärke nicht eine einfache lineare Funktion des gegenseitigen Rollenabstandes, sondern eine sehr komplizierte Funktion, die man am besten für jedes Induktorium empirisch mit Hilfe eines Galvanometers bestimmt.

Mit dem Schlitteninduktorium können wir alle Muskeln bequem tetanisieren und so ihren Tätigkeitzustand untersuchen. Der Herzmuskel läßt sich nur unter besonderen Bedingungen tetanisieren.

Mechanische Vorgänge im tätigen Muskel.

Gestaltveränderung.

Kontrahiert sich der Muskel, so wird er kürzer und dicker. Unter dem Mikroskop zeigt sich, das dies für jede Primitivfaser gilt. In der Primitivfaser (s. Fig. 1) bleibt in jedem Stadium der Kontraktion die anisotrope, wie die isotrope Substanz an ihrer Stelle im Muskelfach, nur die Höhe der beiden Schichten nimmt ab, und zwar die der isotropen viel mehr als die der doppelbrechenden. Die anisotrope nimmt auf Kosten der isotropen an Volumen zu, indem die erstere quillt, die letztere schrumpft, was sich auch durch Verminderung des Helligkeitsunterschiedes beider Substanzen dokumentiert.

Volumenänderung.

Da der Muskel zu $\frac{3}{4}$ aus Wasser besteht, so muß er so gut wie inkompressibel sein. In der Tat ist die Volumenverminderung bei der Kontraktion gleich null.

Größe der Verkürzung.

Ein Muskel mit regelmäßiger Längsfaserung (M. hyoglossus vom Frosch) kann sich bei geringster Belastung im Tetanus bis zu 80% seiner natürlichen Länge verkürzen; im lebenden Körper soll die Verkürzung (infolge der größeren Widerstände durch die Schwere der Glieder und die Antagonisten) im günstigsten Fall nur etwa die Hälfte der natürlichen Länge betragen.

Die Dehnbarkeit.

Sie soll beim kontrahierten Muskel größer als beim ruhenden sein, d. h. das gleiche Gewicht soll den verkürzten Muskel um ein größeres Stück (absolut genommen) als den ruhenden dehnen, was aber fraglich ist. Der kontrahierte Muskel soll auch schwerer zerreißbar sein.

Der zeitliche Verlauf der Muskelzuckung.

Er wird am besten mit Hilfe des Myographions (Helmholtz) studiert. Dabei greift der Muskel an einen Hebel an und verzeichnet vermittelt desselben seine Bewegungen im vergrößerten Maßstabe auf eine schnell vorbeirotierende berußte Trommel. Man erhält dann eine Zuckungskurve, „Myogramm“. Die Ordinate gibt den Reizmoment an.

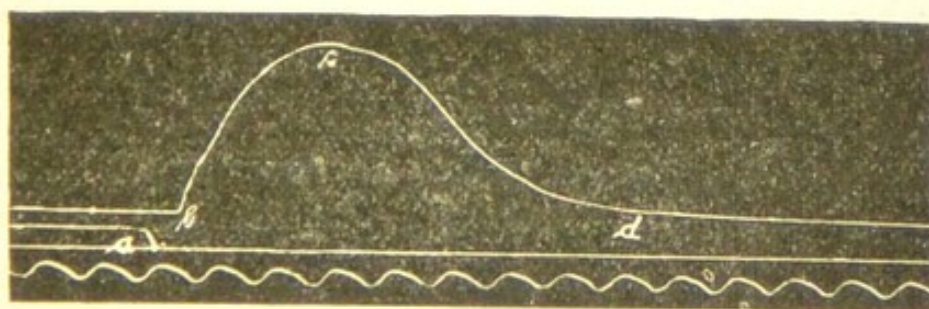


Fig. 7. Einfache Zuckungskurve des Gastrocnemius vom Frosch.
5 gr Belastung. 1 St. Schw. = 0.01 Sek.

Man ersieht, daß die Verkürzung nicht im Moment des Reizes beginnt (a), sondern erst später (b). Die Zeit a b heißt das Stadium der latenten Reizung. b c ist das Stadium der steigenden, c d der sinkenden Energie. Die Dauer der ganzen Zuckung beträgt beim Frosch bei Zimmertemperatur 0.1—0.3 Sek., das Latenzstadium etwa 0.01 Sek., unter besonders günstigen

Versuchsbedingungen 0·004 Sek., beim blutdurchströmten, im Körper belassenen Muskel 0·0025 Sek. Abkühlung, Ermüdung, zunehmende Belastung verlängern das Latenzstadium. Bei schwachen Reizen ist das Stadium der latenten Reizung länger, die Zuckungshöhe kleiner, die Zuckungsdauer kürzer. Es hat sich ferner gezeigt, daß die roten Muskeln ein längeres Latenzstadium, eine kürzere Zuckungshöhe und eine längere Zuckungsdauer haben, als die blassen. Man hat daher die roten auch *träge*, die blassen auch *flinke* Muskeln genannt.

Noch schärfer als auf graphischem Wege kann man die zeitliche Entwicklung der Verkürzungskraft des Muskels nach Helmholtz mit der Methode der elektrischen Zeitmessung von Pouillet und mit Hilfe des Froschunterbrechers von du Bois-Reymond bestimmen.

K o n t r a k t i o n s w e l l e .

Wird eine beschränkte Stelle des Muskels gereizt, so pflanzt sich die Kontraktion wellenförmig nach beiden Seiten über den ganzen Muskel fort. Dies geschieht aber nur in den unmittelbar vom Reiz getroffenen Fasern, *i s o l i e r t e R e i z u n g*. Dieselbe hat nicht statt beim Herzen und bei den glatten Muskeln. Die Geschwindigkeit der Kontraktionswelle beträgt beim Frosch etwa 3 m, beim Menschen etwa 10 m p. Sek. (in der Herzmuskulatur etwa 0·1 m).

E i n f l u ß d e r B e l a s t u n g .

Man kann in sehr verschiedener Weise die Belastung auf den tätigen Muskel wirken lassen:

1. *I s o t o n i e*: Die Belastung und die dadurch hervorbrachte Spannung des Muskels bleibt während der ganzen Kontraktion konstant. Die isotonische Kurve gibt also die *L ä n g e n v a r i a t i o n e n* des tätigen Muskels bei gleicher Spannung an.

Wird die Last direkt an das untere Muskelende angebracht, so erhält sie bei der Schnelligkeit des Kontraktionsablaufes eine Beschleunigung, die die Last auch dann noch weiter führt, wenn sie vom Muskel nach Erreichung des Maximums seiner Verkürzung keinen Be-

wegungsantrieb mehr erfährt. Die so erhaltene Kurve ist durch Schleuderung der trägen Masse, wozu auch ein schwerer Schreibhebel gehört, entstellt (*Wurfbewegung*). Dies zu vermeiden, macht man den Hebel möglichst masselos, bringt das die Spannung erteilende Gewicht, um seinen Weg möglichst klein zu machen, nahe der Achse des Schreibhebels an und läßt es hier, um das Moment bei jeder Stellung des Schreibhebels gleich zu machen, um eine Rolle laufen, während der Muskel selbst in größerer Entfernung von dieser Achse angreift.

2. *Auxotonie*: Die Belastung bzw. die Spannung nimmt entsprechend der sich entwickelnden Kraft kontinuierlich zu, so daß der Muskel sich nicht erst in erheblichem Maße verkürzen kann (daher auch *Isometrie* genannt). Zu dem Zweck läßt man den Muskel gegen eine Feder arbeiten. Die auxotonische Kurve gibt also die *Spannungsvariationen* des tätigen Muskels an.
3. *Überlastung*: Man unterstützt den Muskel auf seiner Ruhelänge und hängt dann ein Gewicht an. Jetzt muß er bei seiner Kontraktion erst eine dem Gewicht entsprechende Spannung entwickeln, ehe er es zu heben, sich also zu verkürzen vermag.

Arbeitsleistung des tätigen Muskels.

Die Arbeit des Muskels im mechanischen Sinne (äußere Arbeit) setzt sich zusammen aus Kraft und Hub und ist gleich dem gehobenen Gewicht mal der Hubhöhe.

Hub ist die Höhe, zu welcher der Muskel ein bestimmtes Gewicht hebt.

Kraft wird bestimmt durch das maximale Gewicht, das der Muskel eben noch zu heben vermag.

Der Hub ist unter sonst gleichen Umständen proportional der Länge der Muskelfasern, die Kraft dem physiologischen (d. h. senkrecht auf die Muskelfasern geführten) Querschnitt des Muskels. Der dünne und langfaserige *M. sartorius* entwickelt daher großen Hub, aber kleine Kraft; der ebensolange, aber kurzfasrige und dicke *M. peroneus longus* große Kraft, aber kleinen Hub. Um die Kraft verschiedener Muskeln vergleichen zu können,

reduziert man ihre Kraft auf die Einheit des Querschnitts (1 qcm) und bezeichnet diese Größe als das *a b s o l u t e M a ß* der Kraft. Im Tetanus ist die Kraft 1—3 mal größer als bei der Einzelsuckung; sie beträgt bei Froschmuskeln 3 kg, beim Menschen 6–10 kg auf 1 qcm Querschnitt.

Die Hubhöhe nimmt bei steigender Belastung ab, aber langsamer als die Last zunimmt. Es gibt daher eine bestimmte mittlere Belastung, für welche das Produkt von Gewicht und Hubhöhe, also die Arbeitsleistung des Muskels am größten ist.

Im Tetanus wird, da das Gewicht dauernd auf der Höhe bleibt, keine Arbeit im mechanischen Sinne geleistet, ebensowenig, wenn die Hubhöhe = 0, oder die Belastung = 0 ist.

Die Größe der Arbeitsleistung wird begünstigt innerhalb gewisser Grenzen, wenn der Muskel vorher schon gespannt war. Auch ein blutdurchströmter Muskel leistet mehr Arbeit als ein aus dem Körper herausgeschnittener.

Die Erhebung eines gegebenen Gewichtes um den Betrag der Verkürzung stellt nicht die größtmögliche Arbeit dar, die der Muskel zu leisten vermag. Seine Arbeitsleistung ist größer:

- a) bei der Wurfbewegung (s. o.); das Gewicht steigt dann infolge der erhaltenen Beschleunigung über diejenige Höhe hinaus, welche der Muskel bei seiner Verkürzung erreicht;
- b) wenn die ursprünglich gehobene Last in dem Maße, wie der Muskel sich verkürzt, vermindert wird. Dann kann sich der Muskel noch weiter verkürzen und durch Heben der verminderten Last neue Arbeit leisten. Nach diesem günstigen Prinzip arbeiten in der Tat vermöge der Gelenkeinrichtung manche Muskeln im Körper.

Die *r o t e n* Muskeln zeigen größere Kraft und Ausdauer als die *b l a s s e n*.

Einfluß der Reizstärke.

Verstärkt man bei konstanter Belastung vom Schwellenwert an den Reiz mehr und mehr, so nimmt bei direkter Reizung des Muskels die Hubhöhe zuerst schnell, dann langsamer bis zu einem Maximum zu; bei indirekter Reizung (d. h. vom Nerven aus) wächst die Zuckungshöhe mit der Verstärkung des Reizes

vom Schwellenwert an nur innerhalb eines sehr engen Bereiches. Es wird sehr schnell eine Reizstärke erreicht (maximaler Reiz), über die hinaus die weitere Verstärkung des Reizes (übermaximaler Reiz) keinen Zuwachs der Hubhöhe zur Folge hat.

Einfluß der Temperatur.

Innerhalb der Temperaturen von -5° bis $+42^{\circ}$ C nimmt die Zuckungsdauer und die Latenzzeit mit der zunehmenden Temperatur ab; die Zuckungshöhe nimmt von -5° an zu bis 0° , nimmt dann wieder mit der weiteren Zunahme der Temperatur ab, steigt von etwa 19° wieder aufs neue bis zum Maximum bei 30° , um dann wieder abzunehmen.

Einfluß der Ermüdung.

Wird ein Muskel in bestimmten Intervallen mit einzelnen maximalen Reizen gereizt, so nehmen die Höhen der ersten Zuckungen zu (Phänomen der Treppe), bleiben dann eine gewisse

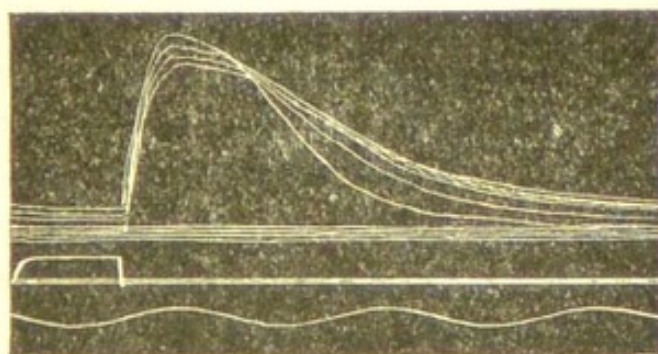


Fig. 8. Einfluß der Ermüdung. Reizung mit einem Öffnungs-Induktionsschlag, Schließungs-Induktionsschlag abgeblendet. 1 St. Schw. = 0.2 Sek.

Zeit lang konstant und nehmen schließlich allmählich ab. Die Arbeitsleistung des Muskels läßt nach, es tritt Ermüdung ein. Der ermüdete Muskel zeigt ein längeres Stadium der latenten Reizung, eine geringere Hubhöhe, einen gedehnteren Verlauf der ganzen Kurve.

Die Ermüdung beruht darauf, daß das Kraftmaterial des Muskels verbraucht wird. Wird er wieder mit neuem Material versehen, so tritt Erholung ein, der Muskel arbeitet wieder. Ruhe und Tätigkeit müssen daher in passender Weise abwechseln. Aber auch die durch die Tätigkeit selbst gebildeten Umsatz-

produkte wirken ermüdend auf den Muskel. Diese „Ermüdungstoffe“ (Milchsäure, saures phosphorsaures Kali, Fleischbasen: Kreatin usw.) in die Gefäße eines Muskels gespritzt heben seine Leistungsfähigkeit auf, sie können, wenn sie sich bei der Tätigkeit in einem herausgeschnittenen Muskel angehäuft haben, durch Auswaschen mit $\frac{3}{4}$ pCt. NaCl-Lösung beseitigt und der Muskel wieder erregbar gemacht werden. Der im Körper belassene Muskel, bei dem durch die Zirkulation neue Stoffe zugeführt und die Ermüdungstoffe abgeführt werden, ist viel leistungsfähiger. Aber auch hier tritt schließlich Ermüdung ein. Ruhe und Tätigkeit müssen in passender Weise abwechseln. Dies ist in regelmäßiger Folge bei den rhythmisch arbeitenden Muskeln (Herzmuskel, Atemmuskeln) der Fall.

Am lebenden Menschen werden die Ermüdungserscheinungen mit Hilfe des Ergographen studiert.

Akustische Vorgänge im tätigen Muskel.

Setzt man auf einen tetanisierten Armmuskel das Hörrohr auf, so hört man ein Geräusch oder einen tiefen Ton von etwa 32 Schwingungen pr. Sek.; es ist das der erste Oberton des wirklichen Muskeltones von 16 Schwingungen in der Sek. Dieser Ton liefert den Beweis, daß der Tetanus ein diskontinuierlicher Vorgang ist, und daß auch bei den willkürlichen Bewegungen eine Anzahl von Reizen, Impulsen (16–20) vom Zentralnervensystem zum Muskel geschickt werden. Auch jede einzelne Zuckung ist mit einem Geräusch verbunden, das selbst dann noch eintritt, wenn der Muskel an jeder Formänderung gehindert wird. Auch die Systole des Herzens liefert ein Muskelgeräusch (s. dort).

Chemische Vorgänge im ruhenden und tätigen Muskel.

Quelle der Muskelkraft.

Schon der ruhende Muskel zeigt einen geringen Stoffwechsel (chemischer Tonus), er nimmt O_2 auf, gibt CO_2 ab, auch Glykogen wird verbraucht; diese Vorgänge sind vom Nervensystem abhängig (Reflextonus).

Bei der Tätigkeit sind die chemischen Prozesse erheblich gesteigert; die dabei frei werdenden chemischen Spannkraften

setzen sich in lebendige Kräfte um, zum geringeren Teil in Massenbewegung (Arbeitsleistung des Muskels), zum größten Teil in Molekularbewegung (Wärme). Im Tetanus nehmen die wasserlöslichen Bestandteile ab, die alkohollöslichen zu.

Während zwar der ruhende Muskel neutral oder schwach alkalisch reagiert, ist der t ä t i g e gegen Lackmus s a u e r infolge gebildeter Fleischmilchsäure; sie entsteht wahrscheinlich (S. 42) aus Zucker, dieser aus dem Glykogen durch fermentative Spaltung. Ferner verbraucht der tätige Muskel mehr O_2 und bildet mehr CO_2 als der ruhende (bis zum 5fachen Betrage). Die Verbrennungsprozesse sind also außerordentlich gesteigert. Sie betreffen aber zum kleinsten Teil die Eiweißkörper. Der geringe Eiweißverbrauch, der nachweisbar ist, rührt von der Abnutzung der Muskelsubstanz selbst her (wie die Teile einer Maschine bei der Arbeit abgenutzt werden). Die Q u e l l e d e r M u s k e l k r a f t i s t i n e r s t e r L i n i e n i c h t d i e Z e r s e t z u n g N - h a l t i g e r , s o n d e r n d i e O x y d a t i o n N - f r e i e r , a b e r C - r e i c h e r S t o f f e (K o h l e h y d r a t e) i m M u s k e l . Dabei werden 30 pCt. (im günstigsten Falle 40 pCt.) der Verbrennungswärme in Arbeit umgesetzt. Da unsere besten Dampfmaschinen nur 10 pCt. (im günstigsten Falle nur 12 pCt.) von der Verbrennungswärme des Brennmaterials in Arbeit umsetzen, so kann man ihnen gegenüber den M u s k e l als eine sehr v o l l k o m m e n e A r b e i t s m a s c h i n e bezeichnen.

Thermische Vorgänge im t ä t i g e n M u s k e l .

Der Teil der chemischen Spannkraft, der nicht zur Arbeitsleistung verwandt wird, setzt sich in Wärme um. Diese tritt besonders im Tetanus, ebenso bei isometrischen Zuckungen hervor. Hat der Muskel das Gewicht gehoben, sich verkürzt, so ist seine ä u ß e r e A r b e i t , d . h . Arbeit im mechanischen Sinne, zu Ende. Er leistet jetzt nur noch i n n e r e A r b e i t , d . h . W ä r m e b i l d u n g .

Es steht aber die geleistete mechanische Energie nicht ohne weiteres in einem konstanten Verhältnis zur Wärmebildung, so daß etwa, je mehr mechanische Energie, um so weniger Wärme gebildet wird und umgekehrt. Es nimmt vielmehr bei gleichem (maximalen) Reiz und steigender Belastung die Wärme gerade so, wie die mechanische Arbeit, bis zu einem gewissen Maximum

zu. Ebenso wird die Wärmebildung erhöht, wenn die Verkürzung des Muskels gehemmt wird, so daß er mehr Spannung leistet. Es paßt sich also der Umsatz der chemischen Spannkraft in lebendige Kraft (mechan. Arbeit + Wärme) innerhalb gewisser Grenzen den geleisteten Anforderungen an, nimmt mit diesen zu.

Der tetanisierte Froschmuskel ergibt (die Messung geschieht auf thermoelektrischem Wege) eine Temperaturzunahme von $0.14-0.18^{\circ}\text{C}$; auch bei der isotonischen Einzelzuckung wird Wärme entwickelt, die Zunahme beträgt hier $0.001-0.005^{\circ}\text{C}$.

Elektrische Vorgänge im tätigen Muskel.

Man nahm früher an, daß der ruhende Muskel einen elektrischen Strom aufweist. Verbindet man nämlich bei einem herausgeschnittenen Muskel Längsschnitt und Querschnitt vermittelst du Bois-Reymond's unpolarisierbaren Elektroden mit einer strommessenden Vorrichtung (Galvanometer), so zeigt sich ein Ausschlag in dem Sinne, daß im Schließungsbogen ein Strom vom Längsschnitt zum Querschnitt geht. Der angelegte Querschnitt zeigt sich also negativ gegen den Längsschnitt, ebenso zeigen sich Punkte des Längsschnittes, die der Mitte, dem Äquator, näher liegen, positiv gegen entferntere Punkte. Man nannte dieses regelmäßige Verhalten den *Strom des ruhenden Muskels*. Es ergab sich aber, daß dies auf einer partiellen Verletzung der Muskelsubstanz beruht. In einer partiell verletzten Faser ist die Demarkationsfläche zwischen lebendem und totem Faserinhalt Sitz einer gegen den lebenden Teil (im ableitenden Bogen also vom unverletzten zum verletzten Teil) hin gerichteten elektromotorischen Kraft; ihre Größe beträgt in dem ableitbaren Zweigstrom in maximo 0.08 Volt . Der völlig abgestorbene Muskel zeigt keinen Strom; ebenso der völlig unversehrte Muskel (z. B. Herzmuskel), er tritt aber hier sofort in voller Stärke auf, wenn man an der Stelle einer Elektrode eine Verletzung anbringt. Man nennt daher den Ruhestrom jetzt richtiger *Demarkationsstrom*.

Auch bei der Tätigkeit entstehen elektrische Ströme, *Aktionströme*; es verhält sich jede erregte Stelle negativ gegen den ruhenden Faserrest. Bestand vorher ein Demarkationsstrom, so dokumentiert sich der Aktionstrom in einer Abnahme

dieses Demarkationstromes (negative Schwankung des Ruhestromes). Dies beruht darauf, daß die verletzte Stelle, die den Ruhestrom hervorrief, nicht mehr von der Erregungswelle betroffen werden kann, sondern nur die unverletzte, diese wird dann auch negativ, wie vorher schon die verletzte Stelle: die elektrische Ungleichheit (Potentialdifferenz), die Ursache des Ruhe-(Demarkation)-Stromes, verschwindet.

Die elektrischen Erscheinungen am Muskel lassen sich also dahin zusammenfassen:

Der erregte oder in irgend einer Weise verletzte Teil der Muskelfaser verhält sich negativ elektrisch gegen den anderen zurzeit in Ruhe befindlichen oder unversehrten Faserrest.

Durch den Aktionstrom kann, wenn der Nerv eines zweiten Nervmuskelpreparates auf den ersten Muskel gelegt wird, eine „sekundäre Zuckung“ oder, wenn der erste Muskel in Tetanus versetzt wird, ein „sekundärer Tetanus“ des zweiten Muskels erzeugt werden.

Am Galvanometer erhält man beim Tetanus nur eine einfache anhaltende Abnahme des Demarkationstromes. Der sekundäre Tetanus dagegen lehrt, daß sich oszillatorische Vorgänge im tetanisierten Muskel abspielen, denen der träge Magnet des Galvanometers im einzelnen nur nicht folgen kann. Auch das Telephon, das noch empfindlicher als der stromprüfende Froschschenkel gegen Stromschwankungen ist, beweist die oszillatorische Natur der galvanischen Vorgänge im tetanischen Muskel.

Beim stromlosen Muskel tritt bei der Einzelzuckung ein doppelsinniger Aktionstrom auf. Indem die Erregungswelle, welche die betroffene Muskelstelle negativ macht, fortschreitet, gelangt sie erst an die eine, dann an die andere Elektrode. Es verhält sich also anfangs die erste Elektrode negativ gegen die zweite, dann umgekehrt die zweite negativ gegen die erste. Liegt die eine Elektrode einem künstlichen Querschnitt an, geht der doppelsinnige Aktionsstrom in die oben beschriebene negative Schwankung über.

Eigene Irritabilität des Muskels.

Besitzt der Muskel eigene Reizbarkeit (Haller), oder wird er nur vermittelt der in ihm enthaltenen Nerven, bez. der Nervenendigungen, also indirekt, mittelbar gereizt? Daß ersteres der Fall ist, beweist:

1. Ammoniak bringt die Nerven ohne Erregung zum Absterben, reizt aber den Muskel; umgekehrt konz. Glyzerin

und Milchsäure bringen vom Nerven aus Tetanus hervor, reizen aber nicht den Muskel.

2. Das obere Drittel des *M. sartorius* vom Frosch ist frei von Nervenendigungen, und doch reagiert es auf alle Reize.
3. Kuraré, amerikanisches Pfeilgift, ein braunes Harz aus dem Saft von Strychnosarten, lähmt die intramuskulären Nervenendigungen. Ein so vergifteter Muskel reagiert selbst auf alle Reize, ist aber von seinem Nerven aus nicht mehr erregbar.

3. Zustand des Abgestorbenseins.

Vom Organismus getrennte Muskeln bleiben noch eine Zeitlang erregbar, sie „überleben“; Säugetiermuskeln etwa $\frac{1}{2}$ Stunde, Kaltblütermuskeln viele Stunden bis Tage. Niedrige Temperaturen begünstigen das Überleben, hohe (über 40°) heben es sehr schnell auf. Dann stirbt der Muskel ab. Er wird kürzer, dicker und fester. Dasselbe tritt bei den Säugetiermuskeln nach dem Tode ein und zwar in bestimmter Reihenfolge: Kopf, Hals, Rumpf, obere, untere Extremität. Die Leiche wird starr und steif; daher *Totenstarre* (*Rigor mortis*), besser *Muskelstarre*. Sie beginnt 10 Minuten bis 7 Stunden nach dem Tode und löst sich wieder (in der Wärme schneller), nachdem sie 10—18 Stunden bestanden, in derselben Reihenfolge. Muskeln, deren Nerven durchschnitten sind, erstarren später. Als Ursache der Starre hat man die Gerinnung des Muskelplasmas (s. o.) in der Primitivfaser bezeichnet. Der starre Muskel ist weißlich, undurchscheinend, wenig dehnbar, leicht zerreiblich. Er reagiert sauer; dies rührt her von der Bildung von Fleischmilchsäure, daneben bildet sich CO₂, auch findet eine Abnahme des Glykogens (bes. rasch im Herzmuskel) statt.

Auch Erwärmen auf 40°—50° C., Säuren, Chloroform, destilliertes Wasser machen den Muskel starr (wärmestarr, säurestarr, chloroformstarr, wasserstarr).

Glatte Muskeln.

Bestehen ebenfalls aus Fibrillen, die aber keine Differenzierung weiter zeigen, man hat sie daher auch „längsgestreifte Muskeln“ genannt. Sie haben kein Sarkolemm.

Sie finden sich hauptsächlich in der Wand von röhrenförmigen Hohlorganen (Darm, Ureter, Tuben, Uterus). Findet hier eine Kontraktion an einer Stelle statt, so pflanzt sie sich wellenförmig, p e r i s t a l t i s c h , über das ganze Hohlorgan fort. Alle Vorgänge bei der Kontraktion laufen an glatten Muskeln viel (fast 100 mal) langsamer ab als an den quergestreiften. Die glatten Muskeln zeigen auch in der Ruhe einen gewissen Grad von Verkürzung, Tonus. Auch aus dem Körper herausgeschnittene Stücke zeigen automatische rhythmische Kontraktionen, die auf Nerveneinfluß beruhen sollen; Atropin hebt sie auf. Für die glatten Muskeln gelten bei der Reizung mit dem elektrischen Strom im allgemeinen dieselben Gesetze, wie für die quergestreiften Muskeln. Sie reagieren aber weder bei der Tätigkeit, noch beim Absterben merklich sauer.

4. Allgemeine Nervenphysiologie.

Das Nervensystem der höheren Wirbeltiere besteht nach Maßgabe neuerer Forschungen, die aber nicht unbestritten sind, aus **Neuronen**¹⁾ oder **Neurodendren**, als seinen wesentlichen Elementen. Es sind dies für sich bestehende anatomische und physiologische Einheiten, die untereinander nicht direkt verbunden sind, nicht in Kontinuität stehen, sondern nur durch **Kontiguität** oder **Kontakt** aufeinander wirken.

Jeder Neuron (jedes Neurodendron) besteht

1. aus der Nervenzelle mit ihren Protoplasma- (Deiterschen) Fortsätzen, **Dendriten**, und
2. aus dem Achsenzylinderfortsatz oder **Neuraxon** (Axon) mit seinen Endbäumchen.

Die Achsenzylinderfortsätze setzen die Nervenfasern und -stränge zusammen. In den Zentralorganen besitzen sie auch seitliche Äste, Collateralen, die ebenfalls mit Endbäumchen endigen, und mit anderen Dendriten in Kontakt treten können.

Die Dendriten leiten cellulipetal, die Neuraxone cellulifugal. Die peripherische sensible Faser ist als ein verlängerter Dendrit anzusehen.

An einen Neuron kann sich ein zweiter und dritter anschließen, indem das Endbäumchen des zweiten in Kontakt tritt mit den Dendriten des ersten usw.: motorische Bahn, oder indem das Endbäumchen des ersten in Kontakt tritt mit den Dendriten des zweiten usw.: sensible Bahn. Man spricht dann von Neuronen I., II., III. usw. Ordnung (cfr. Fig. 9).

Jeder Neuron ist hervorgegangen aus einer embryonalen Nervenzelle (Neuroblast); aus ihr wachsen Dendriten und Neuraxone hervor.

¹⁾ Der Neurón, die Neurónen (ὁ νεῦρον die Nerveinheit von τὸ νεῦρον wie ὁ ἀμπέλων der Weinberg von ἡ ἀμπελος der Weinstock).

A. Die Nervenzellen.

Die Nervenzelle oder Ganglienzelle findet sich im Gehirn, Rückenmark, peripherischen Ganglien (Spinal-, sympathischen G. oder in peripherischen Organen, Sinnesorganen, Haut).

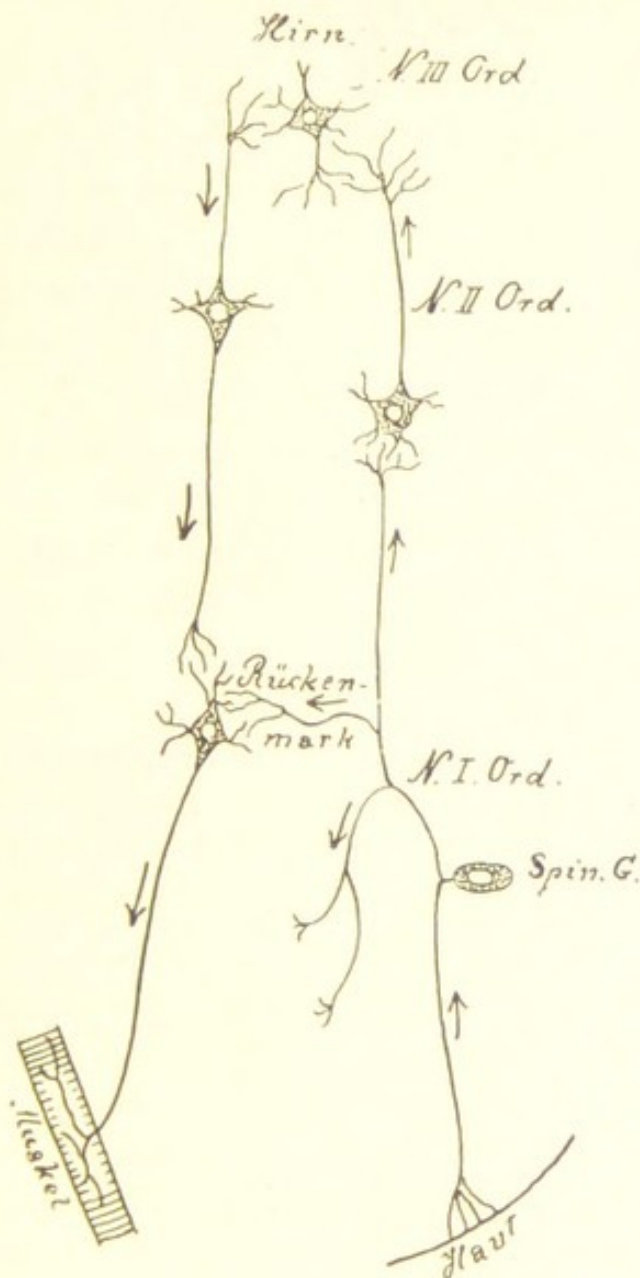


Fig. 9. Neuronenschema.

Ihre Gestalt ist sehr wechselnd (kugel-, birn-, spindelförmig, vieleckig), ebenso ihre Größe von $5\ \mu$ — $150\ \mu$ Durchmesser. Sie haben meist keine Zellenmembran, ihr Protoplasma besteht aus einer leicht gelblichen oder farblosen Grundmasse und enthält feine Körnchen (Flemming-Nissl'sche Körner) und besonders in alternen Zellen Pigment. In den multipolaren Zellen des Rückenmarks ist eine Faserung (Fibrillen) in paralleler oder konzentrischer Anordnung nachgewiesen. Die Kerne sind verhältnismäßig große runde oder ovale, sehr deutlich hervortretende Bläschen mit einfachen Kernkörperchen.

Die Nervenzellen sind das trophische Zentrum der zugehörigen Nervenfasern, wie schon ihre Entwicklungsgeschichte (s. o.) lehrt. Die von der Zelle getrennten Nervenfasern, in einigen Fällen sogar die von ihnen versorgten Endorgane (Muskeln, Speicheldrüsen) degenerieren und sterben ab. Ausgeschnittene Nerven verlieren daher schnell ihre Erregbarkeit. Auch im Körper durchschnittene büßen

sie bei Säugetieren nach etwa 2 Tagen vollständig ein, bei Kaltblütern später.

Die Nervenzellen sind reizbar.

- a) Indirekt, durch Reize, die ihnen die Dendriten zuleiten, und die sie an die Neuraxone weitergeben.
- b) Direkt, durch in loco wirkende Reize. So werden die Zellen des Atmungszentrums durch den CO_2 -Gehalt des normalen Blutes gereizt; man hat es deswegen automatisches Zentrum genannt. Die Reizung wird verstärkt durch CO_2 -Anhäufung und O_2 -Mangel. Pathologisch durch Krampfgifte (Strychnin, Tetanus-Ptomain). Auch kann Lähmung durch Gifte (Morphium) erfolgen.

Die Nervenzellen haben Einfluß auf die Fortleitung der Erregung. Sie modifizieren:

- a) die Richtung der Erregung. Sie leiten sie auf andere Bahnen über; von sensiblen Nerven auf motorische oder innerhalb desselben Systems von einer Nervenfaserguppe auf eine andere.
- b) die Intensität der Erregung. Sie speichern Erregungen in sich auf, „Summation“. Sie verstärken schwache Erregungen (wirken als Relais) oder dämpfen zu starke Erregungen.
- c) die Geschwindigkeit der Erregung. Sie halten eine Erregung auf (Hemmung), oder geben sie sofort weiter (Bahnung).¹⁾

Von einem Neuron auf einen anderen wird die Erregung nur in einer Richtung fortgepflanzt. So leitet das Rückenmark die Erregungen nur von der hinteren (sensiblen) Wurzel zur vorderen (motorischen), niemals umgekehrt.

Die Nervenzellen haben einen sehr lebhaften Stoffwechsel. Wo sie in größerer Menge vorkommen, wie in der grauen Substanz der Zentralorgane, findet sich ein dicht verzweigtes Blutgefäßnetz. Aufhebung ihres Kreislaufs hebt schnell ihre Funktion auf.

¹⁾ Dasselbe kann auch innerhalb des ganzen Neuronen-Systems eintreten. Je kürzer, je direkter der Weg einer Erregung ist, um so mehr Bahnung ist vorhanden; je mehr übergeordnete oder nebengeordnete Neuronen sie zu durchlaufen hat, um so mehr Hemmung.

B. Die Nervenfasern.

Feinerer Bau.

Jeder Nerv besteht aus Bündeln von Nervenprimitivfasern, Neuraxonen. Diese sind nicht straff ausgespannt, sondern wellenförmig locker angeordnet (Fontana'sche Bänderung), um bei den Bewegungen der Glieder nicht gedehnt zu werden. Ein Neuraxon hat (von innen nach außen):

- a) Achsencylinder als wichtigsten und wesentlichen Bestandteil; er läßt bisweilen feine Längsstreifung erkennen als Ausdruck seiner Zusammensetzung aus Fibrillen.
- b) Markscheide, Henle'sche Scheide, Nervenmark.
- c) Neurilemm, Schwann'sche Scheide; diese trägt zahlreiche längliche Kerne, je einen in der Mitte zwischen zwei Ranvier'schen Einschnürungen. Die Scheide fehlt den markhaltigen Nerven im Zentralnervensystem.

Nervenfaser mit Markscheide = weiße oder markhaltige oder doppeltkontourierte Nervenfaser.

Nervenfaser ohne Markscheide = graue, gelatinöse, marklose oder, da sie zumeist im sympathischen Nervensystem vorkommt, auch sympathische (Remak'sche) Nervenfaser genannt. An markhaltigen Nervenfasern finden sich in gewissen Abständen Einschnürungen, wo das Mark fehlt. Durch Behandlung mit Höllensteinlösungen entstehen hier braune Kreuze, „Ranvier'sche Kreuze“. Außerdem sieht man am Mark selbst von Strecke zu Strecke die Schmidt-Lantermann'schen Einkerbungen (wahrscheinlich Kunstprodukte).

Chemische Zusammensetzung.

Die Nerven bestehen zu etwa 70 pCt. aus Wasser. Feste Bestandteile sind vornehmlich Eiweißstoffe; die Markscheide enthält besonders Cholestearin und Protagon (s. S. 35); das Neurilemm liefert elastische Substanz. Ferner finden sich Fette und in geringer Menge anorganische Salze. Die Nervenfasern reagieren neutral oder schwach alkalisch; es läßt sich an ihnen kein Unterschied der Reaktion wahrnehmen, ob sie ruhend, tätig oder abgestorben sind.

Das Nervenprinzip.

Es ist derjenige seiner Natur nach uns noch unbekannte Vorgang, welcher im Leben den Nerven bei seiner Tätigkeit entlang läuft. Der tätige Nerv unterscheidet sich äußerlich für uns in nichts von dem ruhenden. Wir kennen überhaupt nur eine einzige mit besonderen Hilfsmitteln wahrnehmbare Erscheinung, die den tätigen Nerven charakterisiert, eine elektrische, den Aktionstrom. Sonst können wir die Erregung nur an ihren Wirkungen auf das Erfolgsorgan erkennen. Wir wählen daher einen motorischen Nerven und lassen ihn in Verbindung mit seinem Erfolgsorgan, dem Muskel, dessen uns sichtbare Bewegung der Nerv eben durch seine Tätigkeit auslöst. Den Nerv in Tätigkeit zu versetzen, das Nervenprinzip auszulösen, also eine Muskelzuckung hervorzubringen, dienen folgende

Reize.

- a) plötzliche mechanische: Schlag, Schnitt, Quetschung. Allmählicher mäßiger Druckerhöht die Erregbarkeit, stärkerer setzt sie herab bis zur Unerregbarkeit und Leitungsunfähigkeit.
- b) chemische: Wasserentziehung durch Austrocknen, oder durch konz. Salzlösungen, Betupfen mit konz. Alkalien, Glyzerin, Milchsäure (cf. Irritabilität des Muskels). 0.75 pCt. NaCl-Lösung erhält die Erregbarkeit des Nerven.
- c) thermische: Plötzliche Temperaturänderung.
- d) elektrische: Hierbei gelten dieselben allgemeinen Gesetze, die oben beim Muskel angeführt sind. Über Besonderheiten s. u. Am wirksamsten ist der elektrische Strom, wenn er den Nerven parallel seiner Längsachse durchfließt, senkrecht dazu ist er unwirksam. Innerhalb gewisser Grenzen wächst die erregende Wirkung mit der Länge der durchflossenen Strecke.

Alle Reize wirken nur, wenn sie eine Änderung des Zustandes im Nerven mit hinreichender Geschwindigkeit herbeiführen.

Vermittelst des Induktionstromes (du Bois-Reymond's Schlittenmagnetelektromotor) können wir den Muskel auch vom Nerven aus in **T e t a n u s** versetzen, weil der Induktionstrom

aus schnell aufeinanderfolgenden Reizen, Stromschwankungen, besteht. 12 Reize in der Sekunde, dem Froschnerven appliziert, können schon Tetanus hervorbringen. Auch mechanische Reize in dieser Frequenz können tetanisierend wirken (Heidenhain's Tetanomotor).

Erregbarkeit.

Das ist die Fähigkeit des Nerven, auf die eben genannten Reize zu reagieren, d. h. den von ihm abhängigen Muskel zum Zucken zu bringen. Dieselbe ist um so größer, je schwächer der Reiz ist, der eine Zuckung hervorbringt. Man bestimmt dieselbe, indem man diejenige Entfernung der sekundären Spirale von der primären aufsucht, bei welcher der Öffnungsinduktionsschlag (als der stärkere bei der gewöhnlichen Anordnung ohne Helmholtz'sche Einrichtung s. o. S. 58) noch eben eine Zuckung hervorbringt. Dabei zeigt sich, daß der Nerv eine höhere Erregbarkeit besitzt als der Muskel, daß er schon auf Reize den Muskel zum Zucken bringt, die den Muskel selbst noch in Ruhe lassen. Bei einem herausgeschnittenen Nerven nimmt die Erregbarkeit in der Nähe der Schnittstelle bald allmählich ab, bis schließlich die stärksten Induktionströme keine Zuckung mehr geben: der Nerv ist „a b - g e s t o r b e n“. Mit der Zeit schreitet dieses Absterben von der Schnittfläche nach dem Muskel zu fort, sodaß schließlich der ganze Nerv unerregbar ist, während der Muskel, da er später abstirbt, noch erregbar bleibt. Über die Zeit des Absterbens läßt sich nichts bestimmtes sagen, da der Muskel schon früh versagt, wahrscheinlich wegen des Absterbens der Nervenendigungen. Morphologische Veränderungen am unerregbar gewordenen Nerven (wie bei der Totenstarre) sind, ausgenommen in der Nähe des Querschnittes, nicht nachweisbar. Dieses Fortschreiten des Absterbens am Nervmuskelpreparat vom Zentrum nach der Peripherie, das man das Valli-Ritter'sche Gesetz nannte, ist eine selbstverständliche Folgerung aus der Neuronenlehre, da ja die Zelle das trophische Zentrum des Neurons ist. Hohe Temperaturen und Trockenheit begünstigen das Absterben. Der Abnahme der Erregbarkeit geht beim Absterben eine Erhöhung voraus, diese letztere kann man an jeder Stelle des Nerven hervorbringen, indem man oberhalb derselben einen neuen Querschnitt anlegt.

Erregungsleitung der Nerven.

a) Leitungsfähigkeit und Erregbarkeit.

Beide sind von einander zu unterscheiden, denn sie können unter Umständen von demselben Agens in verschiedener Weise beeinflußt werden. Bringt man eine Stelle des Nerven in CO_2 -Gas, so wird sie unerregbar, bleibt aber leitungsfähig. Ein Reiz, oberhalb davon appliziert, löst Zuckung aus. Das Nämliche tritt ein bei der Regeneration (s. u.); auch bei der Einwirkung des konstanten Stromes zeigen sich ähnliche Erscheinungen (s. u.). In vielen Fällen dagegen werden Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit in der gleichen Weise beeinflußt: sie werden beide aufgehoben durch zu starke oder zu lange Einwirkung der mechanischen und chemischen Reize, durch Temperaturen über 45° und unter 0°C .

b) Kontinuität der Leitung.

Wird der Nerv an einer Stelle gereizt, so wird dort das Nervenprinzip in Tätigkeit gesetzt, es läuft als Erregungswelle von der Applikationstelle des Reizes den Nerven entlang bis zum Muskel fort. Ist auf diesem Wege die Nervenfaser irgendwo unterbunden, gequetscht, durchschnitten, oder überhaupt ihre normale Beschaffenheit alteriert, so ist an dieser Stelle für die Erregungswelle der Durchtritt unmöglich. Wohl aber kann unterhalb dieser Stelle durch jeden Reiz eine neue Erregungswelle ausgelöst und der Muskel zum Zucken gebracht werden. (Froschpistole.)

c) Isolierte Leitung.

Die Erregungswelle läuft in einem Nervenstamme nur in denjenigen Fasern ab, welche direkt gereizt werden; sie breitet sich nicht in querer Richtung auf benachbarte Fasern aus.

d) Doppelsinnige Leitung.

Während im Leben das Nervenprinzip in den Neuronen nur nach einer Richtung hin abläuft (bei den motorischen und sekretorischen Neuronen vom Zentrum nach der Peripherie, zentrifugal; bei den sensiblen und sensorischen von der Peripherie zum

Zentrum, zentripetal),¹⁾ zeigt sich im Versuch bei Anwendung künstlicher Reize, daß die Erregung in der Nervenfasernach beiden Seiten ausbreiten kann; die Nerven haben „doppelsinniges Leitungsvermögen“.

Beim *M. gracilis* des Frosches teilt sich der ihn versorgende motorische (zentrifugale) Nerv gabelförmig in zwei Äste für den oberen und unteren Teil des Muskels derart, daß jeder Achsenzylinder sowohl zu dem oberen als zu dem unteren Teil des Muskels einen Ast abgibt. Durchschneidet man den Muskel quer in der Mitte und trennt so die beiden Teile, ohne die Nervengabel zu schädigen, so erhält man bei Reizung des einen Astes der Gabel doch Zuckung in beiden Muskelhälften. Es hat sich also der Reiz in dem zum gereizten Muskelstück gehörigen Nervenast zentripetal ausgebreitet und ist so zum anderen Ast übergetreten.

Auch der Aktionstrom (s. u.) pflanzt sich nach beiden Richtungen hin im gereizten Nerven fort.

e) Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung.

Die Erregung, das Nervenprinzip, läuft von der gereizten Stelle mit verhältnismäßig geringer Geschwindigkeit den Nerven entlang; für den Froschnerven beträgt sie etwa 26 m in der Sekunde. Sie wird ermittelt, indem man den Nerven an einer dem Muskel möglichst nahen und an einer möglichst davon entfernten Stelle reizt und jedesmal die Zeit bis zum Beginn der Zuckung mißt. Die Differenz der beiden Zeiten gibt die Dauer an, welche das Nervenprinzip nötig hatte, das zwischen den beiden Reizstellen gelegene Nervenstück zu durchlaufen.

Die Zeitmessung geschieht mit Hilfe der elektrischen Methode von Pouillet. Auch die graphische Methode kann man anwenden mit Hilfe des Helmholtz'schen Zylinder-, des du Bois-Reymond'schen Feder-, des Engelmann'schen Schleuder-Myographions.

Erniedrigung der Temperatur setzt die Geschwindigkeit des Nervenprinzips herab, Steigerung beschleunigt sie. Daher ist sie bei Warmblütern größer. Für die motorischen Nerven des Menschen hat sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu etwa 40 m in der Sekunde ergeben.

¹⁾ Außer den zentrifugalen und zentripetalen Neuronen gibt es auch noch interzentrale, die Teile der Zentralorgane selbst verbinden.

Unermüdbarkeit des Nerven.

Durch neuere Versuche, in denen der Übergang der Erregung auf den leicht ermüdbaren Muskel (durch Kuraré, konstanten Strom, Abkühlung) verhindert wird, ist man zu der Annahme geführt worden, daß eine Ermüdbarkeit des Nerven so gut wie gar nicht eintritt. Von denjenigen sehr starken Reizen, welche scheinbar an der gereizten Stelle eine Ermüdung herbeiführen, indem der Nerv dort leitungsunfähig und unerregbar wird, ist es wahrscheinlich, daß sie überhaupt mit einer tiefer greifenden Alteration des Nerven verbunden sind.

Stoffwechsel des Nerven.

Mit der Unermüdbarkeit hängt zusammen, daß der Stoffwechsel des Nerven ein äußerst geringer ist. Chemische Unterschiede in der Zusammensetzung des tätigen und des ruhenden Nerven haben sich bis jetzt nicht ergeben, ebensowenig hat sich eine Wärmebildung infolge der Tätigkeit konstatieren lassen. In O₂-freien Gasen sinkt die Erregbarkeit, nach O₂-Zufuhr kehrt sie wieder.

Degeneration und Regeneration.

Im lebenden Körper verfällt ein von seiner Zelle, seinem trophischen Zentrum, getrennter Nerv im ganzen peripherischen Teil der Degeneration, es tritt fettige Metamorphose ein, beginnend mit Zerklüftung der Markscheide und des Achsenzylinders (paralytische Degeneration). Auch am zentralen Stumpf tritt Zerfall (traumatische Degeneration) ein, aber nur bis zum nächsten Schnürring! Ein zerschnittener Nerv kann unter günstigen Bedingungen sich vollständig wieder herstellen. Die Restitution geht vom zentralen Stumpf allein aus, doch kann der peripherische Stumpf dem neuwachsenden Nerven gewissermaßen als Leitseil dienen (daher die Nervennaht der Chirurgen nicht überflüssig). Zuerst wachsen aus dem zentralen Stumpf marklose Achsenzylinder mit Schwann'scher Scheide heraus; zu dieser Zeit ist die Leitungsfähigkeit vorhanden, aber noch nicht die Erregbarkeit. Erst dann tritt die Markscheide auf. Auch verschiedene Nerven können miteinander verheilen, wobei dann der zentrale Teil die Funktionen des peripherischen übernimmt.

In Bezug hierauf kann man die Nerven einteilen in 1. zentrifugale Nerven vom Gehirn und Rückenmark, 2. zentrifugale Nerven von sympathischen Ganglienzellen, 3. zentripetale Nerven. Innerhalb jeder Klasse ist zwischen verschiedenen Nerven Vereinigung möglich, zwischen den verschiedenen Klassen nicht.

Elektrische Vorgänge im Nerven.

Für sie gilt ganz das nämliche, was oben über die elektrischen Vorgänge des Muskels gesagt ist. Auch beim Nerven verhält sich jede verletzte oder erregte Stelle negativ gegen jede andere unversehrte oder in Ruhe befindliche, die elektromotorische Kraft beträgt etwa 0·02—0·03 Volt. Wir haben auch hier einen Demarkationstrom, eine negative Schwankung (bez. Aktionstrom), durch die unter günstigen Umständen sekundäre Zuckung und sekundärer Tetanus ausgelöst werden kann.

Der Aktionstrom des Nerven hat für uns insofern eine besondere Bedeutung, als er bis jetzt, wie erwähnt, die einzige Veränderung darstellt, die am lebenden Nerven den tätigen Zustand von dem untätigen unterscheidet.

Da der Aktionstrom nur der Ausdruck der auftretenden Erregungswelle ist, so muß er dieselbe Fortpflanzungsgeschwindigkeit wie diese haben, was in der Tat zutrifft.

Der Aktionstrom pflanzt sich nach beiden Richtungen hin (zentrifugal und zentripetal) im Nerven fort; daher auch die Erregungswelle. Folglich haben die Nerven doppelsinniges Leitungsvermögen.

Die Wirkungen des konstanten Stromes auf den Nerven.

a) Änderungen der Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit.

Durchleitung des konstanten Stromes bewirkt eine Änderung der Erregbarkeit des Nerven, *Elektrotonus*. Und zwar tritt während der Stromdauer zu beiden Seiten der Anode eine Verminderung der Erregbarkeit, *Anoelektrotonus*, zu beiden Seiten der Kathode eine Erhöhung der Erregbarkeit, *Katelektrotonus*, ein. Die Veränderungen sind, je näher der betreffenden Elektrode, um so stärker; in der intra-

polaren Strecke¹⁾ gehen sie durch einen Indifferenzpunkt ineinander über. Je stärker der konstante Strom (auch der polarisierende oder elektrotonisierende genannt) ist, um so mehr breiten sich die Wirkungen in den extrapolaren Strecken aus, und um so mehr rückt in der intrapolaren Strecke der Indifferenzpunkt an die Kathode heran.

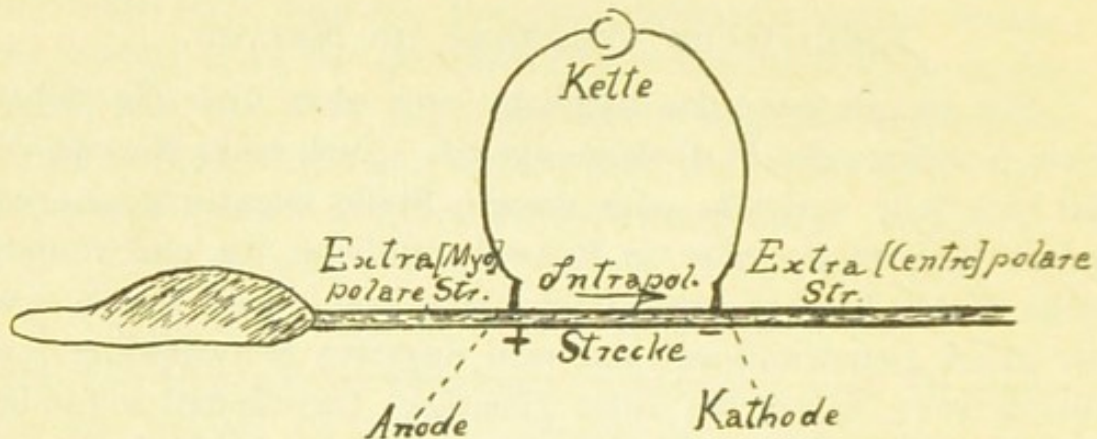


Fig. 10.

Auch unmittelbar nach der Öffnung zeigen sich für kurze Zeit Erregbarkeitsänderungen, die derjenigen während der Stromdauer gerade entgegengesetzt sind, also: an der Kathode herabgesetzte, an der Anode erhöhte Erregbarkeit.

Ist der durch den Nerven geleitete konstante Strom sehr stark, so kann es während seiner Dauer an der Anode außer der Verminderung der Erregbarkeit auch noch zu einer Herabsetzung, ja sogar zu völliger Aufhebung der Leitungsfähigkeit kommen. Dasselbe kann nach der Öffnung des Stromes für kurze Zeit an der Kathode eintreten.

Diese Änderungen der Erregbarkeit und Leitung kommen in Betracht bei der

b) Reizung des Nerven mit dem konstanten Strom.

Das allgemeine Gesetz ist schon beim Muskel angegeben: Stromschließung an der Kathode, Strom-

¹⁾ Man bezeichnet am Nerven als intrapolare Strecke die, welche zwischen den Elektroden sich befindet, und als extrapolare die, welche außen von jeder Elektrode liegt; diese heißt myopolare, wenn sie nach dem Muskel, und zentropolare, wenn sie nach dem Rückenmark zu liegt. Aufsteigend \uparrow heißt der Strom, wenn er vom Muskel zum zentralen Ende des Nerven geht, wenn umgekehrt, absteigend \downarrow .

öffnung an der Anode rufen Erregung hervor, Stromdauer beim Nerven nur unter besonderen Umständen.

Bei den Nerven zeigt sich weiterhin, daß auch die Richtung und die Stärke des Stromes von Einfluß ist. Dies läßt sich allgemein dahin ausdrücken, daß als Reiz nur das Entstehen des Katelektrotonus und das Verschwinden des Anelektrotonus wirkt, ersteres in stärkerem Grade als letzteres. Es ergibt sich daraus folgendes Zuckungsgesetz (S = Schließung, O = Öffnung des Stromes; Z = Zuckung, R = Ruhe des Muskels):

Stromrichtung	Schwacher				Mittelstarker Strom				Starker			
	S.	Z.	O.	R.	S.	Z.	O.	Z.	S.	Z.	O.	R.
↓												
↑												

Schwache Ströme geben nur Schließungszuckung, weil das Entstehen des Katelektrotonus eben noch als Reiz wirkt.

Bei mittelstarken Strömen kommt zu dieser Schließungszuckung auch das jetzt als Reiz hinreichend stark wirkende Verschwinden des Anelektrotonus, also auch Öffnungszuckung.

Bei starkem aufsteigenden Strom wird die nach dem Muskel zu gelegene Strecke durch den Anelektrotonus leitungsunfähig gemacht, infolgedessen der Reiz des entstehenden Katelektrotonus nicht passieren kann, daher bei der Schließung Ruhe. Bei der Öffnung aber wirkt der Anelektrotonus.

Bei starkem absteigenden Strom wirkt der entstehende Katelektrotonus bei der Schließung als Reiz, daher Zuckung. Dagegen kann bei der Öffnung der verschwindende Anelektrotonus nicht wirken, da gleichzeitig an der Kathode die Leitungsfähigkeit aufgehoben ist.

Auch für den unversehrten Nerven des Menschen gelten dieselben Gesetze der Erregbarkeitsänderung durch den konstanten Strom. Nur muß man sich hier der monopolaren Reizmethode bedienen, d. h. eine kleine Elektrode (der differente Pol) wird auf den zu untersuchenden Nerven da, wo er möglichst dicht unter der Haut verläuft (motorischer Punkt), die andere größere

Elektrode (der indifferente Pol) weit davon entfernt auf die Brust oder den Rücken aufgesetzt. Abweichungen von dem oben geschilderten Verhalten in der Erregbarkeit werden als Entartungsreaktionen bezeichnet.

Für die Induktionströme gelten genau dieselben Gesetze der Erregung. Auch sie wirken (zunächst im breiten Bereich der maximalen Zuckungen) nur bei ihrem Entstehen an der Kathode erregend, verhalten sich also wie ein schwacher konstanter Strom. Werden sie hinreichend stark, so wirken sie auch bei ihrem Verschwinden erregend von der Anode aus, dann summieren sich die beiden Erregungen, und es entstehen übermaximale Zuckungen.

Fassen wir die Wirkungen des konstanten Stromes auf den Nerven zusammen, so ergibt sich, daß sie bestehen in:

1. einer Änderung der Erregbarkeit des Nerven,
2. einer Änderung der Leitungsfähigkeit des Nerven,
3. einer Reizung des Nerven.

Und zwar bewirkt:

1. die Schließung Erregung und Erregbarkeitserhöhung an der Kathode,
Herabsetzung der Erregbarkeit und der Leitungsfähigkeit an der Anode;
2. die Öffnung Erregung und schnell vorübergehende Erhöhung der Erregbarkeit an der Anode,
schnell vorübergehende Herabsetzung der Erregbarkeit und Leitungsfähigkeit an der Kathode;
3. die Stromdauer Erhöhung der Erregbarkeit an der Kathode und Herabsetzung der Erregbarkeit an der Anode.

Außerdem bewirkt der konstante Strom, wenn er einen Nerven durchfließt, Veränderungen in seinem elektromotorischen Verhalten, die man als „physikalischen Elektrotonus“ bezeichnet hat.

5. Drüsenphysiologie.

Bedeutung und anatomische Einteilung der Drüsen.

Drüsen sind Organe, welche die besondere Funktion haben, gewisse Stoffe zu bilden und auszuschcheiden. Diese Funktion ist an Zellen gebunden und zwar an modifizierte Epithelzellen. Sie finden sich entweder isoliert zwischen anderen Epithelzellen man spricht dann von

1. Einzelligen Drüsen.

Sie kommen auch beim Menschen als Becherzellen vor. Sie bestehen anfänglich aus körnigem Protoplasma und einem etwa in der Mitte gelegenen ovalen Kern. Allmählich wandelt sich das Protoplasma in eine helle Masse um, der Rest desselben und der Kern werden gegen die Basis der Zelle gedrängt. Mit der Sekretbildung findet zugleich eine Sekretauusscheidung statt, zuerst so, daß jene überwiegt, es kommt zur Sekretanhäufung in der Zelle. Dann aber nimmt die Ausscheidung überhand, zuletzt in dem Maße, daß die Zelle sich völlig entleert und abstirbt.

Oder mehrere Drüsenzellen senken sich zusammen in die Tiefe ein, es entsteht ein Organ,

2. die mehrzellige Drüse, kurz Drüse genannt.

Sie ist also eine Ausstülpung modifizierter Epithelzellen unter die Oberfläche. An diesen Zellen findet gewöhnlich zuerst nur die Sekretbildung statt, bis die ganze und dann vergrößerte Zelle damit gefüllt ist. Erst dann platzt die Zellenwand an der freien Oberfläche, und es tritt allmählich die Sekret-Entleerung ein. Danach rückt in der verkleinerten Zelle der Kern wieder empor, das Protoplasma regeneriert sich, und die Sekretbildung beginnt von neuem. Diesen Vorgang können

die meisten Drüsenzellen mehrfach durchmachen. Anders verläuft der Vorgang bei den Drüsen, deren Sekret die Epithelzellen selbst sind. Hier gehen die Zellen, nachdem sie die ihnen eigentümliche Entwicklung durchgemacht haben, als solche bei der Sekretion zu Grunde. Doch können Bestandteile von ihnen noch eine hohe biologische Bedeutung haben (Spermatozoen).

Je nachdem die Ausstülpung der Epithelzellen eine zylindrische oder säckchenförmige ist, teilt man die Drüsen anatomisch ein in: tubulöse und alveoläre, und jede dieser Arten wieder in einfache und zusammengesetzte.

Zu den *tubulösen* Drüsen gehören: Magen-, Schweiß-, Uterin-, Lieberkühn'sche Drüsen; ferner Schleim-, Speichel-, Tränendrüsen; schließlich Nieren, Hoden, Leber. Da die Tubuli dieser beiden letzteren Drüsen anastomosieren und Netze bilden, so nennt man sie auch „retikuläre Drüsen“.

Zu den *alveolären* Drüsen gehören alle Drüsen, die Fett absondern: Talg- und Milchdrüsen. Ferner die Lunge im embryonalen Zustand.

Feinerer Bau.

Jede Drüse besteht aus dem Drüsenkörper und dem Ausführungsgang.

Der Drüsenkörper.

Er ist der eigentlich sezernierende Teil. Er besteht aus einer (meist einfachen) Lage sezernierender Zellen, die das Drüsenlumen begrenzen, und einem sie nach außen umhüllenden strukturlosen Häutchen, der *Membrana propria*, die aus Bindegewebe hervorgegangen ist. Dieser Membran liegt nach außen ein sehr dichtes Kapillarnetz von Blut- und Lymphgefäßen auf; die Drüsen gehören zu den blutreichsten Organen des Körpers. In einigen Fällen (Schweißdrüsen) befindet sich noch zwischen *Membrana propria* und sezernierenden Zellen eine einfache Lage glatter Muskelfasern, die zur Auspressung des Sekretes dienen. In gewissen Drüsen (Fundusdrüsen im Magen) sondern die Zellen nicht nur nach der dem Lumen zugekehrten Seite ab, sondern nach allen Seiten. Dann sammelt sich das Sekret in feinsten Kanälchen, die die Zellen

rings umspinnen, den sog. „S e k r e t k a p i l l a r e n“, diese münden mit einem größeren Stämmchen in das Drüsenlumen.

Das mikroskopische A u s s e h e n d e r D r ü s e n z e l l e n ist v e r s c h i e d e n, je nachdem sie r u h e n d oder t ä t i g sind. In einigen Drüsen zeigen alle Zellen das gleiche Funktionsbild, in anderen trifft man neben ruhenden Zellen solche in den verschiedensten Phasen ihrer Tätigkeit. So können in vielen Schleimdrüsen die tätigen, sekretgefüllten, vergrößerten Zellen die ruhenden, kleinen ganz an die Membrana propria drängen, hier bilden diese dann die G i a n u z z i'schen H a l b m o n d e oder R a n d z e l l e n k o m p l e x e. Mit dem Funktionszustand ändert auch der Kern sein Aussehen, in der tätigen Zelle erscheint er kompakter und dunkler.

D e r A u s f ü h r u n g s g a n g.

Er stellt den Weg aus dem Drüsenlumen zur Oberfläche dar. Er besteht aus einfachem oder geschichtetem Zylinderepithel, einer umhüllenden Faserhaut und oft noch aus einer Lage von glatten Muskelfasern.

Eine Drüse ohne Ausführungsgang, eine g e s c h l o s s e n e D r ü s e, ist das Ovarium; doch hat es in embryonaler Zeit einen solchen gehabt, der im Laufe der Entwicklung obliteriert ist. Hierher gehören auch die D r ü s e n m i t i n n e r e r S e k r e t i o n. Sie produzieren Stoffe, die aus den Lymphräumen zwischen den Drüsenläppchen direkt in das Blut übertreten und schädliche Bestandteile desselben in unschädliche verwandeln oder vom Blut aus den Stoffwechsel im allgemeinen oder gewisse Organe im besonderen (Nervensystem, Muskulatur) beeinflussen. Hierher gehören Thymus, Milz, Lymphdrüsen, Schilddrüsen, Nebennieren.

Bei manchen Drüsen nimmt der Ausführungsgang noch eine besondere Gestaltung an. Da er zugleich gewisse Stoffe ausscheidet, so muß er zum sezernierenden Teil der Drüse gerechnet werden. Man unterscheidet dann das dem Drüsenkörper zunächst gelegene „Schaltstück“, das mit platten oder kubischen Zellen ausgekleidet ist, darauf folgt die „Sekretröhre“, die hohes Zylinderepithel trägt.

Physiologische Einteilung der Drüsen.

Physiologisch werden die Drüsen eingeteilt nach der Art der ausgeschiedenen Stoffe. Das sind:

- a) Zellen, intakte: Hoden, Ovarium; zerfallene: Talgdrüsen, Ohrschmalzdrüsen.
- b) Flüssigkeiten. Diese teilt man wiederum ein in:
 1. Sekrete¹⁾ im engeren Sinne, wenn sie dem Organismus im Leben noch nützlich sind.
 2. Exkrete,²⁾ wenn sie nur als unbrauchbare Reste aus dem Körper entfernt werden (Nieren, Lungen, Wolff'sche Körper).

Die Sekrete im engeren Sinne dienen dem Körper zu mannigfaltigen Zwecken: Zur Ernährung des Säuglings die Milchdrüsen, zur Verdauung und Resorption die Drüsen des Verdauungskanal, zur Wärmeregulation des Körpers die Schweißdrüsen, zum Schutz gegen Austrocknung freiliegender zarter Schleimhautflächen die Tränendrüsen, zur Bereitung eines deckenden Überzuges für gewisse Hautstellen die Talgdrüsen. Bei vielen Tieren gilt das Sekret als Schutzwaffe, so die Giftdrüsen bei den Giftschlangen und in der Oberhaut vieler Amphibien, die Stinkdrüse des Stinktieres, die dunklen Farbstoff absondernde Drüse des Tintenfisches. Eigenartig ist das Spinn-drüsensekret der Spinnen.

Mechanismus der Drüsenabsonderung.

Da die Drüsen von einem überaus dichten Kapillar-Netz von Blut- und Lymphgefäßen umgeben sind, so glaubte man früher, daß bei der Sekretion teils durch Filtration, teils durch Osmose (s. u. S. 88) die Sekrete aus den Kapillaren durch die Membrana propria in das Drüsenlumen hindurchtreten. Dies trifft aber nicht zu.

Vielmehr ist beim Sekretionsvorgange die Tätigkeit der Drüsenzelle das Wesentliche. Das ergibt sich aus folgendem:

¹⁾ Gewöhnlich bezeichnet man mit Sekretion jede Drüsenabsonderung überhaupt. Ebenso wird Sekret für alle Drüsen-Ausscheidungen gebraucht.

²⁾ Als Exkrete bezeichnet man gewöhnlich alle Auswurfstoffe des Körpers, ob sie aus Drüsen stammen oder nicht.

1. Die Drüsensekrete enthalten besondere Stoffe, die im Blut nicht so oder überhaupt nicht, nicht einmal präformiert, vorkommen: Verdauungsfermente, Gallenfarbstoffe, Milchzucker, bei vielen Tieren spezifische Gift- und Riechstoffe.

2. Unter gewissen Umständen ist der Druck, unter dem das Sekret ausgeschieden wird, größer als zur selben Zeit der Druck in den Blut-Gefäßen der Drüse; auch an ausgeschnittenen Drüsen kann noch Sekretion eintreten.

3. Die Eigenwärme des Sekretes kann diejenige der zuführenden Blutgefäße um 1° C. und mehr übersteigen.

4. Die Sekretion findet bei manchen Drüsen nicht fortwährend statt, sondern hört zu Zeiten auf, obwohl die Drüsenkapillaren doch immer gefüllt sind, und der Blutdruck immer vorhanden ist.

5. Es sind an den Drüsenzellen morphologische Veränderungen nachgewiesen, die mit der Tätigkeit der Drüse parallel gehen.

6. Bei gewissen Drüsen läßt sich nachweisen, daß die Sekretion unter Einfluß des Nervensystems steht. Es gibt Nerven, deren Reizung direkt die Sekretion befördert, sekretorische Nerven. Man hat sogar Nervenfasern bis zu den Sekretionszellen verfolgen können.

Aus allem ergibt sich, daß allein die Drüsenzelle die Ausscheidungen der Drüse bereitet, indem sie teils Stoffe Neubildet, teils Blutbestandteile gleichsam in konzentriertere Form bringt. Es gleicht daher jede Sekretionszelle „einem kleinen chemischen Laboratorium, in welchem das dem Blut entnommene Material in einer für jede Drüse spezifischen Weise verarbeitet wird.“

Elektrische Vorgänge.

An allen Häuten, welche Drüsen besitzen, läßt sich ein elektrischer Strom nachweisen, der von außen nach innen gerichtet ist (einstiegender Strom). Man hat angenommen, daß dieser auf die Drüsen zurückzuführen ist, und daß die elektromotorischen Kräfte von den Sekretionszellen ausgehen derart etwa, daß der sekretorisch umgewandelte Zellanteil sich negativ verhält gegen den unveränderten. Bei Reizung der Sekretions-

nerven zeigen diese Ströme Veränderungen, die man als Aktionsströme aufgefaßt hat. Eine Trennung zwischen Ruhestrom und Aktionsstrom ist indessen hier nicht so leicht möglich, da auch die drüsenlose Haut einen Strom (Ruhestrom) zeigt (von den Epithelzellen herrührend), und da ferner der Hautstrom durch oberflächliche Ätzung (des Epithels) verschwindet, ein (einstiegender) Drüsenstrom bei der Sekretion aber noch nachzuweisen ist. In allen Drüsen nimmt die sezernierende Oberfläche negative Spannung an. Da der elektrische Strom Diffusion von Wasser erzeugen kann, und andererseits bei der Filtration von Wasser durch Diaphragmen elektrische Ströme entstehen, so hat man diese Tatsachen mit dem Sekretionsvorgang in Verbindung zu setzen gesucht.

Anhang.

Die Gesetze der Hydrodiffusion.

Unter Hydrodiffusion versteht man den Austausch von mischbaren und keine chemische Verbindung eingehenden Flüssigkeiten ohne jeden Druckunterschied oder sogar der Schwere entgegen. Ein spezieller Fall davon, der im Körper, der schon an jeder Zelle verwirklicht sich findet, ist die **Membrandiffusion**, wo die Flüssigkeiten nicht direkt in Berührung gebracht werden, sondern durch eine häutige poröse Scheidewand getrennt sind. Nach ihrem Verhalten dabei teilt man die Membranen in halbdurchlässige, *semipermeable*, und ganzdurchlässige, *permeable*, ein. Erstere finden sich im Pflanzenreich; permeabel, wenn auch nicht vollkommen, sind die tierischen Häute und Zellen.

Die semipermeablen Membranen lassen, wenn sie Lösungen (z. B. Zuckerlösung) von Wasser trennen, wohl das Wasser zu der Lösung, nicht aber die gelöste Substanz (den Zucker) zum Wasser. Die gelöste Substanz übt eine Anziehung auf das Wasser aus. Diese einseitige Wasser-Anziehung durch Membranen heißt **Osmose**. Findet sie in eine abgeschlossene Zelle hinein statt, so ist damit eine durch ein Hg-Manometer meßbare Druck-

steigerung in der Zelle verbunden. Diese Drucksteigerung, herührend von der Anziehung zwischen Lösungsmittel und gelöster Substanz, ist für alle Moleküle gleich groß und zwar für Nichtelektrolyte genau gleich dem Gasdruck, welchen die gelöste Substanz bei Abwesenheit des Wassers als Gas in dem gleichen Raum bei der gleichen Temperatur ausüben würde. Sie kann unter Umständen recht erhebliche Werte erreichen; eine 2 pCt. Zuckerlösung z. B. übt einen osmotischen Druck von 100 Ctm. Hg = $1\frac{1}{3}$ Atmosphärendruck aus. Der osmotische Druck ist bei der gleichen Art der Flüssigkeit um so größer, je konzentrierter sie ist, je mehr Moleküle der Substanz sie also in Lösung erhält. Der osmotische Druck läßt sich unter anderem durch die Methode der Gefrierpunktserniedrigung bestimmen. Die wasseranziehende Kraft der Salzmoleküle erschwert nämlich bei Erniedrigung der Temperatur die Vereinigung der Wassermoleküle zu Eis. Der Gefrierpunkt der Lösung sinkt unter den des Wassers. Dies ist um so mehr der Fall, gerade wie der osmotische Druck zunimmt, je mehr Salzmoleküle in dem gleichen Volumen enthalten sind. Die Gefrierpunktserniedrigung, mit Δ bezeichnet, ist also ein Maß für die osmotische Spannkraft, P , des Salzes, welche nach der Formel $P = 12.03 \Delta$ sich in Atmosphären ausrechnen läßt. Eine 1 pCt. NaCl-Lösung gefriert bei -0.606° C. Findet man für eine unbekannte Flüssigkeit $\Delta = 0.606^{\circ}$, so entspricht ihre osmotische Spannkraft der einer 1 pCt. Na Cl-Lösung. Vergleicht man verschiedene Lösungen, welche die gleiche Gefrierpunktserniedrigung zeigen, also den gleichen osmotischen Druck ausüben, auf ihre Konzentrationen, so findet man, daß diese sich verhalten, wie die Molekulargewichte der gelösten Substanzen. Der osmotische Druck ist also nicht von der Gewichtskonzentration, sondern von der Molekülzahl der Substanzen in der Volumeneinheit (Molekularkonzentration) abhängig, und zwar ist er dieser proportional. Er ist ferner abhängig von der Temperatur, er wächst mit der Temperatur.

Äquimolekulare Lösungen, d. h. Lösungen, welche im gleichen Volumen die gleiche Anzahl Moleküle enthalten, sind bei gleicher Temperatur *is o s m o t i s c h* oder *i s o t o n i s c h*. Bei zwei Lösungen von verschiedener osmotischer Kraft ist die schwächere in Vergleichung zur stärkeren *h y p o t o n i s c h*,

und die stärkere in Vergleichung zur schwächeren *hyper-tonisch*.

Eine scheinbare Ausnahme hiervon machen die Elektrolyte, weil sie in Wasserlösungen teilweise in elektrisch (positiv $+$, negativ $-$) geladene Jonen (besser Jonten) dissoziiert werden, z. B. HCl in $\overset{+}{\text{H}}$ und $\overset{-}{\text{Cl}}$, KCl in $\overset{+}{\text{K}}$ und $\overset{-}{\text{Cl}}$. Dadurch wird die Anzahl der in der Lösung befindlichen Moleküle vergrößert und damit auch der osmotische Druck erhöht. Die Dissoziation ist bei demselben Elektrolyten um so vollständiger, je verdünnter die Lösung ist; außerdem ist sie von der Natur der Elektrolyte abhängig. Leitet man einen elektrischen Strom durch eine Elektrolytenlösung, so ist der Widerstand, den der Strom darin erfährt, um so geringer, die Leitfähigkeit der Flüssigkeit um so größer, je mehr Moleküle in die leitenden Jonten gespalten sind. Daher gibt die Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit Aufschluß über die Größe der Dissoziation der Elektrolyte.

Die roten Blutkörperchen z. B. enthalten in ihrem Innern Substanzen gelöst, die eine bestimmte osmotische Spannkraft ausüben. Dieser hält eine 0.9 pCt. NaCl -Lösung das Gleichgewicht, sie ist isotonisch für die roten Blutkörperchen, wie das Blutserum. Eine 1 pCt. NaCl -Lösung ist hypertonisch, sie entzieht den Blutkörperchen Wasser, so daß sie schrumpfen. Eine 0.5 pCt. NaCl -Lösung ist hypotonisch, die Blutkörperchen ziehen Wasser an, sie quellen. Zugleich tritt der rote Farbstoff aus den Blutkörperchen heraus, weil diese, wie eine permeable Substanz, auch die gelösten Substanzen hindurch lassen, bis auch die umgebende Flüssigkeit die gleiche Anzahl gelöster Molekel enthält. Dies kann man benutzen, um ebenfalls die osmotische Spannung verschiedener Flüssigkeiten zu bestimmen. Man untersucht, bei welcher Konzentration eben ein Farbstoffaustritt stattfindet: diese Lösungen sind isotonisch.

Sind die gelösten Molekel sehr groß (Eiweiß, Schleim, Leim, Gummi), so geschieht ihr Übertritt auch durch permeable Substanzen nur sehr langsam und in sehr geringem Umfange. Darauf beruht Graham's Verfahren der chemischen Dialyse, aus Eiweißlösungen die Salze auszuziehen.

Geschieht der Durchtritt von Flüssigkeit unter Druck, so spricht man von

Filtration. Die durchgetretene Flüssigkeit heißt *F i l t r a t*, der Druck, unter dem sie durchgetreten (beim gewöhnlichen Filtrieren die Höhe der aufgegossenen Flüssigkeit), heißt

F i l t r a t i o n s d r u c k. Bei Scheidewänden mit großen Poren (Fließpapier) können auch nicht gelöste morphotische Elemente mit durchtreten, bei tierischen Membranen ist das in der Regel nicht der Fall. Die Beschaffenheit der Filtrate hängt ab von dem Druck und der Natur der tierischen Membran. Bei der Filtration schließt die poröse Scheidewand, das **F i l t r u m**, in der Regel das Druckrohr unten ab. Die Flüssigkeit steht auf ihr. Im tierischen Körper dagegen kommt die Filtration in anderer Form vor: es strömt die Flüssigkeit an dem Filtrum, der Gefäßwand, vorbei, dies nennt man

Transsudation. Hierfür gelten dieselben Gesetze, wie für die gewöhnliche Filtration, nur ist unter sonst gleichen Bedingungen die Menge des Transsudates größer als die des Filtrates, weil die Flüssigkeit mit einer größeren filtrierenden Oberfläche in Berührung kommt. Wächst der Transsudationsdruck, so nimmt die Menge des Transsudates zu, bei Salzlösungen ohne erhebliche Änderung der Konzentration, bei Eiweißlösungen mit Abnahme des prozentualen Eiweißgehaltes, doch ist die absolute Menge des transsudierten Eiweißes in der Zeiteinheit bei höherem Druck (wegen der größeren Menge des Transsudates) größer als bei niederem Druck.

6. Blut und Lymphe.

A. Blut.

Physiologische Bedeutung des Blutes.

Das Blut ist der eigentliche Vermittler des Stoffwechsels. Es ist der Träger aller für den Chemismus der Gewebe erforderlichen Stoffe, sodaß diese das für sie nötige Material aus ihm entnehmen und ihre Abfälle ihm wieder überliefern. Es erfüllt diese Aufgabe dadurch, daß es in ein durch den ganzen Körper verzweigtes, kommunizierendes Röhrensystem, die Blutgefäße, eingeschlossen ist und darin durch die Bewegungen des Herzens in beständiger Zirkulation erhalten wird. Es gelangt in alle Organe und tritt mit deren Elementen durch die zarten porösen Wandungen der feinsten Blutgefäße, Kapillaren, in mittelbaren Verkehr.

Eigenschaften des Blutes.

F a r b e: rot (hellrot in den Arterien, dunkelblaurot in den Venen) bei allen Wirbeltieren; ausgenommen *Amphioxus lanceolatus*, bei dem es, wie bei vielen Wirbellosen, farblos ist. Rot auch bei Schnecken und Regenwürmern. Bräunlich bis bläulich bei den Krebsen. Gelb, auch grün bei Insekten.

K o n s i s t e n z: schaumig, klebrig.

R e a k t i o n: alkalisch gegen Lackmus, neutral gegen die CO_2 -empfindlichen Indikatoren (Phenolphthalein). Bei dem aus der Ader gelassenen Blut nimmt die Alkaleszenz bis zur Gerinnung ständig ab.

G e r u c h: aromatisch (von flüchtigen Fettsäuren herrührend),
Halitus sanguinis.

G e s c h m a c k: salzig.

S p e z. G e w i c h t: 1.055 (im Mittel), sinkt also unter im Wasser (= 1.000).

W ä r m e: bei Säugern 37° — 40° , bei Vögeln 41° — 43° C.

Bestandteile des Blutes.

Das Blut besteht aus einer klaren, gelben Flüssigkeit, dem Plasma, in der zellige Elemente, die roten und weißen Blutkörperchen, in großer Anzahl gleichmäßig verteilt sind. 100 Teile Menschenblut enthalten 45·5 Teile Blutkörperchen und 54·5 Teile Plasma.

Aus der Ader gelassen, erstarrt das Blut in wenigen Minuten zu einer weichen Gallerte, es gerinnt. Dabei scheidet sich (besonders schön zu sehen, wenn man das Blut in einem Glaszylinder auffängt) eine untere rote gallertige Masse meist in Form eines abgestumpften Kegels, Blutkuchen, Placenta sanguinis genannt, von der oberen gelblichen klaren Flüssigkeit ab, dem Blutwasser oder Blutserum, Liquor sanguinis.

Geschieht die Gerinnung sehr langsam, wie beim Pferdeblut oder beim Menschenblut in entzündlichen Krankheiten und haben daher die Blutkörperchen Zeit, sich noch weiter zu senken, so bleiben auch noch die obersten Fibrin-Schichten des Blutkuchens von roten Blutkörperchen frei, und er zeigt eine obere gelblich-weiße Schicht, die Speckhaut, Crusta phlogistica oder inflammatoria.

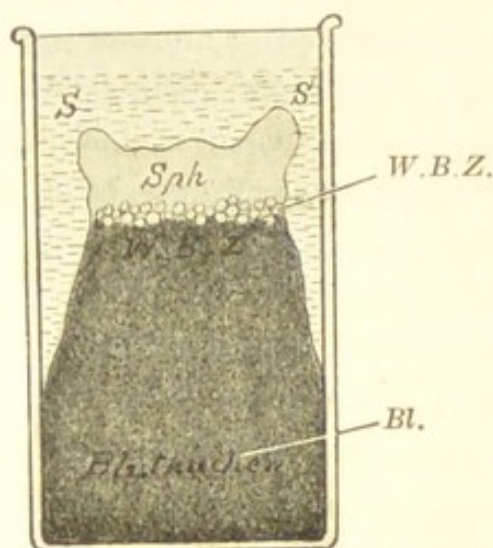


Fig. 11. Gerinnung des Blutes in einem Glaszylinder.

S = Serum, Sph = Speckhaut, W.B.Z. = Zone der weißen Blutkörperchen. Das Dunkle der Blutkuchen (Bl.).

Die roten Blutkörperchen

(von Swammerdam 1658 beim Frosch, von Malpighi 1661 und von Leeuwenhoeck 1673 beim Menschen entdeckt). Ihnen verdankt das Blut seine rote Farbe. Es sind zellenwertige Elemente.

Eigenschaften:

Gestalt: kreisrunde, bikonkave Scheibchen, Querschnitt biskuitförmig, ohne Kern. So bei den Säugetieren, ausgenommen Tylopedalen (Kamel, Dromedar, Lama, Al-

pakka,) bei diesen sind sie elliptisch bikonvex, ebenfalls ohne Kern. Elliptisch bikonvex mit Kern bei den Vögeln, Amphibien, Reptilien, Fischen.

K o n s i s t e n z: sehr elastisch, weich und biegsam.

G r ö ß e: beim Menschen größter Durchmesser 8 μ , Dicke am Rande 2 μ . Von den Säugetieren hat nur der Elefant größere, der Affe eben so große als der Mensch; die kleinsten das Moschustierchen. Sehr groß sind sie bei den Amphibien. Die größten überhaupt hat *Amphiuma tridactylum*, 10 mal so groß als beim Menschen (s. Anhang).

Z a h l: in 1 cbmm beim Mann etwa 5, beim Weibe etwa 4·5 Millionen. Die Zahl wird bestimmt, indem man mit einem Kapillarröhrchen (Potain's Mischpipette) ein genau gemessenes Quantum Blut entnimmt, dasselbe um einen bestimmten Betrag verdünnt und in dieser Verdünnung die vorhandenen Blutkörperchen unter dem Mikroskop in einer besonderen (Thoma-Zeiss'schen) Zählkammer zählt. Die Gesamtzahl beträgt beim Menschen etwa 22 Billionen. Die Zahl ist außer dem Geschlecht abhängig vom Alter (in der Jugend mehr), von der Spezies, vom Luftdruck (Verminderung desselben beim Übergang von der Ebene ins Hochgebirge setzt eine Vermehrung der roten Blutkörperchen, die in den ersten Tagen sicher nur eine relative ist).

O b e r f l ä c h e: der in 1 cbcm enthaltenen zählt nach einigen qm: (Gesamtoberfläche = 3800 qm = etwa dem 2560fachen der Körperoberfläche). Die Oberfläche der in einem bestimmten Augenblick in der Lunge befindlichen roten Blutkörperchen, die jedesmal respirierende Oberfläche desselben beträgt günstigen Falles rund 250 qm. Diese große Oberfläche ist für den Gaswechsel von hoher Bedeutung.

S p e z. G e w i c h t: 1·090, sie sind schwerer als das Plasma. Das „Senkungsvermögen“ der roten Blutkörperchen bemißt sich nach dem Verhältnis ihres spezifischen Gewichtes zu dem Widerstand, den sie beim Sinken im Plasma erfahren.

F a r b e: bei auffallendem Licht sehen sie im arteriellen Blut rot aus; selbst in dünner Schicht machen sie einen darunter

befindlichen hellen Gegenstand unsichtbar, decken ihn. Das normale Blut stellt eine Deckfarbe dar.

B a u: ein Tropfen frischen Blutes unter dem Mikroskop zeigt, daß sich die roten Blutkörperchen geldrollenartig aneinander legen. Sie haben keine Membran und keinen Kern. Nach Wasserzusatz und in hypotonischen Lösungen (s. S. 89) quellen sie auf; vorher bikonkav, nehmen sie nun Kugelform an, der Blutfarbstoff, das Hämoglobin, tritt aus, und es bleibt ein protoplasmatischer Teil, eine Gerüstsubstanz, das Stroma, zurück. Nach Zusatz von Wasser entziehenden Mitteln (hypertonischen Salzlösungen) schrumpfen die roten Blutkörperchen und bekommen Stern- und Maulbeerform. Sie sind entstanden aus den Hämatoblasten, kernhaltigen, gefärbten Zellen, durch mitotische Teilung. Daher haben sie auch anfänglich einen Kern, der aber später verschwindet. Bildungsstätten der roten Blutkörperchen sind rotes Knochenmark, beim Embryo Leber und Milz. Sie sind in fortwährendem Wechsel begriffen, sie gehen zu Grunde und werden durch neue ersetzt. Der Untergang erfolgt in der Leber (dort wird der Gallenfarbstoff aus dem Blutfarbstoff gebildet) und in der Milz.

Chemische Bestandteile.

Durch verschiedene Mittel läßt sich von dem Stroma das darin enthaltene Hämoglobin sondern, das letztere diffundiert dann in die umgebende Flüssigkeit und bildet eine klare Farblösung, die einen hellen Grund durchscheinen läßt. Das Blut, ist aus einer *D e c k f a r b e* in eine *L a c k f a r b e* verwandelt. Bei auffallendem Licht ist das vorher (wegen der Reflexion von den roten Blutkörperchen) hellere Blut dunkler geworden; bei durchfallendem Licht ist das vorher dunkle Blut jetzt (wo es wegen der gleichmäßigen Verteilung des Blutfarbstoffes mehr Licht durchläßt), heller geworden, „Aufhellung des Blutes“. Solche Mittel sind:

- a) *c h e m i s c h e*: Aqua destillata, kleine Mengen Äther, Alkohol, Chloroform nach längerem Schütteln, Alkalien und gallensaure Salze.
- b) *p h y s i k a l i s c h e*: Wiederholtes Gefrieren und

Wiederauftauen des Blutes, der elektrische Strom oder elektrische Entladungs-Schläge, Erhitzen auf 60 ° C.

- c) biologische: Das Plasma einer nicht verwandten Tierspezies (globulizide Wirkung des Plasma).

1. H ä m o g l o b i n , der rote Blutfarbstoff.

Man erhält es kristallinisch in rhombischen Tafeln, wenn man Blut wiederholt auftauen und gefrieren läßt; es ist der erste Eiweißkörper, den man kristallisiert erhalten hat. Besteht aus C, H, N, O, S und Fe. Der gesamte Eisengehalt beim Menschen beträgt etwa 3 g (2.36 g), etwa = einer Stricknadel.

Das H ä m o g l o b i n ¹⁾ ist leicht löslich in Wasser und kristallisiert daraus bei 0 ° C. Es gehört zu den Proteïden und gibt die meisten Eiweißreaktionen. Charakteristisch und physiologisch wichtig ist seine Fähigkeit, sich mit Sauerstoff chemisch zu verbinden zu O x y h ä m o g l o b i n. Wird Blut mit Luft in Berührung gebracht (in der Lunge, aus der Ader gelassenes durch Schütteln im Glase), so nimmt das Hämoglobin Sauerstoff auf, es entsteht Oxyhämoglobin, das Blut wird hell, scharlachrot (arterielles Blut). Entzieht man dem Blut den Sauerstoff, so entsteht O₂-freies, oder reduziertes H ä m o g l o b i n, das Blut wird dunkel, blaurot (venöses Blut). Derselbe Wechsel tritt ein, wenn man Hämoglobinlösung mit O₂ sättigt und dann wieder den O₂ austreibt.

Reduziertes H ä m o g l o b i n zeigt Dichroismus, d. h. es sieht in dicker Schicht bläulich rot, in dünner Schicht grün aus; Oxyhämoglobinlösungen sehen immer rot aus. Auch kann man beide selbst in sehr verdünnten Lösungen mit Hilfe des Spektralapparates unterscheiden. Oxyhämoglobin giebt zwei dunkle Streifen zwischen den Fraunhoferschen Linien D und E im Gelb und Gelbgrün, reduziertes Hämoglobin zeigt etwa an

¹⁾ Der Hämoglobingehalt eines Blutes (s. Anhang) wird mittels des Hämatinometers auf kolorimetrischem Wege bestimmt. Eine kleine Menge Blut wird so lange mit Wasser verdünnt, bis es gleiche Farbe hat, wie eine hergestellte Kontrolllösung von bekanntem Hämoglobingehalt. Aus der Größe der Verdünnung läßt sich dann der Hämoglobingehalt des zu untersuchenden Blutes berechnen. Auf ähnlichem Prinzip beruht Fleischl's Hämometer.

derselben Stelle, doch näher dem D, einen einzigen verwaschenen Streifen.

Das Oxyhämoglobin ist eine dissoziabile Verbindung (s. S. 32); schon bei Erniedrigung des Druckes tritt Dissoziation derselben ein, daher man im Vakuum der Luftpumpe den ganzen O_2 aus dem Oxyhämoglobin und damit aus dem Blute freimachen kann. Daß dies nicht in Gewichtsmengen geschieht, die der Druckabnahme proportional sind, beweist eben, daß der O_2 nicht einfach absorbiert ist. Die Dissoziationsspannung des O_2 im Blute bei Körpertemperatur beträgt 80 Mm. Hg. Sobald also der Partialdruck des O_2 in der Umgebung unter diesen Wert sinkt (beim halben Atmosphärendruck), tritt Dissoziation ein. Ebenso, wie Evakuieren, wirkt auch das Durchtreiben indifferenter Gase wie N_2 oder H_2 . Der O_2 wird ferner durch reduzierende Mittel (Schwefelammonium) ausgetrieben. 1 g Hämoglobin bindet etwa 1.5 ccm O_2 (bei $0^\circ C.$ und 760 mm Hg-Druck).

Methämoglobin ist eine Modifikation des Oxyhämoglobins, in welcher der O_2 fester gebunden ist, erscheint pathologisch (z. B. nach Vergiftung mit chlorsaurem Kali) im Harn. Wird durch Schwefelammonium zu einfachem Hämoglobin reduziert.

Außer mit O_2 kann sich Hämoglobin (bei Vergiftungen) auch mit anderen Gasen verbinden: Kohlenoxyd (CO), Stickoxyd (NO) und Schwefelwasserstoff (H_2S).

Kohlenoxyd-Hämoglobin gibt dem Blute eine kirschrote Farbe, ist eine festere Verbindung als Oxyhämoglobin, zeigt ein diesem ähnliches Spektrum (nur sind die Streifen einander näher), kann aber durch reduzierende Mittel (Schwefelammonium) nicht in reduziertes Hämoglobin übergeführt werden, aus den beiden Streifen wird also nicht einer. Dem CO-Hämoglobin gleicht das

Stickoxyd-Hämoglobin, nur scheint es noch stabiler als jenes zu sein.

Das Hämoglobin läßt sich durch Säuren und Alkalien in seine zwei Bestandteile zerlegen, in

a) einen Eiweißstoff, Globin, und

b) Hämatin, einen organischen Farbstoff, der das gesamte Fe des Hämoglobins enthält. Er ist amorph, unlöslich in Wasser, löslich in sauren und alkalischen Flüssigkeiten. Er enthält noch

etwas Sauerstoff chemisch gebunden, der ihm durch Schwefelammonium entzogen werden kann, dann entsteht Hämochromogen. Behandelt man Blut (auch sehr alte Blutflecke) mit NaCl und Eisessig bei mäßigem Erwärmen, so entsteht salzsaures Hämatin, Hämin genannt, unter dem Mikroskop als kleine braunschwarze schiefe rhombische Tafeln erkennbar, Teichmann'sche Häminkristalle.

In alten Blutextravasaten findet sich Hämatoïdin in gelbroten rhombischen Kristallen, es ist eisenfrei und identisch mit dem Bilirubin der Galle.

2. Das Stroma.

Der zweite Bestandteil, die Gerüstsubstanz der roten Blutkörperchen, ist blaß, durchsichtig, besteht aus Eiweiß (Globulin), Cholestearin, Lezithin.

3. Anorganische Bestandteile

der roten Blutkörperchen sind Salze, bes. Kalisalze; Natriumsalze nur in sehr geringer Menge im Gegensatz zum Plasma.

Die weißen Blutkörperchen

(1770 von Hewson entdeckt), Leukozyten genannt, sind rundliche Gebilde mit fein granuliertem Protoplasma, einem oder mehreren Kernen ohne Kernkörperchen, ohne Membran; bei den Säugetieren meist etwas größer, als die roten Blutkörperchen. Ihre Gestalt ist sehr wechselnd, da sie amöboïde Bewegungen zeigen; in der Ruhe kugelig. Zur Unterhaltung der amöboïden Bewegung ist O₂ nötig, Temperaturerhöhung auf Körperwärme begünstigt sie; innerhalb des zirkulierenden Blutes findet sie nicht statt. Doch können die Leukozyten an den Wänden der Kapillaren haften bleiben und durch die Stomata derselben (Diapedese) in das umgehende Gewebe auswandern, „Wanderzellen“. Das findet in reichem Maße bei der Entzündung statt und wird veranlaßt durch chemische Reize (Chemotaxis). Aus den Leukozyten bilden sich dann die Eiterkörperchen.

Die weißen Blutkörperchen können ferner fremde Stoffe (Fette, Pigment) in sich aufnehmen (deshalb „Phagozyten“ genannt), dieselben weiter transportieren und andere Organismen

(Bakterien) töten und entfernen. Sie besitzen alle Eigenschaften eines Elementar-Organismus.

Man unterscheidet hauptsächlich 3 Arten von Leukozyten:

1. Die kleinsten, Durchmesser 4—8 μ ; das geringe Protoplasma umgibt in dünner Schicht den großen runden Kern.
2. Durchmesser 7—10 μ ; die Hauptmasse der Leukozyten des Blutes, protoplasmareicher, der Kern rund oder gelappt, selten mehrere Kerne.
3. Die größten, Durchmesser 8—14 μ ; das Protoplasma zeigt Körnchen, Granulationen, die sich verschiedenen Farbstoffen gegenüber verschieden verhalten: oxyphile färben sich mit sauren, basophile mit basischen, neutrophile mit neutralen Farbstoffen.

Die Zahl der weißen Blutkörperchen ist großen Schwankungen unterworfen. Im Durchschnitt kommt im normalen Blut auf 500—1000 rote ein weißes. Manche Blutarten enthalten mehr, z. B. das Milzvenenblut: auf 60 rote ein weißes. Vermehrt sind sie während der Verdauung, bei Blutverlusten, Menstruation, Wochenbett; pathologisch bei Leukämie.

C h e m i s c h sind sie zusammengesetzt aus Eiweißkörpern (vorwiegend Nukleinen und Nukleoalbuminen) und enthalten in geringer Menge Lezithin, Cholestearin und Salze.

Andere korpuskuläre Elemente.

Blutplättchen (Bisozzer), ellipsoide Scheibchen, 3—4 mal kleiner als die roten Blutkörperchen; dem Kreislauf entzogen zerfallen sie sehr schnell. Ihre Bedeutung ist noch unsicher. Haben den vollen Wert von Zellen, bestehen aus Kern und Protoplasma und sind amöboïder Bewegung fähig. Man hat sie mit der Gerinnung in Verbindung gebracht.

Elementarkörnchen, meist Fett, aus dem Chylus ins Blut gelangt.

Das Plasma

erhält man, wenn man frisches Blut in der Kälte stehen läßt, wodurch die Gerinnung verhindert wird. Dann senken sich die Blutkörperchen, und über ihnen steht das Plasma: eine klare, gelbe Flüssigkeit von alkalischer Reaktion gegen Lackmus (s. o.)

spez. Gewicht 1·027, zu etwa 90 pCt. Wasser. Feste Bestandteile sind (s. auch Anhang):

1. Eiweiß 7—8 pCt.: Serumalbumin etwa 4—5 pCt., Serumglobulin etwa 3 pCt. Die Menge beider schwankt erheblich; beim gut genährten Tier überwiegen die Albumine, beim hungernden die Globuline. Fibrinogen etwa 0·2pCt., die Muttersubstanz des Fibrins, das sich erst bei der Gerinnung aus jenem bildet, auch in den Flüssigkeiten der serösen Höhlen (Pleura, Pericard), in der Lymphe.

Schließlich einige noch unbekannte eiweißartige Substanzen, die die Eigenschaft haben, Bakterien (bakterizide Wirkung) oder überhaupt fremde Körper (z. B. rote Blutkörperchen einer nicht verwandten Art: globulizide Wirkung) zu vernichten. Sie haben als Schutzmittel des Körpers gegen Infektionskrankheiten, daher Alexine¹⁾ genannt, große Bedeutung. Ferner hat man ein diastatisches und ein lipotylishes Ferment darin gefunden. Eine wichtige Rolle für die Erkennung einer bestimmten Blutart spielen die neuerdings gefundenen „Präzipitine“.

2. Stoffe der regressiven Metamorphose der Eiweißkörper in kleinen Mengen: Kreatin, Harnstoff, Harnsäure, Milchsäure u. a.
3. Fette, Cholestearin, Lezithin.
4. Kohlehydrate: Traubenzucker.
5. Anorganische Salze (0·8pCt.): hauptsächlich (im Gegensatz zu den Blutkörperchen) Na-Salze, bes. Kochsalz, dann Kalk- und Magnesiasalze.

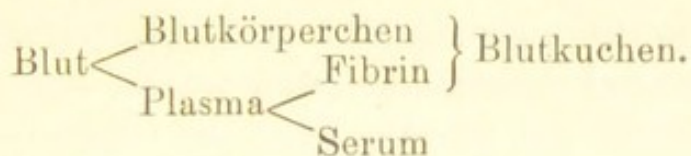
Die Gerinnung.

Wie schon erwähnt, scheidet sich das Blut bei der Gerinnung in eine gallertige Masse, den Blutkuchen, und eine helle Flüssigkeit, das Serum oder den Liquor sanguinis.

Den Blutkuchen bildet das aus dem Blutplasma abgeschiedene festgewordene Fibrin, das in seinen Fasern die Blutkörperchen einschließt. Das Serum ist also Plasma ohne Fibrin.

¹⁾ Von ἀλέξεν abwehren.

Zur Veranschaulichung diene folgendes Schema:



Wird frisches Blut mit einem Stabe geschlagen, so erhält man fibrinfreies, geschlagenes oder defibriniertes Blut; dies besteht aus Blutkörperchen und Serum. Das Fibrin bleibt am Stabe hängen, wäscht man es mit reichlichem Wasser, so erhält man eine weiße, faserige, elastische Substanz; seine Masse erscheint verhältnismäßig groß, weil es gequollen ist.

Die Schnelligkeit der Gerinnung ist bei verschiedenen Tieren verschieden, am größten bei Vögeln.

Sie wird beschleunigt durch Kontakt mit Fremdkörpern, durch Wärme.

Sie wird verzögert durch niedere Temperatur, durch chemische Reagentien: Alkalien, Ammoniak, Salzlösungen bes. salpetersaure Salze, auch Magnesiumsulfat, Einleiten von CO_2 (daher gerinnt venöses Blut langsamer), durch Zuckerlösung, durch Einbringen von Pepton und Blutegel-Extrakt ins strömende Blut.

Das Wesen der Gerinnung besteht in der Abscheidung des unlöslichen Fibrins aus dem im Plasma gelösten Fibrinogen. Sie kommt zu Stande durch Einwirkung eines Enzyms, des Fibrinferments oder Thrombins, das sich bildet beim Austritt des Blutes aus dem Gefäß bes. durch Zerfall der weißen Blutkörperchen. Kalksalze sind für den Eintritt der Gerinnung förderlich.

Das zirkulierende Blut gerinnt in den Gefäßen nicht, weil die lebende Gefäßwand die Entstehung des Fermentes verhindert oder das etwa entstandene Ferment (sogar auch, wenn es in nicht zu großer Menge eingespritzt wird) unwirksam macht. In den Gefäßen, in denen das Blut stagniert (nach Abbindung), gerinnt es, wenn auch langsam; ferner gerinnt es in der Leiche.

Die Gerinnung stellt eine wichtige Schutzvorrichtung für den Körper dar, indem dadurch die Blutung bei Verletzung nicht zu großer Gefäße gestillt wird.

Die Blutmenge.

Die Menge des im menschlichen Körper enthaltenen Blutes wird kolorimetrisch bestimmt. Man wäscht das gesamte Blut aus und vergleicht den Färbungsgrad der erhaltenen Flüssigkeit mit einer Probelösung von bekanntem Blutgehalt. Auf diese Weise ist die Blutmenge beim Erwachsenen auf $\frac{1}{13}$ des Körpergewichts, also etwa 5 Liter festgestellt worden; beim Manne etwas mehr als beim Weibe; beim Neugeborenen nur $\frac{1}{17}$.

Bei großem Blutmangel wird *Transfusion* von Blut in die Venen oder Arterien vorgenommen. Dazu muß das transfundierende Blut frisch, defibriniert, auf Körpertemperatur erwärmt sein und von der gleichen Spezies stammen (wegen der globuliziden Wirkung des Plasma).

Blutgase.¹⁾

Zu ihrer Gewinnung bringt man das Blut in einen luftleeren Raum, in das Vakuum der Quecksilberluftpumpe.

Das Blut enthält Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff (Magnus 1838), in verschiedener Menge im arteriellen und venösen Blut.

¹⁾ Gase finden sich in Flüssigkeiten entweder chemisch gebunden oder physikalisch absorbiert. Die Absorption (besser Insorption) der Gase ist nach dem Henry-Dalton'schen Gesetz umgekehrt proportional der Temperatur (beim Siedepunkt = 0), direkt proportional dem Druck (d. h. die absorbierten Gewichtsmengen sind proportional dem Druck, das Volumen für ein bestimmtes Gas ist immer das gleiche und unabhängig vom Druck) und dem Absorptionskoeffizienten. Letzterer gibt eben dasjenige Gasvolumen an, welches bei 0° C. und 760 mm Hg-Druck von der Volumeneinheit der betreffenden Flüssigkeit absorbiert wird.

Befindet sich über einer Flüssigkeit ein Gemisch von Gasen, so wird der ganze auf dem Gemisch lastende Druck geteilt, je nach dem Volumen der Gase. Der auf jedes der Gase entfallende Druck heißt Partialdruck. Steht also die atmosphärische Luft unter dem Druck von 760 mm Hg., und enthält sie rund 21 Vol. O₂, 79 Vol. N₂ + Argon und 0.03 Vol. CO₂, so verteilen sich die 760 mm Hg rund auf ($0.21 \times 760 =$) 160 mm Hg Partialdruck für O₂, ($0.79 \times 760 =$) 600 mm Hg Partialdruck für N₂ + Argon und ($0.003 \times 760 =$) 0.2 mm Hg Partialdruck für CO₂.

Unter Spannung einer gashaltigen Flüssigkeit versteht man den Partialdruck in mm Hg, welchen das betreffende Gas, über der Flüssigkeit stehend, auf diese ausüben muß, damit weder Aufnahme noch Abgabe des Gases von der Flüssigkeit stattfinden kann.

Es enthalten:

100 Vol. Arteriellcs Blut	100 Vol. Venöses Blut
O ₂ 18 Volumina	O ₂ 11 Volumina
CO ₂ 38 „	CO ₂ 45 „
N ₂ 2 „	N ₂ 2 „
58 Volumina	58 Volumina

Dieser O₂-Gehalt des arteriellen Blutes ist noch nicht der größtmögliche; er kann bis auf 22 Vol.-pCt. steigen. Ebenso kann der CO₂-Gehalt des venösen Blutes noch zunehmen, im Erstickungsblut bis auf 70 Vol.-pCt.

1. Der Sauerstoff ist nicht einfach physikalisch absorbiert, da seine Aufnahme viel reichlicher erfolgt, als nach dem Henry-Dalton'schen Absorptionsgesetz zu erwarten wäre, sondern zum größten Teil chemisch gebunden, und zwar an das Hämoglobin der roten Blutkörperchen (Oxyhämoglobin s. S. 97).

2. Die Kohlensäure ist zum kleinsten Teil einfach physikalisch im Serum absorbiert, zum größten Teil in dissoziablen chem. Verbindungen enthalten, und zwar in der Hauptmenge im Serum, nur in geringer Menge in den roten Blutkörperchen. Die chemische Bindung im Serum findet hauptsächlich in Form von Natriumkarbonat statt. In den Blutkörperchen wird die CO₂ durch das Hämoglobin gebunden, das sich also sowohl mit O₂ als auch mit CO₂ verbinden kann. Ein geringer Teil der CO₂ ist im entgasten Serum noch chemisch fest gebunden und nur durch Säuren austreibbar. Da die entgasten roten Blutkörperchen die Austreibung dieser Portion begünstigen, so muß man annehmen, daß sie (bez. das Hämoglobin) wie eine Säure wirken können (Blutkörperchensäure).

3. Der Stickstoff ist im Plasma nur absorbiert enthalten.

Das arterielle Blut sieht hell-, scharlach-rot aus, das venöse dunkelrot. Die verschiedene Färbung rührt nicht her vom verschiedenen CO₂-Gehalt, sondern lediglich vom verschiedenen O₂-Gehalt. Man kann daher venöses Blut künstlich arteriell machen durch Schütteln mit O₂, und arterielles Blut wird venös durch Entziehen des O₂ (Durchleiten von N₂, H₂ usw.).

Läßt man aus der Ader gelassenes arterielles Blut stehen, so weist nach einiger Zeit das Spektrum anstatt des Oxyhämoglobins nur noch reduziertes Hämoglobin nach. Der enthaltene O_2 ist durch innere Oxydation verbraucht worden („Sauerstoffzehrung“).

Venöses Blut findet sich in den Venen (außer den Lungenvenen), im rechten Herzen und in der Lungenarterie. Arteriell Blut findet sich in den Arterien (außer den Lungenarterien), im linken Herzen und in der Lungenvene.

B. Lymphe.

Bedeutung der Lymphe.

Die Ernährung der verschiedenen Gewebe des Körpers geschieht von den Blutkapillaren aus. Durch ihre Wandung hindurch transsudiert Flüssigkeit, durchtränkt die Gewebe, Gewebssflüssigkeit, Parenchymflüssigkeit, gibt ihnen Ernährungsmaterial, Ernährungsstranssudat, und nimmt dafür Produkte der regressiven Metamorphose des Stoffwechsels auf. Danach sammelt sich die Flüssigkeit als Lymphe (lymphe = klares Wasser) in besonderen Spalten und Kanälchen (Lymphspalten und Saftkanälchen) des Gewebes. Diese, in unmittelbarer Nähe der Blutkapillaren beginnend, stehen untereinander vielfach in Verbindung und konfluieren zu den Lymphkapillaren, diese zu den Lymphgefäßen, diese wiederum zu den Lymphstämmen, Ductus thoracicus und Truncus lymphaticus dexter, die sich in die Venen (Angulus venosus sinister und Angulus venosus dexter) und damit in das Blutgefäßsystem ergießen.

Lymphgefäße.

Die Lymphkapillaren sind weiter als die Blutkapillaren, sonst aber ihnen ähnlich gebaut.

Die größeren Lymphgefäße sind ähnlich den Venen gebaut, nur viel dünnwandiger und reichlicher mit Klappen versehen, die ähnlich den Semilunarklappen gebaut sind.

Perivaskuläre Lymphgefäße, „adventitielle Lymphräume“ umgeben scheidenartig die Blutgefäße (Zentralnervensystem).

Lymphspalten von sehr großer Ausdehnung sind die **serösen Höhlen** (Pleura-, Pericardial-, Peritonealhöhle); sie enthalten stets eine geringe Menge „seröser Flüssigkeit“, Lymphe mit keinen oder wenig Leukozyten, um die serösen Häute schlüpfrig zu erhalten und ihre Bewegungen zu erleichtern. In der Wand dieser Höhlen befinden sich zwischen den Epithelzellen Öffnungen, **Stomata** = Lymphspalten-Anfänge des Lymphapparates.

Eigenschaften der Lymphe.

Sie ist eine klare Flüssigkeit von (gegen Lackmus) schwach alkalischer Reaktion, spezifisches Gewicht 1.017—1.023. Sie besteht aus dem **Lymphplasma** und den **Lymphkörperchen**, Leukozyten, die mit den farblosen Blutkörperchen (s. dort) identisch sind. Da sie die abfließende Gewebsflüssigkeit darstellt, so hat sie an verschiedenen Stellen eine verschiedene Zusammensetzung.

Das Lymphplasma der größeren Lymphstämme ist als ein verdünntes Blutplasma anzusehen, es enthält also dieselben organischen Bestandteile, Salze und Gase (s. Anhang). Das Lymphplasma gerinnt auch unter denselben Bedingungen und Erscheinungen wie das Blut, nur langsamer und weniger fest.

Die **Darmlymphe**, die aus den Lymphgefäßen des Darmes stammt, nimmt nicht nur Gewebsflüssigkeit auf, sondern auch aus dem Darminnern direkt Bestandteile der aufgenommenen Nahrung, besonders Fett. Dieses findet sich in ihr in feinsten Emulsion und gibt ihr ein trübes, milchiges Aussehen, daher **Chylus** ($\chiυλός$ = Pflanzensaft, Milchsaft) genannt.

Bildung der Lymphe.

Die Lymphe transsudiert aus den Blutkapillaren. Dabei spielen Diffusions- und osmotische Prozesse (s. S. 88) eine wichtige Rolle. Dazu kommt noch eine Tätigkeit der Kapillarzellen. Denn es gibt Substanzen, welche ohne wesentliche Erhöhung des Blutdruckes die Lymphabsonderung erheblich steigern, wahrscheinlich durch Einwirkung auf die Zellen der Kapillärwände, **lymphagoge** Substanzen (1. Peptone, Blutegel-, Erdbeeren-, Krebsmuskel-Extrakt, 2. Zucker, Harnstoff, Kochsalz u. a.).

Schließlich hat man auch die Tätigkeit der Gewebzellen als wesentliche Triebkraft in den Vordergrund gestellt.

Die Fortbewegung der Lymphe.

Sie geschieht vornehmlich dadurch, daß die Parenchymflüssigkeit unter einem positiven Druck steht, herrührend von der Filtration (diese kommt durch den Blutdruck zu stande) und der Osmose, und daß am Ende des Lymphgefäßsystems im Thorax der Druck negativ ist, so daß ein stetiges Druckgefälle im Lymphgefäßsystem vorhanden ist. Unterstützt wird der Lymphstrom durch die Erhöhung des intraabdominalen Druckes infolge der Zwerchfellkontraktionen, durch die Erhöhung des negativen Druckes bei der Inspiration, rein mechanisch durch die Muskelkontraktionen (daher auch noch nach dem Tode durch passive Gelenkbewegungen), schließlich im Darm (beim Chylus) durch die peristaltischen Bewegungen und die Kontraktion der Zotten. Die Bewegung kann nur in einer Richtung geschehen, da die Klappen den Rückfluß verhindern.

Die Menge der Lymphe.

In 24 Stunden fließen beim Menschen durch den Ductus thoracicus etwa 2·5 l.

Die Lymphdrüsen.

Es sind Apparate, die in die Lymphbahnen an verschiedenen Stellen eingefügt sind. Sie sind umgeben von einer Kapsel und bestehen aus retikulärem Bindegewebe, in dessen Maschen kleine runde Zellen mit großem Kern und Kernkörperchen liegen, die sog. Lymphzellen, Lymphkörperchen, Follikelzellen.

Die Lymphe tritt durch das Vas afferens in die Drüse ein und verläßt sie wieder durch das Vas efferens; sie fließt frei in den Maschen des Reticulums.

Die Lymphdrüsen besitzen die Eigenschaft, gewisse Gifte und Fremdkörper (Bakterien, Farbstoffe), die ihnen mit der Lymphe zugeführt werden, in ihren Maschen zurückzuhalten.

Den Lymphdrüsen analog sind die lymphatischen Apparate des Digestionstraktus (Solitärfollikel, Peyer'sche Plaques usw.) und die Follikel der Milz.

7. Atembewegungen.

Die Bewegungen der Lunge.

Durch die Atembewegungen wird der Hohlraum der Lunge abwechselnd vergrößert und verkleinert und dadurch atmosphärische Luft hineingezogen und ausgestoßen, sodaß das Blut in den Lungenkapillaren stets mit frischer Luft in Berührung tritt.

Die Lunge liegt über ihr eigentliches Volumen hinaus gedehnt mit ihrer Oberfläche der Thorax-Innenfläche luftdicht, nicht befestigt an. Sie kann sich nicht aktiv bewegen, sondern folgt vielmehr passiv allen Erweiterungen und Verengerungen des Brustkorbes, so daß beide Pleurablätter (*Pleura costalis* und *Pleura pulmonalis*) stets einander berühren und, da sie fortwährend befeuchtet erhalten werden, bei den Bewegungen lautlos aneinander vorüber gleiten. Nur wenn auf irgend eine Weise Luft in die Pleurahöhle eintritt (= *Pneumothorax*), wird dieses Verhältnis gestört; alsdann retrahiert sich die Lunge, entsprechend ihrer Elastizität, auf das möglich kleinste Volumen. Nur die atelektatische Lunge des Foetus (S. 115) ist nicht über ihr Volumen ausgedehnt, sie liegt ohne Spannung dem Thorax an.

Die Bewegungen des Thorax.

Sie zerfallen in Einatmung (= *Inspiration*, *Inspirium*; Erweiterung des Brustkorbes) und Ausatmung (= *Expiration*, *Expirium*; Verengerung des Brustkorbes).

Inspiration.

Während der Einatmung wird der Thorax erweitert durch die *Inspirationsmuskeln*. Bei der ruhigen Inspiration sind tätig das *Zwerchfell*, *Diaphragma*, und als Rippen-

heber die *M. intercostales ext. und intercartilaginei*.

Das *Zwerchfell*, das als Scheidewand zwischen Brusthöhle und Bauchhöhle (nur bei den Säugetieren vorkommend) so eingesetzt ist, daß die Konvexität nach dem Thorax, die Konkavität nach dem Abdomen zu sieht, hat in der Ruhe (*Expiration*) die Form einer asymmetrischen Kuppel. Es besteht aus einem sehnigen Teil, *Pars tendinea* (*Centrum tendineum*), und einem umgebenden muskulösen Teil, *Pars muscularis*.

Bei der Kontraktion des Zwerchfells, *Inspiration*, verkürzen sich die muskulösen, d. h. die seitlichen Partien, während das sehnige (nicht kontraktile) *Centrum tendineum* gespannt und abgeplattet wird. Die Kuppel nähert sich der Form eines abgestumpften Kegels.

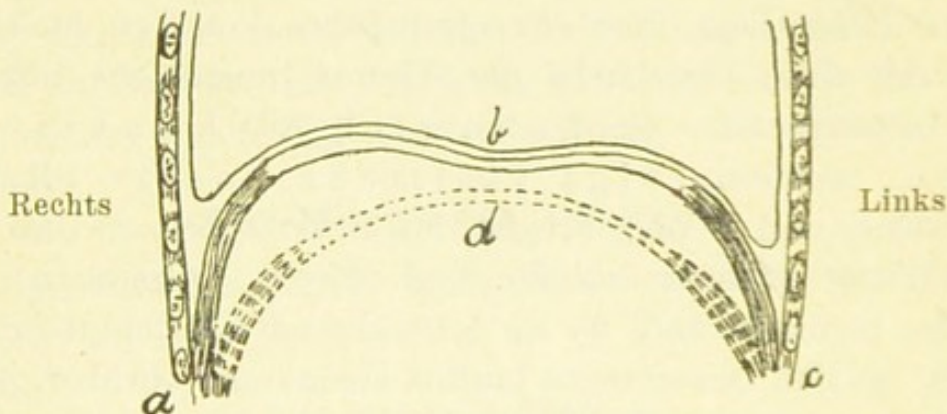


Fig. 12. Frontaldurchschnitt durch das Zwerchfell.
a b c Expirations-Stellung, a d c Inspirationsstellung.

Der Winkel zwischen Zwerchfell und den Seitenwänden des Thorax ist im Bereich der VIII.—X. Rippe, wenn nicht geatmet wird, frei von Lunge, er bildet einen „lumenlosen Spalt“; das Zwerchfell, die *pleura diaphragmatica*, berührt die Thoraxwand, die *pleura costalis*. Während der *Inspiration* schiebt sich in diesen Spalt (*Sinus phrenico-costalis pleurae*) die Lunge ein und füllt ihn aus.

Dadurch, daß das Zwerchfell während der Kontraktion tiefer tritt, übt es auf den teils festen, teils flüssigen, teils gasförmigen Inhalt der Bauchhöhle einen Druck aus, infolgedessen der vorher zylindrische Bauch eine Kugelgestalt anzunehmen bestrebt ist. Sobald die Wirkung des Zwerchfells nachläßt, ist der dislozierte Bauchinhalt bestrebt, zu seiner früheren Form zurückzukehren.

Das Zwerchfell wird vom N. phrenicus aus dem Plexus cervicalis versorgt.

Als R i p p e n h e b e r bei ruhiger Atmung dienen die Mm. intercostales externi und die Mm. intercartilaginei (das ist derjenige Teil der Intercostales int., welcher vorn zwischen dem knorpeligen Teil der Rippen verläuft). Die Mm. intercostales ext. verbinden zwei benachbarte Rippen immer so, daß der obere Insertionspunkt der Wirbelsäule näher liegt als der untere. Jede Rippe empfängt also zwei Mm. intercostales ext., einen von der nächst oberen und einen von der nächst unteren Rippe; der von oben her ansetzende M. intercostal. ext. inseriert in größerer Entfernung von der Wirbelsäule als der von unten kommende. Wirken nun beide gleichzeitig mit gleicher Kraft, so überwiegt die am längeren Hebelarm angreifende Kraft (d. h. der von oben kommende M. intercostalis ext.) und die Rippe wird nach oben gezogen, der Thorax erweitert.

Die zwischen den Rippenknorpeln befestigten Mm. i n t e r c a r t i l a g i n e i wirken wie die Intercostales int., ziehen also bei ihrer Kontraktion die Knorpel nach unten. Da aber der knorpelige Teil der Rippen mit dem knöchernen gelenkig verbunden ist, so wird der nach oben offene stumpfe Winkel, den die beiden Rippen-Teile miteinander bilden, durch das Herabziehen des Knorpels flacher, folglich die Länge jedes Rippenbogens und mithin der Thoraxraum größer. Die Intercartilaginei wirken also inspiratorisch und werden daher auch zugleich mit den Intercostales externi innerviert. Die Hebung der Rippen wird durch die Senkung der Knorpel ausgeglichen, so daß das Brustbein nur nach vorn, aber nicht nach oben bewegt wird (cf. Fig. 13).

Die bisher angeführten Muskeln sind bei ruhiger Atmung, E u p n o e , tätig. Dabei soll sich ein Unterschied der Geschlechter bemerkbar machen. Beim Manne soll die Kontraktion des Zwerchfells, damit die Vorwölbung des Abdomens (Respiratio abdominalis) überwiegen, beim Weibe die Bewegung der Rippen insbesondere der oberen (Respiratio costalis), daher das Wogen des Busens.

Bei t i e f e r I n s p i r a t i o n kommen hierzu noch die sog. accessorischen Atemmuskeln, zunächst die, welche die Rippen

heben, Mm. scaleni, Mm. levatores costarum longi et breves und der M. serratus posticus sup.

Bei angestrenzter Inspiration, bei Atemnot, *Dyspnoe*, wirken ferner der M. sternocleidomastoideus, der bei fixiertem Kopf das Schlüsselbein, das Sternum und die oberen Rippen hebt, der M. cucullaris, der mit seiner Scapularportion das Schulterblatt vom Thorax abhebt.

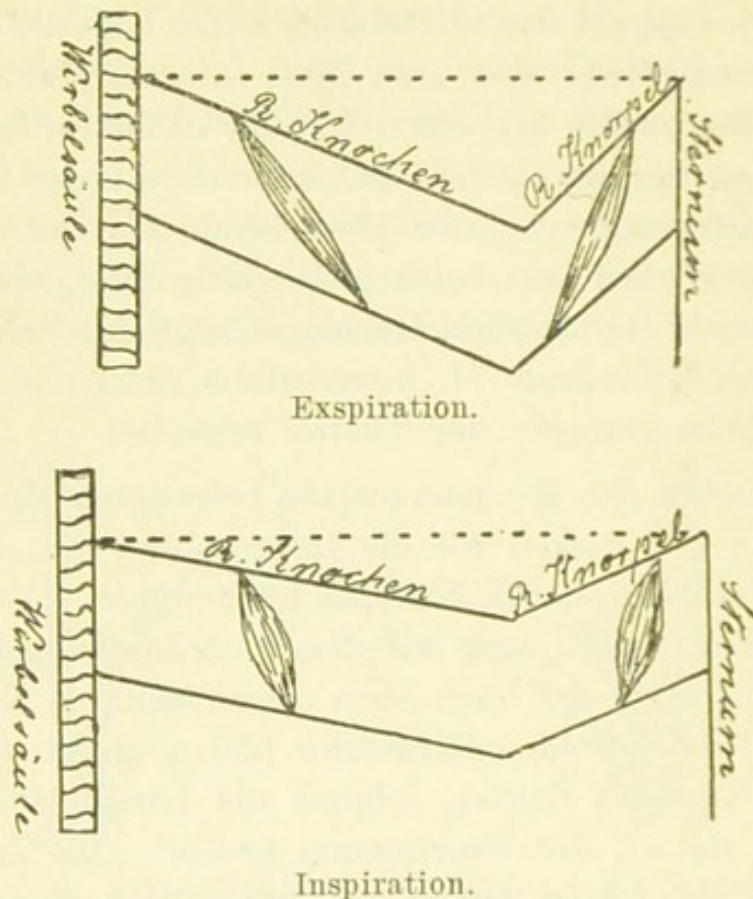


Fig. 13. Schema der Rippenbewegung.
Mm. intercost ext. und intercartilaginei.

Bei sehr starker Atemnot können durch Aufstemmen der Arme, *Orthopnoe*, die Schultern fixiert werden, so daß noch der M. pectoralis major und minor, der serratus anticus major und die rhomboidei zur Erweiterung des Thorax beitragen.

Die Rippen sind mit der Wirbelsäule zwiefach gelenkig verbunden; durch das Köpfchen mit zwei Wirbelkörpern, durch das Tuberculum mit dem zugehörigen Wirbel-Querfortsatz. Infolgedessen bewegen sie sich gegen die Wirbelsäule um eine Achse, die durch den Rippenhals nahezu horizontal verläuft und mit der Achse der anderen Seite einen nach hinten offenen Winkel bildet. Die Rippen senken sich nach vorn, d. h. ihr hinteres

Ende ist höher gelegen als das vordere. Werden sie gehoben, so wird der Thorax im transversalen und sagittalen Durchmesser erweitert; im transversalen, weil die seitlichen Rippen-
teile mehr nach außen rücken, im sagittalen, weil die vorderen Rippenenden gehoben, also ihr horizontaler Abstand vom Sternum vergrößert wird. In gleichem Maße mit der Hebung des vorderen Rippenendes wird, wie erwähnt, durch die Intercartilaginei der Winkel zwischen Rippenknorpel und Rippenknochen vergrößert, das Sternum wird dadurch nicht nach oben, sondern nach vorn bewegt, also der sagittale Durchmesser des Thorax noch mehr vergrößert (s. Fig. 13). Die Rippenknorpel erfahren zugleich durch die Bewegung der Rippenknochen eine mäßige Torsion um ihre Längsachse.

Bewegungen der oberen Luftwege, präinspiratorische Bewegungen kommen noch zu den eben genannten Bewegungen hinzu. Es sind: Herabsteigen des Kehlkopfes bei jeder Inspiration (Mm. sterno-hyoidei und sterno-thyreoidei), zugleich leichte Erweiterung der Stimmritze (Mm. crico-arytaenoidei postici), welche bei ruhiger Atmung mäßig weit offen ist; Hebung des weichen Gaumens (M. levator veli palatini und azygos uvulae); bei Atemnot: Hebung der Nasenflügel (M. levator alae nasi). In der höchsten Dyspnoe wird auch der Mund geöffnet (Luftschnappen).

Diese präinspiratorischen Bewegungen haben den Zweck, den Zutritt der Luft zur Lunge zu erleichtern. Die Nasenhöhle hat außerdem für die Atmung die wichtige Bedeutung, die Luft bis zu etwa 30° C. vorzuwärmen und mit Wasserdampf zu sättigen; ferner können Beimengungen¹⁾ der Luft aufgefangen und zurückgehalten werden.

¹⁾ Staub; dringt er trotzdem in die Lunge, so kann er zu „Staubinhalationskrankheiten“, Pneumonokoniosen, Anlaß geben (Eisenlunge, Kiesellunge, Ultramarinlunge bei den betreffenden Arbeitern).

Kohle. Während des Lebens gelangt stets soviel davon in die Lunge, daß bei älteren Leuten die Lungen und die Bronchialdrüsen schwärzlich gefärbt sind, indem die eingeatmete Kohle (entsprechend den Lymphgefäßen) in den interlobulären Septa und schließlich auch in den dazu gehörigen Lymphdrüsen abgelagert wird.

Bakterien = Spaltpilze = Schizomyzeten; nur mikroskopisch wahrnehmbare einzellige pflanzliche Lebewesen von verschiedener Gestalt. Von dem Gehalt an krankheitserregenden, pathogenen, Bakterien hängt die Sanität der Luft ab.

Modifizierte Inspirationsbewegungen sind Riechen und Schnüffeln (willkürlich verstärkte), Gähnen und Schluchzen (reflektorische).

Expiration.

Die während der Inspiration aufgespeicherten elastischen Kräfte (Lungen, Thorax, Bauch) werden mit dem Aufhören der Kontraktion der Inspirationsmuskeln frei und führen die frühere Gleichgewichtslage herbei. Die normale, ruhige Expiration beim Menschen geschieht ohne jede Muskelaktion, ist ein rein passiver Vorgang. Der Bauchinhalt drängt in seine Lage zurück, der gehobene Thorax sinkt vermöge seiner Schwere herab, die gedehnten elastischen Lungen ziehen sich zurück. Die Inspirationsmuskeln erschlaffen aber nicht plötzlich, sondern es scheint, als ob sie nur allmählich unter dem Andrängen jener elastischen Kräfte in ihrer tetanischen Kontraktion nachlassen.

Bei angestrenzter Expiration treten zur Unterstützung dieser elastischen Kräfte noch Muskeln in Tätigkeit, einerseits solche, welche den Bauchinhalt in seine frühere Lage zurückbringen und dadurch das Zwerchfell nach oben drängen: die Bauchmuskeln (*Mm. rectus, obliquus, transversus abdominis*), andererseits solche, welche die Rippen nach unten ziehen (*Mm. intercostales int.*, deren Verlauf und Wirkung den *intercost. ext.* grade entgegengesetzt ist, *triangularis sterni, serratus posticus inf., quadratus lumborum*).

Modifizierte Expirationsbewegungen z. T. willkürliche, meist reflektorische sind: Husten, Niesen, Räuspern, Seufzen, Lachen, Weinen.

Die Bauchmuskeln (Expirationsmuskeln) sind also bei der Atmung Antagonisten des Zwerchfells (Inspirationsmuskel). Dagegen sind sie mit diesem Synergisten, bilden zusammen die Bauchpresse, *Prelum abdominale*, um die Kontenta der Bauchhöhle zu entleeren (Mastdarm, Blase, schwangere Gebärmutter).

Maße des Thorax.

Der mittlere Brustumfang in der Höhe der Brustwarzen beträgt bei Männern etwa 88 cm, bei Frauen etwa 80—82 cm, nach tiefster Inspiration 7 bez. 6 cm. mehr (s. Anhang).

Diese Messung geschieht mit dem Bandmaß. Man kann aber auch eine bestimmte Stelle des Thorax mittelst eines aufgesetzten Fühlhebels ihre Bewegungen selbst verzeichnen lassen: Pneumatographie, und dadurch die Exkursion jeder Stelle des Brustkorbes bestimmen.

Druckverhältnisse im Thorax.

Die Lunge ist, wie schon bemerkt, im Brustkorb auch in seiner Ruhestellung über ihr eigentliches Volumen ausgedehnt und bestrebt sich daher, sich auf dasselbe vermöge der in ihr befindlichen elastischen Elemente zu „retrahieren“.

Diese e l a s t i s c h e K r a f t der Lunge wird an der Leiche durch ein luftdicht mit der Trachea verbundenes Hg-Manometer gemessen. Nach Herbeiführen von Pneumothorax durch Eröffnung der Pleurahöhle preßt jetzt die Lunge durch ihre Retraktion die in ihr enthaltene Luft in das Manometer und drückt auf die Quecksilbersäule. So erhält man als Wert für die elastische Kraft: 6 mm Hg, am Lebenden beträgt sie wahrscheinlich etwas mehr: 7 mm Hg (Donders'scher Druck). Sie wächst bei der Dehnung der Lungen, also bei der Inspiration (bei ruhiger auf etwa 9 mm, bei angestrenzter auf etwa 30 mm) und sinkt bei der Expiration. Sie übt bei unverletztem Thorax auf die Wänden desselben und die darin enthaltenen Hohlorgane (Herz und Gefäße) einen ihr äquivalenten Zug aus, S a u g k r a f t o d e r A s p i r a t i o n d e r L u n g e n, sodaß diese Organe beständig unter einem den obigen Werten entsprechenden negativen Druck stehen. Sie erhöht die durch die Inspirationsmuskeln zu leistende Arbeit, während die Expiration dadurch begünstigt wird. Die atelektatische Lunge des Foetus (S. 115) zeigt keinen Donders'schen Druck bei Pneumothorax und übt daher auch keine Aspiration aus.

Von diesem extrapulmonalen Druck, der in dem lumenlosen Spalt zwischen den beiden Pleurablättern herrscht, ist wohl zu unterscheiden der durch die Respiration bedingte i n t r a p u l m o n a l e D r u c k. Er wird gemessen mit dem P n e u m a t o m e t e r, einem an beiden Schenkeln offenen Quecksilbermanometer, dessen einer Schenkel mit den Luftwegen in Verbindung gebracht wird.

Während der Inspiration wird innerhalb der erweiterten Lungen eine Luftverdünnung erzeugt = negativer Druck, d. h. der Druck in ihnen ist geringer als der Atmosphärendruck, deshalb dringt die Luft von außen ein. Bei der ruhigen Inspiration ist der Druck innerhalb der Lungen = -1 mm Hg (d. h. 1 mm geringer als der Atmosphärendruck). Während der Expiration verengert sich der Thorax, die Luft wird wieder ausgetrieben. Bei der ruhigen Expiration ist der Druck innerhalb der Lungen = $+2$ bis 3 mm Hg (d. h. 2 bis 3 mm größer als der Atmosphärendruck). Diese Druckschwankungen sind in den Alveolen am größten, an der Nasenöffnung am kleinsten. Bei angestrengter Respiration nehmen diese Werte erheblich zu. Dabei ist im allgemeinen der (positive) Expirationsdruck größer als der (negative) Inspirationsdruck.

Die Luftmenge in der Lunge.

Bei der Atmung geben die Lungen das in ihnen enthaltene Luftquantum niemals vollständig ab, sondern unterwerfen stets nur einen Teil der Erneuerung d. i. die:

1. *R e s p i r a t i o n s l u f t*, *A t m u n g s l u f t*. Bei ruhiger Atmung werden etwa 500 cbcm eingenommen und ausgegeben.

2. *R e s e r v e l u f t*, kann nach ruhiger Expiration noch nachträglich durch forzierte Expiration ausgetrieben werden, etwa 1600 cbcm.

3. *K o m p l e m e n t ä r l u f t*, kann auf der Höhe einer ruhigen Inspiration noch durch eine unmittelbar angeschlossene forzierte Inspiration aufgenommen werden, etwa 1600 cbcm.

4. *V i t a l k a p a z i t ä t*, *A t m u n g s g r ö ß e*, $= 1 + 2 + 3$, ist dasjenige Luftvolumen, welches nach tiefster Inspiration durch forzierte Expiration aus den Lungen entweicht, die größtmögliche Menge von Atmungsluft, beträgt etwa 3700 cbcm. Die Atmungsgröße wird bestimmt, wie dies Hutchinson zuerst getan, mittelst des Spirometers, in welchem die ausgeatmete Luft unter Wasser in einem Zylinder aufgefangen wird.

Die Atmungsgröße ist großen Schwankungen unterworfen. Beim ruhenden Menschen rechnet man sie auf 5—7 Liter in der Minute, bei Tätigkeit kann sie auf das 2—5 fache steigen. Sie variiert ferner nach Körperlänge (s. Anhang), Alter, Beruf.

5. *Residualluft*, ist diejenige Luftmenge, welche nach vollständigster Expiration noch in den Lungen zurückbleibt, etwa 1000—1250 cbcm. Ein Teil davon, die *Kollapsluft*, entweicht, wenn man Pneumothorax (S. 107) herstellt, ein Teil, *Minimalluft*, bleibt auch dann noch in den Lungen zurück, daher kann man eine Lunge, die einmal geatmet hat, mechanisch nicht luftleer (*atelektatisch*) machen; sie schwimmt deswegen auf dem Wasser. Die Lunge des Foetus ist luftleer, sie sinkt im Wasser unter („Lungenprobe“).

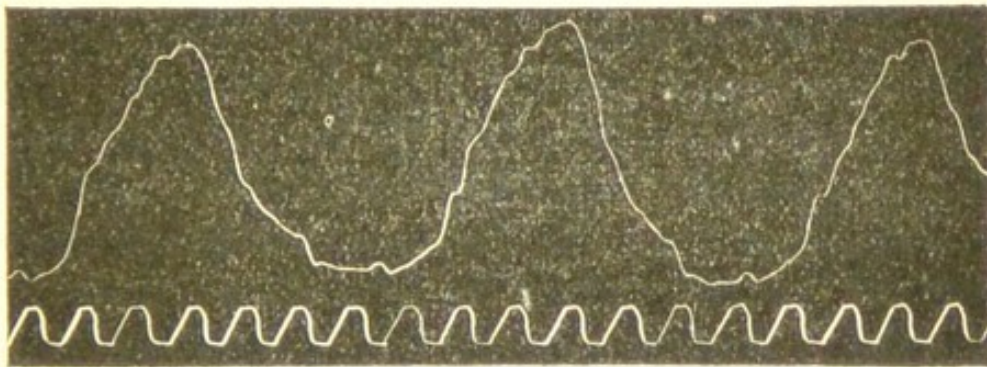


Fig. 14. Atembewegung des Menschen. Registriert mittelst Luftkissen vom Thorax aus und Luftübertragung nach Marey. 1 St. Schw. = $\frac{1}{2}$ Sek. Die kleinen Erhebungen rühren her von den herzsystolischen Erschütterungen der Brustwand.

Der Luftraum von der Nasenöffnung bis zum Übergang der Bronchien in die Alveolen beträgt etwa 100 cbcm. Dieser „schädliche Raum“ kommt also für den Gasaustausch nicht zur Verwertung.

Atmungsgeräusche.

Wenn man das Ohr an die Brustwand eines ruhig atmenden Menschen legt, so hört man, wenn die Luft in die Alveolen eindringt, ein weiches, schlürfendes Geräusch, gleich einem tonlosen *f* oder *s*, *vesikuläres Atmen*. Über den großen Bronchien der Trachea und dem Kehlkopf hört man ein hauchendes, blasendes Geräusch gleich einem tonlosen *ch*, *bronchiales* oder *tracheales Atmen*.

Rhythmus und Frequenz der Respiration.

Die Atembewegungen gehen unwillkürlich mit vollkommener Regelmäßigkeit vor sich. An die Inspiration schließt sich un-

mittelbar die Expiration (Atemrhythmus). Eine Pause zwischen Expiration und Inspiration scheint im wachen Zustande nicht vorzukommen. Die Expiration dauert etwa nur $\frac{1}{6}$ länger als die Inspiration.

Die Zahl der Atemzüge in der Minute (Atemfrequenz) beträgt beim Erwachsenen etwa 16—19, beim Kind im ersten Lebensjahr etwa 44.

☐ ☐ Auf 1 Atemzug kommen etwa 4 Pulsschläge.

Atemzentrum.

Die Atembewegungen erfolgen unwillkürlich, indem das Zentrum fortwährend gereizt wird.

Das Atemzentrum (d. h. der Ort, von dem aus die Atembewegungen durch Nerven reguliert werden) liegt in der Medulla oblongata am Boden des IV. Ventrikels im hinteren Winkel der Rautengrube und ist paarig, doppelseitig; die beiden Seiten stehen durch Kommissuren mit einander in Verbindung. Zerstörung dieses Atemzentrums bewirkt sofortiges Aufhören der Atembewegungen und augenblicklichen Tod, deshalb wurde es von Flourens *N o e u d v i t a l*, *L e b e n s k n o t e n*, genannt. Einseitige Zerstörung bewirkt Aufhören der Atmung auf der gleichen Seite.

Von diesem Zentrum verlaufen Nerven in den Seitensträngen der gleichen Seite des Rückenmarks (daher Rückenmarksdurchschneidung in dieser Höhe die Atmung ebenfalls aufhebt) zu den Ursprungskernen der motorischen Nerven für die Atemmuskeln. Diese verlassen das Rückenmark durch die vorderen Wurzeln und gehen teils durch III. und IV. Cervicalnerv, Plex. cervicalis, als N. phrenicus zum Zwerchfell, teils durch die Brustnerven als Nn. intercostales zu den übrigen Atemmuskeln. ☐

Das Atemzentrum wird normalerweise nicht reflektorisch, sondern durch in loco wirkende Reize erregt, es ist ein sog. automatisches und rhythmisch tätiges Zentrum.

Der Reiz ist O₂-Mangel und CO₂-Anhäufung im Blut. Das arterielle Blut von normalem CO₂-Gehalt wirkt schon als Reiz und bringt den normalen Atmungsmodus hervor = *E u p n o e*. Wird dagegen das Blut O₂-ärmer und CO₂-reicher, so entsteht *D y s p n o e*, es werden die accessorischen Atemmuskeln, bes. die inspiratorischen, tätig. Bei weiterer Abnahme des O₂ und

Zunahme des CO_2 im Blut treten allgemeine tonische und klonische Krämpfe (E r s t i c k u n g s k r ä m p f e) auf; hierzu kommt Gefäßkrampf, Pulsverlangsamung, Pupillenerweiterung. Schließlich tritt Lähmung des Atmungszentrums, Erstickung, A s p h y x i e ein. Bei sehr langsam eintretendem O_2 -Mangel ist die Dyspnoe weniger heftig, die Krämpfe bleiben aus. Wird dagegen dem normalen Blut eine überschüssige Menge O_2 zugeführt, so hören die Atembewegungen auf, es entsteht A p n o e. Auch die erste Atmung der Neugeborenen wird hauptsächlich durch Dyspnoe nach Aufhebung des Plazentarkreislaufes hervorgerufen.

Lokale Hirndyspnoe durch Abbinden aller vier Hirnarterien (Kußmaul-Tenner'scher Versuch) ruft ebenfalls Atemnot und allgemeine Krämpfe hervor. Auch gewisse Stoffwechselprodukte des tätigen Muskels sollen erregend auf das Atmungszentrum wirken. Dadurch wird erklärt, daß die vermehrte Respiration bei Muskelanstrengung (Arbeitsdyspnoe) anhält, obwohl dabei der durch die Arbeit gesetzte Mehrverbrauch an O_2 nicht bloß gedeckt, sondern sogar überkompensiert wird.

Wärme ruft Dyspnoe hervor, „W ä r m e d y s p n o e“ im Fieber, weil der O_2 -Verbrauch in den Geweben erhöht ist.

Diese unwillkürlichen Atembewegungen können aber auch willkürlich und reflektorisch beeinflußt werden.

W i l l k ü r l i c h kann man die einzelnen Phasen der Atembewegungen bis zu einem gewissen Grade beliebig verlängern oder verkürzen.

R e f l e k t o r i s c h kann das Atemzentrum gereizt werden durch psychische Affekte (Schreck) oder durch sensible Reize (Niesen, Husten). Am bemerkenswertesten ist die reflektorische Beeinflussung durch die

Nn. Vagi.

Durchschneidung eines Vagus hat keine andauernde Störung der Atmung im Gefolge. Nach Durchschneidung beider Vagi tritt hingegen eine beträchtliche Verlangsamung und Vertiefung der Atemzüge ein. Doch bestehen sie selbst rhythmisch fort. Bei jungen Tieren erfolgt nach Durchschneidung beider Vagi sehr bald Erstickung, da mit den Vagi auch die Nn. laryng. inf. durchtrennt werden, und infolge dessen die weichen, durch den

Luftdruck bei der Inspiration zusammengedrückten Kehlkopfknorpel nicht geöffnet werden können. Auch erwachsene Tiere sterben innerhalb 24—48 Std. infolge von Pneumonie, die durch das Eindringen von Speichel und Nahrungsbestandteilen in den unempfindlichen und gelähmten Kehlkopf und in die Lunge erfolgt. Anlegung einer Ösophagusfistel und geeignete Ernährung durch eine Magenfistel erhält die Tiere am Leben.

Reizt man am durchschnittenen Vagus das zentrale Ende, so wird bei schwachen tetanisierenden Strömen die Atemfrequenz gesteigert und die Inspirationstiefe vermindert, bei mittelstarken Strömen tritt Stillstand in Inspirationstellung ein, bei starken Strömen werden die Atembewegungen unregelmäßig. Daraus ergibt sich, daß die Lungenäste des Vagus zentripetale Nerven enthalten, die einen regulierenden Einfluß auf die Atmung haben.

Auch andere Nerven wirken auf die Atmung ein; alle sensiblen und sensorischen Nerven bewirken bei mäßiger Reizung Beschleunigung und Herabrücken des Zwerchfelles zur Inspirationstellung. Spezifisch wirken: Splanchnicus und Laryng. sup., die man als Hemmungsnerven für die Atmung bezeichnet hat.

Wird bei einem Tier mit eröffnetem Thorax die Lunge künstlich aufgeblasen, so tritt tetanische Expirationsbewegung ein; läßt man sie gänzlich kollabieren, so tritt tetanische Inspirationsbewegung ein, „Selbststeuerung der Atmung“. Diese ist erklärt worden durch die Annahme, daß die Lungenäste des Vagus inspirationshemmende Fasern sind. Durch die Ausdehnung der Lunge, wie bei der Inspiration, werden sie gereizt, die Inspiration selbst also gehemmt, es tritt passive Expiration ein. Durch das Zusammenfallen der Lunge, wie bei der Expiration, läßt ihre Reizung nach, es tritt wieder Inspiration ein.

Neben den zentripetalen Fasern enthalten die Lungenäste des Vagus auch zentrifugale Fasern für die Bronchialmuskeln und zwar dilatierende und konstriktorische Fasern. Die Wirkung der letzteren kann reflektorisch von der Schleimhaut des Respirationstraktus erregt werden: normaler Weise von Nase, Pharynx und Larynx aus zum Schutz gegen schädliche Gase, Staub, Fremdkörper; pathologisch von der Lunge aus im Asthma.

8. Atmen, chemisch.

Das venöse Blut tritt in den Lungen mit der eingeatmeten Luft in Berührung; es gibt CO_2 ab und nimmt O_2 auf, es wird arteriell, *Lungenatmung*.

Das arterielle Blut strömt nach den Geweben: in den Kapillaren tritt es mit ihnen in Gasaustausch, es gibt O_2 ab und nimmt CO_2 auf, es wird wieder venös, *innere oder Gewebsatmung*.

A. Lungenatmung.

I. Die Veränderungen, welche die eingeatmete Luft erfährt.

1. Die atmosphärische Luft.

Sie ist zusammengesetzt im Mittel aus

O_2	20·92	Volumprozent
N_2	77·86	„
Argon	1·19	„
CO_2	0·03	„
<hr/>		
	100·00	„

Außerdem sind enthalten: Wasserdampf in wechselnder Menge, Spuren von salpetriger Säure, Ammoniak, Grubengas, und sog. Sonnenstäubchen (Staub, Kohle, Bakterien; diese sind sichtbar in einem Sonnen- oder Lichtstrahl).

Zur Bestimmung der Gase in der Luft dient das Eudiometer: CO_2 wird durch Ätzkali als Kohlensäures Kali, O_2 durch Pyrogallussäure gebunden, der Rest ist N_2 .

Der Wasserdampfgehalt wird mittelst Hygrometer oder Psychrometer bestimmt; er ist abhängig von der Temperatur, so daß eine Luft von 37°C . 42 g pro cbm bis zur Sättigung aufnimmt, eine solche von 0°C . nur 4 g.

Eine Luft, deren Wassergehalt sich der Sättigung nähert, nennt man „feucht“; enthält sie verhältnismäßig nur wenig Wasserdampf, so heißt sie „trocken“.

Die ersten Versuche über die Atmungsgase wurden von Mayow (1670) angestellt, dann von Allan und Pepys, die das Gasometer erfanden. Priestley zuerst, dann Lavoisier zeigten, daß die Luft durch die Atmung in derselben Weise verändert wird, wie durch eine brennende Kerze; sie nannten daher den Atmungsprozeß einen Verbrennungsprozeß. Dulong und Despretz konstruierten unabhängig von einander zuerst einen Respirationsapparat, bei dem die geatmete Luft fort- und neue zugeführt wurde. In verbesserter Weise leisteten dies Regnault und Reiset, und neuerdings der große Respirationsapparat von Pettenkofer in München; noch größer sind die Respirationskammern von Sonden und Tigerstedt und von Atwater und Rosa. Die gewonnenen Ergebnisse sind nun:

2. Die ausgeatmete Luft.

- a) Sie ist wärmer unter gewöhnlichen Bedingungen als die atmosphärische Luft, etwa 37°C . Je kälter also diese ist, um so mehr muß der Körper Wärme an sie abgeben (s. Anhang).
- b) Sie ist für ihre Temperatur mit Wasserdampf gesättigt, der in kälterer Luft als Nebel (tropfbar flüssig) erscheint. Das Blut verdampft also beträchtliche Mengen Wasser in der Lunge. In 24 Std. werden bei Körperruhe durch die Lungen etwa 400 g Wasser ausgeschieden.
- c) Ihr Volumen erscheint größer: das ist aber auf ihre erhöhte Temperatur und dadurch bedingte Expansion zurückzuführen. Reduziert man sie auf Druck, Temperatur und Trockenheit der eingeatmeten Luft, so ist ihr Volumen sogar um $\frac{1}{50}$ kleiner.
- d) Sie ist frei von Sonnenstäubchen, da diese auf der Schleimhaut der Luftwege zurückgehalten werden; sie ist optisch leer.
- e) Sie enthält geringe Mengen von Ammoniak, die aber hauptsächlich von Fäulnisprozessen in der Mundhöhle herrühren.
- f) Sie ist ärmer an O_2 und reicher an CO_2 . In 100

Volumteilen enthalten im Mittel beim Menschen:

Inspirationsluft Expirationsluft Differenz

$\text{O}_2 = 21,$ 16, — 5, d. h. vom Körper aufgenommen.

($\text{O}_2 = 0.04,$ 4, + 4, d. h. vom Körper ausgeschieden.

Dabei ist bemerkenswert: während beim Verbrennen von Kohle in Sauerstoff (Hoffmann's Apparat) dasselbe Volumen CO_2 entsteht, als Volumen O_2 vorhanden war, also $\frac{\text{Vol CO}_2}{\text{Vol O}_2} = 1$ ist, zeigt sich bei der Atmung, daß das aufgenommene O_2 -Volumen größer ist als das ausgeschiedene CO_2 -Volumen, also $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2} =$ ein echter Bruch; dies Verhältnis nennt man den *r e s p i r a t o - r i s c h e n Q u o t i e n t e n*.

Die O_2 -Aufnahme und die CO_2 -Ausscheidung schwankt bei den verschiedenen Tieren. Kleine Tiere haben im allgemeinen eine größere Atmungsintensität als größere, die stärkste zeigen die Vögel, bei Kaltblütern ist sie hingegen sehr gering.

Der Mensch scheidet in 24 Stunden etwa 900 gr Kohlen-säure aus.

3. Die Größe der CO_2 -Ausscheidung

hängt von gewissen Momenten ab, welche in gleicher Weise die Größe der CO_2 Aufnahme beeinflussen:

- a) v o m K o h l e n s t o f f - G e h a l t der Nahrung: bei vegetabilischer Kost ist sie größer, bei Fleischnahrung ist sie kleiner. Beim Hunger sinkt sie schnell auf einen Wert herab, der sich dann konstant hält.
- b) V o n d e r T a g e s z e i t: sie hat eine tägliche Periode, die ihr Maximum nach der Hauptmahlzeit, ihr Minimum am Morgen erreicht.
- c) V o n A l t e r , G e s c h l e c h t u n d K o n s t i t u t i o n: Im Alter nimmt sie ab (s. Anhang); bei Männern, weil den muskelangestrongteren Individuen, ist sie größer.
- d) M u s k e l a r b e i t erhöht sie außerordentlich (um das 5—8 fache); auch die Tätigkeit der Darmmuskeln und Darmdrüsen vermehrt sie, am stärksten nach Genuß von Eiweiß, am wenigsten nach Fettgenuß.
- e) I m S c h l a f ist sie herabgesetzt (um etwa 30 pCt.).
- f) V o n d e r A u ß e n t e m p e r a t u r; ist diese niedrig, so wird von Homiothermen mehr CO_2 ausgeschieden, vielleicht wegen der stärkeren Ventilation der Lungen.

- g) Von der Zahl und Tiefe der Atemzüge; davon ist innerhalb gewisser Grenzen zwar nicht die Bildung, aber die Entleerung des gebildeten, in die Alveolen abgeschiedenen CO_2 abhängig: je schneller und flacher geatmet wird, desto ärmer an Kohlensäure ist jeder einzelne Atemzug, desto mehr Kohlensäure wird aber in der Zeiteinheit nach außen abgegeben. Umgekehrt: Je langsamer und tiefer geatmet wird, desto reicher an Kohlensäure ist jeder einzelne Atemzug, desto weniger Kohlensäure wird aber in der Zeiteinheit abgegeben (s. Anhang).

4. Respiratorischer Quotient.

Wie schon gezeigt, ist derselbe beim Menschen ein echter Bruch, nämlich = 0·8. Daraus folgt, daß ein Teil des eingeatmeten O_2 zu anderen Zwecken als zur Oxydation des Kohlenstoffs verbraucht werden muß, wahrscheinlich zur Oxydation des Wasserstoffs der organischen Verbindungen.

Bei verschiedenen Tieren schwankt der Wert des Quotienten: bei Fleischfressern zwischen 0·7—0·8; bei Herbivoren kann er = 1 werden. Ebenso wird er beim Menschen bei vegetabilischer Kost größer (0·88), bei reiner Fleischkost kleiner (0·78), am kleinsten bei Fettkost (0·71).

Beides erklärt sich daraus, daß, je mehr reiner Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt wird, sich um so mehr der respiratorische Quotient dem Wert 1 nähert. Je mehr Sauerstoff dagegen zur Bildung von Wasser verbraucht wird, um so weniger kann zur Bildung von Kohlensäure verwandt werden, um so kleiner ist daher bei gleichem Sauerstoffverbrauch das Volumen der entstandenen Kohlensäure, um so kleiner auch der respiratorische Quotient. Die Kohlenhydrate z. B. Traubenzucker $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ brauchen O nur zur Oxydation des C zu CO_2 ; zur Oxydation des H zu H_2O enthalten sie schon selbst genügend O. Daher beträgt bei der Verbrennung von Kohlehydraten der respiratorische Quotient = 1. Die Fette dagegen (z. B. Olein $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$) enthalten viel H und wenig O, brauchen also noch viel O; der respiratorische Quotient bei der Verbrennung von Fett beträgt 0·7. In der Mitte steht das Eiweiß; sein respiratorischer Quotient ist = 0·8.

II. Die Veränderungen, welche das Tier bei der Atmung erfährt.

Die wesentliche ist die des Blutes. Dasselbe nimmt O_2 auf und gibt CO_2 ab. Dieser Austausch findet in den Alveolen durch das dünne Epithel derselben und durch das Endothelialrohr der Lungenkapillaren auf dem Wege der Diffusion statt. Er kommt zu Stande infolge der Differenzen zwischen dem Partialdruck der Gase in der Inspirationsluft oder richtiger der Alveolarluft und ihrer Spannung im Blute (cf. S. 102).

Der Partialdruck in der Inspirationsluft beträgt für $O_2 = 160$ mm Hg., für $CO_2 = 0.2$ mm Hg., in der Alveolarluft für O_2 (der darin wahrscheinlich zu etwa 16 Vol.-pCt. enthalten ist) = etwa 128 mm Hg., für CO_2 (die beim Hund zu etwa 18 Vol.-pCt. enthalten ist) = etwa 21 mm Hg.

Die Spannung im venösen Blute beträgt für $O_2 = 21$ mm Hg., für $CO_2 = 41$ mm Hg.

Die **Sauerstoff-Aufnahme** geschieht zunächst vom Plasma; das kann aber gemäß seinem Absorptionskoeffizienten bei $37^\circ C$. nur 0.3 Vol.-pCt. aufnehmen. Diesen O_2 entzieht ihm sofort das Hämoglobin der roten Blutkörperchen vermöge seiner chemischen Affinität zum O_2 . Nun nimmt das Plasma wiederum neuen O_2 auf. Indem dieser Vorgang sich wiederholt, wird die Absorptionsfähigkeit des Blutes gegenüber der des bloßen Plasma auf das 60 fache gesteigert. Dazu kommt die Schnelligkeit des Blutumlaufs; jedes Blutkörperchen wird 1—2 mal in der Minute durch die Lungen getrieben. Mit dem O_2 verbindet sich das Hämoglobin chemisch zu Oxyhämoglobin (s. Blut). Wegen dieser chemischen Bindung ist der O_2 -Gehalt des Blutes bis zu einer gewissen Grenze unabhängig vom O_2 -Gehalt der Luft (s. u.).

Die **Kohlensäure-Abgabe** geschieht aus dem Lungenblut einfach nach den Gesetzen der Diffusion. In den Alveolen ist, wie gezeigt, der CO_2 -Gehalt größer als in der atmosphärischen Luft, aber wäre er selbst beständig so groß wie bei der Expiration, d. h. = 4.0 Vol.-pCt., so würde doch der Partialdruck derselben nur 30 mm Hg. betragen, also noch immer beträchtlich hinter der CO_2 -Spannung im venösen Blut (= 41 mm Hg.) zurückbleiben. Außerdem soll die Sauerstoffaufnahme die CO_2 -Spannung im Blute erhöhen, dadurch also die Austreibung der

CO₂ begünstigen, so daß der eine Atmungsvorgang den anderen fördert. Es findet demnach eine *beständige, d. h. während Expiration und Inspiration anhaltende, Abdunstung der CO₂* statt, nur daß sie bei der Inspiration (wegen der geringeren CO₂-Spannung in der Alveolarluft) größer ist, als bei der Expiration. Und da bei der Expiration die Lungen nicht luftleer werden, vielmehr immer noch die Residualluft zurückbleibt, so sistiert die Abdunstung nie, sondern geht dauernd vor sich, was für die Ausgiebigkeit des Gaswechsels von großer Bedeutung ist.

B. Die innere oder Gewebsatmung.

Die **Sauerstoff-Abgabe** aus den Kapillaren kann erfolgen, weil die Sauerstoff-Spannung der Gewebe infolge ihrer *beständigen Sauerstoff-Zehrung* = Null ist. Die Gewebe wirken auf das Hämoglobin, wie das Vakuum einer Luftpumpe, es entsteht *reduziertes Hämoglobin*.

Die **Kohlensäure-Aufnahme** in die Kapillaren tritt ein, weil in den Geweben eine *Anhäufung von CO₂* stattfindet. Ihre Spannung daselbst beträgt etwa 58 mm Hg gegenüber 22 mm Hg im arteriellen Blut.

Sauerstoffspannung in mm Hg.			
—————→			
Atmosph. Luft	Alveolarluft	Blut	Gewebe
160	128	(ven. 21) art. 80	0
Kohlensäurespannung im mm Hg.			
←————			
Atmosph. Blut	Alveolarluft	Blut	Gewebe
0·2	21	(art. 22) ven. 42	59

In den lebendigen Zellen der Gewebe selbst also und nicht im Blute finden die Oxydationsvorgänge des tierischen Organismus statt. Wie sie zu Stande kommen, ist noch unbekannt.

C. Hautatmung.

Auch von der äußeren Haut werden Gase aufgenommen und abgegeben, freilich in äußerst geringem Maße, Perspiratio insensibilis. Einen nennenswerten Betrag erreicht nur die Ab-

gabe der CO_2 , in 24 Std. etwa 5—8 gr. Die tötliche Wirkung des Firnisses der Haut kann daher nicht auf der Behinderung der Hautatmung beruhen, nicht auf einem Retentum spirabile; sie rührt vielmehr her von dem Sinken der Eigentemperatur (s. Wärmeregulation).

Beträchtlich ist die Wasserabgabe durch die Haut; sie beträgt in 24 Std. 400—600 gr und kann bei starker Körperarbeit bis zum 5 fachen Betrage steigen.

D. Bedeutung der Veränderung der Inspirationsluft.

Schließlich sei noch die Frage erörtert, welchen Einfluß Veränderungen der Inspirationsluft haben.

Reiner **Sauerstoff** ist allein von allen Gasen fähig, das Leben zu unterhalten. Er kann in der Respirationsluft bis auf 50—70 Vol.-pCt. vermehrt oder bis auf 14 Vol.-pCt. vermindert werden, ohne daß irgend ein Einfluß wahrzunehmen wäre: es bleibt die O_2 -Aufnahme und die CO_2 -Ausscheidung unverändert. Sinkt aber der O_2 -Gehalt bis auf 10 Vol.-pCt., so tritt Dyspnoe, sinkt er bis auf 7 Vol.-pCt., so tritt der Tod durch Erstickung, Suffokation, ein. Dem entsprechend können Menschen in einer Höhe von 4000 m (Anden) = 480 mm Hg noch gedeihen. In einer Höhe von 380 mm Hg ist dies nicht mehr möglich, da dann der O_2 -Partialdruck (s. S. 97) weniger als 80 mm Hg beträgt.

Der Sauerstoff kann durch kein anderes Gas ersetzt werden.

Doch gibt es **indifferente Gase**, die zwar unfähig sind, das Leben zu unterhalten, die aber ohne Schaden geatmet werden können, wenn genügend O_2 vorhanden ist: Stickstoff, Wasserstoff, Grubengas.

Diesem gegenüber gibt es **schädliche Gase** von denen einige (wie Chlorgas, Stickoxyd, schweflige Säure, salpetrige Säure, rauchende Salzsäure, Ätzzammoniak) **uneinatembar** sind, weil sie sofort Stimmritzenkrampf (Mm. crico-arytaenoidei laterales, Mm. arytaenoidei und Mm. thyreo-arytaenoidei) erzeugen; andere sind zwar **atembar** aber in gewissen Mengen **giftig**, selbst wenn daneben reichlich O_2 vorhanden ist. Dazu gehören:

Kohlensäure CO_2 , wirkt zu 1 Vol.-pCt. noch nicht lästig, zu 4 Vol.-pCt. nach einiger Zeit tödlich, zu 20 Vol.-pCt. schnell tödlich.

Kohlenoxyd CO , entsteht bei ungenügender Verbrennung der Kohle, im Kohlendunst, ferner im Leuchtgas; wirkt schon schädlich, wenn es zu $\frac{1}{1000}$ Teil in der Atemluft enthalten ist. Seine giftige Wirkung beruht darauf, daß für jedes in das Blut eintretende CO -Volumen ein gleiches O_2 -Volumen austritt. Es entsteht CO -Hämoglobin (s. d.), das Blut wird kirschrot.

Stickstoffoxydul N_2O ; rein geatmet, führt es in kurzer Zeit zur Erstickung; dagegen mit Sauerstoff gemischt (2:1) kann es längere Zeit geatmet werden und betäubt (Lachgas, Lustgas).

Schwefelwasserstoff H_2S führt zum Tode durch Herzstillstand. Die Organe sehen schwärzlich-braun aus.

9. Physiologie des Herzens.

Bedeutung des Herzens.

Damit das Blut seiner Aufgabe, Vermittler des Stoffwechsels zu sein, genügen kann, muß es 1. zu allen Organen gelangen können, es muß verteilt werden, 2. es muß in stetem Austausch mit den Organen bleiben, es muß beständig bewegt werden. „Alle Blutverteilung geschieht durch die Gefäße, alle Blutbewegung vom Herzen“ (Henle).

Die Verteilung

geschieht so, daß das hellrote Blut aus der linken Herzkammer durch Aorta und Körperarterien zu den Kapillaren und damit in alle Teile des Körpers (ausgenommen die Lungen) gelangt, von da strömt es dunkelrot zurück durch die Venen und rechten Vorhof in die rechte Herzkammer (sog. *g r o ß e r* oder *K ö r p e r - k r e i s l a u f*); von da gelangt es durch die Lungen hindurch, durch die Lungen-Arterien, -Kapillaren und, wieder hellrot geworden, durch die Lungen-Venen in den linken Vorhof (sog. *k l e i n e r* oder *L u n g e n k r e i s l a u f*) und in die linke Herzkammer zurück. (Harvey 1628.) Jedes Blutteilchen, das den Körperkreislauf passiert hat, muß also, bevor es in ihn zurückkehrt, den Lungenkreislauf durchströmen. Die Verwandlung des hellroten arteriellen Blutes in dunkelrotes venöses Blut geht also in den Körperkapillaren vor sich, der umgekehrte Vorgang in den Lungenkapillaren. Hierzu kommt noch ein drittes, in den großen Kreislauf eingeschaltetes System: die aus der Vereinigung der Baueingeweidevenen entstandene V. portae lösen sich innerhalb der Leber mit der A. hepatica noch einmal in

Kapillaren auf. Aus diesen geht die V. hepatica hervor und ergießt sich in die V. cava inf. (sog. Intermediärer oder Pfortaderkreislauf).

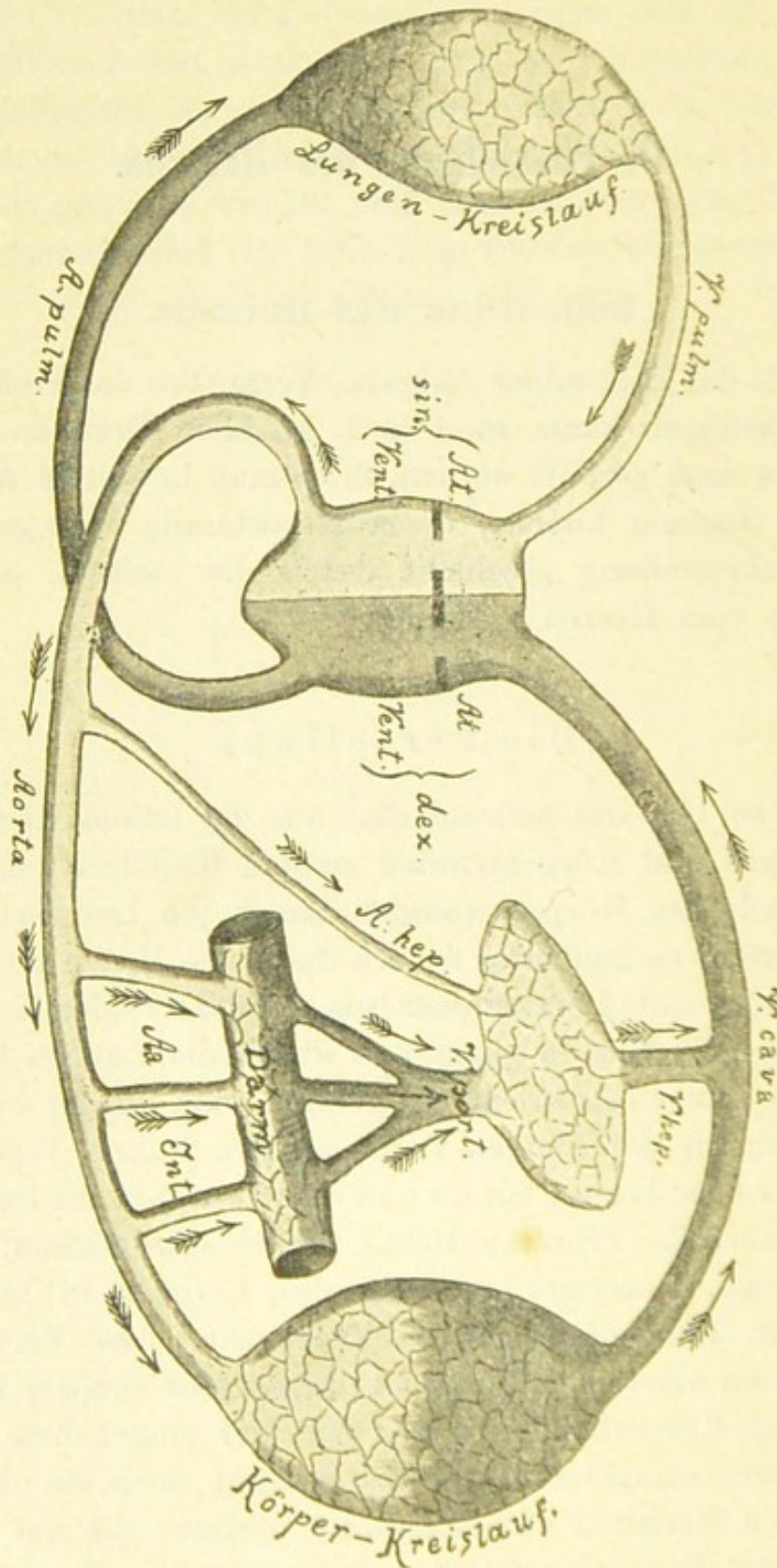


Fig. 15. Schema des Kreislaufs.

Die Bewegung

bewirkt das Herz dadurch, daß es in dem Gefäßsystem Druckdifferenzen schafft. Und das Blut strömt, wie jede Flüssigkeit in einem Röhrensystem, von Punkten höheren Druckes zu Punkten niederen Druckes. Indem das Herz als muskulöses Hohlorgan durch seine von den Venenmündungen zu den Kammern peristaltisch fortschreitende Kontraktion seinen Inhalt in die von ihm ausgehenden Gefäße entleert, entsteht dort Druckerhöhung; bei seiner Erschlaffung saugt es sich wieder aus den eintretenden Gefäßen voll. Das Herz stellt demnach eine Druck- und Saugpumpe dar.

Kontraktion (*Systole*) und darnach Erschlaffung (*Diastole*) (zusammen = einer einfachen, aber sehr verlängerten Zuckung) gehen unaufhörlich in rhythmischer Folge vor sich; sie beginnen schon im Fötalleben (beim Hühnchen schon vom 3. Tage an, beim Menschen von der 3. Woche an). Im Tode stehen zuerst die Kammern, später die Vorhöfe still, von den Vorhöfen ruht wiederum zuerst der linke Vorhof, dann der rechte, und in ihm zuletzt das Herzrohr, das *primum vivens et ultimum moriens* (Haller).

Kreislauf des Fötus. Die beiden Aa. umbilicales, die Hauptäste der Aa. iliacae, leiten das Blut des Fötus durch den Nabelstrang in die Placenta, woselbst der Austausch mit dem mütterlichen Blut stattfindet. Die V. umbilicalis, die hellere Blut (es zeigt auch die beiden Streifen des Oxyhämoglobins) als die Nabelarterie führt, leitet das arteriell gewordene Blut durch den Nabelstrang zur Leber. Ein Teil davon geht durch die Leber und die V. hepatica in die V. cava inf., ein anderer Teil durch den Duct. vernosus Arantii direkt in die V. cava inf., die auch das venöse Blut aus der unteren Extremität enthält. Dies gemischte (arterielle und venöse) Blut führt die V. cava inf. zum rechten Vorhof, wo es sich mit dem aus der V. cava sup. eintretenden venösen Blut mischt, doch fließt letzteres zumeist in die rechte Kammer, während infolge von Klappenvorrichtungen das gemischte Blut zumeist durch das For. ovale in die linke Vorkammer strömt. Das aus dem rechten Herzen ausgetriebene Blut gelangt, da die Lungen noch nicht entfaltet sind, oder nur wenig aufnehmen, zum Teil durch den Duct. art. Botalli in die Aorta desc. Das gemischte, aber mehr arterielle Blut der V. cava inf. gelangt durch das For. ovale in die linke Vorkammer, in die linke Kammer, in die Aorta, aus deren pars ascend. die Aa. carotides und subclaviae abtreten, die also stärker arterielles Blut enthalten als das Stromgebiet der Aorta descendens, wozu auch die Aa. umbilicales gehören, da ja durch den Duct. Botalli noch das venöse Blut aus der V. cava sup. sich zugemischt hat. Es ist also die obere Körperhälfte in bezug auf die Er-

nährung günstiger gestellt, eilt daher auch in den früheren Perioden der Entwicklung der unteren voraus. Der arterielle Druck beim Fötus ist kaum halb so groß, der venöse höher, daher die Druckdifferenz zwischen beiden kaum halb so groß als beim erwachsenen Tier.

Gestalt und Lage.

Das Herz befindet sich in der Brusthöhle in dem fibrösen Herzbeutel an den großen Arterien aufgehängt; sein rechter Rand sieht mehr nach vorn, sein linker mehr nach hinten. Es ist zum größten Teil von den Lungen bedeckt und liegt nur zum kleineren Teil mit seiner Vorderfläche der Brustwand an. Es enthält 4 Höhlen: 2 Vorhöfe, Atrien, und 2 Kammern, Ventrikel. Rechter Vorhof + rechte Kammer = rechtes Herz; linker Vorhof + linke Kammer = linkes Herz. Rechtes und linkes Herz sind durch eine Scheidewand, das Septum, getrennt, das zwischen den Kammern eine gewölbte Wand bildet, deren Konkavität der linken Kammer zugekehrt ist.

Daher ist der Querschnitt der linken Kammer elliptisch, der rechten sichelförmig, ihre Wandungen verhalten sich in ihrer Stärke etwa wie 3:1.

Die Wandungen der Vorhöfe sind sehr viel dünner und schlaffer als die der Kammern (s. Anhang).

Bau.

An der Herzwand unterscheidet man, von außen nach innen gehend, Perikardium (= Epikardium), Myokardium, Endokardium. Das Myokardium bildet die Hauptmasse des Herzens und besteht aus quergestreifter Muskulatur, trotzdem die Bewegungen des Herzens unwillkürlich, d. h. dem Willen nicht unterworfen sind.

Der Übergang vom Vorhof zur Kammer erfolgt durch das Ostium atrioventrikuläre (= Ostium venosum), gebildet vom Annulus fibrosus. Dieser scheidet jederseits die Muskulatur des Vorhofs von der der Kammer; doch nicht vollständig. Einzelne wenige Muskelfasern, die Blockfasern, vermitteln eine Kontinuität zwischen Vorhof- und Kammer-Muskulatur.

Die Anordnung der Muskelfasern in den Vorhöfen und Kammern ist eine sehr komplizierte. Sie verlaufen z. T. transversal, d. h. parallel dem Annulus fibrosus, z. T. senkrecht dazu,

also vertikal, z. T. mehr oder weniger schräg, z. T. schließlich in Achtertouren und spiralförmig um die Kammer herum. Dabei bleiben in den Kammern die Züge nicht bloß in einer Ebene, sondern die verschiedenen Schichten anastomosieren und verflechten sich miteinander. Die äußeren Schichten der Kammern einerseits und der Vorhöfe andererseits umfassen beide Hälften, rechte und linke, gemeinschaftlich. Daher kontrahieren sich die beiden Kammern gemeinsam und ebenso die beiden Vorhöfe. Die Herzspitze wird allein von der Muskulatur der linken Kammer eingenommen. Hier entsteht durch die dichte Verflechtung verschiedener Faserzüge ein Wirbel, Vortex cordis. Von den Vorhöfen setzen sich zirkulär verlaufende Muskelzüge auch auf die Anfänge der großen Venen fort.

Die Muskelbündel, welche die Herzhöhlen begrenzen, springen mehr oder weniger frei in das Innere derselben vor, in den Kammern in verschiedenster Richtung = Trabeculae carnae, in den Vorhöfen mehr parallel, wie die Zähne eines Kammes = Mm. pectinati.

Eigentümlichkeiten der Herzmuskulatur.

a) Histologisch.

Die Muskelfasern: 1. haben kein Sarkolemm, 2. sind reich an Sarkoplasma, 3. haben schmalere Fibrillen, die eine dichtere Querstreifung zeigen, 4. anastomosieren vielfach, 5. zerfallen in Zellenterritorien, (bei gewöhnlicher quergestreifter Muskulatur: Kerne ohne bestimmte Anordnung, in großer Zahl an der Oberfläche der Fasern dicht unter dem Sarkolemm; bei Herzmuskulatur: Kerne im Innern der Fasern annähernd zentral, in gleichen Abständen, so daß jedem Kern ein gewisses Zellenterritorium entspricht). Nach neueren Untersuchungen werden die Zellgrenzen vorgetäuscht durch Kittstreifen, welche als Schaltstücke die Fibrillen zusammenhalten; diese laufen durch die Zellgrenzen hindurch und bilden durch Anastomosen ein plexusartiges Kontinuum. 4. Die Muskelfasern der einzelnen Herzabschnitte weisen unter einander Verschiedenheiten auf; z. B. sind die der Vorhöfe (beim Frosch) weniger verästelt und schlanker als die der Kammern.

b) Physiologisch.

1. Jeder überhaupt wirksame Reiz ruft am Herzmuskel immer eine maximale Kontraktion hervor, während bei den übrigen quergestreiften Muskeln bei direkter Reizung die Größe der Kontraktion mit der Größe des Reizes wächst. „Alles-oder-Nichts-Gesetz.“

2. Der Herzmuskel verliert während seiner Kontraktion vollkommen seine Erregbarkeit. Dieses Stadium der Nicht-Reizbarkeit nennt man das „refraktäre Stadium“.

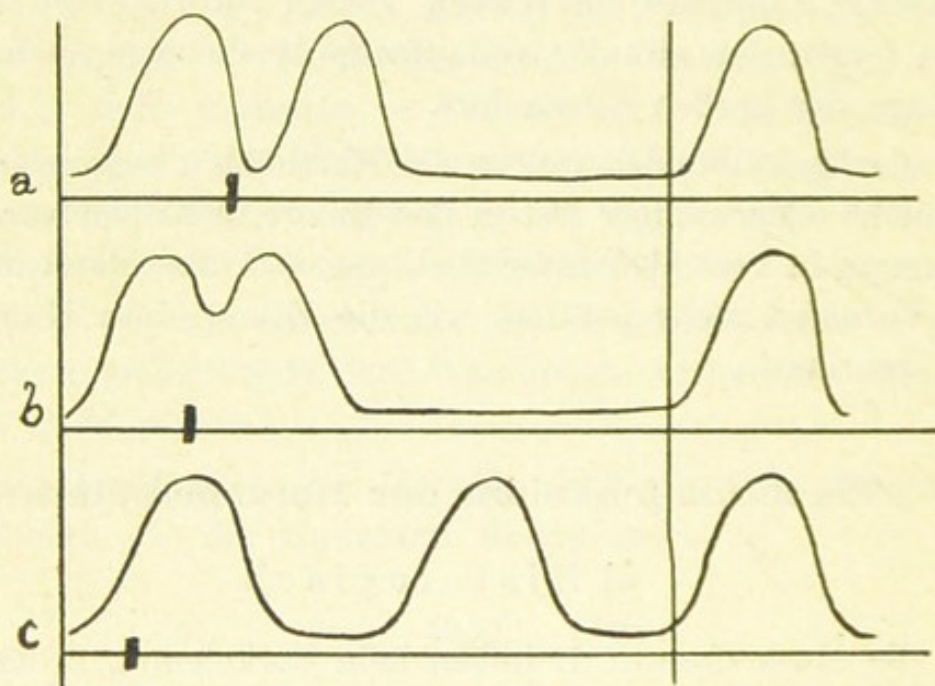


Fig. 16. Wirkung eines Induktionsreizes; bei a und b fällt der Reiz in das Stadium der Erschlaffung, es erfolgt eine Extrasystole, und darauf tritt eine kompensatorische Pause ein; bei c fällt der Reiz in die refraktäre Phase, keine Extrasystole erfolgt. — Von links nach rechts zu lesen.

3. Aus diesem Grunde ist der Herzmuskel normaler Weise nicht tetanisierbar; denn immer muß erst das Stadium der Kontraktion abgelaufen, das Stadium der Erschlaffung begonnen haben, ehe ein Reiz wieder wirksam werden kann. Wechselströme von schneller Frequenz rufen also nur rhythmische Kontraktionen hervor, die schließlich in „Wogen und Wühlen“ übergehen.

4. Im Stadium der Erschlaffung nimmt die Erregbarkeit wieder zu. Trifft den Muskel dann ein Reiz, so ist die Kontrak-

tion um so größer, je später die Reizung erfolgt. Da der auf eine solche Extrasystole folgende natürliche Reiz in das refraktäre Stadium der Extrasystole fällt, so bleibt die sonst an dieser Stelle einsetzende Kontraktion aus; es folgt eine Pause bis zum Moment des nächsten natürlichen Reizes, „kompensatorische Pause“, die also länger ist als das gewöhnliche zwischen zwei Kontraktionen liegende Intervall. Dabei ist es gleichgültig, ob eine oder mehrere Extrasystolen vorangehen; es erhält sich immer die physiologische Reizperiode. Dies Gesetz gilt für Kammer und Vorkammer nicht aber für das Sinusgebiet.

5. Die Muskelfasern leiten die Erregung weiter. Von einer lokal begrenzten Reizstelle läuft die Kontraktion wellenartig über das ganze Herz hin. Eine solche Kontraktionswelle kann von jedem Punkte in jeder Richtung durch die ganze Muskulatur sich fortpflanzen. Ihre Geschwindigkeit beträgt beim Frosch 100—200 mm in der Sek. (bei den Skelettmuskeln des Frosches 3 m in der Sek.), sie wird durch Abkühlung stark herabgesetzt. Die Leitungsfähigkeit ist in den einzelnen Herzabschnitten verschieden, am langsamsten in dem die Vorhöfe und Kammern verbindenden Teil (den Blockfasern).

6. Bei rhythmischer Reizung des ruhenden Herzmuskels (Herzspitze) mit gleich starken Einzel-Induktionsschlägen steigen die aufeinander folgenden Zuckungshöhen bis zu einer gewissen Zahl stetig an, „Phänomen der Treppe“.

7. Dauerreize (chemische, mechanische, galvanische) beantwortet der Herzmuskel mit rhythmischen Kontraktionen.

8. Der Herzmuskel besitzt die Fähigkeit der automatischen rhythmischen Reizerzeugung (s. u. S. 144).

Reizbarkeit, Kontraktilität, Leitungsfähigkeit und Automatie hat man als die vier Grundvermögen der Herzmuskelsubstanz bezeichnet.

Klappen.

Damit der Blutstrom im Herzen sich stets in der bestimmten gleichen Richtung fortbewege, nämlich von den Vorhöfen nach den Kammern und von da nach den Arterien, bedarf es besonderer Apparate, der Klappen oder Ventile.

a) Die *Valvulae atrioventriculares* (= Segel-ventile).

Sie liegen an der Grenze von Vorhof und Kammer, verhindern also bei der Systole der Kammern das Regurgitieren des Blutes aus diesen in die Vorhöfe und damit in die Venen. Sie sind Duplikaturen des Endokards, verstärkt durch Faserzüge vom Annulus fibrosus. Jede Valvula ist in Zipfel gespalten. Jeder Zipfel stellt ein gleichschenkliges Dreieck dar, dessen Basis im Annulus fibrosus inseriert, während die Spitze des Dreiecks in die betreffende Kammer hineinhängt. Von den Schenkeln des Dreiecks (= freiem Rande der Klappe) und der Spitze gehen Sehnenfäden, *Chordae tendineae*, zu den aus der Kammerwand warzenförmig hervorspringenden *Mm. papillares* (zwischen je 2 Zipfel ein *M. papillaris*). Man vergleicht diese Klappen mit Segeln, die *Chordae tendineae* mit den das Segel fixierenden Tauen. Wenn die Vorhöfe sich kontrahieren, sucht das eingeschlossene Blut durch die freien Öffnungen zu entweichen. Die Einmündungen der Venen sind so gut wie verschlossen, da ja hier die Kontraktion der Muskulatur beginnt. Es bleibt also nur das Ostium atrioventriculare dem ausweichenden Blut offen. Während die Kammer sich nun füllt, tritt schon das Blut zwischen Klappe und Wand, entfernt die Klappe (und zwar zuerst ihren basalen Teil) von der Wand und nähert die Klappen einander, die Klappen werden „gestellt“. Wenn nun die völlig gefüllte Kammer anfängt, sich zu kontrahieren, werden die Klappen vollständig geschlossen. Die Klappen würden durch den während der Kammerkontraktion herrschenden Druck in den Vorhof hineingeschlagen werden, wenn nicht zugleich mit der Kammerkontraktion auch die *Mm. papillares* (= ein Teil der Kamtermuskulatur) sich durch Kontraktion verkürzten und die Klappen im Ostium atrioventriculare fixierten.

Am rechten Ostium atrioventriculare hat die Klappe 3 Segel (Zipfel) = *Valvula tricuspidalis*: ein vorderes, ein hinteres und ein am Septum ventriculorum gelegenes Segel, also auch 3 Papillarmuskeln. Am linken Ostium finden sich nur 2 Segel = *Valvula bicuspidalis* oder *mitralis*: ein vorderes, Aortensegel, und ein hinteres, Vorhofsegel also zwei Papillarmuskeln. Die Zipfelränder der *Valvula tricuspidalis*

bilden von oben gesehen beim Schluß ein Y, die der Valvula tricuspidalis eine (annähernd) grade Linie.

b) Die Valvulae semilunares (= Klappen-ventile).

Jede derselben bildet mit der Arterienwand eine Tasche (Sinus Valsalvae), in der sich das zurückströmende Blut fängt. Dadurch nähern sich die freien, konkaven Ränder (jeder von ihnen wird durch den in der Mitte befindlichen Nodus Arantii in die beiden Lunulae geteilt), legen sich aneinander in Y-Form und stellen den Verschluß der Arterie gegen den Ventrikel her. Die beiden Arterien, Aorta und A. pulmonalis, haben je 3 Klappen (s. Figur). Bei der Anlagerung treten nicht bloß die freien Ränder zusammen, sondern auch noch ein Teil der nach dem Ventrikel zugekehrten Fläche der Klappen („Anlagerungsteile“).



Fig. 17.

Bedeutung der Vorhöfe.

Sie dienen:

1. als Streichmaße. In der Diastole wird das aus den Venen langsam und stetig fließende Blut in der für die schnelle vollständige Füllung der Kammern nötigen Menge gesammelt.

2. als Klappensteller. Durch die Systole der Vorhöfe wird das Blut unter Druck in die Kammern getrieben, dadurch werden die Segelventile, (s. o.) von der Kammerwand entfernt und einander genähert, „gestellt“.

3. zur Arbeitersparnis. Es wird durch den erhöhten Druck des eintretenden Blutes die Kammermuskulatur gespannt. Die Arbeitsgröße eines schon in der Ruhe gespannten Muskels ist aber beträchtlich erhöht.

Kapazität der Herzhöhlen.

Die mittlere Blutmenge, welche bei Körperruhe durch die Kontraktion der Kammern in die Vorhöfe geworfen wird, und

durch die Kontraktion der Kammer in die Atrien, das Schlagvolumen, beträgt im Mittel

75 ccm = 80 g Blut = $\frac{1}{66}$ der gesamten Blutmenge; nach früheren Angaben 180 ccm, das ist aber die maximale Blutmenge, welche die Kammer überhaupt fassen kann. Bei Körperarbeit kann mit der Schlagzahl auch das Schlagvolumen (bis auf 2—3 fache) steigen. Dadurch, daß unter normalen Bedingungen beide Kammern dieselbe Kapazität haben, sowie durch ihre synchrone Tätigkeit wird verhindert, daß es im Lungen- oder im Körperkreislauf zur Blutstauung bez. zur Blutleere kommt.

Diastole.

In der Diastole stellt das Herz einen stark abgeplatteten schiefen Kegel dar, dessen Basis (= Kammer und Vorhofsgrenze, äußerlich der Sulcus circularis cordis) eine Ellipse ist mit großer transversaler und kleiner sagittaler Achse.

Die Füllung des Herzens in der Diastole wird gefördert durch den negativen intrathorakalen Druck, herrührend von der elastischen Kraft der Lungen (s. S. 113), ferner durch den Uebergang der Kammerwand in die Diastole (die Kammer selbst wirkt saugend bei der Diastole) und schließlich durch das Herabrücken der Herzbasis (s. u.) für die Vorhöfe und durch die Systole der Vorhöfe für die Kammern.

Systole.

In der Systole wird die Herzbasis nahezu kreisrund (der große Ellipsendurchmesser wird fast um $\frac{1}{3}$ verkleinert), die Höhe (Längsachse) wird verkürzt, die Herzspitze emporgehoben.

Bei der Verkürzung der Längsachse bleibt die Herzspitze an ihrem Orte, nur die Basis nähert sich ihr, rückt also herab. Hierdurch wird eine saugende Wirkung ausgeübt, und damit die Füllung der in Diastole befindlichen Vorhöfe aus den großen Venen begünstigt.

Außerdem wird das ganze Herz etwas um seine Längsachse von hinten nach vorn gedreht im Sinne der Supination der rechten Hand, weil die Aorta und die A. pulmonalis, an denen das Herz aufgehängt ist, die aufsteigende Spirale, die sie miteinander bilden, bei ihrer Füllung aufzurollen streben.

Die Kontraktion des Herzens beginnt an den beiden Einmündungstellen der großen Venen in die beiden Vorhöfe, geht von da peristaltisch zuerst auf die beiden Vorhöfe, dann auf die beiden Kammern über.

Die beiden Vorhöfe kontrahieren sich also gleichzeitig, isochron, ebenso die beiden Kammern. Während der Systole der beiden Vorhöfe sind die beiden Kammern in Diastole und umgekehrt.

Auch innerhalb der einzelnen Herzabschnitte, Vorhöfe bez. Kammern, findet die Kontraktion nicht an allen Stellen zugleich statt, sondern breitet sich wellenartig in der oben angegebenen Richtung aus („Peristaltik des Herzens“).

Rhythmus und Frequenz der Herzbewegungen.

Auf die Systole der Vorhöfe folgt unmittelbar ihre Diastole, daran schließt sich eine Pause bis zum Beginn der nächsten Vorhofsystole. Ebenso folgt bei den Kammern: Systole, Diastole, Pause. Die Systole der Kammern setzt auf der Höhe der Systole der Vorhöfe ein. Der Beginn der Pause bei den Kammern fällt zusammen mit dem Ende der Pause bei den Vorhöfen; es kann daher für eine kurze Zeit (gemeinschaftliche Pause) das ganze Herz sich in Ruhe befinden.

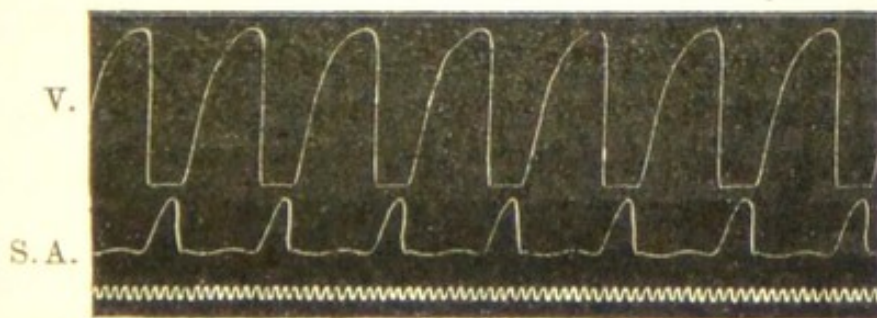


Fig. 18. Myogramm vom Frosch mittelst der Suspensionsmethode aufgenommen. V. = Ventrikel, S.A. = Sinus u. Atrium. 1 St. Schw. = 0·2 Sek.

Die Zeit vom Beginn einer Vorhofsystole bis zum Beginn der nächsten nennt man eine Herzperiode. Sie beträgt beim erwachsenen Mann etwa 0·8 Sek. Die Systole der Vorhöfe beträgt 0·1, die der Kammern 0·4 Sek.

Die Zahl der Herzschläge unterliegt beträchtlichen Variationen. Diese betreffen der Hauptsache nach die Pause,

die Dauer der Systole wird selbst bei erheblichen Schwankungen der Frequenz nur wenig verändert.

Beim erwachsenen Menschen beträgt die Zahl der Herzschläge in der Minute 75. In der Jugend ist die Frequenz größer (beim Fötus 140—150), ebenso zeigt sich im Alter eine geringe Zunahme. Außer dieser säkularen Periode zeigt die Herzfrequenz auch eine tägliche: am größten ist sie nach der Hauptmahlzeit. Ferner ist sie abhängig von der Körperlänge (je größer, je geringer), vom Geschlecht (bei weiblichen Individuen häufiger), von der Körperbewegung (schon im Gehen größer, als im Sitzen und Liegen, kann bei starker Anstrengung bis auf das Doppelte steigen), ganz besonders von psychischen Einflüssen. Ferner ist sie in der Inspiration erhöht, bei der Expiration vermindert; sie sinkt im Schlaf, im Hunger, in der Kälte, sie steigt bei vermindertem Luftdruck und vermehrter Atemfrequenz; sie ist erhöht im Fieber. Bei den verschiedenen Tieren variiert die Frequenz innerhalb weiter Grenzen; Vögel haben eine hohe Frequenz (120—180), Fische und Amphibien eine geringe (Frosch 60, Schildkröte 20), s. Anhang.

Um den Rhythmus zu studieren, läßt man das Herz seine Tätigkeit aufschreiben. Dies geschieht

- a) auf myographischem Wege: Direkte Registrierung der Muskelkontraktion; am einfachsten, indem die verschiedenen Teile des bloßgelegten Herzens an einem Schreibhebel ziehen (Suspensionsmethode);
- b) auf tonographischem Wege: Messung des Druckes in den verschiedenen Herzhöhlen mittelst Hg-Manometers;
- c) durch Registrierung der Volumenänderungen, die das Herz bei seiner Kontraktion in einem luftdicht abgeschlossenen Raum hervorbringt.

Auf diese Weise erhält man Kurven: Kardiogramme.

Die Druckverhältnisse im Herzen.

Der Druck in den Kammern wird gemessen dadurch, daß man eine Kanüle von der A. Carotis in das linke Herz, von der V. jugularis in das rechte Herz schiebt und sie mit einem elastischen Manometer verbindet. Die erhaltene Kurve zeigt,

daß der Druck in den Kammern zuerst sehr steil ansteigt, dann sich kurze Zeit auf der Höhe hält oder nur sehr langsam weiter wächst und darauf plötzlich abfällt. Das Druckmaximum beträgt in der linken Kammer etwa 200 mm Hg., in der rechten nur etwa $\frac{1}{3}$ davon.

Die Kammer entwickelt bei ihrer Kontraktion zuerst nur Spannung auf die eingeschlossene Blutmenge; ist die Spannung so groß geworden, daß sie den auf die Semilunarklappen wirkenden Druck überwiegt, so öffnen sich die Klappen, und dem Blut wird jetzt lebendige Kraft der Bewegung erteilt, es wird herausgetrieben. Der Herzmuskel arbeitet nach dem Überlastungsverfahren. Die Zeit vom Beginn der Kammersystole bis zur Öffnung der Semilunarklappen heißt *A n s p a n n u n g - z e i t*, die Zeit von der Eröffnung bis zum nächsten Schluß der Semilunarklappen heißt *A u s t r e i b u n g z e i t*; die erstere beträgt etwa $\frac{1}{5}$ der ganzen Systole.

In den Vorhöfen sind die Druckschwankungen erheblich kleiner.

Begleiterscheinungen der Herztätigkeit.

1. M e c h a n i s c h e: d e r S p i t z e n s t o ß.

Während der Zusammenziehung der Ventrikel sieht man an der Stelle der **Herzspitze**, d. h. im 5. linken Intercostalraum zwischen Parasternal- und Mamillarlinie die Herzwand pulsieren, und die aufgelegte Hand fühlt dort eine Erschütterung, den Spitzenstoß (Herzstoß).

Die Ursache desselben ist die plötzliche Erhärtung des Herzens und die Erhebung der Herzspitze. Außerdem werden als Ursachen angeführt: der bei der Austreibung des Blutes nach hinten und oben erfolgende Rückstoß des Herzens in entgegengesetzter Richtung (wie bei einer Turbine) nach unten und vorn; ferner die erwähnte Supinationsbewegung des Herzens.

Auch den Spitzenstoß kann man sich graphisch registrieren lassen, und erhält ebenfalls ein Kardiogramm.

2. A k u s t i s c h e: H e r z t ö n e.

Man hört zwei **Herztöne** an der Brustwand über dem Herzen:

Der erste Herzton dumpf, tief (dem *g* entsprechend), gedehnt, fällt zeitlich mit dem Herzstoß, also mit der Systole der Kammern zusammen, „Systolischer Ton“. Er ist über den Kammern, am stärksten über der Herzspitze zu hören. Da er auch am blutleeren Herzen auftritt, und ferner auch, wenn man den Schluß der Segelventile verhindert, kann er nicht oder nur zum kleinen Teil von der Spannung der Segelventile herrühren. Er ist hauptsächlich ein Muskelton.

Der zweite Herzton, kürzer, heller (dem *c* entsprechend), entsteht beim Beginn der Kammer-Diastole, „diastolischer Ton“. Er ist ein reiner Klappenton, durch Spannung der Taschenventile bei ihrem Schluß, daher am deutlichsten über der Aorta und A. pulmonalis im 2. Intercostalraum rechts bez. links neben dem Sternum.

3. Elektrische: Aktionstrom.

Infolge der Muskelkontraktion bei der Systole entsteht jedesmal ein Aktionstrom (s. Muskelphysiologie). Derselbe ist am bloßgelegten Herzen mittelst des stromprüfenden Nerv-Muskelpräparates vom Frosche (dem physiologischen Rheoskop) nachzuweisen, am lebenden Menschen vermittelt des Kapillarelektrometers.

Mechanische Arbeit des Herzens.

Die mechanische Arbeit wird gemessen durch das Produkt aus der gehobenen Last und der erreichten Höhe = $Q \cdot h$. Als Einheit dient das Meterkilogramm, mkg. h ist die Höhe, bis zu welcher das Herz die in ihm enthaltene Blutmenge vermöge seiner Kontraktion drücken würde, also = dem Druck; er beträgt in der Aorta des Menschen etwa 2.3 m Blutsäule. Q ist das Schlagvolumen = 0.08 kg.

Daraus ergibt sich für die linke Kammer als Arbeitsleistung bei jeder Systole = $0.08 \times 2.3 = 0.184$ mkg. Für die rechte Kammer beträgt sie etwa $\frac{1}{3}$ von der linken = 0.06 mkg. Die Arbeit der linken + rechten Kammer + der beiden Vorhöfe beträgt in der Minute 18.46 mkg, in 24 Stunden 26583 mkg. Diese Werte gelten für die Ruhe, bei starker Muskelanstrengung kann die Herzarbeit 2—5 mal so groß werden, weil die Herzfrequenz bis auf das Doppelte, das Schlagvolumen auf das 2—3-fache zunimmt.

Zu dem obigen Wert kommt eigentlich noch die Arbeit hinzu, die die Kammer leistet, indem sie dem ausgetriebenen Blut die ihm in der Aorta eigene Stromgeschwindigkeit erteilt. Dieser Betrag kann vernachlässigt werden, da er nur etwa $1\frac{1}{2}$ pCt. des obigen Wertes ausmacht; nur bei sehr starker Muskelarbeit wird er erheblich größer und kann bis zu einem Drittel des obigen Wertes anwachsen.

Die Hauptarbeit des Herzens wird also dazu benützt, die Widerstände im Gefäßsystem zu überwinden, nur ein kleiner Teil wird in lebendige Kraft der Blutbewegung umgesetzt.

Die oben angegebenen mkg kann man auf Grund des mechanischen Wärme-Äquivalents (s. S. 5) auch in Calorien umrechnen.

Innervation des Herzens.

A) Nerven, die von außen zum Herzen herantreten.

Sie sammeln sich im Plexus cardiacus (zwischen Aortenbogen und Teilungstelle der A. pulmonalis). Es sind der Vagus und die Rami cardiaci des Sympathicus aus dem Gangl. cervic. inf. und dem Gangl. stellatum sie sind in gewissem Sinne Antagonisten.

a) Der Vagus ist Hemmungsnerv.

Durchschneiden beider Vagi bewirkt Vermehrung der Pulsfrequenz. Daraus muß man schließen, daß sie sich normalerweise in einem Zustand schwacher andauernder (tonischer) Erregung vom Zentrum her befinden, und infolge dessen schlägt das Herz langsamer, als es sonst tun würde. Reizung der peripherischen Enden der durchschnittenen Vagi setzt Verlangsamung der Herzfrequenz und schließlich vorübergehend Herzstillstand; die Wirkung zeigt ein nicht unbeträchtliches Latenzstadium und eine Nachwirkung. Diese Wirkung ist eine sehr komplizierte; sie setzt sich zusammen aus verschiedenen Wirkungen, indem sämtliche vier Grundvermögen der Herzmuskulatur (S. 133) schwächend (negativ) beeinflußt werden können. Man hat danach unterschieden eine negative

- a) chronotrope Wirkung: Verminderung der Schlagfrequenz;
- β) inotrope Wirkung: Die Zuckungshöhe ist nicht mehr maximal (in Fig. 20 erstreckt sich diese Wirkung nur auf den Vorhof);
- γ) dromotrope Wirkung: Die Fähigkeit der Reizleitung ist herabgesetzt, bes. an der Vorhof-Kammer-Grenze: „Blockierung der Reizleitung“;
- δ) bathmotrope¹⁾ Wirkung: die Reizbarkeit ist herabgesetzt.

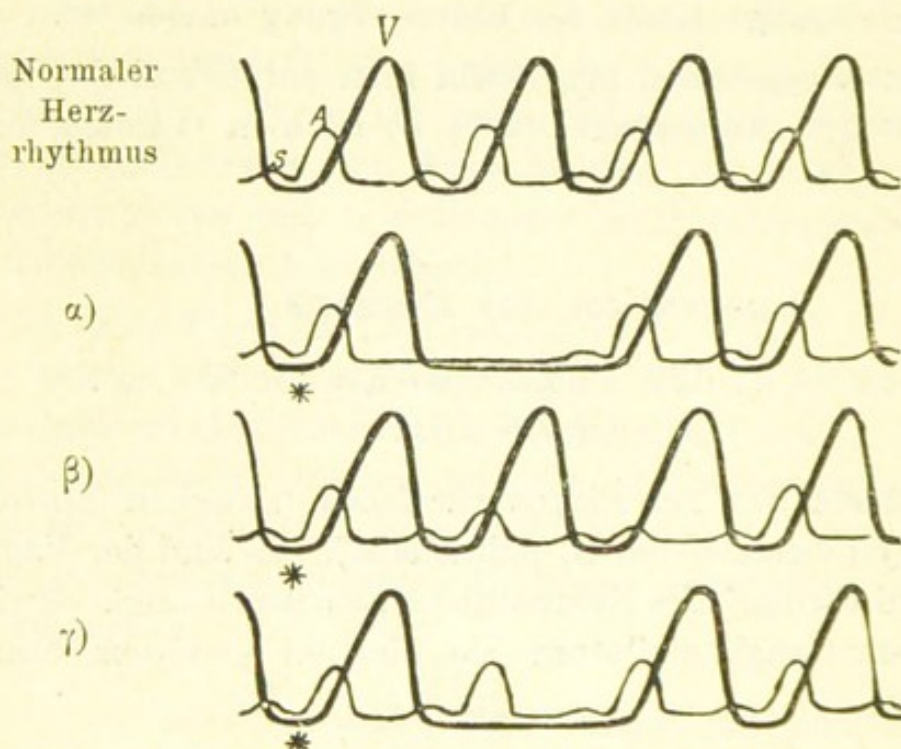


Fig. 19. Die Hemmungswirkungen des N. vagus. Der Stern bedeutet den Reizmoment. S. = Sinus; A. = Atrium, Vorhof; V. = Ventrikel, Kammer.

Das Herzhemmungszentrum liegt im verlängerten Mark ein wenig entfernt vom Atemzentrum. Es kann gereizt werden direkt:

1. wie alle Zentra durch Dyspnoe,
2. durch Steigerung des Blutdruckes,
3. durch gewisse Gifte z. B. Digitalin;

indirekt, reflektorisch:

1. durch psychische Erregung vom Gehirn aus (plötzlicher Schreck kann Herzstillstand hervorrufen),
2. von fast allen peripherischen, sensiblen Nerven aus und von gewissen Nerven der Bauchhöhle (Splanchnicus,

¹⁾ Von $\beta\alpha\theta\mu\acute{o}\varsigma$ Schwelle.

Sympathicus); so ruft z. B. Klopfen auf das Abdomen beim Frosch Herzstillstand hervor (Goltz'scher Klopfversuch).

Es kann g e l ä h m t werden, also Beschleunigung des Herzschlages erfolgen durch Blutdruckerniedrigung.

Außerdem gibt es G i f t e , welche die V a g u s e n d i g u n g e n im Herzen treffen:

1. lähmend: Atropin, Kuraré in starker Dosis.
2. erregend: Muskarin, Nikotin, und Digitalin. Die Kurarewirkung wird durch Nikotin, die Atropinwirkung durch Muskarin aufgehoben.

b) R a m i c a r d i a c i N. S y m p a t h i c i , Nn. accelerantes.

Ihrer Wirkung nach werden sie besser augmentatorische oder fördernde Herznerven genannt. Die oben unter α — γ aufgeführten Wirkungen des Vagus fallen hier positiv aus.

Die Acceleratoren stammen aus dem Rückenmark; ihr Zentrum soll ebenfalls in der Medulla oblongata neben dem Hemmungszentrum liegen, es scheint normalerweise nicht tonisch erregt zu werden. Doch kann es reflektorisch vom Gehirn aus (psychische Einflüsse) und vom Herzen selbst aus zur Regulierung desselben gereizt werden.

Bei g l e i c h z e i t i g e r R e i z u n g d e s V a g u s u n d d e r A c c e l e r a t o r e n ist die Gesamtwirkung nicht gleich der algebraischen Summe der Einzelwirkungen, vielmehr koupiert der Vagus gleichsam die Erregung der Acceleratoren.

B. Innerhalb des Herzens selbst liegen G a n g l i e n h a u f e n

vom Hohlvenensinus bis zur Kammerbasis. Stärkere Anhäufungen derselben sind:

1. im Hohlvenensinus beim Frosch, R e m a k ' s c h e G a n g l i e n ,
2. an der Vorhof-Kammer-Grenze, B i d d e r ' s c h e G a n g l i e n .

Ursache der Herztätigkeit.

Welches dieselbe sei, ist noch nicht völlig geklärt. Jedenfalls liegt sie im Herzen selbst, da das herausgeschnittene Herz

noch einige Zeit hindurch (bei Kaltblütern bisweilen einige Tage) regelmäßig weiter schlägt. Vagus und Sympathicus haben nur einen regulierenden Einfluß. Die einen sehen die eben genannten Ganglienhaufen als automatische Zentra an, bes. die Remak'schen Ganglien, während die Bidder'schen Ganglien nur die Reizübertragung und Leitung zukommt (Stannius'scher Versuch).

Andere schreiben der Muskelfaser selbst die Fähigkeit automatischer rhythmischer Kontraktion zu. Sie führen zum Beweise dafür an:

1. Das Herz pulsiert schon im Embryo regelmäßig zu einer Zeit, wo keine Nerven und Ganglien darin nachzuweisen sind. Diese wachsen vielmehr erst später vom Rückenmark aus in das Herz hinein.

2. Auch die abgetrennte Herzspitze der erwachsenen Tiere schlägt regelmäßig weiter, und doch sind keine Ganglien bis jetzt darin gefunden.

3. Auch das durch Zickzackschnitte (senkrecht zur Längsaxe) spiralig angeschnittene Herz bewahrt seine Reizleitung.

4. Erwärmung der Venen bedingt eine beschleunigte Kontraktion des ganzen Herzens, während Erwärmung des Atriums oder Ventrikels keine Beschleunigung hervorruft. Dies müßte der Fall sein, wenn die Kontraktion nur durch Ganglien oder Nervenfaservermittlung zu stande käme, da ja auch in den Atrien und Ventrikeln sich solche finden.

5. Die normale Herzkontraktion geht als peristaltische Welle von den Venenmündungen aus. Doch kann man künstlich auch eine antiperistaltische Welle erregen; es findet also „reziproke Leitung“ im Herzen statt. Diese kann nur den Muskel betreffen, denn die Neuronen leiten nur in einer Richtung (s. S. 72).

10. Kreislauf.

Bau der Gefäße.

An der Wand der Arterien und der Venen unterscheidet man (von außen nach innen gehend) Adventitia, Media, Intima, Endothel. Endothel = einfache Lage polygonaler Zellen. Adventitia und Intima der Arterien und Venen sind bindegewebiger Natur. Die Media, besonders stark in den Arterien entwickelt, enthält glatte Muskelfasern; diese Muskulatur (hauptsächlich ringförmig angeordnet, an der inneren Grenze auch längsverlaufend), findet sich am reichlichsten in den mittleren und kleinen Arterien, während in den ganz großen Arterien (Aorta) die Media überwiegend elastische Lagen besitzt. Daher wohnt den mittleren und kleinen Arterien besonders die Fähigkeit aktiver Verengerung und Erweiterung (Kontraktion und Erschlaffung) inne.

Die Venen haben eine dünnere Wand als die Arterien. Ihre dünnere Media enthält vorwiegend elastische Elemente, nur wenig zirkuläre Muskelfasern; bei vielen Venen finden sich hier nur Bindegewebsbündel.

Die Venen haben vielfach Klappen (Extremitätenvenen, V. jugularis etc.), welche, von der Intima gebildet, analog den Semilunarklappen der Aorta konstruiert sind und dem Blute nur in der Richtung zum Herzen zu strömen gestatten.

Die Kapillaren bestehen nur aus Endothelien, platten Spindelzellen mit längsovalen Kernen. Ihr Durchmesser beträgt etwa 2—6 μ .

Verzweigung der Gefäße.

1. Die Arterien (und Venen) teilen sich dichotomisch, d. h. stets in 2 unter spitzem Winkel zu einander abgehende Äste.

2. Die Lumina zweier Tochterarterien (und Venen) sind zusammen größer als das Lumen der Mutterarterie (Vene).

Daher wird der Gesamtquerschnitt vom Herzen zu den Kapillaren fortwährend größer, von den Kapillaren zum Herzen hin fortwährend kleiner.

3. Auf eine Arterie kommen meist 2 Venen.

Bei seiner Bewegung in den Gefäßen unterliegt das Blut den

Strömungsgesetzen von Flüssigkeiten.

1. Fließt aus dem Boden eines Stand- oder Druckgefäßes eine Flüssigkeit aus, so setzt sich der ganze über der Öffnung ruhende hydrostatische Druck in die lebendige Kraft der Ausflußgeschwindigkeit um. Diese wird berechnet nach dem Toricelli'schen Theorem $v = \sqrt{2gh}$ (Fallformel!).

2. Strömt die Flüssigkeit nicht direkt, sondern durch ein Rohr aus, so kann man sich den hydrostatischen Druck in zwei Komponenten zerlegt denken. Die eine, die Geschwindigkeitshöhe, wird umgesetzt in die lebendige Kraft der Stromgeschwindigkeit; dieselbe ist an allen Punkten der Röhre gleich und stellt sich dar als Ausflußgeschwindigkeit. Die andere Komponente, die Druckhöhe, dient zur Überwindung des durch die Röhre gegebenen Widerstandes;¹⁾ sie stellt sich dar als Seitendruck (gemessen durch dem Rohr aufgesetzte Seitendruckröhren). Sie ist am größten am Anfang der Röhre, nimmt gleichmäßig bis zum Ende, wo sie = 0 ist, ab. Diese Komponente ist um so größer, die erste also um so kleiner, und damit die Ausflußgeschwindigkeit um so geringer:

- a) je länger das Rohr,
- b) je kleiner der Querschnitt des Rohres,
- c) je rauher die Innenfläche,
- d) je zäher die Flüssigkeit,²⁾

¹⁾ Sie geht nach dem Gesetz von der Erhaltung der Energie durch Reibung in Wärme über.

²⁾ Wenn die Flüssigkeit die Wand benetzt, so bleibt an der Wandung der Röhre eine ruhende Schicht von Flüssigkeitsteilchen haften, an welcher die bewegte Flüssigkeit sich reibt. Dies setzt den eigentlichen Widerstand, und diesen zu überwinden (also nicht die Adhäsion der Flüssig-

e) je größer der Knickungswinkel bei einer etwaigen winkligen Biegung des Rohres ist.

Bezüglich der Zähigkeit der Flüssigkeit ist zu bemerken, daß Serum 2 mal, Blut 4 mal langsamer als Wasser fließt.

3. Ist das Ausflußrohr an einer Stelle erweitert oder, was dasselbe bedeutet, in mehrere Äste verzweigt, so verändern sich für diesen Teil des Rohres die Werte der beiden obigen Komponenten. Die Geschwindigkeitshöhe nimmt sehr stark ab, dem entsprechend die Druckhöhe sehr wenig.

4. Wird die Druckdifferenz nicht durch ein Druckgefäß, sondern durch den Stoß eines Stempels bewirkt, so findet nicht eine gleichmäßige Druckerhöhung und Vorwärtsbewegung der Flüssigkeit statt, sondern eine plötzliche, dem Stoß entsprechende.

Ist außerdem die Flüssigkeit nicht in ein starres, sondern in ein elastisches Rohr, in einen Schlauch, eingeschlossen, so trifft die plötzliche Druckerhöhung und die Vorwärtsbewegung nicht die ganze Flüssigkeitsäule, sondern nur die dem Stempel benachbarten Teile. Hier kommt es zu einer Ausbuchtung des Schlauchs, zu einem Berg, welcher sich wellenförmig über den ganzen Schlauch mit abnehmender Stärke ausbreitet (*positive oder Bergwelle*). Je höher die Bergwelle ist, um so kürzer ist sie, und um so langsamer pflanzt sie sich fort.¹⁾ Indem der Berg infolge der Elastizität der Wandung seiner Gleichgewichtslage zustrebt, drückt er einen Teil der in ihm enthaltenen Flüssigkeit in der Richtung der Schlauchwelle vorwärts. Die einzelnen Flüssigkeitsteilchen in jedem Berg beschreiben daher nicht, wie bei der Wellenbewegung im offenen Wasser, eine kreisförmige, sondern eine elliptische Bahn. Der Berg wird um so niedriger, und die elliptische Bahn der Flüssigkeitsteilchen wird um so

keit an der Röhrenwand, sondern die innere Kohäsion der zentralen Schicht und der Wandschicht) wird die Druckhöhe verbraucht. Ganz dasselbe gilt für das Blut. Daß dabei die schwereren roten Blutkörperchen in dem Achsenstrom (größte Geschwindigkeit) sich ansammeln, die leichteren weißen in der Peripherie (kleinste Geschwindigkeit), ist eine Erscheinung, die den Wirkungen der Zentrifugalkraft analog ist.

¹⁾ Man kann die Bewegung in starren Röhren als Spezialfall dieser Bewegung im Schlauch ansehen, wobei die Höhe der Welle unendlich klein, ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit also unendlich groß ist.

flacher, ihre Vorwärtsbewegung also um so entschiedener und gleichmäßiger (d. h. weniger plötzlich stoßweise), je größer mit dem Fortschreiten der Schlauchwelle die Widerstände für sie werden.

Folgen mehrere Stempelstöße auf einander so schnell, daß jeder folgende einsetzt, bevor die Wirkung des andern am Schlauchende abgelaufen ist, so strömt die Flüssigkeit nicht bloß gleichmäßig (s. o.), sondern auch ununterbrochen, kontinuierlich.

Die Elastizität der Wandungen hat die Bedeutung,

1. daß sie einen Teil der Arbeit, die der Stempel im starren Rohr zu leisten hat, übernimmt; in diesem muß er die ganze Flüssigkeitsäule vor sich herschieben, im elastischen Rohr nur die ihm zunächst befindlichen Teile. Die undulatorische Bewegung des Schlauches bewirkt weiterhin eine translatorische Bewegung der Flüssigkeit.

2. daß sie mit zunehmendem Widerstand die stoßweise Bewegung zu einer gleichmäßigen ausgleicht, und

3. daß sie, folgen mehrere Stempelstöße in geeignetem Rhythmus, den Flüssigkeitsstrom stetig, kontinuierlich macht. Sie wirkt dann gerade wie der Windkessel einer Feuerspritze.

Wird die Flüssigkeit durch ein plötzliches Zurückziehen des Stempels eingesaugt, so entsteht unmittelbar hinter dem Stempel eine Einbuchtung, welche sich ebenfalls über den ganzen Schlauch wellenförmig ausbreitet (negative oder Talwelle). Für diese lassen sich die gleichen Betrachtungen, wie oben, nur in entgegengesetztem Sinne anstellen.

Ist der Schlauch nicht so lang, daß die Welle infolge des zunehmenden Widerstandes allmählich erlischt, so entstehen von seinem Ende aus reflektierte, positive und negative, Wellen, welche die ursprüngliche Welle in mannigfaltiger Weise beeinflussen.

Hieraus ergeben sich

die Gesetze für die Blutbewegung.

Das Blut als tropfbare Flüssigkeit ist so gut wie inkompressibel, von stets gleichem Volumen. Es unterliegt dem Gesetz der Schwere (daher Kongestionen nach dem Kopf beim Bücken, Varicen am Unterschenkel) und bewegt sich von Punkten höheren Druckes zu Punkten niederen Druckes.

Die Punkte höheren Druckes sind die Arterien, die Punkte niederen Druckes die Venen, das Kapillarsystem stellt eine Erweiterung des ganzen Röhrensystems dar. Infolge dessen nimmt die Geschwindigkeit in dem Kapillarsystem stark ab. Umgekehrt sollte der Druck hier sehr wenig abnehmen. Das ist aber gerade nicht der Fall. Es wachsen nämlich, da diese Erweiterung durch sehr viele überaus enge Verzweigungen erfolgt, die Widerstände außerordentlich, und daher wird fast die Hälfte des ganzen Widerstandsdruckes grade in dem erweiterten Teil des Systems, in den Kapillaren, verbraucht.

Die Druckerhöhung in den Arterien wird durch das Herz als Stempel hervorgebracht; es wirft ein gewisses Quantum Blut, das Schlagvolumen, unter starkem Druck in den Anfangsteil des elastischen Gefäßsystems. Da das ausgeworfene Blut wegen der Semilunarklappen nicht in das Herz zurückströmen kann, so entsteht eine starke positive Welle, die über die Arterien abläuft, und die Blutteilchen rücken infolge der von ihnen beschriebenen elliptischen Bahn ein Stückchen vorwärts. In der Diastole der Kammern strömt wegen der geöffneten Atrioventrikularklappen das Blut aus den Venen in das Herz hinein, und es entsteht eine negative Welle, die nach den Venen zu fortschreitet.

Die positive Welle setzt sich mit wenig verminderter Kraft bis in die kleinsten Arterien fort. Hier wachsen infolge der Verzweigungen die Widerstände so, daß sie unter teilweiser Reflexion fast plötzlich erlischt, daher sie normalerweise in den Kapillaren und Venen nicht nachzuweisen ist.¹⁾

Die einzelnen Stempelstöße, die Systolen des Herzens folgen sich nun so schnell aufeinander, daß es in den Arterien zu einer Anhäufung, in den Venen zu einer Verminderung des Blutes kommt. Das hält so lange an, bis im arteriellen System infolge der Anhäufung des Blutes der Druck, der sich als Elastizität in der gedehnten Arterienwand aufspeichert, so hoch gestiegen ist, daß er grade so viel Blut durch die Kapillaren in die Venen treibt, als Blut aus dem Herzen in die Arterien getrieben wird. Hält diese Rhythmik des Herzens an, so wird ein dauernder Zustand einer erheblichen Druckdifferenz zwischen arteriellem

¹⁾ Kapillarpuls in der Haut ist daher ein pathologisches Phänomen; kommt vor bes. bei Aorteninsuffizienz.

und venösem System geschaffen. Das Blut wird jetzt nicht mehr bloß durch die Schlauchwellen, sondern auch durch die stationäre Druckdifferenz fortbewegt. Auf diese Weise entsteht im ganzen Gefäßsystem ein kontinuierlicher Kreislauf des Blutes; an jeder Stelle herrscht dynamisches Gleichgewicht: Zufluß und Abfluß sind gleich groß.

Diese Druckdifferenz ist also neben der Schlauchwelle der Arterien eine zweite Ursache für die Strömung des

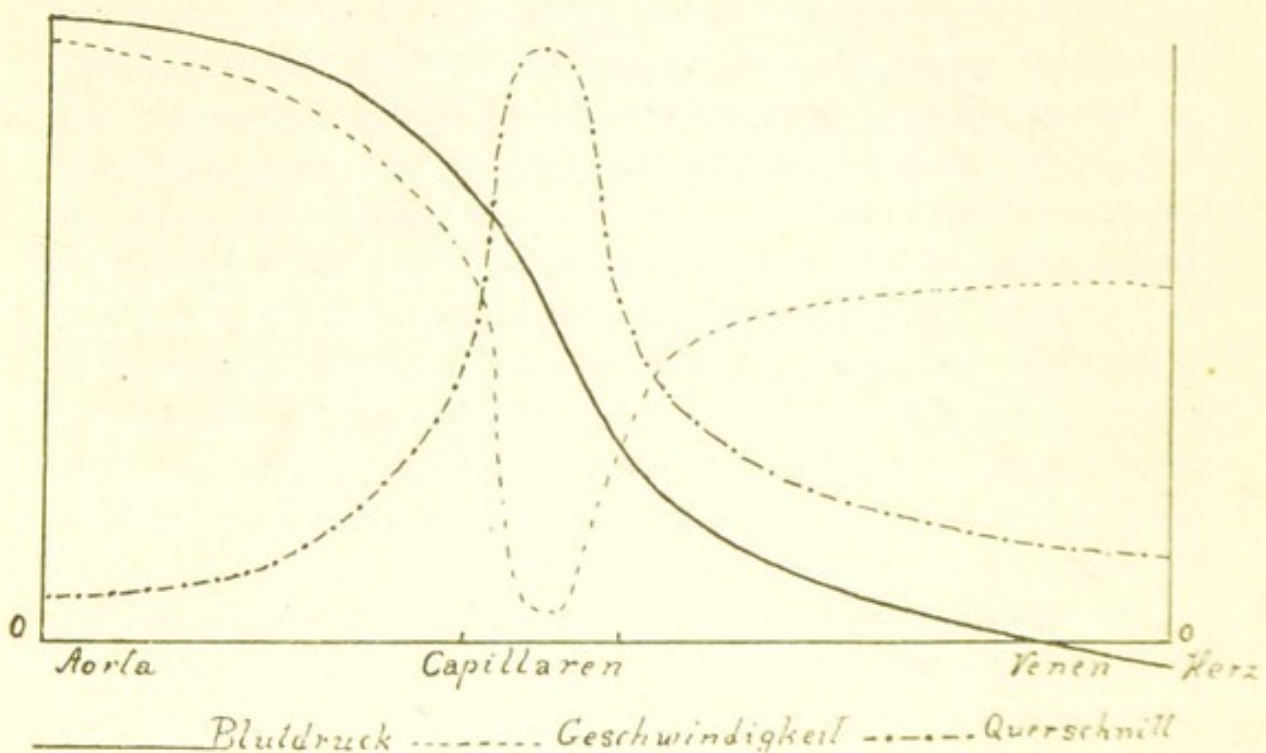


Fig. 20.

Blutes, die beide wieder ein gemeinsames Substrat in der Elastizität der Arterienwand haben. Die Druckdifferenz kann allein in Erscheinung treten, wenn das Herz still steht; auch dann fließt noch kurze Zeit das Blut aus den Arterien nach den Venen. Sie ist ferner keine konstante Größe, sondern leicht Veränderungen unterworfen, die aber innerhalb gewisser Grenzen ebenso leicht kompensiert werden können (s. u. Blutdruck S. 154).

Von der Elastizität der Arterien gilt das nämliche, was oben von der Elastizität der Schlauchwandung gesagt wurde. Sie erspart dem Herzen Arbeit und im Verein mit der Rhythmik und der Frequenz des Herzschlages macht sie den Strom

in den Kapillaren gleichmäßig (d. h. ohne die rhythmischen herzsystolischen Druckerhöhungen) und kontinuierlich (d. h. ohne Unterbrechung) und erhält ihn unter einem gewissen Druck und bei einer gewissen Geschwindigkeit. Dies alles ist von hoher Bedeutung, weil in den Kapillaren erst das Blut seine Funktion, Vermittler des Stoffwechsels zu sein, ausübt. Den Strom in den Kapillaren in einer für die Aufgabe des Blutes geeigneten Weise zu unterhalten, nur daraufhin ist der ganze Kreislauf angelegt und eingerichtet.

In den Arterien in der Nähe des Herzens strömt das Blut intermittierend, in den mittleren Arterien remittierend.

In den Venen wird der Blutstrom in der Brusthöhle durch die Saugwirkung des Herzens und der Lungen gefördert; in der Peripherie begünstigt in Verbindung mit den Klappen jeder Druck, also Muskelkontraktionen, die Strömung nach dem Herzen zu. Verlängerung der Venen erhöht die Wandspannung und wirkt ansaugend, so beim Sich-aus-recken: Aufrechte Stellung und horizontal ausgestreckte Arme. Beim Hocken (angezogene Beine und Arme) findet das Gegenteil statt.

Pulslehre.

Die positive Schlauchwelle der Arterien gibt sich als Puls zu erkennen.

Ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit beträgt etwa 6—9 m in der Sekunde; sie hängt ab von der Spannung der Arterienwand. E. H. Weber bestimmte sie aus der Differenz des Pulses an zwei von einander möglichst entfernten Arterien (dorsalis pedis und maxillaris externa). Da die Systole des Herzens etwa $\frac{1}{3}$ Sekunde dauert, so ist die Länge der Welle rund $6-9 \times \frac{1}{3} = 2-3$ m. Die ganze Welle hat also im Arteriensystem nicht Platz.

Die Veränderung, welche die Gefäßwand unter der andrängenden Pulswelle erleidet, kann man durch das Getast wahrnehmen; man legt die Finger auf eine größere Arterie auf (Art. radialis am Vorderarm) oder man läßt dieselbe sich selbst verzeichnen vermittelt besonderer Apparate (Sphygmograph von Vierordt, verbessert von Marey); man erhält dann ein Sphygmogramm, Pulskurve. Eine solche gibt nicht

die absolute Höhe des Druckes in den Arterien an, sondern nur die durch die Herzsystemen bez. durch die Schlauchwellen hervorgebrachten Schwankungen des bestehenden Druckes.

Die Pulscurve zeigt einen steil ansteigenden, anakroten, und einen schräg abfallenden, katakroten, Teil. Der letztere zeigt noch konstant eine stärkere sekundäre Erhebung (Dikrotismus). Die Ursache derselben ist eine zentrifugale positive

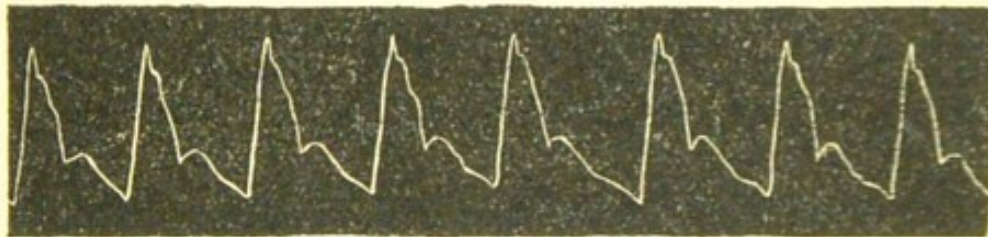


Fig. 21. Pulscurve von der A. radialis dextra mit dem Sphygmograph von Dudgeon gezeichnet.

Welle; wie diese zu Stande kommt, ist noch nicht sicher. Daneben treten noch einige kleinere Pulswellen auf, die von Reflexionen der Pulswelle an der Peripherie herrühren sollen.

Von der Frequenz des Pulses gilt dasselbe, was von der Frequenz des Herzschlages gesagt ist (s. Anhang).

Andere Eigenschaften des Pulses, über die man sich, wie über die Frequenz, durch das Fühlen überzeugen kann, sind Größe (die Expansion der Arterie), Schnelligkeit (mit der die Arterie gegen den Finger andringt), Härte (der Widerstand, den die Arterie dem sie komprimierenden Finger entgegensetzt), Völle (mittlerer Füllungszustand der Arterie) und Rhythmus (regelmäßig oder nicht).

Stromgeschwindigkeit des Blutes.

Diese (wohl zu unterscheiden von der oben angegebenen Pulswellengeschwindigkeit) ist nur in den Kapillaren und in den peripherischen Venen eine gleichmäßige, in den Arterien und in den großen, dem Herzen nahen Hohlvenen erfährt sie durch die vom Herzen aus erregten Wellen eine periodische Beschleunigung. Sie wird an größeren Gefäßen durch besondere Apparate bestimmt:

1. Volkmann's Hämodrometer (s. Fig. 22).

Ein U-förmiges Rohr wird, mit Sodalösung zur Verhütung der Blutgerinnung gefüllt, in ein Blutgefäß eingefügt; je nach der Stellung der Hähne fließt das Blut auf dem geraden Wege, oder es wird in die längere Bahn der Glasröhre abgelenkt. Aus der Länge der Röhre und aus der Zeit, welche das Blut gebraucht, um sie zu durchlaufen, wird die Geschwindigkeit bestimmt.

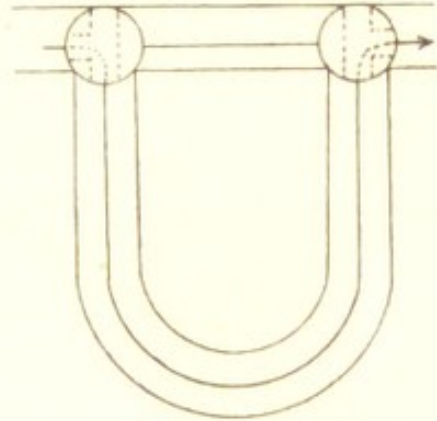


Fig. 22.

2. Ludwig's Stromuhr läßt wiederholte Messung nach ähnlichem Prinzip zu.

3. Vierordt's Hämotachometer. Ein Strompendel in einem Messingkästchen wird proportional der Schnelligkeit des Blutstromes abgelenkt; der Apparat muß empirisch geeicht werden.

4. Chauveau-Lortet's Hämodromograph: Ein in das Lumen der Arterie eingefügtes Stäbchen wird, wie das Strompendel, abgelenkt.

5. Das Prinzip der Pitot'schen Röhre wurde von Marey und von Cybulski angewendet. Ein Rohr mit zwei im rechten Winkel abgehenden Seitenröhren wird in eine Arterie eingeschaltet, die Niveaudifferenz in den beiden Seitenröhren ist eine Funktion der Stromgeschwindigkeit.

Aus Messungen mit diesen Apparaten läßt sich berechnen, daß die mittlere Geschwindigkeit des Blutstromes

in der Aorta etwa $\frac{1}{2}$ m,

in den Hohlvenen etwa die Hälfte, also $\frac{1}{4}$ m in der Sekunde beträgt.

In den Kapillaren läßt sie sich direkt unter dem Mikroskop beobachten, sie beträgt etwa 0.8 mm in der Sekunde, ist also etwa 600 mal geringer als in der Aorta. Hieraus kann man sich eine Vorstellung von der Zunahme des Querschnittes in den Kapillaren machen, da ja die Geschwindigkeit umgekehrt proportional dem Querschnitt ist.

Hieran knüpft sich die Frage,

1. in welcher Zeit geht die ganze Blutmenge einmal durch das Herz hindurch?

Da ein Ventrikel rund $\frac{1}{66}$ des Gesamtblutes faßt, so werden 66 Systolen in 66 Herzschlägen $= 66 \times 0.8$ Sekunden $=$ rund 53 Sekunden die gesamte Blutmenge austreiben, also auch durch den Körper und die Lungen.

2. Wieviel Zeit braucht ein Blutkörperchen, um, den ganzen Kreislauf passierend, wieder an dieselbe Stelle zurückzukommen?

E. Hering spritzte zentralwärts in eine V. jugularis eine unschädliche Lösung von Ferrocyankalium ein. Das periphere Ende der Vene entleerte sich in Näpfchen mit Eisenchlorid, die in bestimmten Abständen mit bekannter Geschwindigkeit vorbeigeführt wurden. Ferrocyankalium, selbst in starker Verdünnung, gibt mit Eisenchlorid Berlinerblau. Es ergab sich für den Hund die „Umlaufzeit des Blutes“ zu etwa 15 Sek. $=$ 27 Herzschlägen; danach wurde sie für den Menschen zu etwa 22 Sek. berechnet.

Blutdruck.

Wir haben schon gesehen, daß Druckdifferenzen die Ursache des Kreislaufs sind. Sie werden geschaffen durch die Kontraktion des Herzens; der Druck muß also dort (s. S. 138) und in den großen Arterien am größten sein und durch die Kapillaren nach den Venen beständig absinken. Wir haben ferner bereits gesehen, daß der Druck vor den Kapillaren eine gewisse Höhe bewahren muß, wenn eine kontinuierliche Strömung im ganzen System stattfinden soll, und schließlich, daß der Druck in den Kapillaren, trotzdem sie eine beträchtliche Erweiterung des Röhrensystems darstellen, sehr stark absinken muß. Die experimentelle Prüfung hat die Richtigkeit dieser Folgerungen ergeben. Gemessen wird der Blutdruck als Widerstandsdruck $=$ Seitendruck (s. o.) durch dem Gefäßsystem aufgesetzte Seitenröhren.

Stephan Hales (1733) tat dies zuerst, indem er in die Carotis des Pferdes ein offenes Glasrohr einband. Poiseuille bediente sich eines zweischenkigen mit Quecksilber gefüllten Manometers, dessen einer Schenkel in das zentrale Ende einer Arterie eingebunden wurde, und fügte dabei zwischen Blut und Quecksilber eine die Gerinnung verhindernde Sodalösung ein. Ludwig setzte auf den anderen offenen Schenkel einen Schwimmer, welcher die Schwankungen des Quecksilbers auf ein vorbeigeführtes Papier aufzeichnete. Dies ist die erste Anwendung der autographischen Methode in der Physiologie. Fick wandte das Prinzip des Bourdon'schen Metallhohlfederanometers an. Noch geeigneter, weil weniger durch die Trägheit der schwingenden Massen entstellt, sind die elastischen Manometer nach dem Prinzip von Marey's Tambour enregistreur, wie Hürthle's oder Gad's Tonograph. Bei diesen überträgt eine Gummimembran oder eine dünne Metallplatte ihre durch den andrängenden Blutdruck hervorgebrachten Schwankungen auf einen leichten Schreibhebel.

Auch für den Menschen hat man Apparate konstruiert, um den arteriellen Blutdruck zu messen. Sie beruhen auf dem Prinzip, auf eine oberflächliche Arterie (radialis) einen Druck auszuüben, der grade hinreicht, den Puls unterhalb dieser Stelle zum Verschwinden zu bringen. Dieser Außendruck, der gleichzeitig an einem Manometer gemessen wird, übersteigt den derzeitigen Blutdruck an dieser Stelle um ein wenig: Sphygmomanometer von v. Basch, von Riva-Rocci. Ähnlich ist Gärtner's Tonometer, das den Blutdruck am Finger mißt. Genaue Werte lassen sich mit allen diesen Apparaten nicht gewinnen.

Zur Bestimmung des Druckes in den Kapillaren, z. B. der Haut, werden ihr belastete Glasplättchen aufgelegt, bis sie eben zu erblassen beginnt.

Da der Blutdruck in den Arterien infolge der Systolen des Herzens periodische Schwankungen zeigt, so nimmt man daraus das Mittel und bestimmt den mittleren Blutdruck. Derselbe beträgt in der Aorta etwa 180 mm Hg, in den größeren Arterien etwa 140 mm Hg, nimmt bis zu den kleinsten Arterien nur sehr wenig ab (etwa $\frac{1}{6}$), ist in den Kapillaren etwa 20—40 mm Hg, und beträgt jenseits derselben in den Venenanfängen nur noch etwa $\frac{1}{15}$ des ganzen Herzdruckes und weiterhin nur wenige Millimeter Hg. In den Venen im Thorax wird er infolge der saugenden Wirkung des Herzens und der Lungen sogar negativ, d. h. geringer als der Atmosphärendruck, so daß beim Anschneiden dieser Gefäße Luft in das zentrale Ende eindringt. Geschieht dies in beträchtlicher Menge, so kann durch Verstopfung der Lungenkapillaren plötzlicher Tod eintreten.

Auch im L u n g e n k r e i s l a u f ist der Druck in den Aa. pulmonales am größten, beträgt aber wegen des viel geringeren Widerstandes des ganzen Kreislaufs nur etwa ein Drittel des Aortendruckes, nimmt außerordentlich in den Kapillaren ab und wird in den großen Venen nahe dem linken Vorhof negativ.

Der mittlere Blutdruck ist keine konstante Größe, er kann vielmehr beträchtlichen Änderungen unterliegen. Drei Umstände sind hierauf von Einfluß:

1. die Blutmenge, welche in der Zeiteinheit aus dem Herzen geworfen wird; nimmt sie ab, so sinkt er. Diese Blutmenge ist wieder abhängig von der Energie der einzelnen Systolen und von ihrer Frequenz. Da Vagusreizung hemmend auf diese beiden Faktoren wirkt, so macht sie auch jähes Absinken des Blutdruckes (s. Fig. 23).

2. der Widerstand der peripherischen Gefäße; Kontraktion der kleinen Gefäße erhöht ihn, Erschlaffung setzt ihn herab.

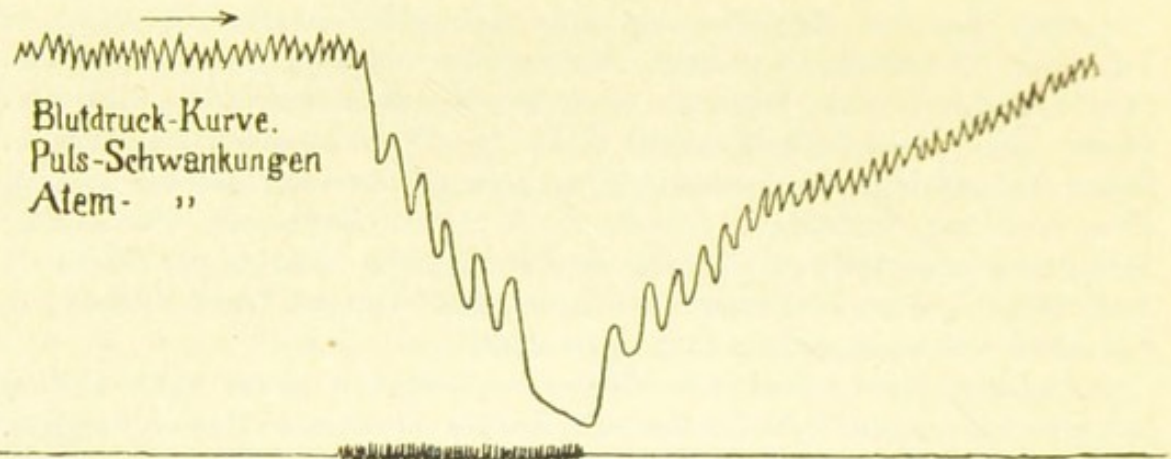


Fig. 23. Wirkung des Vagus auf den Blutdruck
(mit dem Gad'schen Tonographen verzeichnet).

3. der Füllungszustand des Gefäßsystems; je geringer dieser, um so niedriger der Blutdruck (s. u. Blutverlust).

Variiert einer dieser Faktoren, so kann seine modifizierende Wirkung auf den Blutdruck innerhalb gewisser Grenzen durch die anderen kompensiert werden.

An einer selbstverzeichneten Blutdruckkurve sieht man außer den kleineren pulsatorischen Schwankungen, den herzsystolischen Druckzunahmen, noch größere, auf welche die ersteren aufgesetzt erscheinen. Diese größeren, die sog. A t e m -

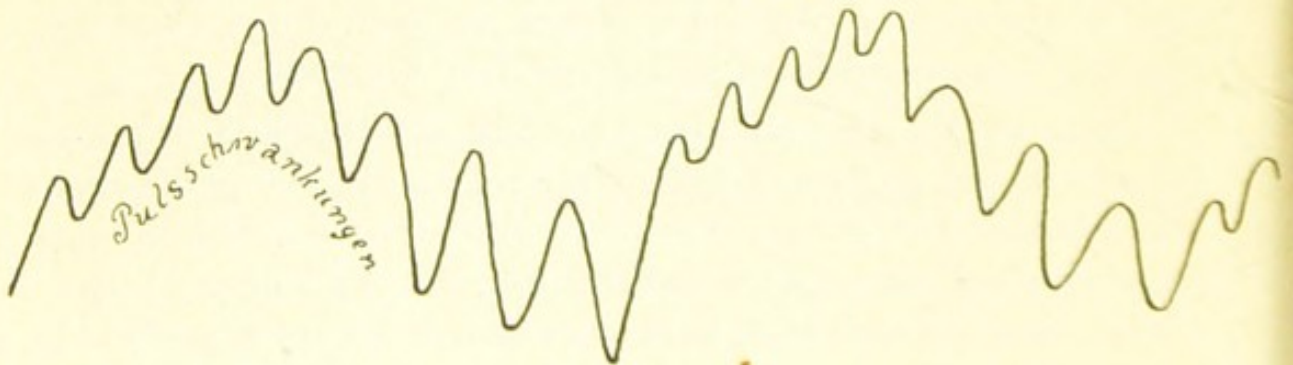


Fig. 24.

Atemschwankungen des Blutdruckes mit dem Hg-Manometer nach Ludwig an der Carotis eines großen Hundes verzeichnet.

s c h w a n k u n g e n , r ü h r e n v o n d e n d u r c h d i e R e s p i r a t i o n g e s c h a f f e n e n Ä n d e r u n g e n d e s e x t r a p u l m o n a l e n D r u c k e s i m T h o r a x h e r , w e l c h l e t z t e r e m d i e G e f ä ß e (d i e V e n e n v i e l m e h r a l s d i e h i e r s e h r d i c k w a n d i g e n A r t e r i e n) u n t e r l i e g e n . B e i m ä ß i g t i e f e r u n d m ä ß i g h ä u f i g e r R e s p i r a t i o n w i r d w ä h r e n d d e r I n s p i r a t i o n d e r n e g a t i v e e x t r a p u l m o n a l e (i n t r a -

thoracale) Druck und damit die Aspiration auf Herz und Gefäße (s. S. 113) erhöht; daher wird der Zufluß zum Thorax (in den Venen) und damit die diastolische Füllung des Herzens befördert. Es steigt daher infolge der größeren in die Aorta geworfenen Blutmenge bei der Inspiration der arterielle Blutdruck. Bei der Expiration tritt das Umgekehrte ein. Von den erwähnten größeren Schwankungen entspricht also die Inspiration der Erhebung, die Expiration der Senkung.¹⁾

Beim **B l u t v e r l u s t**, sobald derselbe nur $\frac{1}{7}$ der gesamten Blutmenge beträgt, stellt sich der Mitteldruck alsbald wieder her. Allgemeine Gefäßverengung tritt kompensatorisch ein, zugleich werden die Herzkontraktionen energischer. Beträgt aber der Verlust $\frac{2}{5}$ der Blutmenge, so reicht diese Kompensation nicht aus. Nimmt der Verlust noch weiter zu, so sinkt der Blutdruck tiefer und tiefer, und das Herz stellt seine Pulsationen ein. Füllung des Gefäßsystems mit Blut (Transfusion) kann hier lebensrettend wirken, doch reicht selbst Füllung mit 0·9 proz. Kochsalzlösung aus.

Innervation der Gefäße.

Sie dient zur Regulierung der Blutverteilung im Körper. Einem arbeitenden Organ wird durch Erweiterung der Gefäße mehr Blut zugeführt, das die gleichzeitig ruhenden Organe durch Verengung ihrer Gefäße abgeben. Auch bei Störungen der normalen Blutverteilung, wie oben beim Blutverlust gezeigt, kann durch Gefäßverengung Kompensation geschaffen werden. Diese Veränderungen im Lumen der Gefäße werden durch die glatten Muskeln in ihrer Wand bewirkt.

Diese Muskeln werden durch außen zutretende Nerven, Vasomotoren, erregt. Man unterscheidet gefäßverengernde und -erweiternde Vasomotoren.

1. **G e f ä ß v e r e n g e r n d e N e r v e n , V a s o k o n - s t r i k t o r e n .**

Das Zentrum der gesamten Vasokonstriktoren liegt paarig in der *Medulla oblongata*, im oberen Teil der Rautengrube. Die

¹⁾ Dies gilt aber nur für die mäßig tiefe und mäßig häufige Respiration. Bei sehr tiefer langsamer Respiration kann das Verhältnis sich gerade umkehren, also in jener Kurve die Inspiration der Senkung, die Expiration der Hebung entsprechen.

Gefäßnerven für den Kopf gehen unterhalb des Halsmarkes ab und treten zum Hals-Sympathicus; die für den Rumpf und die Extremitäten verlassen das Rückenmark durch die vorderen Wurzeln und treten durch die Rami communicantes in den Sympathicus über. Sie verlaufen entweder als besondere sympathische Nervenstränge weiter (z. B. Splanchnici) oder schließen sich weiterhin den peripherischen Spinalnerven an.

Das vasomotorische Zentrum wird tonisch erregt. Durchschneidet man an einer Stelle das Rückenmark, so tritt Erweiterung der von den durchschnittenen Nerven versorgten Gefäße ein. Nach einiger Zeit aber stellt sich der Tonus wieder her. Es müssen also auch Zellen des Rückenmarkes die Funktion des Zentrums übernehmen können. Übrigens kann sich auch nach Durchschneidung eines peripherischen vasomotorischen Nerven der Tonus in der Arterienwand wiederherstellen.

Wodurch der normale Tonus des vasomotorischen Zentrums unterhalten wird, ist unbekannt.

Erhöht wird der Tonus durch Sauerstoffmangel und Kohlensäurereichtum des Blutes (daher bei Erstickung die Verengung der Gefäße und die außerordentliche Erhöhung des Blutdruckes, daher auch in der Leiche die Blutleere in den Arterien), durch psychische Einflüsse (Schreck, Angst), durch sensible Reize der Haut.

Verringert wird der Tonus bei Reizung des zentralen Endes des N. depressor, der vom Anfangsteil der Aorta in die Bahn des Vagus übertretend zum Gefäßzentrum geht. Dieselbe Reizung findet wahrscheinlich auch normalerweise von den Endigungen dieses Nerven statt. Es bildet dieser Nerv sonach eine Art Selbststeuerung für die Blutzirkulation.

2. Die gefäßerweiternden Nerven, die Vasodilatoren.

Ihre Reizung bewirkt Gefäßerweiterung. Solche Nerven finden sich z. B. in der Chorda tympani für die Gefäße der Submaxillar-Speicheldrüse und für den vorderen Zungenabschnitt, in den Nn. erigentes für die Gefäße des Penis. Durch die stärkere Blutfüllung kommt die Erektion zu Stande.

Ob es ein besonderes Zentrum der Vasodilatoren in der Med. oblongata gibt, ist noch unsicher. Für die Extremitäten verlaufen sie mit den Konstriktoren zusammen in den gewöhn-

lichen Nerven. Man kann sie darin getrennt nachweisen dadurch, daß die Konstriktoren durch stärkere tetanisierende Reize erregt werden, die Dilatatoren durch schwache rhythmische. Auch sterben nach der Durchschneidung die Konstriktoren früher ab.

Über die Art, wie die Gefäß-Erweiterung zu Stande kommt, wissen wir nichts.

Anhang.

Die Milz.

Sie zeigt in ihrem Bau Ähnlichkeit mit einer Lymphdrüse. Sie besteht aus einem bindegewebigen, mit elastischen Fasern durchsetzten Gerüst, Trabekelsystem, welches eine Fortsetzung der Milz-Kapsel nach innen darstellt. In diesem liegt das eigentliche Milzparenchym, die Milzpulpa. Sie besteht aus einem feinfasrigen Reticulum, in dessen Maschen sich zahlreiche Zellen finden; besonders dichte Anhäufungen der Zellen zu Knötchen stellen die Milzfollikel (die Malpighi'schen Körperchen) dar. Die Zellen sind teils Leukozyten, teils ihnen ähnliche, aber sehr viel größere Zellen, die eigentlichen Pulpazellen, teils Zellen, die rote Blutkörperchen einschließen. Das Blut soll aus den kleinsten Arterien direkt zwischen die Elemente der Pulpa treten, also nicht mehr in Gefäßen fließen, und dann sich wieder in den Venen sammeln, wobei es viele lymphoide Zellen mitführt. Es steigt daher das Zahlen-Verhältnis der weißen zu den roten Blutkörperchen im Milzvenenblut auf 1:60.

Daraus geht hervor, daß in der Milz weiße Blutkörperchen gebildet und an das Blut abgegeben werden. Es werden solche aber auch in der Milz zerstört. Darauf weist das reichliche Vorkommen der Zersetzungsprodukte der Kernnukleine, der Xanthinbasen, hin, die als Vorstufe der Harnsäure angesehen werden; und beim Digerieren von Milzpulpa mit Blut bildet sich Harnsäure. Ferner soll die Milz ein Einschmelzungsorgan für die roten Blutkörperchen sein. Dafür spricht die Tatsache, daß man außer den Zellen, die, wie erwähnt, rote Blutkörperchen einschließen, auch solche findet, die Fragmente derselben oder auch bloß vereinzelte

rote und gelbe Pigmentkörnchen enthalten. In der e m b r y o - n a l e n Milz soll auch N e u b i l d u n g v o n r o t e n B l u t - k ö r p e r c h e n stattfinden.

Die Milz kann ohne direkten Nachteil für das Leben entfernt werden; doch schwellen dann die Lymphdrüsen an, und es tritt eine Wucherung der Markzellen des Knochenmarks ein.

Auch zur Verdauung scheint sie in Beziehung zu stehen, da sie auf der Höhe derselben anschwillt und danach wieder kleiner wird.

Reizung der Nn. Splanchnici (nicht der Vagi) bewirkt Verkleinerung der Milz durch Kontraktion der reichlich vorhandenen glatten Muskeln; ebenso wirkt Erstickung, sensible Reizung, Kälte.

Die Schilddrüse.

Sie ist eine echte Drüse. Da sie keinen Ausführungsgang hat, so hat man sie als D r ü s e m i t i n n e r e r S e k r e t i o n bezeichnet. Sie ist umgeben von einer bindegewebigen Hülle, welche zahlreiche Septa in das Innere sendet und die Drüsen in Lappen zerlegt. Jeder Lappen zerfällt wieder in geschlossene Bläschen, Follikel; jeder Follikel trägt eine einfache Lage niedriger zylindrischer Zellen, die sezernierenden Drüsenzellen und einen zähflüssigen, kolloiden Inhalt, das Drüsensekret.

Beiderseitige Exstirpation hat beim Hunde nach wenigen Tagen heftige Muskelkrämpfe und beschleunigte Herztätigkeit und Atmung zur Folge; die Tiere gehen bald zu Grunde. Wie die Hunde verhalten sich alle Fleischfresser. Beim Menschen treten nach operativer Entfernung der Schilddrüsen (wegen ihrer Vergrößerung = Kropf, Struma) ebenfalls schwere Störungen auf: Idiotie und allgemeiner körperlicher Verfall (Cachexia strumipriva). Sie ist also für sein Leben ein unentbehrliches Organ; dasselbe gilt für die Affen. Langsame Entwicklung der Kachexie nach Thyreodektomie tritt bei den Wiederkäuern und Einhufern, gar keine Kachexie bei Vögeln und Nagern ein.

Die Erscheinungen der Kachexie treten nicht ein, wenn man dem Operierten Tierschilddrüsen oder deren Saft innerlich verabreicht. Diese Erfahrung ist die Grundlage der neueren sogen. Organotherapie. Hierdurch kann man auch den Kropf heilen. Neuerdings hat man in der Schilddrüse ein jodhaltiges Nukleo-

albumin gefunden, Thyreoiodin oder Jodothyrim; dies hat man als das wirksame Prinzip der Drüse angesehen und in Beziehung zu den Krankheitserscheinungen gesetzt.

Die Thymus.

Die Thymus, im Mediastinum anticum gelegen, ist beim Fötus stark entwickelt, hält sich bis zum 10.—15. Jahre, also etwa bis zur Pubertät, und verschwindet dann allmählich vollständig. Sie ist ursprünglich ein epitheliales Organ und erfährt erst nach der Geburt allmählich eine Umwandlung in adenoides Gewebe. Die aus der Thymus abfließende Lymphe ergießt sich in die größeren Lymphgefäßstämme der Brusthöhle.

Während der späteren Stadien des Embryonallebens und in der ersten Zeit des Extrauterinlebens stellt sie eine Bildungsstätte für die morphotischen Elemente des Blutes dar, unterstützt also Milz und Knochenmark.

Die Nebennieren.

Sie zeigen in ihrer Rindenschicht einen drüsigen Bau; die Marksubstanz dagegen ist der Neuroglia ähnlich und enthält mächtige Nervenzellen. Ihre Erkrankung hat beim Menschen Braunfärbung der Haut zur Folge und führt meist unter Kräfteverfall zum Tode, Addison'sche Krankheit, bronced skin.

Sichergestellt ist, daß ein wässriger Nebennierenextrakt intravenös injiziert vorübergehend eine beträchtliche Steigerung des Blutdruckes durch krampfartige Kontraktion der glatten Muskeln in den kleinen Arterien bewirkt. Zugleich werden die Herzschläge verstärkt; diese Wirkung geht sicher auf das Herz selbst, vielleicht auch auf das Herzhemmungszentrum. Die blutdrucksteigernde Wirkung hält nur einige Minuten an. Auch auf andere glatte Muskeln wirkt der Extrakt; ferner werden die Kontraktionen der Skelettmuskeln größer und gedehnter. Die wirksame Substanz stammt allein aus dem Mark; man hat sie neuerdings chemisch rein dargestellt, „Adrenalin“. Über die Rolle der Rinde wissen wir nichts.

Vollständige Exstirpation beider Nebennieren hat nach einiger Zeit Parese der Muskeln und erschwerte Atmung, starke Herabsetzung des Blutdruckes und geringe Verzögerung des Herzschlages, also die entgegengesetzten Erscheinungen wie bei

der Injektion des Extraktes zur Folge. Nach einiger Zeit tritt unter allgemeiner Lähmung der Tod ein. Er wird aufgehalten, und die Folgeerscheinungen werden verringert, wenn nach der Exstirpation der Nebennieren ihr Extrakt eingespritzt wird.

Die Nebennieren sind also ein lebenswichtiges Organ; ob das Mark oder die Rinde die Lebenswichtigkeit bedingen, ist zur Zeit ungewiß.

Schilddrüsen und Nebennieren hat man zu den **Drüsen mit innerer Sekretion** (s. S. 85) gerechnet. Dahin gehören auch

die **Hypophyse**, der man ähnliche Funktionen auf den Stoffwechsel zugeschrieben hat, wie der Schilddrüse.

Ferner Drüsen, die neben ihren nach außen abgegebenen Sekreten noch eine innere Sekretion zeigen:

das **Pankreas**, weil seine totale Exstirpation bei Säugtieren zu schwerem Diabetes mellitus führt. Diese Störungen im Kohlehydratwechsel hat man mit den Langerhans'schen Inseln in Verbindung gebracht; der Diabetes bleibt nämlich aus, wenn die ganze Drüse atrophiert und nur diese Inseln erhalten bleiben, was nach Unterbindung des Ausführungsganges eintritt.

die **Geschlechtsdrüsen**, weil ihre Entfernung (Kastration) mit Verlust der sogen. sekundären Geschlechtscharaktere (Bartwuchs, männliche Stimme, beim Tier Geweihbildung) verbunden ist.

11. Tierische Wärme.

Körpertemperatur.

Der Mensch hat eine Eigenwärme, Blut- oder Körpertemperatur, welche von der Umgebung, selbst in sehr weiten Grenzen, unabhängig ist, sich also gleich bleibt. Ebenso verhalten sich alle Säugetiere und Vögel. Da ihre Temperatur in unseren Breiten weit über der Durchschnittstemperatur liegt, so hat man sie *Warmblüter* genannt. Dem gegenüber hat man die sich in unseren Breiten kalt anführenden Reptilien, Amphibien, Fische und wirbellosen Tiere *Kaltblüter* genannt. Indessen haben sie keine konstante niedrige Bluttemperatur, vielmehr ändert sich ihre Temperatur innerhalb gewisser Grenzen mit der des umgebenden Mediums, ist aber immer ein wenig 0.5—4° C. höher und zwar um so höher, je höher die Umgebungstemperatur ist. Richtiger ist es daher, die Tiere

in *gleichwarme, homoiotherme*, und
in *wechselwarme, poikilotherme*
zu unterscheiden.

Man mißt die Temperatur, indem man in Körperhöhlen, die gegen Abkühlung geschützt sind (Achselhöhle, Mundhöhle, Vagina, Rectum), Thermometer einführt und dort so lange liegen läßt, bis sie konstante Ablesung ergeben.

Die Temperatur des Menschen, beim Erwachsenen gewöhnlich in der Achselhöhle, beim Kind im Rectum (0.5° höher!) gemessen, beträgt im Mittel 37°.¹)

¹) Hier wie überall in wissenschaftlichen Angaben der deutschen Literatur sind die Zahlen bezogen auf die hunderttheilige Skala, deren Nullpunkt dem Schmelzpunkt des Schnees, deren 100-Punkt der Temperatur des siedenden Wassers entspricht. Fälschlich wird diese Skala nach Celsius benannt. Celsius (1742) bezeichnete gerade umgekehrt den Schmelzpunkt des Schnees mit 100, und die Temperatur des siedenden Wassers mit 0.

Sie zeigt eine säkulare Periode (bei Neugeborenen etwa 38° , im Alter steigt sie wieder etwas 37.5°) und eine tägliche Periode (am Morgen am niedrigsten etwa 36.9° , nach der Hauptmahlzeit am höchsten etwa 37.2°).

Differenzen um mehr als $\frac{1}{2}^{\circ}$ beim ruhenden Menschen werden als pathologisch angesehen.

Das Geschlecht hat keinen nachweisbaren Einfluß.

Durch Muskeltätigkeit wird sie erhöht bis um 1° . Durch die Tätigkeit der Drüsen und der Darmmuskulatur wird sie ebenfalls erhöht, daher die Steigerung nach der Hauptmahlzeit.

An den verschiedenen Stellen des Körpers bestehen auch verschiedene Temperaturen; man hat daher eine *Temperaturtopographie* aufgestellt.¹⁾

Im Innern ist die Eigenwärme am größten, daher in der Scheide und im Rektum etwa um 0.5° höher als in der Achselhöhle, in dieser wieder größer als an der frei liegenden Haut (Nasenspitze z. B. nur 24°).

Aber auch im Innern selbst zeigen sich noch Verschiedenheiten: Lebervenen und Pfortaderblut am höchsten (39° — 40°); im rechten Herzen (weil es der sehr warmen Leber angelagert ist) um einige Zehntel Grad höher als im linken.

Bei den übrigen Säugetieren ist die Körpertemperatur etwa dieselbe wie beim Menschen, bei Größeren ist sie etwas höher, bei kleineren etwas niedriger. Vögel haben eine höhere Temperatur 40° — 45° („sie leben beständig im Fieber“). Die Winterschläfer verhalten sich wie Kaltblüter.

Wärmeabgabe des Körpers.

Der Körper gibt beständig Wärme ab an die Umgebung:

1. durch *S t r a h l u n g*, *L e i t u n g* und *K o n v e k t i o n* von der Körperoberfläche aus, solange die Umgebung niedriger temperiert ist;

2. durch *W a s s e r - V e r d u n s t u n g* von der Haut aus bei Schweißsekretion; auf diesem Wege kann die Wärmeabgabe selbst bei höherer Umgebungstemperatur erfolgen;

3. durch *E r w ä r m u n g* der *I n s p i r a t i o n s l u f t* und durch *W a s s e r v e r d u n s t u n g* von den *L u f t*.

¹⁾ s. Anhang: Tierische Wärme.

wegen aus. (Die Expirationsluft ist mit Wasserdampf gesättigt!)

4. durch Erwärmen der eingenommenen Speisen und Getränke.

1 + 2 machen etwa 80 pCt. der gesamten Wärmeabgabe aus; 13 pCt. werden durch die Verdunstung von den Luftwegen aus abgegeben; der Rest durch Erwärmung der Expirationsluft + 4. Indessen wechselt das Verhältnis unter verschiedenen Bedingungen (s. Regulation).

Die gesamte Wärmeabgabe beträgt beim erwachsenen, ruhenden Menschen in 24 Stunden etwa 2400 Kalorien.¹⁾

Je kleiner ein Tier ist, um so größer ist relativ seine Wärmeabgabe, weil seine Oberfläche im Verhältnis zum Inhalt größer ist. (Bei ähnlichen Körpern verschiedener Größe nimmt der Inhalt im Kubus, die Oberfläche aber nur im Quadrat ab.) Beim Sperling ist z. B. die relative Wärmeabgabe 22 mal so groß als beim Menschen. Dem entsprechend ist der Stoffwechsel, die Quelle der tierischen Wärme, im Verhältnis zum Körpergewicht bei größeren Tieren geringer als bei kleineren, auf die Einheit der Oberfläche aber berechnet ungefähr gleich.

Gemessen wird die Wärmeabgabe durch das Kalorimeter. Dasselbe stellt einen allseitig geschlossenen Blechkasten dar, in dem das Tier sich befindet. Dieser kommt in einen größeren ebenfalls allseitig geschlossenen Blechkasten, der mit Wasser oder besser mit Luft gefüllt ist. Durch ein Rohr, welches beide Kästen durchsetzt, wird die für die Atmung nötige Luft zugeführt, durch ein zweites wird sie wieder abgeleitet. Dieses verläuft in mehrfachen Schlangenwindungen in dem Raum zwischen den beiden Kästen. Die Temperatur, welche der Wasser bez. Luftmantel zwischen den beiden Kästen annimmt, gibt den Wärmeverlust an, den das Tier erlitten.

Wärmebildung.

Die Verbrennung ist eine Verbindung einer chemischen Substanz mit Sauerstoff, Oxydation. Durch die Verbrennung entsteht Wärme.

¹⁾ Das Maß der Wärme ist die Kalo-
rie = diejenige Wärmemenge,
welche zugeführt werden muß, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen.
1 Kalo-
rie = 425 mkg. s. S. 5.

Auch die tierische Wärme ist Verbrennungswärme, die durch die Verbindung des inspirierten Sauerstoffes mit den aufgenommenen chemischen Substanzen der Nahrungsmittel, den Eiweissen, Fetten und Kohlehydraten, entstanden ist. Dabei werden aus den Fetten und Kohlehydraten Wasser und Kohlensäure gebildet, aus dem Eiweiß außerdem Harnstoff (s. S. 26); da dieser noch brennbar ist, so wird das Eiweiß nicht vollständig im Körper verbrannt. Je mehr Wasser, Kohlensäure und Harnstoff produziert werden, um so mehr Wärme entsteht.

Die aufgenommene chemische Spannkraft wird also in Wärme umgesetzt, im ruhenden Körper vollständig, im tätigen nur ein Teil, der andere Teil wird in äußere Arbeit verwandelt.

Diese Umsetzung in Wärme findet in den Geweben statt; also wird überall im Tierkörper Wärme gebildet.

Die Größe der aus einer Substanz im Tierkörper umgesetzten Wärme ist ebenso groß, als ob die Substanz außerhalb des Tierkörpers verbrannt würde, wobei es gleichgültig ist, ob jene Umsetzung direkt oder durch Zwischenstufen zum Endprodukt vor sich geht. Auf diese Weise läßt sich berechnen, daß der Tierkörper gewinnt aus:

1 gr Eiweiß (zu Harnstoff verbrannt) 4.1 Kal.,

1 gr Fett 9.3 Kal.,

1 gr Kohlehydrat 4.1 Kal.

Legt man diese Werte zu Grunde, so läßt sich, was schon aus dem Gesetz der Erhaltung der Energie folgt, in der Tat nachweisen, daß die Produktion der tierischen Wärme vollständig gedeckt wird durch die chemische Umsetzung der zersetzten Nahrung. Der zersetzten, nicht der aufgenommenen Nahrung; denn nicht alle aufgenommene Nahrung wird zersetzt, verbrannt; darum sagt auch die ermittelte Wärmeproduktion nichts aus über die Verwertung der einzelnen Nahrungstoffe. Hierüber und über die wirkliche Zersetzung geben nur die Bilanzversuche (s. Stoffwechsel) Aufklärung.

Die Umwandlung der chemischen Spannkraft in Wärme geschieht im ruhenden Körper zum weitaus größten Teil direkt: durch Oxydation in den Geweben; zu einem geringen Teil indirekt: erst in Arbeit (innere Arbeit), und diese wird wieder im Tierkörper selbst in Wärme umgesetzt.

So wird die Arbeit des Herzens durch die Widerstände des Kreislaufs verbraucht, d. h. erscheint als Wärme wieder. Ebenso die Arbeit der Atemmuskeln.

Im t ä t i g e n K ö r p e r kommt hierzu noch die durch die Muskelkontraktion erzeugte Wärme. Denn bei derselben wird nur ein Drittel von der umgesetzten Spannkraft in äußere, mechanische Arbeit verwandelt, die übrigen zwei Dritteile dagegen in Wärme (s. S. 65).

Nicht in Betracht kommt wegen ihres unbedeutenden Betrages die durch heiße Speisen und Getränke zugeführte Wärme.

Die von einem ruhenden erwachsenen Menschen in 24 Stunden produzierte Wärmemenge beträgt, entsprechend der Wärmeabgabe rund 2400 Kal., in einer Stunde 100 Kal.

Wärmeregulation.

Die Eigenwärme des Menschen, wie der homoiothermen Tiere überhaupt, bleibt innerhalb gewisser Grenzen konstant, auch wenn die Außentemperatur sich ändert, oder wenn, wie bei der Muskeltätigkeit, mehr Wärme im Körper erzeugt wird. Es findet also eine *R e g u l a t i o n d e r W ä r m e* des Tierkörpers statt. Diese kann einmal zu Stande kommen durch Veränderung der Wärmebildung, zum anderen durch Veränderung der Wärmeabgabe.

Die Regulation gegen die Kälte besteht in einer vermehrten Wärmebildung und verminderten Wärmeabgabe.

Die v e r m e h r t e W ä r m e b i l d u n g kommt zu Stande durch vermehrte Nahrungsaufnahme, insbesondere durch vermehrte Aufnahme von Fett (1 gr gibt fast $2\frac{1}{2}$ mal soviel Verbrennungswärme wie 1 gr Eiweiß oder Kohlehydrate)¹⁾ und durch Muskeltätigkeit. In der Kälte bewegen sich die Tiere lebhafter als in der Wärme; außerdem reflektorisch durch unwillkürliche Kontraktionen (Zittern und Zähneklappern) und Spannungen.

¹⁾ Solche Mengen verschiedener brennbarer Nahrungstoffe, welche die gleiche chemische Kraft geben, d. h. bei ihrer physiologischen Verbrennung die gleiche Wärmemenge, gemessen in Kalorien, erzeugen, nennt man isodynam. Es sind danach isodynam

2.3 gr Eiweiß = 1 gr Fett = 2.3 gr Kohlehydrate.

Doch findet in Wirklichkeit der gegenseitige Ersatz der Nährstoffe im Körper nicht immer nach dieser schematischen Formel statt.

Die verminderte Wärmeabgabe erfolgt dadurch, daß die Blutzufuhr zur Haut durch Kontraktion der Hautgefäße und geringere Pulsfrequenz verringert und dadurch die wärmeabgebende Oberfläche des Blutes verkleinert wird. Durch Kontraktion der Mm. arrectores pili wird die Haut straffer, und ihr Volumen verringert. Ferner stockt die Schweißabsonderung und damit die Wasserverdunstung von der Haut; dafür wird reichlicher, heller und wäßriger Harn ausgeschieden. Die Atemzüge werden seltener und flacher, wodurch weniger Wärme an die Expirationsluft abgegeben wird. Hierzu kommt, daß die Tiere sich im Winter mit schlechten Wärmeleitern von dunkler Farbe, damit sie gleichzeitig mehr Wärmestrahlen absorbieren, kleiden: bei den Tieren der Winterpelz, beim Menschen die grobhaarige Wollkleidung. Diese schlechten Wärmeleiter haben die Bedeutung, daß sie den Körper mit einer stehenden Luftschicht umgeben, die ihn ebenso vor Abkühlung schützt, wie die Luft zwischen den Doppelfenstern unsere Wohnräume.

Regulation gegen die Wärme erfolgt durch verminderte Wärmebildung und gesteigerte Wärmeabgabe.

Die verminderte Wärmebildung wird bewirkt durch ein geringeres Nahrungsbedürfnis (in den Tropen nehmen die Menschen auch weniger Fett zu sich) und durch geringere Muskeltätigkeit.

Die gesteigerte Wärmeabgabe kommt zu Stande durch vermehrten Blutzufuß zur Haut infolge Erweiterung der Hautgefäße; ferner, und dies ist das bedeutsamste Moment, sezernieren die Schweißdrüsen, der gebildete Schweiß verdunstet; dementsprechend wird eine geringe Menge eines dunklen hochgestellten Harnes ausgeschieden. Außerdem verlieren im Sommer die Tiere ihren dichten dunklen Winterpelz, der Mensch legt leichtere helle Kleidung an.

Grenzen der Wärmeregulation.

Die Erhaltung der Eigenwärme ist nur innerhalb gewisser Grenzen möglich. Wird die Temperatur der Umgebung zu hoch oder zu niedrig, so versagt die Regulation; es reicht dann zur Kompensation die Veränderung der Wärmebildung und -Abgabe nicht mehr aus, und der Körper nimmt die Temperatur der Umgebung an.

Beträgt diese 40° , so kann Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung nicht mehr erfolgen, sondern nur noch durch Schweißverdunstung. Daher wird eine Luft von 42° (vorübergehend selbst von noch viel höheren Temperaturen), wenn sie trocken und bewegt ist, noch vertragen; ist sie dagegen mit Wasserdampf gesättigt, so macht sie gefahrdrohende Beschwerden, weil die im ersteren Falle noch eintretende Abkühlung durch Schweißverdunstung nicht mehr möglich ist. Die Eigenwärme steigt dann ebenfalls auf 42° , nimmt sie weiter zu, so tritt unter sehr beschleunigter Atem- und Pulsfrequenz der Tod ein (Hitzschlag).

Sinkt die Eigenwärme unter 20° , so erfolgt ebenfalls der Tod.

Wird die Hautoberfläche mit Lack überzogen, gefirnist¹⁾, so erweitern sich die Hautgefäße sehr stark; in kalter Umgebung wird dann die Wärmeabgabe zu groß, die Tiere sterben. Dies geschieht nicht in körperwarmer Umgebung oder nach Einhüllen der Tiere in Watte.

Im Fieber ist die Körpertemperatur gesteigert infolge vermehrter Wärmebildung.

Von einigen wird angenommen, daß die Regulation durch nervösen Einfluß geschieht. In den Zentralorganen sollen Zentren liegen, welche die verschiedenen wärmeregulierenden Apparate beherrschen. Sicher ist, daß Verletzung des Corpus striatum, „Wärmestich“, Erhöhung der Temperatur (bis zu 2°) und Steigerung des Gesamtstoffwechsels macht.

Nach dem Tode mischt sich das im Innern des Körpers befindliche heiße Blut nicht mehr mit dem kalten der Peripherie, da die Zirkulation erloschen ist. Deshalb ist kurz nach dem Tode der Wärmeverlust des Körpers ein geringerer als während des Lebens. Bestand nun während der letzten Stunden vor dem Tode im Innern des Körpers eine sehr hohe Temperatur oder gingen sehr heftige Muskelbewegungen (z. B. bei Tetanus = Starrkrampf) dem Tode voraus, so kann es geschehen, daß in der Agonie und in den nächsten Stunden nach dem Tode infolge des Aufhörens der Zirkulation und infolge der geringeren Wärme-

¹⁾ Diese Frage wurde für die Physiologie dadurch von Bedeutung, daß früher in Rom bei den großen Kirchenfesten Kinder als goldene Engel auftraten. Damit der Goldschaum auf der Haut haften blieb, wurden sie gefirnißt. Dies hatte schwere Erkrankungen und Todesfälle zur Folge.

ausstrahlung der Körper eine Temperatursteigerung aufweist. Jedoch spätestens in der zweiten Stunde post mortem tritt die definitive und nun kontinuierlich zunehmende Abkühlung ein; dabei ist jedoch zu bemerken, daß ein Teil der im Körper enthaltenen Flüssigkeiten (Blut, Myosin) gerinnt, d. h. vom flüssigen in den festen Zustand übergeht, so daß Wärme dabei frei wird und sich die Abkühlung etwas verzögert.

Eine große Anpassungsfähigkeit an niedrige Umgebungstemperaturen zeigen unter den Warmblütern die sogen. Winterschläfer (Murmeltier, Siebenschläfer, Hamster, Igel, brauner Bär, Dachs, Ziesel, Haselmaus, Fledermaus) während der kalten Jahreszeit. Sie verfallen in einen lethargischen Schlaf; dabei liegt ihre Temperatur nur wenige Grade über der Umgebungstemperatur; Atmung, Herzschlag, der ganze Stoffwechsel ist herabgesetzt. Im Frühjahr erwachen sie mit verzehrtem Fett. Auch Erhöhung der Temperatur, sensible Reize können sie während der Schlafzeit zum Erwachen bringen.

12. Nahrungsmittel.

Infolge der Leistungen des Tierkörpers (Wärmebildung, Nerven-, Muskeltätigkeit) findet ein steter **S t o f f v e r b r a u c h** statt; das verbrannte, nicht mehr verwertbare Material wird im wesentlichen in der Ausatemungsluft, im Harn und Kot ausgeschieden. Dafür ist **E r s a t z** notwendig; es stellt sich das Bedürfnis nach Stoffaufnahme ein als Hunger und Durst.

Hunger.

Der Hunger tritt zuerst als abnorme Empfindung im Magen vom **N. Vagus** ein, „**V a g u s h u n g e r**“; dieser kann schon durch mäßige Anfüllung des Magens selbst mit unverdaulichen Stoffen gestillt werden. Bald danach stellt sich aber allgemeines Hungergefühl ein, „**G e w e b e h u n g e r**“, der nur durch hinreichende Ernährung beseitigt wird.

Durst.

Er wird zuerst als Trockenheitsgefühl von der Schleimhaut der Mundhöhle und des Schlundes durch Reizung der sensiblen Nerven (**N. Trigemini**, **Glossopharyngeus**, **Vagus**) empfunden. Nach Anfeuchtung dieser Teile schwindet das **l o k a l e D u r s t g e f ü h l**, um sehr bald als allgemeines, als **G e w e b s d u r s t**, wiederzukehren, der nur durch genügende Wasserzufuhr zu stillen ist.

Die dem Körper zum Ersatz zugeführten Stoffe unterscheidet man in:

N a h r u n g s t o f f e d. s. chemische Individuen, die zum Aufbau der Gewebe und zur Ausgleichung ihres Verlustes dienen.

Nahrungsmittel d. s. Gemische (natürliche oder künstliche) von Nahrungstoffen (Fleisch, Brot).

Nahrung d. i. der Komplex von Nahrungsmitteln, welcher den Körper auf seinem Bestand erhält.

Nahrungstoffe.

Eine Übersicht über die Nahrungstoffe gibt folgende Tabelle:

Anorganische		Organische				
		N-haltige: histogene	N-lose: thermo- s. dynamogene			
Aqua	Salina	Albuminosa	Saccharina	Oleosa	Condi- menta	Deliciae
Wasser	NaCl	Eier-	Stärke, Dextrin, Trauben- Milch- Rohr- Frucht-	Butter, Eigelb, Hammel- talg, Rindertalg, Schweine- schmalz, Gänse- schmalz, Tran, Knochen- mark, Gänseleber, Speck, Oliven- Nuß- Mohn- Mandel- Palmen-	Koch- salz, Pfeffer, Senf, Dessert- käse, CO ₂ im Wasser.	Alkohol- haltige. Wein, Bier, Brannt- wein, Cider, Meth, Kumyß. Koffein- haltige. Kaffee, Tee, Maté, Kakao. Narkot. Alka- loïde. Tabak, Opium, Haschisch, Betel, Koka, Fliegen- schwamm.
	KCl	Muskel-				
	CaO	Blut-				
	MgO	Milch-				
	PO ₂	Drüsen-				
	Fe	Pflanzen- eiweiß (Kleber, Legumin)				

Wasser.

Da der Wasserbestand des Körpers, der fast $\frac{2}{3}$ des Gewichts beträgt, beständig große Verluste durch Atmung, Harn, Schweiß, erfährt, ist Ersatz unentbehrlich. Er wird zum geringen Teil durch den Wassergehalt der Nahrungsmittel (Brot 50 pCt., Fleisch 70 pCt., Obst 80—90 pCt.) zugeführt, zum größten Teil in irgend einer Form als Getränk. Der erwachsene Mann braucht etwa 2—2.5 Lt. Wasser für 24 Std.

Salze.

Die zur Ernährung notwendigen Salze, N ä h r s a l z e , dienen nicht bloß zum Ersatz der ausgeschiedenen Salze, sondern sie beteiligen sich auch direkt an dem Aufbau und der Regeneration der Gewebe. Das sind:

K o c h s a l z .

Es ist vor allem wichtig; es findet sich überall im Körper, wird hauptsächlich durch den Harn ausgeschieden (s. Harn). Beim Entbehren desselben tritt Salzhunger ein (Cortez eroberte Mexico, indem er mit Hilfe der Tlaskalaner die Azteken von ihrer Salzquelle, dem Meere, abschnitt). Viele Tiere bez. Pflanzenfresser haben lebhaftes Bedürfnis nach Kochsalz (Viehsalz, Salzlecken).

K a l i s a l z e .

Sie sind zwar nur in geringer Menge vorhanden, können aber nicht entbehrt werden, insbes. nicht vom wachsenden Organismus für den Ansatz des an Kali reichen Fleisches. (Beim Skorbut wird Zitronensaft gegeben; das wirksame ist nicht die Zitronensäure, sondern das saure zitronensaure Kali).

K a l k s a l z e .

Zum Aufbau des Knochengewebes sind Kalksalze unentbehrlich. Füttert man junge Tiere mit kalkarmer Nahrung, so zeigen die Knochen krankhafte Veränderungen (Osteomalacie, Osteoporose). Hühner, auch Hirsche, die ihr Geweih bilden, zeigen spezifischen Kalkhunger.

E i s e n .

Es ist ebenfalls unentbehrlich und dient zur synthetischen Bildung des Hämoglobins. Indessen führen die gewöhnlichen Nahrungsmittel schon alles nötige Eisen in organischer Bindung, „Hämatogene“, mit sich, so daß eine Zufuhr anorganischer Eisensalze nicht erforderlich ist.

Werden die Nährsalze bei sonst ausreichender Ernährung dauernd entzogen, so tritt nach einiger Zeit der Tod ein.

Eiweiß.

In der Nahrung ist Eiweiß unbedingt erforderlich, weil die tierische Zelle aus keinem anderen Stoff lebendige Substanz er-

zeugen kann. Es dient zum Aufbau der Gewebe (histogen); aber nicht jedes Eiweiß (s. chemische Bestandteile) in gleichem Maße, so die Albuminoide (Leim) nur sehr unvollkommen. Das Eiweiß enthält alle zum Ersatz der organischen Bestandteile des Körpers nötigen Elemente, die Fette und Kohlehydrate nur einen Teil: Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff. Es müßte daher das Eiweiß allein zur Ernährung des Körpers ausreichen, was auch bei den Fleischfressern der Fall ist.

Das Eiweiß ist entweder tierisches: Fleisch, Fisch, Eier, Käse, Austern, Kaviar (auch reich an Fett), Schalthiere; oder pflanzliches: Leguminosen, Pilze, im Brot vorwiegend als Kleber.

Fette.

Man unterscheidet tierische:

1. Talgfette, von Wiederkäuern, bei gewöhnlicher Temperatur fest;
2. Schmalzfette, bei gewöhnlicher Temperatur weich;
3. Tranfette von Walthieren, bei gewöhnlicher Temperatur flüssig;
4. Speck, Unterhautbindegewebe, vom Schwein mit Muskeln gemischt;
5. Knochenmark;
6. Butter, Käse, Leber (Fettleber);

pflanzliche:

1. nicht trocknende: Oliven-, Mandel-, Palmen-Öl;
2. trocknende: Nuß-, Mohn-Öl.

Kohlehydrate.

Die Mono- und Disaccharide.

Von den Polysacchariden ist Amylum verdaulich, die isomere Zellulose aber nicht.

Die Fette und Kohlehydrate dienen dem Körper als Brennmaterial. Sie liefern die zur Wärmebildung und Arbeitsleistung erforderliche chemische Spannkraft. Die gleiche Bedeutung hat auch der Leim.

Fette und Kohlehydrate können für sich allein den Organismus nicht ernähren, da sie das Eiweiß nicht ersetzen können (s. u.).

Condimenta, Gewürze.

Sie wirken auf den Geschmack und auf die Sekretion der Verdauungsäfte anregend. Ein großer Teil des aufgenommenen Kochsalzes dient nur als Gewürz, die gleiche Bedeutung hat die Kohlensäure des Trinkwassers. Die meisten Gewürze (Nelken, Kümmel, Ingwer usw.) enthalten ätherische Öle, andere enthalten scharfschmeckende Substanzen (Pfeffer: Piperin, im Senfsamen: myrronsaures Kalium, in den Zwiebeln: das scharf riechende Schwefeläthyl).

Deliciae, Genußmittel.

Die Genußmittel enthalten ebenfalls Substanzen, die durch ihren Geschmack oder Geruch anregend auf das Nervensystem wirken und für die Herztätigkeit, Verdauung usw. förderlich sind. Es sind dies

1. die a l k o h o l i s c h e n Getränke: Wein, Bier, Branntwein, Cider, Meth, Kумыß;¹⁾
2. die k o f f e i n h a l t i g e n: Kaffee, Thee, Maté (in Südamerika von *Ilex paraguensis*);

¹⁾ Wein wird durch alkoholische Gärung des Weinmostes hergestellt. Sein Alkoholgehalt beträgt je nach den verschiedenen Sorten 7 (Pfälzer Wein) bis 10 (Rhein-, rote französische, Ungarweine, Champagner) bis 24 (Portwein, Madeira) Vol. pCt.

Bier wird aus keimender Gerste bereitet. Die Diastase des Malzextraktes verwandelt das Amylum in Zucker und Dextrin; der Zucker wird durch Hefe in Gärung versetzt. Bier enthält neben 3—4 pCt. Alkohol wenig Kohlehydrate (Dextrin 5—6 pCt.), hat daher nur geringen Nährwert.

Der reinste Branntwein wird aus der Destillation des Weines gewonnen: Cognac, 60 pCt. Alkohol. Rum wird aus der Zuckerrohrmelasse (Jamaica) gewonnen, 35 pCt. Alkohol (auch aus Rübenmelasse in Deutschland); aus gegorenem Reis Arac, 53 pCt. Alkohol; aus stärkeemehlhaltigen Rohstoffen (Kartoffeln, Roggen, Mais, Reis) werden, ebenfalls nach Umsetzung der Stärke in Zucker, durch Gärung Branntweine verschiedener Qualität hergestellt, 40—50 pCt. Alkohol. Kartoffelbranntwein enthält am meisten den sehr schädlichen Amylalkohol, Fuselöl; Kornbranntwein weniger.

Cider aus verschiedenen Früchten (Äpfel, Johannisbeeren) dargestellt.

Meth aus Honig und Wasser durch Gärung bereitet, etwa 17 pCt. Alkohol.

Kумыß gegorene Stutenmilch, 1—2 pCt. Alkohol.

3. der theobrominhaltige Kakao;¹⁾
4. narkotisch wirkende Alkaloïde im Tabak, Opium, Haschisch, Betel, Koka, Fliegenschwamm (bei den Eskimos).

Nahrungsmittel.²⁾

a) Tierische.

Die Milch.

Sie ist das wichtigste von allen, weil sie nicht bloß ein Nahrungsmittel ist, das alle Nährstoffe in günstigster Mischung enthält, sondern sie stellt auch allein für den Säugling eine völlig ausreichende Nahrung dar, d. h. also ein Gemisch von Nährstoffen und Genußmitteln, welches den Bestand des Körpers erhalten kann. (Über Zusammensetzung der Milch s. u. Harn und Schweiß, Anhang.)

Die Frauenmilch enthält weniger Salze, weniger Eiweiß, und mehr Zucker als Kuhmilch. Man macht diese durch Zusatz von einer gleichen Menge Wasser und etwas Milchzucker der Frauenmilch ähnlich. Das Fett ist in Form von Fettkügelchen enthalten. Diese sind in der Frauenmilch feiner als in der Kuhmilch.

Eiweiß ist in der Milch vorwiegend als (phosphorhaltiges) Kasein enthalten. Kuhkasein bildet bei der Gerinnung derbe Koagula, Frauenkasein dagegen fällt feinflockig aus. Durch Verdünnen der Kuhmilch mit Wasser gerinnt auch das Kuhkasein weniger derb.

Beim Stehenlassen der Milch steigen die Fettkügelchen nach oben und bilden die gelblichweiße Rahmschicht. Wird der Rahm „geschlagen“, so werden die an den Fettkügelchen befindlichen Kaseinhüllen zerrissen, die Fetttröpfchen fließen zusammen und bilden

die Butter.

Sie bildet eine gelbliche festweiche Masse und enthält etwa 90 pCt. Fette, 9 pCt. Wasser und 1 pCt. Eiweiß und Salze. Die

¹⁾ Kakao hat auch noch Bedeutung als Nahrungsmittel; es enthält Eiweiß (12 pCt.), Kohlehydrate (13 pCt.) und Fett.

²⁾ s. Anhang.

nach dem Buttern zurückbleibende Milch, die *B u t t e r m i l c h*, enthält das Kasein, den Zucker und die Salze der Milch, ist daher nur als ein vorwiegend eiweißhaltiges Nahrungsmittel anzusehen.

Der Käse.

Er besteht aus dem (durch Milchsäure-Gärung oder Lab) ausgefällten Kasein (etwa 30 pCt.) und Fett (etwa 30 pCt. bei Fettkäse) der Milch, beide in gut resorbierbarer Form. Beim „Reifen“ des Käses wird das Eiweiß teils peptonisiert, teils in Amidosäuren gespalten; aus den Fetten bilden sich Fettsäuren. Die bei der Käsebereitung zurückbleibende Milchflüssigkeit, die Molken, enthalten den gesamten Zucker und den größten Teil der Salze.

Fleisch.

So nennt man die Muskeln der Schlachttiere, Vögel und Fische. Es besteht aus den Muskelfasern, die das eigentliche Eiweiß enthalten, und dem dazwischen befindlichen Bindegewebe, leimgebender Substanz. Am eiweißreichsten ist das Fleisch der Vögel, dann das der Säuger; ärmer ist das der Fische (etwa 18 pCt.), s. Anhang.

Die *Z u b e r e i t u n g* erfolgt auf verschiedene Weise.

Beim gewöhnlichen *K o c h e n* geht ein großer Teil der Salze, die Extraktivstoffe, das wenige lösliche Eiweiß, Serumalbumin und Hämoglobin (der größte Teil davon gerinnt aber bei höheren Temperaturen (70 °) vollständig und wird dann als brauner Schaum abgeschöpft), das Bindegewebe als Leim und etwas Fett in den Wasser-Extrakt, die *F l e i s c h b r ü h e*, über. Diese hat bei dem nur spurweisen Vorkommen von Nährstoffen nur Bedeutung wegen des Gehaltes an Nährsalzen und Extraktivstoffen; letztere sind von besonderer Wichtigkeit für die Verdauung, weil sie den stärksten chemischen Reiz für die Absonderung des Magensaftes abgeben. Der Verlust, den der Nährwert des Fleisches durch das Kochen erfährt, ist nur gering anzuschlagen; zudem wird das ausgekochte Fleisch fast vollständig im Darm verdaut.

Beim *B r a t e n* (starkes Erhitzen in Fett) und *R ö s t e n* (gelinde Vorstufe der Verkohlung) werden die obersten Schichten schnell zur Gerinnung gebracht und dadurch der Austritt des

Muskelsaftes verhindert, daneben bildet sich eine aromatisch riechende und schmeckende Kruste.

Die Zubereitung durch Hitze hat im übrigen den Vorteil, daß die nicht selten im Fleisch vorkommenden Entozoen (Trichinen, Bandwurmfinnen) getötet werden. Beim „Einpökeln“ wird das Fleisch reichlich mit Kochsalz (und etwas Salpeter) versetzt und dadurch konserviert. Ähnlich wirkt das Räuchern.

Die Eier der Vögel

enthalten in ihrem Weiß nur Eiweiß und Salze, in ihrem Dotter neben Eiweiß auch Fette, Lecithin und Cholestearin. In bezug auf den Nährwert kommt ein Ei etwa 40 gr fettem Fleisch oder, in bezug auf Eiweiß und Fettgehalt, 150 gr Kuhmilch gleich. Am leichtesten verdaulich sind weich gekochte Eier; auch rohe Eier werden gut vertragen.

b) Pflanzliche.

Sie unterscheiden sich von den vorigen dadurch, daß sie die stickstofflosen Nährstoffe, hauptsächlich Kohlehydrate (meist als Stärke, weniger als Zucker) außerordentlich reichlich enthalten; ferner daß in ihnen allen ein nur ihnen eigentümlicher Stoff, die Cellulose (s. S. 32), vorkommt, welche als Hülle oder Kapsel die Nährstoffe einschließt. Diese Cellulosehüllen müssen, damit die eingeschlossenen Nahrungstoffe zugänglich sind, gesprengt werden; dies geschieht durch die Zubereitung: Mahlen, Kochen. Die Cellulose ist schwer oder gar nicht verdaulich, regt aber wahrscheinlich rein mechanisch die Darmperistaltik an.

Die Früchte der Cerealien.

Die Getreidekörner werden durch Mahlen in Mehl verwandelt. Die gesprengten Cellulosekapseln werden als „Kleie“ abgesiebt, sie enthalten immer noch die Rindenschicht des eigentlichen Kornes. Da in ihr mehr Getreideeiweiß, „Kleber“, enthalten ist, als in den inneren Schichten, so ist die Kleie noch reich an Nährstoffen.

Aus Mehl wird Brot gebacken. Hierzu eignen sich nur diejenigen Mehlsorten, welche reich an Kleber sind, d. s. Weizen- und Roggenmehl. Kleber giebt mit Wasser eine klebrige (daher der Name) Lösung; die Klebrigkeit ist aber zur Er-

zielung eines bindenden Teiges erforderlich. Das mit Wasser angerührte Mehl, der Teig, wird, mit Hefe versetzt, einige Zeit der Gärung (zirka 30°) überlassen und danach in hohe Temperatur, 200° C., gebracht. Durch die Gärung entsteht aus Zucker Alkohol und Kohlensäure; durch ihre Gasblasen wird der Teig aufgelockert. In der braunen Rindenschicht ist der Stärkekleister in das in Wasser lösliche Dextrin verwandelt. Das graue grobe Kleienbrod ist eiweißreicher, aber wegen der Cellulosehüllen schwerer verdaulich als das feine weiße Brod.

Leguminosen

Die Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen, Linsen) enthalten Eiweiß, bes. das Legumin, ein Pflanzenkasein, in sehr beträchtlichen Mengen (20—25 pCt.). Sie werden durch Kochen ihrer Cellulosekapseln beraubt.

Kartoffeln.

Sie enthalten 70 pCt. Wasser, 20 pCt. Stärke. Wegen ihres sehr geringen Eiweißgehaltes können sie allein die Ernährung nicht unterhalten, sondern nur in Verbindung mit animalischer Kost. Bei geringem Cellulosegehalt sind sie leicht verdaulich.

Gemüse und Obst.

Die Gemüse sind sehr wasserreich, enthalten aber viel Salze und sind deshalb wichtig; so Eisen im Spinat, Kalisalze im jungen Gemüse, bes. Rosenkohl. Obst enthält neben Zuckerarten verschiedene Pflanzensäuren und viele auf den Geschmack wirkende Substanzen.

Nahrung.

Tierische Nahrungsmittel allein (außer der Milch) reichen für den Menschen nicht aus, denn sie enthalten gar keine Kohlehydrate und zuviel Eiweiß.

Pflanzliche Nahrungsmittel allein können zwar die Ernährung unterhalten, wie die Vegetarier zeigen, sind aber doch dem Menschen nicht gemäß; sie enthalten meist zu wenig Eiweiß und kein Fett. Auch der Darmkanal des Menschen steht in Bezug auf seine Länge zwischen Fleisch- und Pflanzenfressern.

Am zweckmäßigsten erweist sich eine Nahrung, die zu $\frac{1}{3}$ aus tierischer, zu $\frac{2}{3}$ aus pflanzlicher Kost besteht.

Stoffwechsel.

Vergleicht man mit einander die Einnahmen und Ausgaben des Tierkörpers, so stellt man eine Bilanz des Stoffwechsels auf. Die Einnahmen sind die Nahrung und der eingeatmete Sauerstoff. Die Ausgaben sind Kot, Harn, Schweiß, ausgeatmete Luft; ferner in so kleinen Mengen, daß sie für gewöhnlich nicht berücksichtigt werden, Hauttalg, Haare, Nägel, abgestoßene Epithelien, Milch, Samen, Menstrualblut. Auf diese Weise kann man feststellen, wie groß die Einnahmen sein müssen, um den Lebensprozeß zu unterhalten und den stofflichen Bestand des Körpers zu sichern.

Indem man nach dieser Richtung hin besondere Versuche, „Stoffwechselversuche“, anstellt, prüft man zugleich die verschiedenen Nahrungsmittel auf ihre Dignität für den tierischen Haushalt.

Eine Übersicht über den Stoffwechsel wird gewonnen durch chemische Analyse: Man bestimmt, wieviel an C, H, N, O, Wasser und Salzen in den Körper eingeführt, und wieviel ausgeschieden worden ist. Für ein fleischfressendes Tier ergibt sich:

1. C wird zum größten Teil (90 pCt) als CO_2 durch Lunge und Haut ausgeatmet (wird als solche durch die Respirationsapparate bestimmt), und nur zum geringen Teil (10 pCt.) in organischen Verbindungen des Harnes und Kotes ausgeschieden.

2. H verläßt hauptsächlich zu H_2O verbrannt den Körper.

3. N gelangt fast vollständig als Harnstoff zur Ausscheidung; ein ganz kleiner Bruchteil findet sich im Kot, in den übrigen N-haltigen Harnbestandteilen und im Schweiß.

4. O wird hauptsächlich als CO_2 , der Rest als H_2O aus dem Körper entfernt. $\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$ respiratorischer Quotient = 0.8 beim Menschen.

5. Das Wasser wird durch Harn, Kot, Lungen, Haut ausgeschieden.

6. Die Salze verlassen den Körper hauptsächlich durch den Harn.

Da aller N in der festen Form der Nahrung (Eiweiß) aufgenommen und als Harnstoff im Harn ausgeschieden wird, so ist die Berechnung des aufgenommenen und ausgeschiedenen N am einfachsten und genauesten und gibt schnell eine Übersicht über den Zustand des Eiweißstoffwechsels. Man braucht nur, wie gezeigt (s. S. 18), den gefundenen N mit 6.25 zu multiplizieren, um die entsprechende Eiweißmenge zu erhalten. Ebenso kann man leicht den C-Gehalt des aufgenommenen bez. abgegebenen Eiweiß berechnen. Zieht man diese Menge von der Gesamtmenge des C ab, so erhält man als Rest denjenigen C-Gehalt, welcher in den Fetten und Kohlehydraten enthalten ist. Daraus ergibt sich, wieviel neben Eiweiß stickstofffreie Nahrungstoffe im Körper verbraucht sind.

Gleichgewicht des Stoffwechsels besteht, wenn ebenso viel aufgenommen wie ausgeschieden wird; andernfalls ist die Stoffwechselbilanz = $\frac{\text{Aufnahme}}{\text{Abgabe}}$ positiv oder negativ.

Verhalten des Stoffwechsels unter verschiedenen Umständen.

I. Hungerzustand (Inanition, Karenz).

Findet keine Stoffzufuhr außer dem O₂ der Luft statt, so zehrt der Körper von seiner eigenen Substanz und erleidet infolge dessen einen Gewichtsverlust. Dieser verteilt sich zu $\frac{2}{3}$ auf Wasser, zu $\frac{1}{3}$ auf Körperfett und Körpereiß; der Fettverlust beträgt an Gewicht das Dreifache des Eiweißverlustes. Je weniger Fett zur Verfügung steht, je magerer das Tier ist, um so mehr wird das Eiweiß angegriffen. Die vorhandenen Kohlehydrate (Glykogen) sind schon in den ersten Tagen aufgebraucht. Nimmt das Individuum soviel Wasser auf, als der Wasserverlust beträgt, so ist der tägliche Substanzverlust im Ganzen geringer.

Je kleiner ein Tier ist, um so größer ist im Verhältnis zum Körpergewicht sein Gesamtstoffwechsel (s. S. 165), also auch im Hungern sein Substanzverlust. Daher erliegen Kinder und jüngere Tiere dem Hunger schneller als Erwachsene und ältere Tiere, und kleinere Säugetiere schneller als der Mensch.

Den größten Verlust erleiden bei absolutem Hunger das Fettgewebe und die Muskulatur; in geringem Maße werden betroffen Herz, Atemmuskulatur und Gehirn, also gerade diejenigen Organe, in denen die größte Arbeit vor sich geht. Da sie für die Erhaltung des Lebens notwendig sind, so werden sie auf Kosten der anderen Organe geschont.

Unter den Begleiterscheinungen des Hungerzustandes, der durchaus nicht mit Schmerzen verbunden ist, tritt als charakteristisch in den Vordergrund die zunehmende Kraftlosigkeit. Die Pulsfrequenz wird wenig verändert, die Temperatur sinkt erst wenige Tage vor dem Tode jäh ab, die Absonderung der Verdauungsäfte stockt. Schließlich kann auch die Ernährung des Gehirnes leiden. Es kommt zu Inanitionsdelirien. Darauf beruhen die Fälle von Kannibalismus bei Verhungerten (Don Juan von Byron, 2. Gesang).

Der Mensch kann bei größter Körperruhe etwa 4 Wochen ohne Nahrungsaufnahme leben; Kaltblüter sehr lange, Frosch 1 Jahr. Wird Wasser gereicht, verlängert sich die Frist beim Menschen auf etwa 6 Wochen.

II. R e i n e E i w e i ß z u f u h r.

Mageres Fleisch enthält 20 pCt. Eiweiß, ferner 76 pCt. Wasser, 1 pCt. Fett und 1 pCt. Kohlehydrate.

Führt man so viel Eiweiß zu, als im Hungerzustand täglich zersetzt wird, so reicht das nicht aus, um N-Gleichgewicht, d. h. Erhaltung des vorhandenen Eiweißbestandes, zu erzielen, dazu ist vielmehr eine etwa 3 mal größere Menge erforderlich; erst dann wird kein Körpereiweiß mehr angegriffen. Vermehrt man noch weiter die Zufuhr von Fleisch (Eiweiß), so wird auch der Fleisch- (Eiweiß)zerfall gesteigert, es wird die ganze zugeführte Fleischmenge zersetzt bis zu einer oberen Grenze, die gegeben ist durch die Aufnahmefähigkeit des Darmes für Fleisch. Der Körper kann sich also mit sehr verschiedenen Mengen Eiweiß in N-Gleichgewicht setzen. Es gibt für jedes Tier eine obere und eine untere Grenze, innerhalb deren N-Gleichgewicht zu erhalten möglich ist. Bei der Eiweißzufuhr, die eben N-Gleichgewicht erhält, wird aber noch nicht Körpergleichgewicht erzielt. Es wird immer noch Fett zersetzt, erst bei reichlicher Zufuhr von

Fleisch nimmt mit dem zunehmenden Eiweißzerfall die Fettzersetzung ab, bis schließlich der Fettbestand erhalten wird und Körpergleichgewicht eintritt. Die kleinste hierzu nötige Menge heißt das „Erhaltungsfutter“. Bei sehr reichlicher Zufuhr von Fleisch kann es auch zu Eiweißansatz kommen. Dies gilt aber nur für Fleischfresser.

Der Mensch und die Herbivoren vertragen auf die Dauer reine Eiweiß- (magere Fleisch-) Nahrung nicht; sie verdauen nicht soviel Eiweiß, wie für ihr Nahrungsbedürfnis notwendig wäre.

III. L e i m z u f u h r .

Bloße Leimzufuhr führt zum Tode, nur weniger schnell als beim Hungern. Leim wird im Körper sehr schnell und vollständig zu CO_2 und Harnstoff zersetzt und schützt dadurch einen Teil des Eiweisses vor dem Zerfall. Der Eiweißzerfall wird also herabgesetzt, jedoch nicht aufgehoben. Leim = Eiweißsparer.

IV. Z u f u h r v o n F e t t e n + K o h l e h y d r a t e n .

Findet Zufuhr von Fett und Kohlehydraten in reichlichster Menge statt, aber nicht von Eiweiß, so gelangt der Körper (im Gegensatz zu reiner Eiweißzufuhr) nie in Stoffwechselgleichgewicht. Es findet beständig Abgabe N-haltiger Zersetzungsprodukte statt. Der Körper verliert fast eben soviel Eiweiß wie bei absolutem Hungern und geht schließlich an Eiweißhunger zu Grunde. Zufuhr von Eiweiß ist also unbedingt erforderlich.

V. Z u f u h r v o n E i w e i ß + F e t t .

Bei gleichzeitiger Zufuhr von Eiweiß und Fett wirkt das Fett Eiweiß-ersparend; es bedarf also zur Erhaltung des N-Gleichgewichts geringerer Eiweißzufuhr als bei reiner Eiweißnahrung; es erfolgt auch leichter Eiweißansatz. Außerdem tritt das Nahrungsfett für das verbrauchte Körperfett zu gleichen Mengen ein; bei Überschuß kommt es zu Fettansatz. Dieselbe Wirkung wie Fette haben auch Fettsäuren.

VI. Zufuhr von Eiweiß + Kohlehydraten.

Kohlehydrate bewirken ebenfalls eine Ersparnis im Eiweißverbrauch aber in noch stärkerem Grade als die gleichen Fettmengen; ferner wird der Fettumsatz vermindert. Fette und Kohlehydrate können sich nach den Gesetzen der Isodynamie gegenseitig vertreten; 240 gr Kohlehydrate sind in dieser Beziehung gleich 100 gr Fett. Doch werden die Kohlehydrate leichter verbrannt als die Fette. Zur künstlichen Mästung werden daher die Kohlehydrate, die überdies billigere Nährstoffe liefern viel reichlicher verwendet als die Fette.

VII. Wasser- und Salzzufuhr.

Wird mehr Wasser eingeführt, so wird auch mehr Wasser abgegeben, die Menge des ausgeschiedenen Harnes wird vermehrt. Zugleich wird auch mehr Sauerstoff ausgeschieden, was wahrscheinlich von einer besseren Auslaugung der Gewebe, nach anderen auch von vermehrtem Eiweißkonsum herrührt.

Salzzufuhr ist wie die des Wassers unentbehrlich. Bei Entziehung aller Salze (ausgelaugte Nahrung) gehen die Tiere unter Schwäche und Lähmung zu Grunde.

VIII. Alkoholfuhr.

Alkohol wird, wie die anderen N-freien Nahrungstoffe, im Körper vollkommen und zwar sehr schnell verbrannt, kann daher Kohlehydrate und Fette vertreten; ist aber in größeren Dosen ein starkes Nervengift.

IX. Muskel-tätigkeit

kann die Verbrennungsprozesse im Körper bis zum Fünffachen des Betrages in der Ruhe steigern. Der Eiweißumsatz, die N-Ausscheidung im Harn, erfährt keine Steigerung, angenommen wenn nicht genügend N-freie Substanzen zugeführt werden. Doch ist zur Erhaltung der Muskelsubstanz auch eine reichere Eiweißzufuhr erforderlich. Der Hauptverbrauch bei der Arbeit betrifft die N-freien Nahrungstoffe, dafür müssen Kohlehydrate und Fette in erhöhtem Maße zugeführt werden.

Unsere Lasttiere erhalten in ihrer pflanzlichen Nahrung 4—8mal soviel Kohlehydrate als Eiweiß.

X. T e m p e r a t u r.

Bei niedriger Außentemperatur wird vom Warmblüter mehr Wärme abgegeben, es muß also mehr Wärme erzeugt werden. Der Stoffwechsel nimmt daher bei sinkender Außentemperatur zu, bei steigender ab. Die Veränderungen betreffen hauptsächlich den Fettverbrauch; der Eiweißansatz ist unverändert. Im kalten Klima wird daher sehr viel Fett (Speck, Tran) aufgenommen, im warmen sehr wenig. Beim Kaltblüter steigt umgekehrt mit der Zunahme der Temperatur der Stoffumsatz, wie ja die Wärme die chemischen Umsetzungen steigert. Daß das nicht auch unter gewöhnlichen Bedingungen beim Warmblüter eintritt (am kurarisierten Tier nach Rückenmarksdurchschneidungen ist es auch hier der Fall), wird durch nervöse Mechanismen verhindert.

XI. F l e i s c h - u n d F e t t m a s t.

Fleisch-(Eiweiß-)ansatz zu erhalten ist nur durch vermehrte Eiweißzufuhr möglich, da aus Kohlehydraten und Fetten kein Fleisch gebildet wird; doch wird Ansatz beim erwachsenen Körper nur in sehr geringem Umfange erlangt. Am günstigsten erweist sich, neben reichlicher Fleischzufuhr auch große Fettmengen zu geben. Dazu müssen aber noch Körperübungen kommen, da diese die Zunahme der Muskelmasse begünstigen.

Fettansatz zu erzielen gelingt verhältnismäßig leicht; es geschieht durch

- a) überschüssige Zufuhr von Fetten und Kohlehydraten neben mittlerer Eiweißzufuhr;
- b) Verminderung der Muskeltätigkeit (es wird weniger Fett verbraucht).

XII. K o s t m a ß.

Am besten ist für den Körper, um ihn auf seinem Stoffbestand zu erhalten, die gleichzeitige Zufuhr von Eiweiß, Fett und Kohlehydraten. Wieviel innerhalb 24 Std. zu dem Zweck von

den einzelnen Nährstoffen eingeführt werden muß, gibt das Kostmaß an; es beträgt für den ruhenden Mann:

100 gr Eiweiß,
60 gr Fett,
400 gr Kohlehydrate.

für den angestrengt arbeitenden Mann:

130 gr Eiweiß,
100 gr Fett,
500 gr Kohlehydrate.

Vergl. auch die Angaben im Anhang.

13. Mundverdauung.

Vorbemerkung.

Die Nahrungsmittel, nimmt der Mensch in seinen Verdauungsschlauch auf (Mund und Speiseröhre, Magen, Dünndarm und Dickdarm).

In der Mundhöhle werden die Nahrungsmittel zuerst, soweit sie fest sind, mechanisch zerkleinert. Dann unterliegen sie der Reihe nach der Einwirkung fünf verschiedener Säfte (Speichel Magensaft, Pankreatischer Saft, Galle, Darmsaft). Dadurch werden die unlöslichen oder die löslichen aber nicht diffusiblen löslich und diffusibel gemacht, so daß sie nun aus dem Darminnern durch die Darmwand in die Blut- und Lymphgefäße des Darmes hindurchtreten, in den allgemeinen Kreislauf gelangen und zu den verschiedenen Organen des Körpers gebracht werden. Dazu werden die Eiweiße in Proteosen, die Kohlehydrate in Zucker übergeführt; die Fette werden teils in Glyzerin und Fettsäuren gespalten und verseift, teils emulgiert.

Diese Aufnahme der Stoffe aus dem Darmlumen in die zirkulierenden Säfte (Blut, Lymphe), diese Aufsaugung nach innen heißt Resorption (resorbeo = schlürfe ein).

Die Vorbereitungen zum Zwecke der Resorption (d. h. die mechanische und chemische Bearbeitung) + Resorption nennt man Verdauung. Man unterscheidet: Mundverdauung, Magenverdauung, Darmverdauung, je nach dem Orte, an welchem die Prozesse der Verdauung vor sich gehen. Die auf die Nährstoffe chemisch einwirkenden Säfte heißen Verdauungssäfte. Das wirksame Prinzip derselben sind ungeformte Fermente, Enzyme (s. S. 28).

Was nicht im Darmkanal resorbiert ist, wird als Kot, Faeces, ausgeschieden.

Mechanik der Mundverdauung.

Die Nahrungsaufnahme erfolgt durch den Mund. Mittels der Zähne und Lippen werden die Nahrungsmittel ergriffen.

Sind sie zu groß, so werden durch *Beißen* mit den messerförmigen Schneidezähnen und spitzen Eckzähnen Stücke davon abgetrennt. Diese werden wiederholt zwischen die rauhen Flächen der Back-(Mahl-)Zähne geschoben und durch diese zerkleinert, Kauen. Zugleich wird der entstehende Speisebrei innig mit dem Mundsaft gemischt, so daß er weich und schlüpfrig, für das Schlucken geeignet wird.

Bei den pflanzenfressenden Säugern zeigen die Backzähne vertikal gestellte Schmelzleisten, die für das Zermahlen der Cellulosehüllen besonders geeignet sind. Bei den Raubtieren haben die Backzähne statt der Mahlflächen scharfe Höcker und Spitzen. Bei den Omnivoren sind die vorderen Backzähne wie bei den Fleischfressern gestaltet, die hinteren haben ähnlich den Pflanzenfressern Mahlflächen. Die Eckzähne sind bei manchen Tieren mächtig ausgewachsen und dienen als Waffe.

Beißen und Kauen.

Beim Beißen wird der Unterkiefer senkrecht gegen den Oberkiefer um eine transversale Achse auf- und abbewegt, beim Zermahlen wird ferner der Unterkiefer nach vorn und nach hinten, und nach der einen und nach der anderen Seite verschoben; außerdem sind Zunge und Wange tätig.

Der Unterkiefer

wird gehoben durch die Mm. Temporalis, Masseter, Pterygoideus int.,
wird herabgezogen durch die Mm. Digastricus, Mylohyoideus, Geniohyoideus; hierbei muß das Zungenbein fixiert sein durch die Mm. Omohyoideus, Sternohyoideus, Sternothyreoideus und Thyreohyoideus,
wird nach vorn gezogen durch die beiden Mm. pterygoidei ext.,
nach rechts durch den linken Pterygoideus ext. und int.,
nach links durch den rechten Pterygoideus ext. und int.

Die Zunge

wird herausgestreckt durch den M. Genioglossus,
zurückgezogen durch Mm. Hyoglossus und Styloglossus,
zum Gaumen erhoben im vorderen Teil durch M. Longitudinalis, im hinteren Teil durch M. Palatoglossus, Styloglossus und Stylohyoideus.

Indem sich ferner die Zungenmuskeln in ihrer Wirkung in verschiedener Weise kombinieren, kommen mannigfaltige Gestaltsveränderungen der Zunge zu stande.

Die Wange.

Der *M. Orbicularis oris* schließt die Mundöffnung.

Der *M. Buccinator* drückt die Wange an die Zähne und schiebt die Speiseteile zwischen die Zähne.

Saugen.

Die Mundhöhle ist für gewöhnlich luftdicht geschlossen dadurch, daß der Zungenrand sich an den *Processus alveolaris* des Oberkiefers anlegt, und daß der weiche Gaumen über der Zungenwurzel ausgespannt wird. Daher wird der Unterkiefer nicht durch Muskelkraft, sondern durch den Luftdruck getragen. Wird die luftdicht geschlossene Mundhöhle erweitert durch Zurückziehen der Zunge oder Senken des Unterkiefers, am kräftigsten durch Herabziehen der Zunge, so entsteht ein luftverdünnter Raum, den die einströmende Flüssigkeit ausfüllt; sie wird angesaugt. Der negative Druck, der dabei in der Mundhöhle entsteht, kann 115 mm Hg und bei wiederholtem Ansaugen bis 700 mm Hg betragen. Außer diesem reinen Mundsaugen kann man auch durch Inspiration saugen, hierbei ist der Maximaldruck erheblich geringer (70 mm Hg), aber die Flüssigkeitsmenge ist erheblich größer (mit dem Inspirationzug bis zu 2 L z. B. Küfer in den Heber).

Schlürfen.

Dabei wird unter Abschluß der Rachenhöhle gegen die Nasenhöhle durch einen Inspirationszug die Flüssigkeit zugleich mit Luft aspiriert.

Innervation.

Masseter, *Temporalis*, *Pterygoidei ext.* und *int.*, *Mylohyoideus* und der vordere Bauch des *Digastricus* werden vom *N. crotaphiticobuccinatorius* vom 3. Ast des *Trigeminus*, der *Orbicularis oris*, *Buccinator* und der hintere Bauch des *Digastricus* vom *N. facialis* innerviert. Sämtliche Zungenmuskeln, einschließlich des *Geniohyoideus* und *Stylohyoideus* vom *N. Hypoglossus*, der *Sternohyoideus*, *Sternothyreoideus*, *Thyreohyoideus* und *Omohyoideus* vom *R. descendens N. hypoglossi*. Das Kauen ist zum größten Teil eine komplizierte Reflexbewegung,

die in ihren einzelnen Teilen ausgelöst wird durch die Empfindungen von der Zunge, der Mund- und Wangenschleimhaut. Das Zentrum liegt im Kopfmark.

Speicheldrüsen.

In die Mundhöhle ergießt sich das Sekret der Schleimdrüsen der Mundhöhle, der Mundschleim, und das Sekret der Speicheldrüsen, der Gl. parotis, submaxillaris, sublingualis, Nuhnii. Das Gemisch dieser Sekrete bildet den Mundspeichel. Neben seiner mechanischen Wirkung, die Speisen schlüpfrig und dadurch zum Verschlucken geeignet zu machen, ist seine chemische von Bedeutung; er bewirkt die Mundverdauung der Stärke.

In 24 Std. werden beim Menschen etwa 1500 gr Speichel ausgeschieden.

Man gewinnt den Speichel beim Hunde durch Anlegung einer permanenten Speichelfistel, indem man die Schleimhautstelle der Mündung der großen Drüsen (Parotis, Submaxillaris) auf die äußere Wangenhaut verlegt.

Die Drüsen der Mundhöhle werden in zwei Arten unterschieden:

1. Schleimdrüsen.

Sie liefern ein schleim-(mucin-)haltiges Sekret. Hierzu gehören Gl. sublingualis und orbitalis aller Säugetiere, ferner submaxillaris von Hund und Katze; außerdem Gl. Nuhnii und der größte Teil der Drüsen der Mundhöhlenschleimhaut. Man sieht in ihnen:

a) Große Zellen bis an das Drüsenlumen reichend. Enthalten Schleim, sind daher glasartig hell, glänzend, färben sich mit Ausnahme der Kerne mit Karmin fast gar nicht.

b) Kleine Zellen, an der Wand halbmondförmig angeordnet, „Gianuzzi'sche Halbmonde“, granuliert, dunkel enthalten noch keinen Schleim, färben sich mit Karmin gut.

Beide Zellformen stellen nur verschiedene Tätigkeitsphasen derselben Zellart dar. Die großen Zellen sind die gerade tätigen, Schleim produzierenden; sie drängen durch ihr Wachstum die anderen zur Zeit untätigen vom Lumen ab. Haben sie ihr Sekret entleert, so beginnen die anderen, die kleinen, ihre Tätigkeit und drängen jene an die Wand.

2. Eiweißdrüsen oder seröse Drüsen.

Sie liefern ein eiweißreiches, seröses Sekret. Es gehören dazu die Parotis aller Säugetiere und die Submaxillaris beim Kaninchen, ferner beim Menschen die Eiweißdrüsen der Zunge in der Gegend der Papillae circumvallatae und foliatae. Die kubischen oder konischen Sekretzellen zeigen in der Ruhe eine reichliche Menge kleiner Körnchen im Protoplasma und in der Mitte einen kleinen zackigen Kern. Haben die Zellen einige Zeit serzerniert, so verschwinden die Körnchen allmählich, zuerst in der äußeren der Membrana propria zugewandten Zone, die Zellen werden kleiner und heller, der Kern rundlich.

Die Glandula submaxillaris des Menschen ist eine gemischte Drüse; sie enthält sowohl Eiweiß, wie Schleim absondernde Drüsenabschnitte.

Innervation.

Die Speichelsekretion steht unter dem Einfluß des Nervensystems (s. S. 87). Jede Drüse besitzt „sekretorische Nervenfasern vom cerebralen und vom sympathischen System.

Die Glandula submaxillaris und sublingualis erhalten Fasern:

a) vom Facialis, sie stammen aber in letzter Linie vom Glossopharyngeus; sie verlaufen in der Chorda tympani. Diese legt sich nach ihrem Austritt aus dem Schläfenbein durch die Fissura Glaseri dem Stamm des N. Lingualis (vom III. Ast des Trigemini) an, geht dann als feines Stämmchen zum Ganglion submaxillare und von da zu den Drüsen. Ihre Reizung liefert ein reichliches, klares, dünnflüssiges, an festen Bestandteilen armes Sekret und bewirkt Erweiterung der Blutgefäße der Drüsen.

b) vom Hals-Sympathicus; ihre Reizung liefert ein spärliches, zähes, an festen Bestandteilen reiches Sekret und bewirkt Verengung der Blutgefäße.

Die Glandula parotis erhält Fasern:

a) vom Glossopharyngeus, die durch den Ramus tympanicus (N. Jacobsonii) dem Facialis zugeführt werden und von diesem als N. petros. superficial. minor zum Ganglion oticum und von dort mit dem N. auriculo-temporalis zur Drüse gehen.

b) vom Hals-Sympathicus.

Die *A b s o n d e r u n g* des Speichels erfolgt gewöhnlich auf reflektorischem Wege:

1. Zentripetalleitende Nerven: Geschmacks- und Geruchsnerven, sensible Nerven des Mundes, Vagusäste des Magens.
2. Reflexzentrum: Medulla oblongata.

Auch das Großhirn übt Einfluß auf die Speichelsekretion aus (Speichelfluß bei Vorstellung bestimmter Speisen).

Mechanismus der Speichelsekretion.

Wie bei jeder Drüsensekretion spielen Filtration und Osmose nur eine untergeordnete Rolle. Das *W e s e n t l i c h e* ist die *T ä t i g k e i t* der *D r ü s e n z e l l e* (s. Drüsenphysiologie). Bei den Speicheldrüsen treten folgende besondere Erscheinungen auf:

a) Bei Reizung der Chorda ist der *D r u c k*, unter dem der Speichel sezerniert wird, größer (bis um 100 mm Hg) als der gleichzeitige Blutdruck in der Carotis.

b) Die *T e m p e r a t u r* des abgesonderten Speichels kann um $1-1\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$. höher sein als die Bluttemperatur.

c) Auch am abgeschnittenen Kopf, also nach *E r l ö s c h e n* der *Z i r k u l a t i o n*, läßt sich auf Reizung der Chorda noch Speichelsekretion erzielen.

d) Nach Durchschneidung der sekretorischen Nerven (Chorda tympani) stockt die Sekretion, beginnt aber nach einigen Stunden wieder und hält dann noch Tage lang an, bis die Drüse atrophiert (Paralytische Speichelsekretion).

e) *A t r o p i n* lähmt die Endigungen der Sekretionsnerven in der Drüse, *P i l o c a r p i n* reizt sie. Auch Hg-Präparate erzeugen Speichelfluß.

Chemie der Mundverdauung.

Der Speichel ist eine farblose, fadenziehende, bald klare, bald trübe Flüssigkeit ohne Geschmack und Geruch von (gegen Lackmus) meist schwach alkalischer (gegen Phenolphthaleïn neutraler oder schwach saurer) Reaktion. Die Trübung rührt her von morphotischen Elementen, den Speichelkörperchen (darin Körnchen, die Molekularbewegung zeigen) und abgestoßenen Epithelien der Mundhöhle. Spez. Gewicht im Mittel 1.004.

Er ist sehr arm an festen Bestandteilen (zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 pCt.). Von anorganischen Salzen enthält er besonders Chloralkalien und phosphorsauren Kalk (Speichelsteine), geringe Mengen von Rhodankalium (gibt mit Eisenoxydsalzen blutrote Farbe), von organischen Stoffen Mucin, Albumin und ein diastatisches Ferment, schließlich an Gasen bes. Kohlensäure. (s. Anhang.)

Das organische Ferment des Speichels, die **Speicheldiastase**, auch **Ptyalin** genannt, vermag **Stärke** **kleister** fast momentan in **Dextrin** und **Zucker** **überzuführen**. Der gebildete Zucker ist der Hauptsache nach Maltose, nur zum kleinen Teil Traubenzucker; dieser soll erst aus der Maltose durch ein zweites Speichelferment, die Glukase, gebildet werden.

Auch auf rohes Stärkemehl wirkt der menschliche Speichel, aber erst nach längerer Zeit.

Am besten geht die Wirkung der Speicheldiastase bei neutraler Reaktion und Blutwärme vor sich (40°); bei 70° wird das Ferment zerstört, ebenso durch freie Mineralsäuren in schwächster Konzentration und Alkalien.

Die Karnivoren und von Omnivoren der Bär besitzen keine Speicheldiastase, hier hat also der Speichel nur die oben erwähnte mechanische Bedeutung.

Da die Stoffe nur in gelöstem Zustande die Endigungen der Geschmacksnerven erregen, so ist der Mundspeichel auch der **Vermittler der Geschmacksempfindung**.

Bedeutung der Mundverdauung.

Die wichtigste ist die mechanische Zerkleinerung der aufgenommenen Nahrung und ihre Mischung mit dem Mundspeichel zum Zweck des Schlupfrigmachens des Bissens. Die zuckerbildende Wirkung des Speichels tritt dagegen zurück, was schon daraus hervorgeht, daß der Bissen zu kurze Zeit in der Mundhöhle bleibt, und daß mehrere Tiere (Hund, Katze, Bär) keinen diastatisch wirksamen Speichel besitzen.

Schluckakt.

Durch den Schluckakt werden die in einen Brei verwandelten Speiseteile in den Magen hinabbefördert.

Die Mundöffnung wird geschlossen, die Kiefer gegen einander gepreßt, die Zunge bildet eine sagittale Rinne, in welcher der Bissen hinabgleitet; dabei legen sich die Zungenränder an den harten Gaumen, die Zungenspitze wird gehoben: die Speisenteile werden zu einem rundlichen Bissen (bolus) geformt. Gelangt der Bissen in den hinteren Teil der Mundhöhle hinter den weichen Gaumen, so wird der Schluckreflex ausgelöst. Der Schluckakt wird also willkürlich eingeleitet, läuft dann aber unwillkürlich ab.

Dabei tritt zuerst eine kräftige Kontraktion der Mm. mylohyoidei ein, hierdurch wird der Boden der Mundhöhle samt dem Zungenbein gehoben, der Zungenkörper also nach hinten und oben gedrückt, während durch Kontraktion der Mm. hyoglossi die Zungenwurzel nach unten und hinten gezogen wird. Zu gleicher Zeit tritt ein luftdichter Verschluss gegen die Atemwege, gegen die Nasenhöhle und den Kehlkopf ein. Ersterer kommt zu Stande durch Kontraktion der Mm. levatores palati molliis und der palatopharyngei und durch Vorwölbung der hinteren Rachenwand (M. constrictor pharyngis superior) in Gestalt eines queren (Passavant'schen) Wulstes, der Verschluss gegen den Kehlkopf dadurch, daß bei (durch die Kaumuskeln) fixiertem Unterkiefer durch die Kontraktion der Mm. genio- und mylohyoideus Zungenbein und Kehlkopf gehoben und genähert (Thyreohyoideus) werden, und so Kehldeckel und Zungenwurzel auf den Kehlkopfeingang gepreßt wird. Zur größeren Sicherung wird die Stimmritze geschlossen durch Aneinanderlegen der Stimmbänder (Mm. thyreo-arytaenoidei und crico-arytaenoidei laterales). Ist der Verschluss gegen die Atemwege nicht vollständig, so tritt Mundinhalt in die Nasenhöhle oder den Kehlkopf, es findet ein „Verschlucken“ statt. Durch Niesen und Husten (s. Reflexbewegung, n) werden die Bestandteile herausgeschleudert.

Durch diesen ersten Schluckakt werden Flüssigkeiten in einem Akt bis an die Kardie gespritzt. Hierzu reicht sogar schon die kräftige Kontraktion der Mylohyoidei aus, die wie ein Spritzenstempel wirkt. Das Hinunterspritzen geht sehr schnell vor sich (in weniger als $\frac{1}{10}$ Sek.). Hieran schließen sich zur weiteren Hinabbeförderung fester Speisenteile Kontraktionen der Rachen- und Speiseröhrenwand. Sie erfolgen peristaltisch d. h. so, daß am Schlund eine örtliche ring-

förmige Einschnürung auftritt, von Querschnitt zu Querschnitt fortschreitet und wellenförmig über den ganzen Oesophagus herunter abläuft. Diese fortschreitende Welle wird nicht durch direkte Muskelleitung, sondern durch Innervation vom Zentrum aus bewirkt.

Innervation.

Der *M. mylohyoideus* wird vom *R. crothaphitico-buccinatorius* (3. Ast des Trigemini) innerviert; der *M. hyoglossus* vom *N. hypoglossus*; *M. levator palati mollis* und *palatopharyngeus* vom *R. palatinus* des *Facialis* und vom *R. pharyngeus* *N. vagi*, die *Mm. constrictores pharyngis* und die Oesophagusmuskeln vom *N. glossopharyngeus* und *vago-accessorius*. Sensible Bahnen für den Schluckreflex sind die Gaumenäste des Trigemini, vor allem aber der *R. laryngeus sup. vagi*. Das Zentrum liegt in der *Medulla oblongata*.

14. Magenverdauung.

Bedeutung des Magens.

Der Magen hat erstens die Aufgabe, die aufgenommene Nahrung in einen Brei, den Chymus, zu verwandeln. Zu diesem Zweck erfahren die Speisen eine mechanische Einwirkung durch die Magenbewegungen und eine chemische durch den Magensaft; der verdaut Eiweiß, bringt Milch zur Gerinnung und invertiert Rohrzucker. Wir können daher infolge dieser Wirkungen des Magens sehr verschiedenartige Nahrungsmittel, auch in fester Konsistenz, zu uns nehmen.

Zweitens dient der Magen als Reservoir; er gibt seinen Inhalt allmählich an den Darm ab. Wir können daher unsere Nahrungsaufnahme auf einige wenige, aber umfangreiche Mahlzeiten am Tage beschränken. (s. Anhang)

Drittens übt der Magen durch seinen Saft eine desinfizierende Wirkung auf die eingenommene Nahrung aus.

Nimmt man daher breiige, keimfreie Nahrung in kleinen Portionen öfters des Tages zu sich, so wird dadurch die Tätigkeit des Magens ersetzt bis auf seine chemische Kraft, die das Pankreas aber ebenfalls besitzt. Es kann der Magen ohne Nachteil ausgeschaltet werden, wie es ja auch bei der totalen Magenresektion geschieht.

Bewegungen des Magens.

Beim Übergang des Oesophagus in den Magen verdickt sich die Ringmuskelschicht des ersteren zum Sphincter cardiacus.

Derselbe ist tonisch kontrahiert und bildet den Verschluß des Magens nach dem Oesophagus hin; sein Tonus läßt nach,

wenn eine peristaltische Welle zum Magen gelangt, so daß nun die Kardia geöffnet ist.

Der Magen selbst zerfällt in den Fundus mit schwacher Muskulatur und das Antrum pylori oder den Pylorus mit sehr kräftiger Muskulatur; diese ist gegen den Fundus durch den Sphincter antri abgegrenzt, der sogar einen vollständigen Abschluß bewirken kann.

Die Bewegungen des Fundus sind nur schwach, sie bewirken die Durchmischung mit dem Magensaft; hier geht vorwiegend die chemische Veränderung des Mageninhaltes vor sich. Die Bewegungen des Pylorus sind sehr kräftig; hier wird der Mageninhalt auch mechanisch verändert. Außerdem wird er durch diese Bewegungen in das Duodenum befördert.

Der tätige Magen sondert unter lebhafter Rötung sein Sekret, den Magensaft, ab; zugleich geht er aus dem trägen Zustand der Nüchternheit in lebhaftere Bewegung über.

Die M a g e n v e r d a u u n g beginnt alsbald nach dem Eintritt der Speisen. Nach etwa 2 Stunden erreicht sie ihren Höhepunkt und nimmt dann wieder ab. Die Dauer des Aufenthaltes der Speisen im Magen hängt ganz von ihrer Art ab, je nachdem sie in eine breiige Masse, den Chymus, übergeführt werden können. In ziemlich regelmäßigen Intervallen öffnet sich der Pylorus, um kleinere Portionen von breiiger Beschaffenheit in den Dünndarm zu entleeren. Nach etwa 3—6 Stunden findet eine mächtige Entleerung des ganzen Restinhaltes in den Dünndarm statt. Anfüllung des Duodenums bes. mit saurem und mit fettreichem Inhalt hemmt reflektorisch die Magenentleerung.

Die Bewegungen des Magens sind abhängig vom N e r v e n - s y s t e m. Es gibt motorische und hemmende Nervenfasern für den Magen, die im Vagus verlaufen, ob auch in den Nn. splanchnici, ist noch fraglich; ihre Zentren liegen in der Medulla oblongata. Man hat die Bahnen sogar bis zur Großhirnrinde verfolgt.

Als Erbrechen bezeichnet man die Herausbeförderung des Mageninhaltes nach Eröffnung der Kardia in die Speiseröhre und nach außen. Es kommt zu Stande durch die Wirkung der Bauchpresse, d. h. durch die gleichzeitige Wirkung der Bauchmuskeln und des Zwerchfells (S. 112) bei eröffneter Kardia. Dazu kommen auch aktive Bewegungen des Magens, bes. am Pylorus, zum Ver-

schluß desselben gegen den Darm; dadurch wird zugleich der Inhalt des Antrum Pylori in den Fundus vorgetrieben. Kleine Kinder erbrechen leichter, da ihr Fundus noch wenig entwickelt ist.

Das Erbrechen wird veranlaßt *reflektorisch* bei Überfüllung des Magens; im allgemeinen durch Reizung der Schleimhaut des Darmtraktes von dem Rachen bis zum Dickdarm, von der Schleimhaut der Gallengänge, des Nierenbeckens und der Harnleiter, wie überhaupt vom ganzen Splanchnicus-Gebiet aus; *psychisch* vom Gehirn aus; schließlich durch gewisse *Arzneimittel*, „Brechmittel“, die vom Magen aus reflektorisch (Tartarus stibiatus, Cuprum sulfuricum) oder ins Blut gebracht direkt (Apomorphin) auf das Brechzentrum in der Medulla oblongata wirken.

Sekretion des Magensaftes.

Die Drüsen der Magenschleimhaut.

Der Magensaft ist das Sekret der schlauchförmigen Drüsen der Magenschleimhaut. Man unterscheidet 2 Arten derselben:

1. Fundusdrüsen,

die im Fundus vorkommen, bestehen aus langem Schlauch und kurzem Ausführungsgang. Auf der Membrana propria sitzen

1. *zylindrische, helle Zellen*, die sog. Hauptzellen oder adelomorphen Zellen; zwischen ihnen zerstreut

2. *kugelige, große Zellen* mit körnigem eiweißreichen Inhalt, die *Belegzellen* oder delomorphen Zellen; sie liegen der Membrana propria an und sind von Sekretkapillaren korbartig umgeben, die in das Drüsenlumen münden.

2. Pylorusdrüsen,

nur im Pylorusteil, langer Ausführungsgang und kurzer Drüenschlauch, besitzen nur helle, zylindrische Zellen, die sog. *Hauptzellen*.

Da der abgetrennte Fundus einen Lab-, Pepsin- und Salzsäure haltenden Saft, der isolierte Pylorus ein zähes, alkalisches, Lab- und Pepsin-haltiges Sekret liefert, so nimmt man an,

daß die *Hauptzellen*, aus denen allein das sezernierende Epithel des Pylorus besteht, *Lab* und *Pepsin* absondern,

während die *Belegzellen*, die nur in den Fundusdrüsen sich finden, *Säure* bilden.

Mechanismus der Sekretion.

Während der *Verdauung* zeigen die *sezernierenden Zellen* bestimmte *Veränderungen* analog denen in den Speicheldrüsen.

Die Zylinderzellen sind während des Hungerns stark körnig, werden bei der Verdauung heller, besonders gegen die Basis zu und kleiner; die Belegzellen schwellen an.

Die Bildung der eigentümlichen *Fermente* (Pepsin, Labferment) sowie der Säure aus dem alkalischen Blut spricht auch hier wieder für eine *spezifische Tätigkeit der Drüsenzellen*.

Die *Salzsäure* entsteht aus den Chloriden, die das Blut liefert; wie, ist noch unbekannt. Die saure Reaktion beschränkt sich nur auf die Oberfläche der Schleimhaut, der untere Teil derselben reagiert neutral oder sogar alkalisch (gegen Lackmus).

Im *nüchternen Zustand* wird kein Magensaft abgesondert, die grau erscheinende Schleimhaut ist mit einer dünnen Lage schwach alkalischen, zähen Schleims überzogen, der von der schleimigen Umwandlung des Oberflächenepithels herrührt. Während der Verdauung wird die Schleimabsonderung gesteigert, besonders bei Pflanzenfressern.

Man gewinnt den natürlichen Magensaft durch Anlegung einer Magenfistel oder eines sogenannten kleinen Magens nach Pawlow.

Innervation.

Die Sekretion des Magensaftes wird eingeleitet, wenn ein Bissen geschluckt ist, auch wenn er nicht in den Magen gelangt. („Scheinfütterung“). Diese Sekretion wird vermittelt durch den *N. vagus*, der zentrifugale sekretorische Fasern enthält, Durchschneidung des Vagus hebt sie auf. Hervorgerufen wird sie durch psychische Reize von Seiten des Geruchs, Geschmacks, Gesichts, durch die Vorstellung des Schmackhaften, Freßlust („Appëtitssaft“ „psychischer Magensaft“).

Die so eingeleitete Sekretion wird weiter unterhalten, wenn die Speisen in den Magen selbst gelangen, durch ihren chemischen Reiz, so wirken besonders Wasser und gewisse Extraktivstoffe

(weniger andere Bestandteile der Nahrung, Fette sollen sogar hemmend wirken). Diese Sekretion findet auch nach Durchschneidung der Nn. vagi statt.

Chemie der Magenverdauung.

Der in den Magen gelangte Speisebrei unterliegt zunächst noch der amylolytischen Wirkung des Speichels weiter.

I. Stadium der Magenverdauung. Indem aber zugleich die Sekretion des Magensaftes beginnt, wird durch den zunehmenden Säuregehalt das diastatische Ferment unwirksam, etwa nach $\frac{1}{2}$ Stunde.

Es beginnt dann das

II. Stadium der Magenverdauung, der Speisebrei unterliegt der Einwirkung des Magensaftes.

Der Magensaft ist eine klare, farblose oder blaßgraue, energisch sauer reagierende Flüssigkeit; spez. Gewicht etwa 1.005; er enthält bis zu 2 pCt. feste Stoffe. (s. Anhang.) Neben anorganischen Salzen, bes. Chloriden, finden sich drei charakteristische Bestandteile; Salzsäure, Pepsin und Labferment.

1. freie Salzsäure.

Ihr Gehalt beträgt etwa 0.2 pCt. beim Menschen, beim Hund 0.3 bis 0.16 pCt. Sie gibt mit Methylviolettlösung blaue, mit Tropaeolinlösung burgunderrote bis braunrote, mit Kongorot blaue Färbung.

2. Pepsin.

Es ist ein tierisches Ferment, ein eiweißähnlicher, nicht diffusibler, d. h. tierische Häute nicht durchsetzender Körper. Es ist in der Magenschleimhaut in einer Vorstufe vorhanden, Pepsinogen; das kann durch Sodalösung ausgezogen und durch Zusatz von Salzsäure in Pepsin übergeführt werden. Pepsin wirkt energisch auf die Eiweiße, aber nur bei Gegenwart freier Säure in einer Konzentration, wie sie etwa im Magensaft vorhanden ist. Man gewinnt es zu Verdauungsversuchen, indem man es mit Glyzerin aus der Magenschleimhaut extrahiert; damit kann man künstliche Verdauungsversuche anstellen.

Wie alle Fermente, hat es ein Temperaturoptimum seiner Wirksamkeit (35° — 40°) und wirkt schon in geringsten Mengen.

Die Pepsinwirkung besteht darin, daß die *E i w e i ß e* unter hydrolytischer Spaltung in *P e p t o n e* übergeführt werden, *p e p t o n i s i e r t* werden, wobei als Zwischenstufen *Acidalbuminat* (*Syntonin*) und *Albumosen* entstehen. Wie bei der Verzuckerung der Stärke, werden also sehr komplizierte Moleküle unter fortschreitender Aufnahme der Elemente des Wassers in einfachere Moleküle übergeführt.

Die *Peptone* unterscheiden sich von den *Eiweißen* dadurch, daß sie:

1. in Wasser in jedem Verhältnis leicht löslich sind; die Lösungen schmecken intensiv bitter;
2. diffusibel sind;
3. in der Siedehitze nicht gerinnen;
4. nicht durch Mineralsäuren, noch durch Essigsäure + Ferrocyankalium gefällt werden; nur Gerbsäure, Sublimat und Phosphorwolframsäure fällen *Peptone*.

Die *Peptone* geben, selbst in Spuren, mit Natronlauge und einigen Tropfen dünner Kupfersulfatlösung in d e r K ä l t e eine rosarote bis purpurrote Färbung (*P e p t o n -* oder *B i u r e t -* *R e a k t i o n* s. S. 20), während die nativen Eiweißkörper eine blauviolette Färbung geben.

Man unterscheidet die *Peptone* wieder in *H e m i p e p t o n e* und *A n t i p e p t o n e*.

V o r s t u f e n d e s *P e p t o n s* sind, wie erwähnt:

A c i d a l b u m i n a t (*Syntonin*) fällt durch Neutralisieren aus;

A l b u m o s e n (*Propeptone*) zeigen die ihnen allein zukommende Eigenschaft, daß ihre durch wenig Salpetersäure bewirkte Fällung sich beim Erwärmen unter Gelbfärbung (*Xanthoprotein*) löst und beim Erkalten wieder erscheint. Verschiedene Eiweiße geben auch verschiedene *Albumosen*, die man unter dem Namen *Proteosen* zusammenfaßt. Von den *Peptonen* speziell unterscheiden sie sich dadurch, daß sie durch Sättigen mit Ammonsulfat gefällt werden, jene nicht. Man unterscheidet *primäre* (*Protalbumosen* und *Heteroalbumosen*) und *sekundäre Albumosen* (*Deuteroalbumosen*).

In welchem Umfang die *P r o t e i n e* im Magen vollständig in *Peptone* übergeführt werden, ist noch fraglich. Jedenfalls

k a n n der Abbau des Eiweißes schon im Magen bis zu den letzten Stadien, bis zu den Aminosäuren erfolgen.

Die p f l a n z l i c h e n P r o t e i n e liefern in gleicher Weise Proteosen.

Die P r o t e i d e (s. S. 22) werden im Magen erst in ihre Komponenten zerlegt, das entstehende Protein unterliegt der Einwirkung des Pepsins und der Salzsäure, wie die gewöhnlichen Proteine.

Von den A l b u m i n o i d e n wird Kollagen (erst zu Leim, dann zu Proteosen-ähnlichen Körpern, den „Glutosen“, dann den „Leimpeptonen“), sehr leicht gelöst, was sehr wichtig ist, da zum Collagen die Substanzen gehören, die die tierischen Bestandteile der Nahrung zusammenhalten. Elastin wird sehr schwer verdaut.

Die Überführung der Eiweißkörper in Peptone gelingt zwar auch durch die Salzsäure allein, aber nur in stärkerer Konzentration und bei höherer Temperatur (70° und darüber) oder nach vielstündiger Einwirkung; ferner selbst ohne Salzsäure nur durch anhaltendes Kochen mit Wasser oder Erhitzen mit Wasser unter höherem Druck. Das Pepsin vereinfacht und verkürzt also außerordentlich die Peptonisierung. Pepsin allein kann Eiweiß in keinem Falle spalten. Säure- und Pepsingehalt müssen in einem bestimmten Verhältnis stehen; Abweichungen davon schwächen die verdauende Wirkung.

Wie das Pepsin in Verbindung mit freier Salzsäure wirkt, ist noch strittig; sicher ist, daß die Salzsäure durch andere Säuren ersetzt werden kann, doch müssen sie alle in stärkerer Konzentration angewandt werden.

Das Wesentliche der Pepsinverdauung besteht also darin, daß die hoch zusammengesetzten und wasserunlöslichen Eiweiße in kürzester Zeit aufgespalten und in einfachere, in Wasser leicht lösliche und durch tierische Membranen diffusible Substanzen übergeführt werden.

Über die Zeit, die für verschiedene Nahrungsmittel zur Verdauung erforderlich ist, s. Anhang.

3. Labferment.

Es ist ebenfalls ein tierisches Ferment; seine Vorstufe, das „Labzymogen“, kann durch Wasser aus der Magenschleimhaut ausgezogen und durch Säurezusatz in Lab übergeführt werden. Das Labferment, „Chymosin“, wird selbst durch ganz dünne Alkalien zerstört. Es bringt schon in sehr geringer Menge die Milch zum Gerinnen (Labgerinnung im Gegensatz zur sauren Gerinnung, s. Milch), indem es aus dem löslichen Nukleoalbumin derselben, dem Kasein (s. S. 18), das unlösliche Parakasein abspaltet, das sich mit den Kalksalzen der Milch verbindet. Das so entstandene Gerinnsel unterliegt dann der Pepsinverdauung; so entstehen Syntonin, Kaseose, Pepton. Anwesenheit von Säure, wie im Magensaft, begünstigt die Labgerinnung.

Verhalten des Magensaftes gegen Nicht-Eiweiße.

Auf die wasserlöslichen Kohlehydrate wirkt der Magensaft einfach lösend. Stärkekleister wird durch die Säure in lösliche Stärke übergeführt, Rohrzucker wird invertiert. Die Milchsäure, die man meist im Magensaft findet, entsteht aus Kohlehydraten durch Gärung unter Mitwirkung von Bakterien.

Salze werden im Magen gelöst, kohlensaure unter Freiwerden der CO_2 . Auf diese Weise wird die Erde der Knochen gelöst, dann wird ihre leimgebende Grundlage angegriffen. Die CO_2 und die verschluckte Luft bilden die Magengase, die durch Aufstoßen, Ructus, entleert werden. Stärkere Entwicklung von Gasen ist ein Zeichen abnormer Gärungsvorgänge.

Keine Wirkung übt der Magensaft aus auf Fette, Horngewebe, elastische Membranen und Cellulose.

Neben der verdauenden Wirkung hat der Magensaft auch eine wichtige Bedeutung als Antiseptikum und Desinfiziens, bedingt durch seinen Salzsäuregehalt. In der Tat werden Cholera- und Fäulnisbakterien vom Magensaft abgetötet. Auch die Milchsäure-, Buttersäure- und Essigsäuregärung werden bei Gegenwart der Salzsäure verhindert, doch die Milchsäuregärung nicht vollständig. Da im Darm auch noch zahlreiche Bakterien vorkommen, die für die Verdauung daselbst eine wichtige Rolle

spielen, so scheint die bakterizide Wirkung des Magensaftes nur eine bedingte zu sein.

Selbstverdauung des Magens.

Warum greift der Magensaft nicht auch die Magenwand an?

Daß nicht das „lebende“ Gewebe überhaupt vor der Einwirkung des Magensaftes schützt, wird bewiesen dadurch, daß ein lebender Froschschenkel, durch eine Fistel in einen Hundemagen gebracht, verdaut wird. Man hat angegeben, daß der Schutz gegen die Selbstverdauung auf der Alkaleszenz des ständig zirkulierenden Blutes beruhe. Wird ein Blutgefäß unterbunden oder verstopft, so tritt (wie beim Magengeschwür) in dem von ihm versorgten Gebiet Selbstverdauung ein. Ebenso findet eine solche nach dem Tode statt, wo die Zirkulation aufhört, begünstigt durch die postmortale Temperatursteigerung. Unter Umständen kann sie zur Ruptur der Magenwandung führen. Es scheint aber vielmehr, daß die lebenden Epithelzellen gegen die von ihnen selbst im eigenen Körper produzierten Enzyme geschützt sind.

Magen der Wiederkäuer.

Die Wiederkäuer besitzen einen vierfachen Magen:

1. Pansen, Rumen (daher Ruminatio = Wiederkäuen).
2. Netzmagen, Reticulum.

Hat die Nahrung diese beiden Mägen passiert, so wird sie durch antiperistaltische Bewegung wieder emporbefördert, abermals gekaut, wieder verschluckt und gelangt nun in den

3. Psalter, Omasus, und den

4. Labmagen, Abomasus, Drüsenmagen = Magen des Menschen.

15. Leber und Galle.

Bau der Leber.

Die Leber empfängt arterielles Blut aus ihrem Vas privatum, der A. hepatica, die als Vas nutriens anzusehen ist; ihre Kapillaren gehen meist schon in die interlobulären Pfortaderäste über.

Venöses Blut empfängt die Leber aus den Venen des Magens, des Darmkanals und der Milz durch die V. portae.

Die Leber gibt venöses Blut ab durch die VV. hepaticae in die V. cava inf.

Die V. portae verzweigt sich durch die ganze Leber; sie bildet dabei polygonale Räume, die ausgefüllt sind mit den Leberzellen, regelmäßigen Polyedern. So entstehen die, bes. bei der Schweineleber, schon mit bloßem Auge erkennbaren Lobuli. In der Mitte jedes Lobulus liegt ein Gefäß, der Anfang der V. hepatica, Vas intralobulare genannt, im Gegensatz zu den am Rande des Lobulus liegenden Pfortaderästen Vasa interlobularia. Von den Vasa interlobularia findet nun der Übergang zu den Vasa intralobularia durch Kapillaren statt, die den Lobulus in radiärer Richtung durchsetzen, also zwischen den Leberzellen selbst verlaufen.

Außerdem liegen zwischen den einzelnen Leberzellen die Anfänge der Gallengänge, die Gallenkapillaren. Sie werden gebildet dadurch, daß die aneinander stoßenden hohl-rinnenförmigen Vertiefungen zweier benachbarter Leberzellen einen Kanal bilden. Da die Galle das Sekret der Leber ist, so ist die Leber eine Drüse, die Leberzellen sind das sezernierende Epithel, die Gallenkapillaren die Lumina der Drüsenacini, die interlobulären Gallengänge die Drüsenausführungsgänge. Von den Flächen eines Zellenpolyeders bilden mehrere mit den benachbarten Zellenflächen solche Gallenkapillaren. Von den Blut-

kapillaren sind die Gallenkapillaren stets ein Stück entfernt, sodaß sie sich nie berühren.

Die Leberzellen erscheinen auf einem Querschnitt regelmäßig polygonal mit einem oder mehreren Kernen und einem granulierten Protoplasma, in dem sich Pigment, Fetttröpfchen (in der Peripherie) und Glykogenkörnchen (zentral um den Kern) befinden.

Die Leber ist die größte Drüse des Körpers, sie wiegt im Mittel $1\frac{1}{2}$ kg.

Sie ist sehr reich an Eiweiß. Die Tierleber ist daher ein vortreffliches Nahrungsmittel, da sie vor dem Muskel den Mangel an Sarkolemm und zum größten Teil an interstitiellem Bindegewebe voraus hat. Sie enthält ferner Fette, Extraktivstoffe, schließlich Kohlehydrate in Form von Glykogen oder Traubenzucker.

Bemerkenswert ist ihr hoher Gehalt an Eisen, das teils in organischer Bindung, teils als anorganisches Salz vorkommt.

Bedeutung der Leber.

1. Die Leber ist ein wichtiges Schutzorgan des Körpers. Sie ist als mächtiger Filterapparat in den Kreislauf eingeschaltet, der aus dem Darm zugeleitete Stoffe umwandelt und aufspeichert, oder, sofern sie schädlich sind, teils vollständig zurückhält, teils sie in eine unschädliche Form überführt, so daß sie als solche zur Ausscheidung gelangen können. Es laufen daher in der Leber wichtige chemische Umsetzungsprozesse ab.

2. Die Leber ist eine Drüse, ihr Sekret ist die Galle.

3. Schließlich haben wir die Leber schon als eine Stätte kennen gelernt, wo rote Blutkörperchen zahlreich zu Grunde gehen. Aus dem Hämoglobin derselben bilden sich die Gallenfarbstoffe, das Eisen desselben wird zum Teil in der Leber abgelagert (daher ihr hoher Gehalt an Eisen), zum Teil ausgeschieden durch die Galle oder durch den Harn.

Die Leber als Filter.

1. Die Leber hält tierische und pflanzliche Gifte (Alkaloide) zurück, zerlegt sie und bringt sie durch die Galle zur Ausscheidung. Ebenso hält sie metallische Gifte (Arsen, Blei) auf, um sie später allmählich auszuscheiden.

2. Sie führt die bei der Fäulnis des Eiweiß im Darmkanal normaler Weise sich bildenden aromatischen Körper: Phenol, Indol, Skatol, die für den Organismus schädlich sein würden, in die ungiftigen aromatischen Ätherschwefelsäuren über, die dann durch den Harn, an Alkali gebunden, ausgeschieden werden.

3. Sie bildet aus den sehr giftigen Ammoniumverbindungen wie sie aus dem Eiweiß bei seinem Abbau im Darm entstehen, den unschädlichen Harnstoff, bzw. Harnsäure bei den Tieren (Vögel und Reptilien), die diese statt Harnstoff ausscheiden. Die Leber ist also eine wesentliche Bildungstätte für den Harnstoff. Verbindet man die Pfortader direkt mit der unteren Hohlvene (Eck'sche Fistel) und schaltet so die Leber aus, so wird weniger Harnstoff ausgeschieden, und es treten infolge Überganges von Ammoniaksalzen in die Blutbahn schwere Vergiftungserscheinungen auf. Die Bildung des Harnstoffes in der Leber muß also „als ein Kunstgriff der Natur angesehen werden, Ammoniak unschädlich aus dem Körper zu entfernen“. Übrigens wird doch eine geringe Menge Ammoniak als solches ausgeschieden. Auch stammt der ganze ausgeschiedene Harnstoff nicht aus der Leber (s. Harn).

4. Sie bereitet aus Zucker Glykogen und speichert dieses auf.

Die Glykogenbildung in der Leber.

Die Kohlehydrate der Nahrung gelangen als Monosaccharide zur Resorption in das Pfortaderblut. Würden diese direkt in die Zirkulation gelangen, so würden sie, wenn sie einen gewissen geringen Gehalt des Blutes daran überschreiten, glatt durch die Nieren ausgeschieden werden, also dem Körper zum größten Teil verloren gehen. Außerdem erfahren die Nieren bei längerer Zuckerausscheidung eine sekundäre Schädigung, sodaß es zur erheblichen Albuminurie kommt. In der Leber werden indessen die Monosaccharide in Glykogen (s. S. 32) übergeführt und zurückgehalten.

Das Glykogen ist in den Leberzellen in Form von Körnchen enthalten, die um den Kern liegen. Seine Menge ist sehr wechselnd: sie zeigt eine tägliche Periode; mehrere Stunden nach der Nahrungsaufnahme ist sie am größten. Beim Hungern schwindet das Glykogen fast völlig, bei reichlicher Zufuhr von Kohlehydraten steigt sein Gehalt außerordentlich. Die glykogenfreie

Leber ist klein und sieht dunkelbräunlich aus, die glykogenreiche Leber ist groß und hat Ockerfarbe. In der toten und absterbenden Leber wird das Glykogen wahrscheinlich durch Fermentwirkung schnell in Zucker verwandelt, weshalb man früher immer Zucker in der Leber fand und ihr eine zuckerbildende Funktion zuschrieb. Um also Glykogen zu gewinnen, muß man die noch lebenswarme Leber in siedendes Wasser bringen, um die Wirkung jenes Fermentes zu verhindern.

Reines Glykogen ist eine weiße amorphe Substanz, ist als Anhydrid des Traubenzuckers aufzufassen.

Wie die Leberzellen aus dem Zucker Glykogen bilden, so können sie auch wieder aus Glykogen Zucker (zuerst Maltose, dann Dextrose, wahrscheinlich unter Mitwirkung eines in der Leber und im Blut vorhandenen diastatischen Ferments) bilden und durch die V. hepatica dem Blut und damit den Geweben zuführen. Dies tritt ein, sobald eine ungenügende oder gar keine Zufuhr von Kohlehydraten statt hat, z. B. bei Inanition oder bei Mehrverbrauch von Kohlehydraten, z. B. bei großer Muskelanstrengung oder großer Wärmeabgabe.

Aus alledem geht hervor, daß die Glykogenbildung in der Leber die Bedeutung hat, Kohlehydrate in einer schwer löslichen Form zurück zu halten und Vorräte davon aufzuspeichern, die im Bedarfsfalle wieder an die Gewebe abgegeben werden, um durch ihren Zerfall anderes Körpermateriale (Eiweiße und Fette) zu schonen. Findet eine noch reichere Zufuhr von Kohlehydraten statt, so wird aus dem Überschuß Fett gebildet und abgelagert.

Auch im Muskel findet sich Glykogen, das bei der Tätigkeit schwindet. Es hat offenbar für den Muskel dieselbe Bedeutung wie das Leberglykogen für den ganzen Organismus; es stammt aber als solches wahrscheinlich nicht aus der Leber.

Der Hauptsache nach sind Glykogenbildner die Zucker (die gärungsfähigen Monosaccharide, die Disaccharide erst nach ihrer Spaltung in Monosaccharide), ferner das Glyzerin. Auch aus Eiweiß (aus seinem N-freien Anteil) kann Glykogen entstehen. Auch vom Fett (wegen seiner Glyzerinkomponente) ist das behauptet worden. Die Glykogenbildung steigern ferner gewisse Narkotika, Hypnotika, Antipyretika u. mehrere andere Substanzen.

P a t h o l o g i s c h kann eine Störung der Glykogenbildung in der Leber eintreten. Es kommt dann zu einer Ausscheidung von Traubenzucker durch den Harn, **D i a b e t e s m e l l i t u s**. Bei der leichten Form desselben erscheint er nur, wenn die Kost Kohlehydrate enthält; bei der schweren Form auch, wenn dies nicht der Fall ist. In diesem Fall wird der Zucker aus Eiweiß gebildet. Man kann Zuckerharnruhr künstlich erzeugen:

1. durch Verletzung des Bodens im 4. Hirnventrikel, den sogenannten Zuckerstrich (Piqure);
2. durch gewisse Gifte: Phloridzin, Kurare;
3. durch Exstirpation des Pankreas.

Die Leber als Drüse: die Galle.

Das Sekret der Leber ist die Galle; ihre spezifischen Bestandteile werden von den Leberzellen selbst gebildet, sie finden sich nirgends sonst im Körper.

Die Gallensekretion

findet im Gegensatz zur Speichel- und Magensaftsekretion **b e s t ä n d i g** statt, doch ist sie unmittelbar nach der Nahrungsaufnahme vermehrt und erreicht etwa 3—5 Stunden später ihren Höhwert; ein zweites Maximum tritt noch einige Stunden später auf. Die Vermehrung der Sekretion bei der Verdauung beruht wahrscheinlich darauf, daß Bestandteile der in den Darm abgeschiedenen Galle wieder resorbiert werden. Indem solche Bestandteile in die Leber gelangen, regen sie dieselbe zu stärkerer Tätigkeit an. Reichliche Fleischkost und noch mehr ausschließliche Fettkost vermehren ebenfalls die Sekretion. Der Eintritt von Fett ins Duodenum soll der normale Erreger der Gallensekretion sein.

Im Ganzen wird in 24 Stunden von einem Erwachsenen über $\frac{1}{2}$ Liter Galle ausgeschieden.

Von den Blutgefäßen ist bei der Sekretion in erster Linie die Pfortader beteiligt.

Sekretionsnerven hat man bisher noch nicht nachweisen können. Psychische Einwirkung findet nicht statt.

Der Druck,

unter dem die Galle abgesondert wird, ist, im Gegensatz zur Speichelsekretion, sehr gering (15 mm Hg, nach neueren Untersuchungen sogar nur 6 mm Hg). Von Einfluß auf die Sekretion ist der Blutstrom der Pfortader. Je größer seine Geschwindigkeit ist, eine je reichlichere Menge Blut mit den Leberzellen in der Zeiteinheit in Berührung kommt und ihnen Bildungsmaterial zuführt, um so stärker ist auch die Gallensekretion. Sinkt der allgemeine Blutdruck, so nimmt auch die Gallensekretion ab; es steigt dann aber ihr prozentischer Gehalt an festen Bestandteilen.

Der Austritt der Galle.

Die Galle sammelt sich aus den Kapillaren in den Ductus biliferi, die sich zum Ductus hepaticus vereinigen; dieser tritt mit dem Ausführungsgang der Gallenblase, dem Ductus cysticus, zum Ductus choledochus zusammen. Der letztere senkt sich in die Pars descendens Duodeni ein, verläuft etwa $1\frac{1}{2}$ cm in der Wandung zwischen Muscularis und Schleimhaut und mündet dann zusammen mit dem Ductus pancreaticus in das Darmlumen ein mittelst einer ampullenförmigen Erweiterung (Diverticulum Vateri), die durch einen Schleimhauthöcker gedeckt ist. An der Einmündungsstelle besitzt der Ductus choledochus noch einen Sphincter. Durch ihn und infolge der schiefen Art der Einmündung, wodurch die innere Öffnung höher liegt als die äußere Eintrittsstelle, wird bewirkt, daß bei Kontraktionen und Bewegungen des Duodenum kein Darminhalt in den Ausführungsgang eintreten kann. Der Sekretionsdruck, unterstützt von den glatten Muskeln der Gallenblase und der Gallengänge, die vom N. splanchnicus innerviert werden, ermöglicht aber den Austritt der Galle.

Wird indessen durch ein Hindernis die Entleerung und der Abfluß der Galle unmöglich gemacht, so tritt die sezernierte Galle infolge des Sekretionsdruckes anstatt in die Gallenkapillaren in die Anfänge der Lymphgefäße über und gelangt ins Blut und die Gewebe (Ikterus, Gelbsucht); sie wird dann durch den Harn ausgeschieden. Die gallensauren Salze rufen, teils durch direkte Wirkung auf die Herzmuskulatur, teils durch

reflektorische Erregung der Vagusendigungen, Pulsverlangsamung hervor.

In der Nüchternheit wird die Galle nicht in den Darm abgeschieden, sondern sie gelangt vom Ductus hepaticus durch den Ductus cysticus in die Gallenblase und sammelt sich hier.

Die Gallenblase ist also ein Reservoir für die Galle; zugleich wird sie hier durch Wasseraufsaugung konzentrierter und erhält den von der Blasenschleimhaut gelieferten alkalisch reagierenden Schleim beigemischt. Hier kommt es bisweilen zur Bildung fester Bestandteile, Gallensteine, die aus Bilirubinkalk oder aus Cholestearin bestehen. Viele Pflanzenfresser haben keine Gallenblase.

Chemie der Galle.

Die Galle ist beim Menschen eine klare, fadenziehende Flüssigkeit von goldgelber bis gelbbrauner Farbe, von bitterem Geschmack und moschusähnlichem Geruch; Reaktion gegen Lackmus neutral bis schwach alkalisch, Spez. Gewicht 1.020—1.030 (s. Anhang).

Sie enthält wesentliche Bestandteile, die sich sonst nicht im Tierkörper finden, und unwesentliche Bestandteile, die auch anderswo im Körper vorkommen.

1. Wesentliche Bestandteile sind:

I. Gallensäuren.

Sie kommen vorwiegend als Natronsalze vor. Es sind:

a) die Glykocholsäure = Glykokoll + Cholsäure;

b) die Taurocholsäure = Taurin + Cholsäure.

Die beiden Säuren sind gepaarte „Säuren“, d. h. jede ist unter Wasserabspaltung aus 2 Säuren vereinigt, aus einer stickstofffreien, die in beiden vorkommt, der Cholsäure, auch Cholsäure genannt, und aus einer stickstoffhaltigen, einer Amidosäure, Glykokoll und Taurin, die beide als Zersetzungsprodukte der Eiweißkörper sich bilden. Bemerkenswert ist Taurin durch seinen Schwefelgehalt.

Die Gallensäuren sind löslich in Wasser und Alkohol, drehen die Polarisationsene nach rechts, geben mit Rohrzucker und konz. Schwefelsäure eine purpurrote Färbung (Pettenkofer'sche Probe). Die Taurocholsäure findet sich hauptsächlich bei

Menschen, Karnivoren, Vögeln, Schlangen, Fischen, Schaf und Ziege, die Glykocholsäure bei Mensch, Rind und anderen Haustieren. Beim Schwein findet sich eine Hyocholalsäure (mit Glykokoll gepaart), beim Menschen noch die Choleïnsäure und die Fellinsäure.

Im Darm werden die gallensauren Salze in ihre Paarlinge zerlegt, zum Teil resorbiert, zum Teil (die Cholalsäure als Dyslysin) mit den Faeces ausgeschieden.

II. Gallenfarbstoffe.

a) **Bilirubin**, der wichtigste, rotgelb, ist identisch mit Hämatoïdin. Er ist unlöslich in Wasser, Alkohol, Aether, löslich in Alkalien, wird in der Galle durch die Alkalisalze der Gallensäure in Lösung erhalten.

b) **Biliverdin**, bei Herbivoren, ein Oxydationsprodukt des vorigen.

Die Gallenfarbstoffe lassen sich nachweisen durch die **Gmelin'sche Reaktion**. Setzt man zu einer gallenfarbstoffhaltigen Lösung Salpetersäure, die etwas salpetrige Säure enthält, so entstehen an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten farbige Ringe, von unten nach oben: rot, violett, blau, grün. Es sind dies nichts anderes als fortschreitende Oxydationstufen des Bilirubins.

Die Gallenfarbstoffe entstehen in der Leber aus dem Hämatin der dort zerfallenden roten Blutkörperchen unter Abspaltung des Eisens.

2. **Unwesentliche Bestandteile** sind Cholestearin (s. S. 35), Mucin, Fette, Harnstoff, Zucker, ein zuckerbildendes Ferment und anorganische Salze: neben Chlornatrium vorwiegend Phosphate und etwas Eisen (aus dem Hämatin der roten Blutkörperchen).

Bedeutung der Galle.

Auf die **Eiweißstoffe** wirkt die Galle gar nicht ein.

Auf **Stärkekleister** hat sie eine mäßige diastatische Wirkung, die aber gegenüber der des Pankreas gar nicht in Betracht kommt.

Dagegen befördert die Galle die **Fettverdauung**:

1. Sie führt die durch den Pankreassaft aus den Fetten gespaltenen Fettsäuren durch ihre Alkalien in wasserlösliche Seifen

über, ferner emulgiert sie selbst vermöge ihres Sodagehaltes Fette.

2. Sie begünstigt die fettspaltende Wirkung des Pankreassaftes beträchtlich (um das 2-3 fache).

3. Sie übt auf das Zottenepithel des Darmes einen Reiz aus und regt dasselbe dadurch zur Fettaufnahme an.

Die Wichtigkeit der Galle für die Fettverdauung geht daraus hervor, daß, wenn ihre Zufuhr behindert ist (Ikterus oder Gallenfistel), der Kot sehr fettreich ist, also weniger Fett resorbiert wird.

Außerdem kommt der Galle noch die Bedeutung zu:

Sie wirkt durch ihre Alkaleszenz mit zur Neutralisation der freien Salzsäure des Magens, und dadurch begünstigt sie die Wirkung des Trypsins auf Eiweiß, die in einem alkalischen Pankreasgemisch energischer und umfangreicher vor sich geht.

Schließlich regt sie die Peristaltik an. Daß die Faeces bei Abschluß der Galle einen viel stärkeren Fäulnisgeruch annehmen, beruht wohl nicht auf dem Ausbleiben einer direkten antiseptischen Wirkung der Galle, als vielmehr darin, daß die Kontenta infolge der verringerten Peristaltik länger im Darne verweilen, also den Fäulnisprozessen mehr ausgesetzt sind.

Die Gallenfarbstoffe geben den Faeces ihre dunkle Farbe; bei Ikterus oder Gallenfistel erscheinen die Faeces grau, lehmartig.

16. Pankreas und Darm.

Sekretion des Pankreassaftes.

Die Bauchspeicheldrüse, das Pankreas, ist eine z u s a m m e n - g e s e t z t e t u b u l ö s e D r ü s e. Die Ausführungsgänge der einzelnen Drüsenläppchen gehen sämtlich in den gemeinsamen in der Längsachse des Organs verlaufenden Ausführungsgang über, den Ductus Wirsungianus, der mit dem Ductus choledochus zusammen ins Duodenum mündet.

Die Drüsenläppchen enthalten ein vollsaftiges n i e d r i g e s Z y l i n d e r e p i t h e l, welches an der dem Lumen zugewandten Seite, der Innenzone, mit stark lichtbrechenden Körnchen erfüllt ist, während die Außenzone eine feine Streifung zeigt. Während der Tätigkeit verschwinden die Körnchen, die Innenzone wird hell, in sie hinein erstreckt sich die jetzt deutlicher hervortretende Streifung der Außenzone, welche dadurch breiter erscheint. In der Ruhe stellt sich wieder die körnige Innenzone her. Im Hungerzustand sieht die Drüse blaßgrau aus, im Beginn der Verdauung färbt sie sich lebhaft rosa; dann erscheint, wie bei der Tätigkeit der Speicheldrüsen, sogar das Blut in den Venen hellrot.

Die S e k r e t i o n findet bei den Herbivoren kontinuierlich, bei den Karnivoren intermittierend, nur zur Zeit der Verdauung statt. Dann sind es bes. Säuren (wie im Magensaft) und Fett, die von der Magen- und Duodenalschleimhaut her die Sekretion anregen, entweder reflektorisch oder dadurch, daß aus der Duodenalschleimhaut ein Stoff „Sekretin“ (frei gemacht aus einer Vorstufe „Prosekretin“) abgeschieden wird, der ins Blut gelangt und im Pankreas die Sekretion hervorruft. Der normale Pankreassaft läßt sich von Hunden gewinnen, denen man eine permanente Fistel durch Einheilen der Darmmündungstelle des Ausführungsganges auf die äußere Bauchhaut anlegt. Die abge-

schiedene Menge wird verschieden angegeben, sie soll beim Menschen 150 ccm pro 24 Std. betragen.

Sekretorische Nerven für das Pankreas neben sekretionshemmenden und gefäßverengenden sind im Vagus und Sympathicus (Splanchnicus) nachgewiesen.

Der Sekretionsdruck ist wenig höher als der der Galle.

Chemie des Pankreassaftes.

Der Pankreassaft ist eine dickflüssige, farblose, geruchlose Flüssigkeit von stark alkalischer Reaktion (infolge des Gehaltes an Natriumkarbonat), die in der Kälte gallertig erstarrt.

Bestandteile (s. Anhang) sind: Viel in der Hitze gerinnbares Eiweiß, wenig Leuzin, Tyrosin, Fett, anorganische Salze und schließlich als wichtigste: drei auf bestimmte Nahrungsstoffe wirkende Enzyme: ein diastatisches dem Ptyalin ähnliches, ferner das Trypsin und das Steapsin.

Wirkung des Pankreassaftes.

1. Die Pankreasdiastase wirkt auf die Kohlehydrate, wie das Ptyalin des Speichels, nur energischer: gequollene Stärke wird in Dextrin, Maltose und Traubenzucker übergeführt; letzterer wird (erst aus der Maltose, wahrscheinlich durch ein besonderes Enzym, die Glukase) in reicherm Maße gebildet, als bei der Ptyalinspaltung. Selbst rohes Stärkemehl wird von der Pankreasdiastase verdaut. Zutritt von Galle soll die Verzuckerung fördern.

2. Das Trypsin wirkt auf die Eiweißkörper der Nahrung, am besten, im Gegensatz zum Pepsin, in alkalischer Lösung.

Aus den Proteinen entstehen sekundäre Albumosen (die primären werden nicht gebildet), dann Peptone (s. S. 201). Aber damit, dies ist ein fernerer Unterschied von der Pepsinverdauung, ist die Wirkung des Trypsins noch nicht beendet. Während die Antipeptone unverändert bleiben, werden die Hemipeptone in eine Reihe von Amidosäuren gespalten: Leuzin, Tyrosin, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Xanthin und Hypoxanthin und Ammoniak (s. S. 26).

Im weiteren Gegensatz zum Pepsin löst Trypsin elastische Substanz, aber nicht leimgebende Substanz (Bindegewebe), sondern diese nur, wenn sie vorher gequollen ist. Ferner löst Trypsin Leim und führt ihn in Leimpeptone über.

Die Wirksamkeit des Trypsins wird vom Pepsin in saurer Lösung aufgehoben, das Trypsin wird, so zu sagen, verdaut, nicht aber das Pepsin vom Trypsin in alkalischer Lösung. Daß nun trotzdem das Trypsin im Darm zur Wirkung kommt, beruht darauf, daß die freie Salzsäure, die zur Wirkung des Pepsins nötig ist, sofern sie nicht bei der Peptonisierung schon verbraucht ist, durch Pankreassaft, Galle und Darmsaft neutralisiert wird.

Das Trypsin wird bei der Verdauung in einer Vorstufe, dem Trypsinogen, abgeschieden; dies ruft im Darm die Absonderung einer Substanz, der „Enterokinase“, hervor, die nun erst das wirksame Trypsin aus seiner Vorstufe frei macht. Das durch Glyzerin aus der frischen Drüse extrahierte Trypsinogen kann durch Sauerstoffzufuhr ebenfalls in Trypsin verwandelt werden. Durch längeres Liegenlassen der Drüse an der Luft oder durch Behandeln mit sehr dünner Essigsäure kann das vorhandene Trypsinogen ebenfalls aktiviert werden.

3. Das Steapsin und die Fettverdauung. Der Pankreassaft wirkt auf die Nahrungsfette in doppelter Weise:

1. physikalisch, indem er sie, sofern sie schon freie Fettsäuren enthalten, infolge seiner Alkaleszenz emulgiert;

2. chemisch, indem das Steapsin die Fette zum Teil in ihre Komponenten, Fettsäuren und Glyzerin (s. S. 34), spaltet, also auch Neutralfette ranzig macht. Dann tritt wieder die erste Wirkung ein, sie werden emulgiert. Die Fettsäuren verbinden sich mit dem vorhandenen Alkali zu Seifen.

Ranziges Fett, in eine schwache Sodalösung gebracht, emulgiert spontan, ohne jede mechanische Einwirkung. Man stellt sich vor, daß die freien, abgespaltenen Fettsäuren sich zwischen den Fettmolekülen befinden und, indem sie sich mit dem Alkali zu Seifen verbinden, diese Fettmoleküle auseinander treiben. Ist zu wenig Sodalösung vorhanden, so können auch die überschüssigen Fettsäuren als solche emulgiert werden.

Die Bedeutung dieser Einwirkung des Pankreassaftes liegt nun darin, daß die Seifen, als im Wasser löslich, einfach diffun-

dieren, und daß das als Emulsion überaus fein verteilte Fett von dem Zottenepithel leicht aufgenommen wird.

Auch die Galle liefert mit ranzigem Fett eine Emulsion infolge ihres Gehaltes an gallensauren Alkalien und Seifen; sie unterstützt wesentlich die Wirkung des Steapsins.

Daß das Pankreas auch eine innere Sekretion hat, die zu dem Kohlehydratstoffwechsel in Beziehung steht, wurde schon früher (S. 162) erwähnt.

Der Darm.

Die Länge des Darmkanals verhält sich zur Körperlänge (der Vergleichung halber gemessen von der Nase bis zum After)

beim Menschen	9: 1,
bei der Katze (Karnivoren)	4: 1,
beim Rind (Herbivoren)	20: 1.

Ähnlich verschieden verhält sich die Kapazität des D a r m - k a n a l s. Diese Zahlen werden verständlich, wenn man bedenkt, daß die cellulosereiche Nahrung der Herbivoren nur sehr schwer verdaulich ist, ja daß die Cellulose selbst, um verdaulich zu werden, der Fäulnis unterliegen, also lange im Darmkanal verweilen muß.

Darmperistaltik.

Während der Verdauung treten am Darm, bes. am Dünndarm, wie beim Schlucken an der Speiseröhre (s. dort), peristaltische Bewegungen der glatten Muskulatur der Darmwand auf, die, vom Magen zum After verlaufend, den Inhalt in dieser Richtung vorwärts schieben und ihn dabei ausgiebig mit den Säften des Darmkanals mischen. Dabei verschieben sich auch einzelne Darmschlingen zu einander. Außerdem unterscheidet man die sog. Pendelbewegungen, periodische örtliche Kontraktionen etwa 8—20 mal per Min. und langsamere Kontraktionen, die größere Strecken ergreifen.

Da auch herausgeschnittene Darmstücke noch peristaltische Bewegungen zeigen, so muß die Ursache derselben in der Darmwand liegen. Man hat die großen Ganglienhaufen (Auerbach'sche, Meißner'sche Plexus) damit in Beziehung gebracht. Doch ist die Peristaltik auch abhängig von Nerven, die von außen zutreten. Reizung des Vagus vermehrt die Peristaltik, Reizung

des Splanchnicus hemmt sie. Doch soll auch der Vagus hemmende und der Splanchnicus motorische Fasern enthalten. Die Pendelbewegungen sollen rein myogenen Ursprunges sein. Reizt man die Darmwand lokal, so tritt oberhalb davon Kontraktion, unterhalb Erschlaffung ein. Im Hunger und in der Nacht ist der Darm ruhig, bald nach der Nahrungsaufnahme treten Bewegungen auf. Abkühlung setzt die Bewegungen herab, Erwärmung und bes. Dyspnoe verstärkt sie. Verschluckte scharfe Gegenstände (Stecknadeln, Knochensplitter) bohren sich gewöhnlich nicht in die Darmwand, kehren sich sogar um, so daß das stumpfe Ende vorangeht.

Darmsaft.

Der Darmsaft ist das Sekret der tubulösen Darmdrüsen, der Brunner'schen des Duodenums und der Lieberkühn'schen des ganzen Darmes; hierzu kommt noch der Schleim der Becherzellen, die sich besonders reichlich im Dickdarm finden. Man gewinnt den Darmsaft, indem man ein Stück von dem übrigen Darm trennt ohne den Zusammenhang mit dem Mesenterium aufzuheben und es mit einem Ende unter Verschießung des anderen (Thirry'sche Fistel) oder besser mit beiden Enden (Vella'sche Fistel) in die Bauchwand einnäht.

Die Sekretion des Darmsaftes findet im nüchternen Zustand nicht statt, sie beginnt aber bereits in der ersten Stunde der Verdauung und erreicht mehrere Stunden später ihren Höhepunkt. Sie erfolgt, wenn der Darm direkt (mechanisch, chemisch) gereizt wird, und reflektorisch nach Aufnahme von Nahrung. Sekretorische Nerven sind noch nicht bekannt.

Eigenschaften: Der Dünndarmsaft ist eine helle, dünne Flüssigkeit, mit gallertigen Klümpchen durchsetzt, stark alkalisch, spez. Gewicht etwa 1.010. Er enthält: in der Hitze gerinnbares Eiweiß, Mucin, anorganische Salze, bes. Natriumkarbonat und Kochsalz (s. Anhang).

Das Sekret des Dickdarms ist spärlich, klebrig, von neutraler Reaktion.

Wirkung des Dünndarmsaftes: Er enthält wahrscheinlich ein diastatisches Enzym, da er Stärkekleister in Zucker überzuführen vermag, ferner invertiert er Rohrzucker, d. h. zerlegt ihn in Trauben- und Fruchtzucker.

Außerdem enthält es ein protolytisches Enzym, Erepsin, das Albumosen und Peptone spaltet, aber auch eine schwach lösende Wirkung auf Fibrin und Kaseinogen hat.

Eine weitere Bedeutung hat der Dünndarmsaft durch seinen hohen Gehalt an Natriumkarbonat, indem er mit der Galle den sauren Chymus des Magens neutralisiert und alkalisiert, und zum andern, indem er mit den durch das Steapsin abgespaltenen Fettsäuren Seifen bildet und so die Emulgierung der Fette unterstützt.

Schließlich gibt das in ihm enthaltene Mucin eine schützende Decke für die Darmepithelien und begünstigt die Fortbewegung des Darminhaltes.

Für den Dickdarmsaft gilt ausschließlich das Letztere. Er enthält keine Fermente und hat keine verdauende Wirkung.

Gärungsprozesse im Darm.

Je weiter der Speisebrei im Dünndarm nach abwärts rückt, um so mehr treten an die Stelle der Verdauungsvorgänge Gärungs- und Fäulnisprozesse, hauptsächlich bei Pflanzenfressern, weniger schon bei Omnivoren, und fast gar nicht bei Karnivoren; sie werden durch die mit der Nahrung und der verschluckten Luft eingeführten Bakterien unterhalten. Dabei werden Zerfallsprodukte der Nahrungstoffe gebildet, die zum Teil den Verdauungsprodukten gleichen, zum Teil von ihnen völlig abweichen.

Aus Eiweiß entstehen: 1. Albumosen und Peptone. 2. Amidosäuren und Ammoniak. 3. Aromatische Körper, die einen intensiv faekulenten Geruch verbreiten, Indol und Skatol, ferner andere wie Phenol und Kresol. Das Entstehen der Letzteren ist insofern interessant, als diese selbst antiseptisch, fäulniswidrig wirken. 4. Gase, wie flüchtige Fettsäuren, Kohlensäure, Wasserstoff, Sumpfgas und Schwefelwasserstoff.

Die Fette zerfallen in ihre Paarlinge: Fettsäuren und Glyzerin

Die Kohlehydrate werden durch saure Gärung in Essigsäure, Milchsäure, Bernsteinsäure übergeführt. Auch die unverdauliche Cellulose wird durch Fäulnis zersetzt, es entstehen dabei flüchtige Fettsäuren, Kohlensäure und Sumpfgas. Die Fäulnisbakterien haben daher im Darm der Pflanzenfresser eine

große Bedeutung; ihr Hauptsitz ist der Dickdarm und zwar vor allem der Blinddarm.

Von der in den Darm ergossenen Galle werden die Gallensäuren gespalten, aus der Cholalsäure entsteht Dyslysin; der Gallenfarbstoff, das Bilirubin, wird reduziert zu Urobilin.

Der Darm als Resorptionsorgan.

Während in der Mundhöhle keine erhebliche Resorption stattfinden kann, weil die Speisen hier zu kurze Zeit bleiben und auch nicht genügend vorbereitet sind, liegen die Verhältnisse im Magen schon anders. Erstlich verweilen die Speisen hier länger, sodann haben sie bereits die Einwirkung des Mundspeichels und des Magensaftes erlitten. In der Tat ist auch nachgewiesen, daß Lösungen von Zucker, Salzen und Pepton im Magen resorbiert werden, um so besser, je konzentrierter sie sind. Alkohol und Gewürze (Senföl, Kochsalz) wirken dabei fördernd. Reines Wasser wird gar nicht resorbiert.

Die Hauptresorptionstätte ist indessen der Dünndarm.

Mechanismus der Resorption.

Die Schleimhaut des Dünndarms ist mit den fingerförmigen Zotten besetzt, die so dicht bei einander stehen, daß eine ebene Darmfläche nicht bleibt. Ihre Zahl beim Menschen wird auf etwa 4 Millionen geschätzt. Dadurch findet eine außerordentliche Vergrößerung der resorbierenden Oberfläche um mindestens das 20 fache statt.

Die Epithelzellen des Dünndarms tragen an ihrem freien Ende einen Saum, der in senkrechter Richtung von feinen Porenkanälchen durchbrochen ist und daher ein stäbchenförmiges Aussehen hat.

Jede Zotte besitzt in ihrer Achse ein Chylus- (oder Lymph-) Gefäß, das von Blutkapillaren dicht umsponnen ist. Zwischen Blut- und Lymphkapillaren ist eine Schicht glatter Muskelfasern gelegen, die bei ihrer Kontraktion das Lymphgefäß schnell entleeren und die Zotte verkürzen. Die nachherige Aufrichtung erfolgt durch den Blutstrom, welcher sich in die Arterien ergießt.

Zwischen dem Darminhalt einerseits und den Blut- und Lymphkapillaren andererseits kann nun ein Stoffaustausch durch die Schleimhautepithelien und die dünnen Gefäßwände nach den Gesetzen der Membrandiffusion (s. S. 88) stattfinden.

Dies ist aber nicht die einzige Triebkraft bei der Aufsaugung. Denn erstlich haben Beobachtungen gezeigt, daß ein Austausch im Darm sogar entgegen jenen Gesetzen erfolgen kann. So wird im Darm außer einer Kochsalzlösung, deren osmotische Spannung größer ist als die des Blutes, Wasser resorbiert, obwohl nach den Gesetzen der Osmose Wasser in die Lösung aus den Blut- und Lymphgefäßen diffundieren sollte, Zweitens werden auch nicht diffusible Substanzen, wie natives Eiweiß und Fett, aufgesaugt. Hierzu kommt, daß nach Eingabe von Fluornatrium, wodurch die Epithelzellen funktionell, aber nicht nachweisbar anatomisch geschädigt werden, die Vorgänge im Darm sich wesentlich ändern gegen die normaler Weise ablaufenden, weil jetzt in der Tat die Resorption nur nach den Gesetzen der Osmose erfolgt. Dies alles weist darauf hin, daß wir als zweite Triebkraft für die Resorption eine besondere aktive Tätigkeit der Epithelzellen annehmen müssen, wie wir ja ähnlich eine solche bei der Sekretion kennen gelernt haben. Neuerdings hat man noch einfacher eine „mechanische Affinität“ der Darmepithelzellen zu den protoplasmalöslichen Stoffen als Ursache angenommen, welche die Stoffe in die Zellen hineinzieht.

Wege der Resorption.

Wasser, Salze, Zucker und Eiweiß treten durch die Epithelschicht in die Blutkapillaren über und werden durch das Pfortaderblut abgeführt. Nur bei reichlicher Aufnahme von Wasser und Salzen kann ein Bruchteil davon in die Chylusgefäße übertreten, ebenso kann nach sehr großer Zufuhr von Eiweiß der Chylus eine sehr geringe Zunahme seines Eiweißgehaltes zeigen.

Die Fette gelangen zum größten Teil in die Chylusgefäße der Zotten, damit in die Lymphbahnen des Darmes und weiter in den Ductus thoracicus, daher diese Wege während der Fettverdauung auffallend weiß erscheinen, infolge der milchigen Trübung des Chylus durch das resorbierte emulgierte Fett. Ein kleiner Teil des Fettes scheint auch in die Blutbahn überzutreten.

Schicksale der resorbierten Stoffe.

Die *Proteosen* (Albumosen und Peptone) werden, da sich solche im Pfortaderblut während und nach der Verdauung nicht nachweisen lassen, vor ihrem Übertritt in die Blutbahn, also im Darmepithel selbst, synthetisch wieder in *natives, koagulables Bluteiweiß* (in Proteine) umgewandelt. Das ist wichtig, weil Albumosen, direkt in die Blutbahn gebracht, giftig sind. Acidalbuminat und sogar natives Eiweiß kann wahrscheinlich auch direkt unverdaut resorbiert und assimiliert werden.

Ebenso werden die Spaltungsprodukte der Fette: *Fettsäuren, Glycerin, Seifen*, da sie in der Lymphe selbst auf der Höhe der Fettverdauung nicht über den normalen Gehalt vermehrt gefunden werden, in den Epithelzellen selbst wieder zu *Neutralfett* aufgebaut. Ja, wenn man nur Seifen verfüttert, findet man dennoch Neutralfett in der Lymphe, was von Bedeutung ist, weil die Seifen Herzgifte sind. Das in den Epithelzellen sich findende Fett ist aber nicht bloß derartig synthetisiertes Fett; ein Teil des Fettes wird vielmehr, wie schon erwähnt, als solches in Emulsion aufgenommen.

Die *Kohlehydrate* gelangen hauptsächlich als *Mono-saccharide*, ohne Veränderung in der Darmwand, zur Resorption in das Pfortaderblut und durch dieses in die Leber, wo sie in *Glykogen* übergeführt werden. Die *Disaccharide* werden zum größten Teil invertiert. *Amylum* wird in *Dextrin*, *Isomaltose* und *Maltose* übergeführt, letztere wird invertiert.

Der Dickdarm.

Im *Dickdarm* findet ebenfalls noch Resorption statt, vor allem von Wasser, wodurch der Inhalt eingedickt und fest wird. Auch Nahrungstoffe, wenn sie in löslicher Form vom Anus aus eingeführt werden, können resorbiert werden, „Ernährungsklystiere“.

Der Kot.

Die unverdauten Residuen der Nahrung und die nicht wieder in den Körper zurückgetretenen Bestandteile der Verdauungsekrete bilden den Kot, die *Faeces*, die durch den After ausgestoßen werden.

Die Konsistenz des Kotes ist abhängig von seinem Wassergehalt, der bei reiner Fleischkost am geringsten ist (bis 50 pCt. beträgt). Seine Reaktion ist je nach den Fäulnisprozessen sauer, neutral oder alkalisch; seine Farbe, herrührend vom Sterkobilin (hervorgegangen aus Bilirubin), beim Menschen hell bis dunkelbraun, beim fleischfressenden Hunde pechschwarz, beim Pferd leicht gelb, sein Geruch rührt her von Skatol, Indol und ähnlichen aromatischen Körpern.

Er besteht aus unverdauten Nahrungsbestandteilen als Pflanzenresten (Spiralfasern), Stärkekörnern, Muskelprimitivfasern, Sehnengewebe, elastischen Fasern, Nukleïn, Fetttröpfchen, Fettsäurekristallen, Käseklümpchen; ferner aus Indol, Skatol, Phenol, Seifen, den erwähnten Residuen der Galle und dann aus Salzen; schließlich aus Schleim, Darmepithelien und Bakterien.

Mit dem Kot werden auch die Darmgase entleert, die im wesentlichen aus Kohlensäure, Sumpfgas und Schwefelwasserstoff bestehen.

Verdaulichkeit der Nahrung.

Die Bestandteile des Kotes sind insofern von Bedeutung, als sie uns darüber Aufschluß geben, in welchem Maße die aufgenommenen Nahrungstoffe verdaut, ausgenutzt werden. Denn der verdaute Teil der Nahrung muß sein = der aufgenommenen Nahrung minus Kot, vorausgesetzt freilich, daß der Kot nur aus unverdauter Nahrung besteht. Das ist aber, wie eben gezeigt, nicht ganz der Fall. Berücksichtigt man diesen Umstand, so läßt sich doch im allgemeinen der Ausnutzungswert dahin feststellen, daß

E i w e i ß bei reiner Fleischkost bis etwa auf 3 pCt. bis höchstens 6 pCt.,

K o h l e h y d r a t e fast vollständig,

F e t t e, wenn sie nicht in zu großer Menge gegeben werden, bis auf etwa 2 pCt. ausgenutzt werden.

Ferner wird pflanzliche Kost bedeutend weniger ausgenutzt als Fleischkost, was einmal an der schwereren Zugänglichkeit der von Cellulosehüllen umschlossenen Nahrungstoffe liegt, zweitens darin, daß die Cellulose die Peristaltik anregt und die Vegetabilien daher für eine vollständige Ausnutzung zu schnell den Darm passieren.

Kotentleerung.

Der Anus wird durch den Tonus des M. sphincter int. und externus verschlossen; letzterer wird verstärkt durch die willkürliche Kontraktion des M. levator ani.

In 24 Stunden erfolgt 1—2 mal eine Kotentleerung, Defaecation. Dabei rücken die Faeces zunächst in das Rectum hinab und veranlassen auf reflektorischem Wege eine Kontraktion der Sphincteren (zentripetale und zentrifugale Bahn in den Nn. hypogastrici und Nn. erigentes, Zentrum: Lumbalteil des Rückenmarkes). Diese Kontraktion der Sphincteren wird empfunden als Stuhl drang, Tenesmus.

Soll nun der Kot willkürlich entleert werden, so wird zuerst die Kontraktion der Sphincteren willkürlich (vom Gehirn aus) gehemmt, sodann wird die Bauchpresse (s. S. 112) in Tätigkeit versetzt. Hierzu kommen die peristaltischen Bewegungen des Mastdarmes. Der Levator ani streift gewissermaßen den After durch seine Kontraktion über die nach unten tretende Kotsäule empor.

17. Harn und Schweiss.

A. Harn.

Bedeutung des Harns.

Die Sekretion des Harns dient zur Ausscheidung

1. der überschüssigen Mengen des aufgenommenen Wassers und der Salze,
2. gewisser Stoffwechselprodukte des Organismus, vor allem der beim Abbau des Eiweiß auftretenden Körper,
3. schließlich von Stoffen, die gelegentlich dem Körper einverleibt werden und zur Resorption gelangen, entweder unverändert oder, nachdem sie Umsetzungen erfahren haben.

Eigenschaften des Harns.

Der Harn, das Sekret der Nieren, ist beim Menschen eine klare, gelbe, je nach der Konzentration heller oder dunkler erscheinende Flüssigkeit. Ein konzentrierter Harn heißt „hochgestellt“, erscheint rotbraun. Beim Stehen an der Luft dunkelt gewöhnlich der normale saure Urin etwas nach (wahrscheinlich infolge Oxydation der Farbstoffe).

Das spez. Gewicht des Harns beträgt 1.005—1.030, im Mittel 1.015. Je konzentrierter, je dunkler der Harn ist, um so höher ist sein spezifisches Gewicht; nur beim Diabetes mellitus ist der Harn sehr hell und hat doch ein hohes spez. Gewicht: 1.030 bis 1.050.

Der Harn hat bitterlich salzigen Geschmack, aromatischen Geruch, der in der Kälte verschwindet, in der Wärme wiederkehrt und schwache, aber deutlich saure Reaktion durch die verschiedenen ausgeschiedenen Säuren (s. u.), indem sie nach Maßgabe ihres Dissoziationszustandes (s. S. 90) eine verschiedene Anzahl von H-Jonen, deren Menge die saure Reaktion bestimmt, abgeben.

Alkalisch bei vorwiegendem Gehalt an basischen Phosphaten unter physiologischen Bedingungen ist der Harn 1) nach reichlichen Mahlzeiten, 2) nach heißen Bädern, starkem Schwitzen, 3) nach vegetarischer Kost (s. u.). 4) nach alkal. Mineralwässern (s. u.).

In 24 Stunden werden vom Erwachsenen etwa $1\frac{1}{2}$ Liter ausgeschieden.

Bei reichlicher Wasserzufuhr steigt, bei Wasserenthaltung sinkt die ausgeschiedene Menge. Verringert wird sie auch wenn auf anderem Wege durch starkes Schwitzen oder durch flüssige Darmentleerungen (profuse Diarrhoen, Cholera) starke Wasserabgabe stattfindet.

Seine Temperatur ist die des kleinen Beckens, etwa 39° ; sie steigt bei starker Muskeltätigkeit.

Der Harn enthält einige morphologische Bestandteile, welche sich beim Stehenlassen als Wölkchen (nubecula) niederschlagen; sie bestehen aus abgestoßenen Epithelzellen der Harnwege, Schleimkörperchen, auch Samenfäden und Schleim.

Physiologische Bestandteile des Harns.

Der Harn besteht aus Wasser etwa 96 pCt. und festen Bestandteilen etwa 4 pCt. Letztere teilt man ein in physiologische, pathologische und adventitielle. Wir betrachten zunächst die physiologischen Bestandteile.

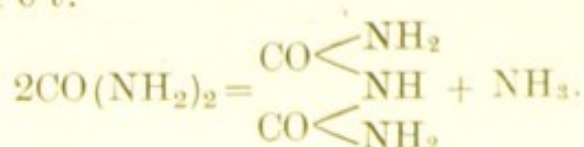
Dieselben sind zu etwa $\frac{2}{3}$ organischer, zu etwa $\frac{1}{3}$ anorganischer Natur. Der wichtigste der organischen Bestandteile ist

1. der Harnstoff, Urea, $\overset{+}{\text{U}}$, Carbamid, ist das Bi-amid der Kohlensäure $\text{CO} \begin{smallmatrix} \text{NH}_2 \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$.

Man gewinnt ihn, indem man Harn eindampft und mit Salpetersäure versetzt; es scheiden sich dann Kristalle von salpetersaurem Harnstoff aus.

Reiner Harnstoff kristallisiert in farblosen Nadeln oder Prismen, schmeckt bitterlich kühlend wie Salpeter, ist hygroskopisch, löst sich in Wasser, Alkohol, nicht in Äther, die Lösungen reagieren neutral.

Beim Erhitzen gibt der Harnstoff Ammoniak ab und es entsteht Biuret:



Biuret gibt mit Kupfersulfat und Kalilauge rosarote bis purpurrote Färbung (Biuretreaktion).

Beim Erhitzen mit Mineralsäuren und Alkalien, ferner unter der Einwirkung gewisser Bakterien (bei der alkalischen Harn-gärung wird der Harnstoff verwandelt in Ammoniumkarbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, weiterhin in Kohlensäure und Ammoniak. Tritt dies schon in der Blase ein, so wird sie davon angeätzt. Der Harnstoff verbindet sich als Basis mit Säuren und als Säure mit Basen und mit Salzen. Die wichtigsten dieser Verbindungen sind:

α) Salpetersaurer Harnstoff, glänzende Plättchen; man gewinnt daraus durch Hinzufügen von Baryumhydroxyd reinen Harnstoff (und salpetersaures Baryum).

β) Oxalsaurer Harnstoff und Chlornatriumharnstoff.

γ) Mercurinitratharnstoff entsteht als weißer Niederschlag, wenn zu Harnstofflösung salpetersaures Quecksilberoxyd in Lösung zugesetzt wird.

Der Harnstoff hat insofern besonderes Interesse, als er der erste organische Körper war, der im Laboratorium synthetisch dargestellt worden ist. Wöhler (1828) zeigte, daß Ammoniumcyanat durch einfaches Erhitzen in Harnstoff übergeht:



Seitdem sind noch mehrere andere Methoden gefunden worden, ihn aus anorganischen Verbindungen darzustellen.

Die Bedeutung des Harnstoffs beruht darauf, daß er dasjenige Endprodukt darstellt, in welchem hauptsächlich der Stickstoff des zersetzten Eiweiß den Körper verläßt. Er ist diejenige organische Verbindung, der im Verhältnis zu ihrem N-Gehalt der geringste C-Gehalt zukommt. Andere stickstoffhaltige Endprodukte werden nur in geringerer Menge ausgeschieden. Der Harnstoff wird mit dem Blut der Niere zugeführt und durch sie abgeschieden.

Der Harnstoff wird zum Teil durch synthetische Prozesse in der Leber (s. S. 207) aus den Produkten des Eiweißzerfalls im Darm, bes. den Endprodukten, Ammoniak und Kohlensäure gebildet; eine geringe Menge dieses Ammoniaks wird als solches (Ammonsalze) ausgeschieden; zum anderen Teil entsteht der Harnstoff durch andere

Oxydationsprozesse des Eiweiß und nicht in der Leber.

Ein dritter den anderen gegenüber nur geringer Teil des Harnstoffes wird direkt aus dem Eiweiß abgespalten.

Die Größe der Harnstoffausscheidung im Harn gibt also im allgemeinen ein Maß für den Eiweißstoffwechsel im Körper ab. Diese Größe festzustellen, „für die quantitative Bestimmung des Harnstoffes“ dienen folgende Methoden:

I. Liebig's Titrimethode: Man tropft in eine Harnstofflösung so lange Mercurinitrat, bis sich kein weißer Niederschlag mehr bildet; dann ist aller U^{+} gebunden.

II. Hüfner's Methode: Unterbromigsaures Natron zersetzt Harnstoff in Stickstoff, Kohlensäure und Wasser. Die Menge des gebildeten Stickstoffs wird gemessen.

III. Methode von Bunsen: Harnstoff mit Ätzbaryt erhitzt, $\left\{ \begin{array}{l} \text{gibt seinen Stickstoff} \\ \text{vollständig in Form} \\ \text{von Ammoniak ab.} \end{array} \right.$

IV. Methode von Heintz: Harnstoff mit konz. Schwefelsäure erhitzt, $\left\{ \begin{array}{l} \text{Die Menge des Ammo-} \\ \text{niaks wird bestimmt.} \end{array} \right.$

In 24 Stunden werden vom Erwachsenen etwa 35 gr Harnstoff ausgeschieden.

Eiweißreiche Nahrung vermehrt, eiweißarme vermindert die Harnstoffausscheidung. Es zeigt sich auch hierbei eine tägliche Periode (wie Atem-, Pulsfrequenz usw.), die ihren höchsten Wert einige Zeit nach der Hauptmahlzeit erreicht (s. Anhang).

2. Ammoniak, NH_3 , in 24 Std. etwa $\frac{3}{4}$ gr, als Ammonsalz ausgeschieden. Das Verhältnis von Ammoniak zu Harnstoff beträgt etwa 1:40.

3. Harnsäure, $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$, Acidum uricum, U , kommt in viel geringerer Menge vor.

Sie bildet ein weißes kristallinisches Pulver und wird aus dem Harn ausgeschieden in Wetzstein-, Kamm-, Spieß-, Faßform; ist sehr schwach in kaltem, etwas leichter in warmem Wasser löslich, in Alkohol und Äther unlöslich. Auch sie ist synthetisch dargestellt worden. Als zweibasische Säure bildet sie neutrale und saure Salze, jene sind im Wasser löslicher als diese. Im sauren Harn findet sie sich als saures, harnsaures Natron. Sie

läßt sich selbst in Spuren nachweisen durch die *Murexidprobe*: Harnsäure mit Salpetersäure zur Trockne eingedampft gibt mit Ammoniak eine prachtvolle purpurrote Färbung, mit Kali- oder Natriumlauge eine schöne tiefblaue Färbung. Ferner gibt die Harnsäure durch Oxydation a) bei Gegenwart von Säuren: *Alloxan* und Harnstoff $C_5H_4N_4O_3 + H_2O + O = C_4H_2N_2O_4 + CH_4N_2O$; *Alloxan* giebt bei weiterer Oxydation *Parabansäure* $C_4H_2N_2O_4$ und Kohlensäure. b) bei Gegenwart von Alkalien: *Allantoin* $C_4H_6N_4O_3$ (kommt im fötalen und Säuglingsharn und in der Amnionflüssigkeit vor) und Kohlensäure. Die Harnsäure und die Xanthinbasen hat man als Purinkörper zusammengefaßt (S. 27).

Die sauren harnsauren Salze lösen sich in heißem Wasser leichter als in kaltem; beim Abkühlen warmer Lösungen fallen sie daher aus, es bilden sich Sedimente. Sie lösen sich in Säuren wenig, in Alkalien reichlich. Führt man Harnsäure in den Körper ein, so erscheint sie zumeist als Harnstoff im Harn, man kann die Harnsäure daher als eine Vorstufe des Harnstoffs ansehen.

In 24 Stunden scheidet der Erwachsene etwa $\frac{1}{2}$ gr Harnsäure aus.

4. Die **Xanthin-** oder **Nukleïnbasen** schließen sich in ihrer Zusammensetzung der Harnsäure an, werden auch als Vorstufe derselben betrachtet, sie rühren wahrscheinlich größtenteils von der Zersetzung des Nukleïns im Körper her. Es sind Xanthin, Hypoxanthin, Adenin, Guanin (s. S. 27).

5. **Kreatinin** findet sich regelmäßig im Harn. Rührt wahrscheinlich vom Kreatin (= Kreatinin + H_2O) der Muskeln her.

6. **Hippursäure** ebenfalls in geringer Menge.

Sie findet sich am reichlichsten im Pferdeharn, ist wesentlich von der Art der Nahrung abhängig, bei reiner Fleischkost ist sie nur wenig, bei reiner Pflanzekost (beim Pferd bes. nach Gras, Heu) reichlich vorhanden.

Sie entsteht dadurch, daß sich im Körper die mit der Pflanzennahrung aufgenommene Benzoesäure mit Glykokoll paart, und unter Abspaltung von Wasser Hippursäure bildet. Dies läßt sich direkt dadurch beweisen, daß, wenn man Nitrobenzoesäure in den Körper einführt, Nitrohippursäure im Harn erscheint. Das zur Paarung nötige Glykokoll stammt her aus dem Zerfall der Gallensäuren (s. dort). Die Hippursäure bei den Karnivoren

stammt daher, daß bei der Eiweißfäulnis Phenylpropionsäure sich bildet, sie wird resorbiert und zu Benzoesäure oxydiert, diese mit Glykokoll gepaart.¹⁾

7. Oxalsäure, $C_2H_2O_4$, N-freier organischer Bestandteil.

Sie findet sich als Calciumoxalat, in Lösung gehalten durch das saure phosphorsaure Kali des Harns. Sobald der Harn neutral wird, fällt das Calciumoxalat aus und bildet kleine glänzende Kristalle in Briefumschlagform. Geschieht dies schon in den Nieren oder Harnwegen, so entstehen die gefährlichen Maulbeersteine.²⁾

8. Aromatische Körper: Phenol, Kresol, Indol.

Sie entstehen bei der Eiweißfäulnis im Darm, gelangen bei der Resorption ins Blut und werden mit Schwefelsäure gepaart als „aromatische Ätherschwefelsäuren“ ausgeschieden.

9. Harnfarbstoffe, der wichtigste ist das Urochrom; daneben kommt noch das Urobilin vor, im normalen Harn nur in einer Vorstufe das „Urobilinogen“.

10. Anorganische Salze, sie betragen etwa $\frac{1}{3}$ der gesamten festen Stoffe.

Chlornatrium ist das wichtigste von allen, in 24 Stunden werden etwa 15 gr ausgeschieden (s. Anhang), die wieder ersetzt werden müssen (Salzhunger s. S. 173).

Chlorkalium in geringer Menge.

Phosphorsäure, gebunden größtenteils an Kalium, als saures phosphorsaures Kalium; daneben auch als Calcium- und Magnesiumsalz. Der Phosphor wurde überhaupt zuerst im Harn entdeckt (1669 durch Brand).

¹⁾ Solche Paarungen, d. h. Verbindungen eingeführter Substanzen mit intermediären Stoffwechselprodukten (d. h. Stoffen, welche sonst noch weiter im Organismus umgewandelt werden) kommen mehrfach vor: so paaren sich die aromatischen Körper mit Schwefelsäure (s. o.); viele N-freie Substanzen mit Glukuronsäure z. B. Chloral, Kampfer, Menthol. Taurin, z. T. Tyrosin, auch Sarkosin (Spaltungsprodukt des Kreatins) paaren sich mit Karbaminsäure CH_3NO_2 , Monamid der Kohlensäure (kommt als Ammoniaksalz im Blut vor). Eingeführte Aminosäuren und Amide erscheinen zum größten Teil im Harn als Harnstoff wieder, wie Asparaginsäure, Leuzin, Glykokoll, Ammoniak.

²⁾ Wie Calciumoxalat geben auch harnsaure Salze Veranlassung zur Bildung von Konkrementen in den Harnwegen. Dabei ist wichtig, daß im sauer gemachten Harn Calciumoxalat sich löst, im alkalisch gemachten Harn die harnsauren Salze.

Schwefelsäure, aus dem Schwefel des zerfallenen Eiweißes stammend, kommt zum Teil an Alkali, Ammoniak, gebunden vor, zum Teil mit Benzolderivaten gepaart (s. o.).

Schließlich finden sich noch Spuren von **Eisen**.

Die saure Reaktion des Harnes wird durch die verschiedenen Säuren bedingt, die sich hier in teilweise dissoziiertem Zustand befinden.

11. Von **Gasen** finden sich hauptsächlich Kohlensäure, in Spuren Sauerstoff und Stickstoff.

Einfluß der Nahrung auf den Harn.

Der Harn der Omnivoren, zu denen der Mensch gehört, ist der eben beschriebene.

Der Harn der Karnivoren kommt dem des Menschen am nächsten. Er ist, frisch entleert, klar, stark sauer, gelb bis gelbbraun, enthält viel Harnstoff, wenig Harnsäure, wenig Hippursäure. Der Harn des Hundes enthält die Kynurensäure.

Der Harn der Herbivoren unterscheidet sich wesentlich davon. Er ist trüb, schmutzig gelb, meist von alkalischer (gegen Lackmus, neutraler gegen Phenolphthaleïn) Reaktion und von unangenehmem Geruch. Er enthält wenig Harnstoff, viel Hippursäure, Harnsäure nur in Spuren, reichlich aromatische Körper, viel Alkali und Erdkarbonate (braust deswegen mit Säuren auf), wenig Phosphate.

Läßt man **Herbivoren hungern**, so zehren sie von ihren Geweben, man macht sie zu **Karnivoren**, daher zeigt auch ihr Harn die Eigenschaften der Karnivoren. Füttert man Omnivoren (Mensch) nur mit Obst, so zeigen sie einen den Herbivoren ähnlichen Harn.

Bei **Reptilien, Vögeln und Insekten** ist der Harn breiartig, weiß. Er enthält hauptsächlich Harnsäure, die bei diesen Tieren die Stelle des Harnstoffs vertritt; der Vogelharn enthält auch Harnstoff, Kreatin, Ammoniak.

Zersetzungen des Harns.

Aus dem frischgelassenen Harn des Menschen setzt sich die schon erwähnte Nubecula ab. In dem Maße, wie der konzentrierte, stark saure Harn abkühlt, fallen aus ihm harnsaures Natron und Kali aus, die in kaltem Wasser weniger löslich sind

als in warmem. Es sind feine amorphe Körnchen von ziegelroter Farbe (*Sedimentum lateritium*). Daneben scheiden sich infolge der Abkühlung auch Harnsäurekristalle in „Wetzstein-“ oder „Faßform“ ab. Geschieht dies schon in den Harnwegen, so kommt es zur Bildung von Konkrementen, „Harngries“.

Die Ausscheidung der harnsauren Salze wird begünstigt durch die bisweilen auftretende „Nachsäuerung oder saure Gärung des Harns“, eine Milch- und Buttersäuregärung, die eine Zunahme der Acidität bewirkt. Und je saurer die Flüssigkeit ist, um so weniger lösen sich harnsaure Salze darin.

Weiterhin aber verschwindet die saure Reaktion des Harnes, er wird neutral, nach einigen Tagen sogar stark alkalisch. Es ist die „alkalische Harn gärung“ eingetreten. Sie wird bewirkt durch den *Bacillus* und den *Micrococcus ureae*, die aus der Luft hineingelangen. Denn, wird Harn steril aufgefangen und verwahrt, so tritt die alkalische Gärung nicht ein. Die vorher ausgefallenen Sedimente von Harnsäure und harnsauren Salzen lösen sich jetzt, dafür treten andere Sedimente auf: phosphorsaure Ammoniakmagnesia in „Sargdeckelform“, harnsaures Ammoniak in „Stechapfel- und Morgensternform“ und phosphorsaure Erden.

Pathologische Harnbestandteile.

Solche sind:

1. Traubenzucker, daneben Aceton, Oxybuttersäure und Acetessigsäure, im Diabetes nach sehr reichlicher Kohlehydratnahrung auch bei Gesunden (Glykosurie);
2. Eiweiß, Albuminurie, bei Nierenentzündungen;
3. Gallenbestandteile, Cholorie, bei Ikterus;
4. Blut, d. h. rote Blutkörperchen, Hämaturie bei Blutungen in den ableitenden Harnwegen;
5. Hämoglobin, Hämoglobinurie; und andere.

Adventitielle Harnbestandteile.

Stoffe, die in den Körper gelegentlich mit der Nahrung oder als Arzneimittel eingeführt werden, scheiden bald schneller, bald

langsamer wieder durch den Harn aus, meist nicht ohne wichtige Umsetzungen erfahren zu haben, wobei zugleich auch die Farbe und der Geruch des Harnes verändert wird.

Die löslichen Salze der Alkalien und Metalle scheiden als solche aus.

Organische Säuren dagegen werden als kohlensaure Salze ausgeschieden. Durch Einführung pflanzensaurer Alkalien kann man Karnivoren- und Omnivorenharn alkalisch machen.

Gerbsäure erscheint als Gallussäure wieder.

Benzoësäure, wie erwähnt, und ihre Substitutionsprodukte, Nitro-, Oxybenzoësäure, ferner Chinasäure, Zimmtsäure erscheinen als Hippursäure.

Nach Aufnahme von Terpentinen, sogar schon durch bloßes Einatmen, riecht der Harn veilchenartig; nach Genuß von Spargel widrig nach Methylmercaptan $\text{CH}_3\text{—HS}$.

Ebenso erscheinen Farbstoffe (Krapp, Blauholz) und Riechstoffe (Baldrian, Knoblauch) im Harn wieder.

Mechanismus der Harnsekretion.

Der Harn ist das Sekret der Nierendrüse; die Ausscheidung findet in den Malpighi'schen Körperchen und den Harnkanälchen, besonders den gewundenen, statt.

Das Blut strömt aus der Aorta direkt in die zur Größe der Nieren verhältnismäßig weiten Nierenarterien ein. Dadurch wird eine große Blutmenge fast unter dem vollen Herzdruck durch die Nieren getrieben. In den Glomeruli löst sich das Vas afferens in einen dichten Knäuel auf, infolge der daraus resultierenden Querschnittszunahme findet eine Verlangsamung des Blutstromes statt. Wegen des durch die Gefäßverästelung gesetzten außerordentlichen Widerstandes setzt sich fast der ganze Blutdruck in Seitendruck um. Das Vas efferens ist erheblich enger als das Vas afferens und wirkt dadurch ebenfalls stauend auf den Blutstrom in dem Glomerulus.

Durch alles dieses kommt in den Malpighischen Körperchen eine Filtration unter ziemlich hohem Druck aus dem Blut zustande; ihr Resultat ist der Durchtritt von Wasser und von im Blut gelösten Salzen, die einen Teil der Harnsalze (Kochsalze u. a.) ausmachen.

Der andere Teil der Harnsalze (Kochsalz, Sulfate, Phosphate) und die spezifischen Harnbestandteile (Harnstoff, Harnsäure, Hippursäure) werden durch die besondere Tätigkeit des sezernierenden Epithels, der Harnkanälchenepithelien, besonders in den Tubuli contorti, abgeschieden. Und da diese Stoffe nur in gelöstem Zustand abgegeben werden können, muß zugleich von diesen Epithelien auch Wasser ausgeschieden werden.

Für die spezifische Tätigkeit der Epithelzellen spricht, daß beim Menschen, bei Karnivoren und bei hungernden Herbivoren der Harn sauer reagiert, das Blutplasma aber neutral, daß die spezifischen Harnbestandteile (Harnstoff, Harnsäure u. a.) im Blutplasma nur in Spuren, im Harn aber in 2—50 mal stärkerer Konzentration sich finden, und daß die Hippursäure im Blut gar nicht vorkommt, sondern erst synthetisch in der Niere gebildet wird. Außerdem gibt es Mittel, die, in den Körper eingeführt, die Harnsekretion steigern, Diuretica (Harnstoff, Kochsalz, Natronsalpeter, Koffein, Traubenzucker), und daß die Wirkung dieser Mittel auch dann noch eintritt, wenn die Harnabsonderung wegen zu niedrigen Blutdruckes ganz aufgehört hat. Ferner setzt das Atropin, wie auch bei anderen sezernierenden Drüsen, die Absonderung herab. Schließlich kann man auch einen direkten Beweis dadurch erbringen, daß man eine blaue Farblösung von indigschwefelsaurem Natron einem Hund ins Blut injiziert. Sobald der Harn blau erscheint, ist die Farblösung aus dem Blut in den Harn übergetreten. Untersucht man zu dieser Zeit die Niere, so findet sich der blaue Farbstoff weder in der Müller'schen Kapsel noch in den Glomeruli, sondern erst in den gewundenen Kanälchen und weiter abwärts, und zwar kann der Austritt des Farbstoffs hier direkt an der Färbung der Epithelien erkannt werden.

Damit die Drüsenzellen, die Epithelien, ihre Funktion ausüben können, müssen sie einmal genügend mit Sauerstoff versehen werden, was nur möglich ist, wenn eine genügende Menge Blut mit genügender Stromgeschwindigkeit durch die Nieren fließt. Daher werden durch sehr kurze Kompression der Nierenarterie die sezernierenden Zellen geschädigt und hört für längere Zeit die Harnabsonderung ganz auf. Ferner müssen die Zellen durch die „harnfähigen Stoffe“ zu

ihrer Tätigkeit angeregt werden, d. s. die Stoffe, die normalerweise durch den Harn ausgeschieden werden (Harnstoff, harnsaure Salze, Chloride u. a.)

Die meisten der im Harn ausgeschiedenen Körper werden wohl nicht erst in der Niere gebildet, vielmehr werden sie, wie Harnstoff, Harnsäure u. a. den Nieren schon durch das Blut zugeführt. Nur die Hippursäure (und vielleicht die Harnfarbstoffe) entstehen im Nierenparenchym selbst.

Wie auch bei anderen Drüsen erscheint bei sehr lebhafter Nierenabsonderung das Blut in den Venen hellrot. Das geschieht insbesondere nach Eingabe von harntreibenden Stoffen (Diuretica), welche die Geschwindigkeit der Blutströmung außerordentlich erhöhen. Die wesentliche Bedeutung der Diuretica liegt freilich in einer spezifischen Wirkung auf die Epithelien. Auch eine nicht unerhebliche Wärmebildung findet bei der Harnsekretion statt.

Auf dem weiteren Wege durch die Harnkanälchen wird dann wahrscheinlich das Sekret durch Wasserentziehung wieder eingedickt.

Von dem Einfluß des Nervensystems auf die Nierensekretion (abgesehen von den Gefäßnerven) ist nichts bekannt.

Harnentleerung.

Der aus den Harnkanälchen abfließende Harn sammelt sich in den Nierenbecken und gelangt durch rhythmische peristaltische Bewegungen des Ureters in die Blase. Die Ureterwellen, die beim Kaninchen 20—30 mm pro Sek. zurücklegen, scheinen sich durch reine Muskelleitung fortzupflanzen. Die Ureteren durchsetzen in schiefer Richtung den Blasenrand, sodaß der Rücktritt von Harn verhindert wird.

Die Blase (Kapazität bis über 1.5 Ltr.) wird verschlossen durch den Tonus des Sphincter vesicae. Hat die Blase eine gewisse Füllung erreicht, so stellt sich durch Reizung der sensiblen Äste der Blasenwand Harndrang ein. Der Blasenverschluß wird jetzt willkürlich unterstützt durch den quergestreiften Compressor urethrae und die Dammuskulatur. Soll der Harn gelassen werden, so wird der Compressor urethrae nicht mehr innerviert und kontrahiert, und der Tonus des Sphincter vesicae wird gehemmt, der Muskel erschlafft. Nun tritt die Kontraktion des Detrusor vesicae ein, die anfänglich unterstützt wird durch die

Bauchpresse. Die Harnentleerung wird also willkürlich eingeleitet, läuft aber reflektorisch ab.

Die Innervation dieser Blasenmuskeln geschieht durch die Nn. erigentes und hypogastrici. Das reflektorische Zentrum liegt im Lendenmark.

B. Schweiß.

Der Schweiß ist das Sekret der tubulösen Schweißdrüsen; sie sind beim Menschen über die ganze Haut verbreitet. Doch schwitzen gewisse Stellen des Körpers leichter, wie Gesicht (besonders Stirn), Vola und Planta des Fußes und Achselhöhle. Manche Tiere schwitzen gar nicht, wie Ziegen, Kaninchen, Mäuse; Hunde und Katzen nur an den unbehaarten, dunkel pigmentierten Stellen der Fußsohlen.

Das Volumen aller Schweißdrüsen des menschlichen Körpers zusammen beträgt ca. 80 ccm = $\frac{1}{3}$ Nieren.

Der Schweiß ist ein spezifisches Produkt der tätigen Drüsenzellen und nicht ein bloßes Filtrat aus dem Blut; denn auch noch mehrere Minuten nach Amputation kann durch Nerven-erregung Schweißsekretion hervorgerufen werden. Er stellt eine klare, farblose Flüssigkeit von salzigem Geschmack, eigentümlichem ranzigen Geruch dar. Reaktion meist sauer (wahrscheinlich von beigemischten Zersetzungsprodukten), bei längerem Schwitzen neutral oder alkalisch (s. Anhang).

Er enthält nur etwa 1 pCt. feste Bestandteile, davon Salze, besonders Chlornatrium, organische Bestandteile, darunter Harnstoff und flüchtige Fettsäuren. Von den letzteren rührt die saure Reaktion und der eigentümliche Geruch her.

Die Menge des ausgeschiedenen Schweißes ist sehr verschieden; sie dient der Wärmeregulation (s. dort); dabei besteht ein Zusammenhang zwischen Schweiß und Harnsekretion, sie sind Antagonisten.

Die Schweißsekretion wird angeregt durch Hitze, Muskelanstrengung, viel heißes Getränk, Erstickung, Gifte (Pilocarpin); sie wird gehemmt durch Atropin. Sie hängt ab vom Zentralnervensystem. Psychische Affekte: Angst, Zorn rufen Schweißsekretion hervor. Es gibt besondere Schweißnerven, die aus dem Rückenmark kommend, im Sympathicus verlaufen

und von da in die Extremitätennerven übertreten. Reizung des Ischiadicus bei der Katze bewirkt Schweißsekretion an der Sohlenfläche, selbst noch am abgeschnittenen Glied.

Im Rückenmark sollen Zentren für die Schweißsekretion liegen. Ein dominierendes allgemeines Schwitzzentrum wird in der Medulla oblongata angenommen.

Anhang.

Die Milch.¹⁾

Die Milch ist das Sekret der Milchdrüsen. Sie ist eine weiße bis gelblichweiße, vollkommen undurchsichtige, geruchlose Flüssigkeit von süßem Geschmack, schwach alkalischer oder amphoterer Reaktion ²⁾ und spez. Gewicht 1.026—1.034. Sie stellt eine natürliche Fettemulsion dar, d. h. es ist eine Flüssigkeit, in der feinste Fetttröpfchen, die Milchkügelchen, suspendiert sind. Diese Fettkügelchen fließen nicht zusammen, werden in Emulsion erhalten dadurch, daß jedes von ihnen mit einer Kaseinhülle umgeben ist. Indem an ihnen das Licht allseitig reflektiert wird, erscheint die ganze Flüssigkeit weiß und undurchsichtig.

Die Sekretion der Milch.

Gegen das Ende der Schwangerschaft vergrößern sich die Milchdrüsen stark; in den letzten Tagen beginnt auch schon die Milchsekretion, aber erst nach der Entbindung tritt eine reichlichere Absonderung, Laktation, ein. Die Dauer der Laktationsperiode beträgt 10-12 Monate und darüber.

Jede Brustdrüse stellt einen Komplex von mehreren Milchdrüsen dar; diese gehören zu den acinösen Drüsen, jede von ihnen mündet mit einem sackförmig erweiterten Ausführungsgang auf der Brustwarze.

Jeder Drüsenkörper trägt auf der Membrana propria seiner Alveolen eine einfache Lage polygonaler Drüsenzellen, die im untätigen Zustande niedrig, flach und hell, im tätigen Zustand

¹⁾ cf. S. 176.

²⁾ Rötet blaues Lakmuspapier und bläut rotes.

vergrößert, hoch und getrübt erscheinen. An dem dem Hohlraum zugewandten Ende geht, wie bei der Speichel-Sekretion, Umwandlung und Abscheidung des Zellenleibes vor sich. Die Milch entsteht also nicht durch Zerfall der fettig umgewandelten Drüsenzellen, sie ist vielmehr ein chemisches Produkt der tätigen Zellen, die dabei als solche erhalten bleiben.

In den ersten Tagen der Sekretion findet man in der Milch die sog. Kolostrumkörperchen, große runde Körperchen mit Kernen und reichlich mit Fetttröpfchen erfüllt. Vom 5. Tage nach der Geburt an verschwinden sie.

Die Milchsekretion steht unter dem Einfluß des Nervensystems. Bestimmte Sekretionsnerven sind noch nicht bekannt, doch hat man vom Sympathicus bei Tieren einen Einfluß auf die Qualität der Milch nachgewiesen.

Durch den Reiz des Saugens wird die Sekretion lange Zeit unterhalten. Findet eine Entleerung der Milch durch Säugen nicht statt, so hört die Absonderung allmählich auf. Während der Laktationsperiode bleibt gewöhnlich die Menstruation aus, sie tritt nach Beendigung derselben wieder ein.

Psychische Erregungen können die Sekretion versiegen lassen oder auch die Qualität der Milch ändern.

Die Zusammensetzung der Milch.

Die Frauenmilch enthält 90 pCt. Wasser (die Kuhmilch 87 pCt.) und 10 pCt. (bez. 13 pCt.) feste Bestandteile: organische (Eiweiß, Fett und Kohlehydrate) und anorganische.

1. Eiweißkörper.

Es sind das phosphorhaltige Kasein, ein Nukleoalbumin der Käsestoff der Milch; ferner in geringer Menge Lakt-Globulin und Lakt-Albumin.

2. Kohlehydrate.

Sie werden repräsentiert durch den Milchzucker (S. 31). Beim Stehenlassen der Milch geht er unter Einwirkung eines in der Milch schon vorhandenen Fermentes, der Laktase, durch Gärung in Milchsäure über. Dadurch wird die Milch sauer, und es fällt das nur durch die alkalischen Salze der Milch in Lösung gehaltene Kasein aus, die Milch gerinnt (saure Gerinnung im

Gegensatz zur Labgerinnung s. S. 203). Es hat sich ein festes Gerinnsel gebildet, das im wesentlichen aus Kasein und Fett besteht, und aus dem der Sauremilchkäse bereitet wird; der Hauptmenge nach ist das Fett nach oben gestiegen und bildet den R a h m (s. u.). Über dem Gerinnsel ist eine wässrige leicht opalisierende Flüssigkeit ausgepreßt, das M i l c h s e r u m oder die M o l k e n, das die übrigen Bestandteile der Milch enthält. Gegenüber dem so gewonnenen S a u r e m i l c h k ä s e und s a u r e n M o l k e n kann man S ü ß m i l c h k ä s e und s ü ß e M o l k e n erhalten, wenn man die frische Milch durch Lab zur Gerinnung bringt. Dabei gibt unabgerahmte Milch F e t t k ä s e, abgerahmte Milch M a g e r k ä s e.

3. F e t t e.

Sie sind in Form feinsten Tröpfchen¹⁾ in Emulsion enthalten, indem das Kasein eine nicht geronnene Hülle um die einzelnen Tröpfchen bildet. Sie bilden ein Gemenge von Olein, Stearin, Palmitin; außerdem finden sich darin die Triglyceride einiger niedriger Fettsäuren (S. 33). Sie sind wie die meisten tierischen Fette von Cholestearin und Lezithin begleitet.

Beim Stehenlassen der Milch steigen die spezifisch leichteren Fettkügelchen sehr bald nach oben und bilden eine gelbliche Schicht, den Rahm; er enthält bis zu 83 pCt. des Milchfettes. Dabei wird Rahm und Milch leicht sauer. An Stelle dieser schwierigen und unvollkommenen natürlichen Aufrahmung wendet man heute im Großbetriebe die Milchzentrifuge an. Damit kann frische V o l l m i l c h in kürzester Zeit fast vollständig (bis zu 90—94 pCt. des Milchfettes) entrahmt werden.

Die nach der Entrahmung zurückbleibende Milch heißt M a g e r m i l c h; sie enthält alle Bestandteile der Milch abzüglich des größten Teils der Fette.

Werden die so gewonnenen Fette, der Rahm, entweder gleich nach der Gerinnung noch süß oder durch Einwirkung gewisser Bakterien auf einen bestimmten Säuregrad gebracht, mechanisch bearbeitet, g e s c h l a g e n, so zerreißt die die einzelnen Fettkügelchen umgebende Kaseinhülle, die Fette fließen zusammen

¹⁾ Die Fetttröpfchen der Frauenmilch haben einen Durchmesser von 0.002—0.005 mm. Selbst die feinsten dieser Fetttröpfchen sind noch erheblich größer als die staubförmig feinen Fetttröpfchen des Chylus.

und geben die B u t t e r. Die zurückbleibende Flüssigkeit heißt B u t t e r m i l c h; sie ist ganz ähnlich zusammengesetzt, wie die Magermilch, enthält nur (abgesehen von beigemengten Butterklümpchen) noch weniger Fett als diese. Aus dem sauren Rahm wird saure Sahnenbutter und saure Buttermilch, aus dem süßen Rahm süße Sahnenbutter und süße Buttermilch gewonnen.

4. A n o r g a n i s c h e S a l z e.

Es sind hauptsächlich Kaliumphosphat und Calciumphosphat, ferner Chlorkalium, Chlornatrium, geringe Mengen von Magnesiumphosphat und Spuren von Eisen.

Schließlich enthält die Milch noch Kohlensäure.

Einfluß der Nahrung auf die Milchsekretion.

Steigerung der E i w e i ß z u f u h r wirkt günstig auf den Gehalt der Milch an ihren wesentlichen Bestandteilen, vor allem aber wird der Fettgehalt gesteigert.

Steigerung der F e t t z u f u h r erhöht den Fettgehalt der Milch nicht.

Die K o h l e h y d r a t e haben keinen Einfluß auf die Menge des Milchzuckers.

Eingeführte Arzneimittel können in die Milch übergehen, so Jod, Eisen, Blei, Opium, Quecksilber, auch aromatische Körper.

Menge der Milch.

Frauen sezernieren 1—1½ Liter pro Tag (der höchste Ertrag bei Kühen ist 24 Liter). Häufiges Entleeren der Milch steigert die Sekretion.

Die Tränenflüssigkeit.

Die Tränenflüssigkeit ist das Sekret der Tränendrüse, die ähnlich wie die Parotis gebaut ist. Sie ist eine klare, farblose Flüssigkeit von alkalischer Reaktion, schwach salzigem Geschmack und enthält etwa 1 pCt. feste Bestandteile: Albumin und Schleim, Spuren von Fett, hauptsächlich anorganische Salze (Kochsalz).

Die Sekretion findet beständig statt, doch kann sie durch psychische Affekte (Weinen) und reflektorisch (Reizung der

Conjunctiva, der Retina, der Nasenschleimhaut) verstärkt werden.

Die Sekretionsnerven verlaufen im N. lacrymalis vom Trigeminus, im N. subcutaneus maxillaris vom Facialis und im Hals-sympathicus.

Hauttalg, Sebum,

ist das Sekret der traubenförmigen acinösen Haarbalgdrüsen, macht Haut und Haare geschmeidig, besteht aus Eiweißstoffen, Fetten, Cholestearin und anorganischen Salzen.

Vernix caseosa (vernix = Schmiere, Pech)

ist die weißliche Schmiere, die den Körper des neugeborenen Kindes bedeckt = Hauttalg + abgestoßene Epithelien.

Ohrenschmalz, Cerumen,

ist das Sekret der (tubulösen) Knäueldrüsen des äußeren Gehörganges. Es fettet den äußeren Gehörgang und das Trommelfell ein.

18. Spezielle Nervenphysiologie.

Einteilung der Nerven.

Während in Bezug auf den Bau bei den verschiedenen Nerven Unterschiede an den Achsenzylindern nicht gefunden sind, kennt man solche an den zugehörigen Neuronenzellen sehr wohl (Spinalganglien, Vorderhorn- und Hinterhornzellen im Rückenmark); noch auffälliger sind aber die Verschiedenheiten in den Endigungen.

Ebenso verhalten sich physiologisch die verschiedenen Nervenfasern scheinbar völlig gleich; sie unterscheiden sich aber sehr wesentlich durch ihre Wirkungen, und diese sind abhängig von der Natur des Erfolgsorganes. So bringt jeder überhaupt wirksame Reiz bei motorischen Nerven nur Kontraktion des zugehörigen Muskels hervor, beim sekretorischen Nerven nur Sekretion, bei sensiblen Nerven nur Empfindung.

Jede Nervenfaser ist fähig, nach beiden Richtungen hin zu leiten, hat doppelsinniges Leitungsvermögen (s. Allg. Nervenphysiologie), jeder Neuron leitet aber nur in einer Richtung. Nach der Lage des Erfolgsorganes und nach dem Erfolge unterscheidet man:

1. **Zentripetale Nerven:** sensible, leiten vom Endorgan, Sinnesorgan, zu einer Nervenzelle, ihre Reizung erzeugt einen Vorgang im Zentralorgan, dem auf psychischer Seite eine Empfindung entspricht. Hierzu gehören auch die reflektorisch den Blutdruck beeinflussenden (pressorischen und depressorischen) Fasern in den peripherischen Nerven, ferner der N. depressor und die Lungenvagusfasern.

2. **Zentrifugale Nerven:** motorische (für die Skelettmuskeln, für die Gefäß-, überhaupt für glatte Muskeln), leiten von einer Nervenzelle zum Muskel, ihre Reizung ruft Muskelkontraktion hervor; ferner sekretorische Fasern und

hemmende Fasern (Herzvagus, gefäßerweiternde, für die Darmbewegungen).

3. **I n t e r z e n t r a l e N e r v e n**, d. s. Achsenzylinder von solchen Neuronen, die nur im Zentralorgan verlaufen, also Neuronen II. und höherer Ordnung.

Ein **N e r v**, der Fasern beider Qualitäten (1 und 2) enthält, heißt „**g e m i s c h t e r N e r v**“.

Um den feineren Verlauf eines markhaltigen Nerven kennen zu lernen, wendet man die Degenerationsmethode an. Man durchschneidet den Nerven; das von der zugehörigen Nervenzelle peripherisch gelegene Stück degeneriert, das zentrale, mit ihr in Zusammenhang gebliebene Stück nicht (s. S. 78). Die eingetretene Degeneration läßt sich an der Markscheide durch besondere Färbungsmethoden feststellen.

Um die **F u n k t i o n** eines Nerven kennen zu lernen, durchschneidet man ihn ebenfalls und beobachtet, ob und wo „Lähmung“ oder „Anästhesie“ sich zeigen, „Ausfallserscheinungen“ d. h. Funktionen, die früher vorhanden waren, sind ausgefallen. Oder man reizt den peripherischen, bez. zentralen Stumpf des durchschnittenen Nerven und beobachtet den Erfolg (Muskelkontraktion vom peripherischen Stumpf, Schmerzäußerung vom zentralen Stumpf).

Rückenmarksnerven.

Die Spinalnerven entspringen mit 2 Wurzeln (vordere ventrale, hintere dorsale) aus den beiden Sulci laterales (ant. und post.) des Rückenmarks. Beide Wurzeln konvergieren alsbald und legen sich aneinander, ohne jedoch zunächst Fasern auszutauschen.

Im Foramen intervertebrale bildet die hintere Wurzel ein Ganglion spinale, welches die Nervenzellen, die trophischen Zentra, für die hinteren Fasern enthält.

Jenseits des Ganglion mischen sich die Fasern beider Wurzeln, und aus dem Fasergemisch entspringen 2 Äste, ein vorderer stärkerer und ein hinterer dünnerer, die nach vorn bez. nach hinten verlaufen. Jeder dieser Äste enthält Fasern sowohl aus der vorderen, als auch aus der hinteren Wurzel.

Die **v o r d e r e n W u r z e l n** der Rückenmarksnerven sind **m o t o r i s c h**, die **h i n t e r e n W u r z e l n**

sensibel (Gesetz von Bell-Magendie). Durchschneidet man bei einem Frosch auf der einen Seite die vorderen Wurzeln, so ist er auf dieser Seite gelähmt, durchschneidet man die hinteren Wurzeln, so ist er auf dieser Seite unempfindlich. (Versuch von Joh. Müller.)

Eine scheinbare Abweichung erfährt dies Gesetz dadurch, daß Fasern von der sensiblen Wurzel nach der Vereinigung beider in die vordere Wurzel zentralwärts umbiegen (rückläufige Empfindlichkeit, *sensibilité récurrente*). Dem Gesetz entsprechend treten auch die vasomotorischen und sekretorischen Nerven durch die vordere Wurzel aus, die sensiblen Nerven der Muskeln (Muskelgefühl) durch die hinteren. Eine wirkliche Abweichung erleidet das Gesetz dadurch, daß in den hinteren Wurzeln gefäßerweiternde Fasern enthalten sind. Nach neueren Untersuchungen sollen dies keine besonderen Nerven sein, sondern sensible, die nur in entgegengesetzter (*antidromer*) Richtung leiten. Auch motorische Fasern für die Baueingeweide sollen beim Frosch in den hinteren Wurzeln enthalten sein.

Bemerkenswert ist ferner, daß die hinteren Wurzeln dicker und ihre einzelnen Fasern feiner sind als die vorderen Wurzeln; daher erhält der Körper mehr sensible Fasern als motorische. Ferner erhält die rechte Körperhälfte mehr motorische, die linke mehr sensible Fasern (motorische Präponderanz der rechten, sensible Präponderanz der linken Körperhälfte).

In Bezug auf die Verbreitung ist zu bemerken, daß die Mittellinie des Körpers eine scharfe Grenze für die Verbreitung der links- und rechtsseitigen Spinalnerven bildet. Ferner enthält ein Muskel nicht bloß aus einer Wurzel, sondern aus mehreren motorische Fasern. Diese vermischen sich in dem Plexus der peripherischen Nerven und treten erst von da zu einem gemeinsamen Nervenstamm zusammen. Die einen höher gelegenen Teil innervierenden Nerven entspringen auch aus einem höheren Teil des Rückenmarks.

Gehirnnerven.

1. N. olfactorius.

Er dient der Geruchsempfindung, entspringt aus dem Bulbus olfactorius an dem vorderen Teil der Hirnbasis, welcher der Siebbeinplatte aufliegt, durch deren Löcher seine marklosen

Fasern zur Riechschleimhaut der Nase treten. Sie endigen in den Sinnesepithelien daselbst.

Diese, die R i e c h z e l l e n , bilden die Zellen des ersten Neurons, der sich mit freien Endbäumchen im Bulbus auflöst. Mit ihnen treten in Kontakt die Rindenzellen des Bulbus, die Zellen des zweiten Neurons; sie senden zentralwärts einen Nervenfortsatz zur Hirnrinde im Gyrus hippocampi.

II. N. opticus.

Er ist der Sehnerv, tritt als Tractus opticus aus dem Gehirn, bildet mit dem der anderen Seite das Chiasma nervorum opticorum, wo eine teilweise Kreuzung der Fasern beider Seiten stattfindet. Danach läuft er als N. opticus ins Auge, um in der Retina zu endigen.

Durch die halbe Kreuzung im Chiasma beim Menschen (s. auch u. Oculomotorius) wird bewirkt, daß die mediale Hälfte jeder Netzhaut von Fasern aus der entgegengesetzten Seite des Gehirns innerviert wird, die laterale von Fasern aus derselben Seite.

Der Opticus muß schon als Teil des nervösen Zentralorgans angesehen werden, nur die Verbindungen zwischen dem perzipierenden Endapparat (Stäbchen und Zapfen) und den Ganglienzellen der Retina (s. Gesichtssinn) können als peripherischer Sehnerv bezeichnet werden.

Als subkortikale Zentren des Sehnerven sind die vorderen Vierhügel und die lateralen Kniehöcker zu betrachten, hier löst sich auch der Retinal-Neuron in Endbäumchen auf. Von hier aus gehen dann einerseits Stabkranzfasern zur Großhirnrinde, andererseits Fasern zu den weiter hinten gelegenen Kernen des Gehirns, bes. den Kernen der Augenmuskelnerven.

III. N. oculomotorius.

Er entspringt mit mehreren großzelligen Kernen im Gebiet des vorderen Vierhügels am Boden des III. Ventrikels und Aquaeductus Sylvii, besteht aus etwa 15000 Fasern (!),¹⁾ nur ein kleiner Teil davon kreuzt sich mit denen der anderen Seite.

Er innerviert indirekt auch die inneren Augenmuskeln, den Sphincter, den Verengerer der Pupille, und den Ciliaris,

¹⁾ Der N. facialis enthält nur 4000—4500.

den Akkommodationsmuskel, indem er die *Radix brevis* zum Ganglion ciliare abgibt. Das Ganglion ist ein sympathisches Ganglion, darin endigen alle Fasern der *Radix brevis* des Oculomotorius mit freien Endbäumchen, und treten in Kontakt mit den Zellen der dort beginnenden sympathischen Neuronen, welche zu den genannten inneren Augenmuskeln ziehen.

Bei Lähmungen des Oculomotorius tritt Herabsinken des oberen Augenlids ein (Ptosis), infolge der Kontraktion des Abducens Schielen nach außen, Strabismus divergens, Erweiterung der Pupille (Mydriasis), Unbeweglichkeit auf Lichtreiz und Unfähigkeit, in der Nähe deutlich zu sehen (Akkommodationslähmung).

Bei Lichteinfall (Reizung des Opticus) findet reflektorische Pupillenverengung statt; das beruht darauf, daß die Kerne der beiden Nerven, Opticus und Oculomotorius, in den Vierhügeln mit einander in Verbindung stehen. Bei manchen Tieren (Mensch, Affe, Hund, Katze; das sind zugleich diejenigen, bei welchen nur eine teilweise Kreuzung der Opticusfasern stattfindet) erfolgt auf Lichteinfall in ein Auge stets Pupillenverengung auf beiden Augen (konsensuelle Pupillenreaktion). Es müssen daher bei diesen Tieren zwischen den Kernen der Oculomotorii beider Seiten im Hirn verbindende interzentrale Fasern verlaufen. Schließlich besteht ein Zusammenhang zwischen den zum Sphincter pupillae und den zum Rectus internus gehenden Fasern des Oculomotorius; denn, wird das Auge einwärts gedreht (bei der Akkommodation auf die Nähe), verengt sich die Pupille.

Mydriaca sind Mittel, welche die Pupille erweitern, z. B. Atropin durch Lähmung der Nervenendigungen im Sphincter pupillae.

Miotica sind Mittel, welche die Pupille verengern, z. B. Physostigmin durch Reizung der Nervenendigungen im Sphincter pupillae.

IV. N. trochlearis.

Er ist der dünnste Hirnnerv, entspringt in der Nähe des vorigen; seine Fasern kreuzen sich mit dem der anderen Seite vor ihrem Austritt vollständig. Er ist der einzige Hirnnerv, der das Gehirn an dessen dorsaler Seite verläßt (dicht hinter den Vierhügeln). Er innerviert den *M. obliquus sup.*

Bei seiner Lähmung tritt Schielen nach innen, nasalwärts und aufwärts ein.

V. N. trigeminus.

Er ist ein gemischter Nerv; die Zahl der motorischen Fasern, die nur dem III. Ast angehören, ist gering (Kaumuskeln), sein sensibles Gebiet nimmt jedoch den größten Teil des Kopfes ein, er ersetzt gewissermaßen die sensiblen Fasern sämtlicher motorischer Hirnnerven.

Die vordere motorische Wurzel, die Portio minor entspringt von einem grauen Kern am Boden des vorderen Teiles des vierten Ventrikels, der sich in Zellgruppen bis zum vorderen Vierhügel verfolgen läßt.

Die hintere größere sensible Wurzel, Portio major, entspringt ebenfalls von einem Kern neben dem vorigen, zum größten Teil aber aus einem Gebiet, das vom Pons bis zu den Hinterhörnern des oberen Halsmarks reicht. Hier endigen die sensiblen Fasern mit freien Endbäumchen, während die zugehörigen Neuronenzellen im Ganglion Gasseri liegen, das also einem Spinalganglion analog ist.

Der Trigeminus enthält:

1. sensible Fasern für die Kopf- und Gesichtshaut der entsprechenden Seite, ebenso für die Dura mater, Augapfel, Nasen- und Mundschleimhaut (bis zum Gaumensegel und zur Zungenwurzel, wo sich seine Fasern mit denen des N. vagus und Glossopharyngeus mischen), Vorderfläche des äußeren Ohrs (die hintere wird von Cervicalnerven versorgt) und den äußeren Gehörgang (Trommelfell vom Ramus auricularis N. vagi).

2. motorische Fasern für die Kaumuskeln (Masseter, Temporalis, Pterygoideus ext. und int.), für Mylohyoideus, vorderen Bauch des Digastricus (der hintere wird vom Facialis versorgt), Tensor palati mollis und Tensor tympani.

3. Geschmacksfasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge, sie werden dem N. lingualis (vom 3. Ast) durch die Chorda zugeführt und stammen in letzter Linie aus dem Glossopharyngeus.

4. Sekretorische und vasodilatatorische Fasern für die Tränendrüsen, die vom Facialis stammen, und im Ramus lingualis für die Glandula submaxillaris und sublingualis,

die durch die Chorda zugeführt werden, und vom Glossopharyngeus (in diesem zum Gangl. petrosum, von da zum Plexus tympanicus, von da zum Gangl. geniculi des Facialis, von da zur Chorda) herrühren; schließlich für die Schweißdrüsen des Gesichts, die vom Halssympathicus stammen.

5. Vasokonstriktorische Fasern, die dem Hals-sympathicus zugehören.

Krankhafte Reizung des Trigeminus, Gesichtsneuralgie, Tic douloureux, ist mit heftigsten Gesichtschmerzen verbunden.

Lähmung des Trigeminus bringt Ausfallserscheinungen hervor, die sich aus Vorstehendem ergeben; ebenso seine Durchschneidung in der Schädelhöhle.

Bei letzterer, am Kaninchen ausgeführt, hatte man außer den bekannten Ausfallserscheinungen wenige Tage danach eine eitrige Entzündung des ganzen Auges (Panophthalmie) eintreten sehen; man schloß daraus, daß der Trigeminus auch „trophische Fasern“ enthalte, welche der Ernährung der Gewebe vorstehen. Dies ist unrichtig. Der Grund der Entzündung ist vielmehr die Unempfindlichkeit des Auges und der infolge dessen ausbleibende reflektorische Lidschluß beim Eindringen von Schädlichkeiten und Fremdkörpern. Beweis: schützt man das betreffende Auge durch eine vorgesetzte Kautschukmembran oder durch Vernähen des Lides oder durch Übernähen des gleichseitigen Ohres, so tritt die Entzündung nicht ein. Beim Kaninchen kann man auch leicht beobachten, wie infolge der Lähmung der gleichseitigen Kaumuskeln der Unterkiefer (vorwiegend durch die Mm. pterygoidei der gesunden Seite) nach der gelähmten Seite hinübergezogen wird, und die Zähne des gelähmten Kiefers sich schief abschleifen.

VI. N. abducens.

Er entspringt am Boden des vierten Ventrikels in der dorsalen Haubenregion, innerviert den M. Rectus externus.

Bei seiner Lähmung tritt Schielen nach innen, Strabismus convergens, ein.

Die 3 Augenmuskelnerven (III, IV, VI) sind rein motorisch, erhalten aber in ihrem Verlauf sensible Fasern vom Trigeminus beigemischt.

VII. N. facialis.

Er entspringt aus dem Facialiskern am Boden des IV. Ventrikels in der *Formatio reticularis*. Er ist rein motorisch, versieht die Muskeln des Gesichts, „mimischer Nerv“. Je mehr daher bei Tieren die Gesichtsmuskeln und der Gesichtsausdruck zurücktreten, um so dünner wird der Nerv; nur noch bei solchen, die einen Rüssel haben, ist er sehr stark.

Er enthält motorische Fasern für

1. das Gesicht, „mimischer Nerv“, (*M. frontalis*, *corrugator supercilii*, *orbicularis oculi*), Muskeln der Wange (darunter den *buccinator*), *levator alae nasi*, die äußeren Ohrmuskeln, die Muskeln der Ober- und Unterlippe.

2. *Platysma myoides*, *stylohyoideus*, hinterer Bauch des *digastricus*.

3. *M. stapedius*.

4. *M. levator palati mollis* und *azygos uvulae* (durch den *N. petrosus superficialis major* vom Ganglion geniculi zum Ganglion sphenopalatinum, von da als *N. palatinus post.*).

Ferner enthält der *Facialis sekretorische Fasern* für die Tränendrüse, sowie in der *Chorda tympani*, die in der Paukenhöhle vom *Facialis* abgeht und nach dem Austritt aus dem Schädel zum R. lingualis *N. trigemini* sich gesellt, für die *Glandula submaxillaris* und *sublingualis*; diese letzteren stammen aber vom *N. glossopharyngeus*.

Am Gesicht geht er vielfache Anastomosen mit dem *Trigeminus* ein und erhält dadurch sensible Fasern.

Durchschneidung oder Lähmung des *Facialis* in der Schädelhöhle bewirkt vollständige Lähmung der gleichseitigen Gesichtshälfte: die Stirn ist faltenlos, das Auge steht offen (*Lagophthalmus*), die Tränensekretion hört auf, das Nasenloch ist verengt und steht still, wenn vorher Nasenatmung vorhanden war (bei manchen Tieren, beim Menschen in der *Dyspnoe* s. S. 111), der Mundwinkel hängt herunter; diese Abweichungen treten noch deutlicher beim Lachen oder Weinen hervor. Ferner Schiefstellung des Gaumensegels mit Abweichung nach der gesunden Seite und Aufhören der Speichelsekretion. Letztere Ausfallserscheinungen treten nicht auf, wenn die Lähmung oder Durchschneidung erst nach dem Austritt des *Facialis* aus dem Schläfenbein statt hat, was diagnostisch wichtig ist.

VIII. N. acusticus.

Er entspringt mit einem ventralen Kern zwischen Kleinhirnschenkel und Corpus restiforme und einem dorsalen Kern am Boden der Rautengrube. Von beiden ziehen Fasern als Striae acusticae quer zur Raphe, wo sie sich kreuzen.

Er enthält im Ramus cochlearis, welcher die Schnecke versorgt, die Hörnerven.

Der Ramus vestibularis hat durch seine Verbreitung im Utriculus und in den Bogengängen die Funktion, Gleichgewichts- und Bewegungsempfindungen zu vermitteln.

IX. N. glossopharyngeus.

Er entspringt aus einem großzelligen und einem kleinzelligen grauen Kern am Boden der Rautengrube. Er ist vor allem Geschmacks- und Speichelsekretionsnerv. Er enthält:

1. Geschmacksfasern für den hinteren Teil der Zunge, die direkt dorthin gelangen; ferner für die vorderen zwei Drittel der Zunge, die durch die Chorda im Lingualis hinziehen.

2. Sekretorische Fasern für die Parotis durch den N. Jacobsonii und dessen Fortsetzung, den N. petrosus superficialis minor zum Ganglion oticum, von da als Rami parotidei des N. auriculo-temporalis; für die Glandula submaxillaris und sublingualis durch die Chorda (s. o.).

3. Sensible Fasern für die Zungenwurzel, die Gaumenbögen, die Tonsillen und die Vorderfläche der Epiglottis und für die Paukenhöhle.

4. Motorische Fasern für den M. stylopharyngeus und constrictor pharyngis medius, die aber vielleicht vom Facialis stammen.

X. N. vagus und XI. N. accessorius.

Der N. vagus entspringt aus einem dorsalen sensiblen und einem ventralen motorischen (Nucleus ambiguus) Kern am Boden des IV. Ventrikels; im For. jugulare hat er das Gangl. jugul., das einem Spinalganglion entspricht. Unterhalb desselben liegt der Plexus nodosus (s. ganglioformis), entstanden aus Anastomosen mit den Nn. IX, XI, XII und Sympathicus. Der Accessorius ist ein reiner Rückenmarksnerv, entspringt aus dem lateralen Teil der Vorderhörner des Halsmarks bis zum 7. Halswirbel herab. Die sog. bulbäre Wurzel des Accessorius gehört dem Vagus an.

Der Accessorius vereinigt sich in der Schädelhöhle mit dem Vagus und beide treten zusammen durch das For. jugulare aus.

Der sog. laterale Ast des Accessorius (der eigentliche XI) enthält motorische Fasern für den M. sternocleidomastoideus und die Rückenportion des M. cucullaris.

Der sog. Vago-accessorius (der eigentliche Vagus), aus der Vereinigung des sog. medialen Astes des Accessorius (d. h. die sog. bulbäre Wurzel des XI) mit dem Vagus hervorgegangen, ist der längste von allen Hirnnerven; er enthält Fasern für

1. Respirationsapparat

- a) motorische für den Kehlkopf (für den M. cricothyreoideus im N. laryngeus sup., für sämtliche übrigen Kehlkopfmuskeln im N. laryngeus inf.) und für die Bronchialmuskeln,
- b) sensible für Kehlkopf (im Laryngeus sup.), Trachea, Lungen.

2. Zirkulationsapparat

- a) zentrifugale, Hemmungsfasern für das Herz,
- b) zentripetale, N. depressor vom Anfangsteil der Aorta zum Gefäßzentrum.

3. Verdauungstraktus

- a) motorische: für M. levator palati mollis, azygos uvulae, constrictores faucium, hyothyreoideus, für Oesophagus, Magen, Dünndarm; für letztere auch hemmende.
- b) sensible für Schlund, Oesophagus, Magen.
- c) sekretorische und sekretionshemmende für Magen und Pankreas.

Außerdem gibt er im R. auricularis sensible Fasern für die hintere untere Fläche des Gehörganges und für das Trommelfell ab.

Über die Bedeutung des Vagus für das Herz und die Atmung s. dort.

XII. N. hypoglossus.

Er entspringt aus einem ventralen Kern in der Tiefe am Boden des IV. Ventrikels; die Fasern kreuzen sich mit denen der andern Seite. Er ist ein rein motorischer Nerv, versorgt sämtliche Zungenmuskeln, einschließlich des Geniohyoideus. Er ist der Sprechernerv. Im Ramus descendens verlassen sämtliche

dem XII. hoch oben beigemischten Fasern des 1. und 2. Cervicalnerven denselben wieder.

* Bei einseitiger Lähmung des Hypoglossus wird die Zunge schief nach der gelähmten Seite herausgestreckt und nach der gesunden Seite in die Mundhöhle zurückgezogen.

Sympathisches Nervensystem.

Das sympathische Nervensystem (der Grenzstrang) versorgt Drüsen, glatte Muskulatur (Dilatator iridis, Gefäße, Verdauungstractus, Harn- und Geschlechtsorgane, Arrectores pili) und das Herz. Er empfängt aus dem Rückenmark durch die weißen Rami communicantes vom 1. Brust- bis zum 2. oder 3. Lendenwirbel (beim Menschen) motorische Fasern. Man kann daher auch die weißen Rami communicantes die zentralen Wurzeln des Sympathicus nennen.

Am Grenzstrang unterscheidet man die Kette der *vertebralen Ganglien*, die, auf der Wirbelsäule gelegen und den Wirbeln entsprechend segmental gegliedert, vom 1. Brustwirbel bis zum Steißbein reicht. Die ersten Brustganglien sind im Gangl. stellatum verschmolzen, ebenso die untersten zu einem unpaaren Gangl. coccygeum. Die vertebrealen Ganglien versorgen die glatte Muskulatur und Drüsen der Haut. Dazu kommen die mehr peripherisch gelegenen *praevertrealen* oder *Eingeweideganglien*: Gangl. stellatum für die Brusthöhle (mit dem zugleich die ersten vertebrealen Ganglien verschmolzen sind), Plexus coeliacus für die Bauchhöhle, Gangl. mesent. inf. für die Beckenorgane, woran sich vielfach noch weitere periphere zerstreute Ganglien schließen. Nach oben setzt sich der Grenzstrang durch das Gangl. stellat. in den Hals-Sympathicus mit den 2—3 Halsganglien fort. Das Gangl. cervic. super. versorgt sowohl Hautgebilde als tiefere Organe (Eingeweide) des Kopfes, ebenso versorgt das Gangl. stellat. sowohl Eingeweide (Brust) als Hautgebilde (des Nackens und der oberen Extremität).

Die durch die Rami communicantes austretenden meist markhaltigen Rückenmarksfasern (die präzellularen Fasern) verlaufen so, daß sie in einem Ganglion des Grenzstranges selbst oder in einem seiner peripherischen Ganglien mit freien Endbäumchen endigen und mit den Dendriten einer sympathischen Zelle in Kontakt treten. Von dieser Zelle geht dann der sym-

Wege als gesonderter sympathischer Nerv (N. splanchnicus, N. hypogastricus), oder indem er sich zu peripherischen Kopf- oder Rückenmarksnerven gesellt und mit ihnen gemeinsam verläuft.

Außer den vertebralen und praevertebralen (und letzteren anschließenden mehr peripherischen) Ganglien des eigentlichen Grenzstranges gibt es im Körper noch andere Ganglien, die sympathischer Natur sind und ganz gleiche Gebilde, wie der Grenzstrang, versorgen; so das Gangl. ciliare (s. S. 246), Gangl. spheno-palatinum, Gangl. submaxillare, der Plexus hypogastricus in der Beckenhöhle; man hat sie alle als autonome Ganglien zusammengefaßt. Ihre praezellularen Fasern entspringen aus gesonderten Abschnitten des Zentralnervensystems, wonach man sie als 3 besondere autonome Systeme neben dem eigentlichen sympathischen autonomen System unterschieden hat. 1) Das Mittelhirn-System im Oculomotorius zum Gangl. ciliare; 2) das bulbäre System; die praezellularen Fasern treten aus dem Kopfmarke aus, verlaufen im Facialis, Glossopharyngeus, Vagus und machen die oben beschriebenen Eingeweidewirkungen dieser Nerven. 3) Das sakrale System; die praezellularen Fasern treten aus dem Sakralteil des Rückenmarkes aus, gehen durch die obersten 2 oder 3 Sakralnerven zum Plexus hypogastricus, zu den Harn- und Geschlechtswerkzeugen. Die praezellularen Fasern enden in Ganglien, von denen dann der eigentliche sympathische (autonome) Neuron direkt zu dem betreffenden Gewebe hinzieht. Die allgemeine Anordnung ist also in allen 4 autonomen Systemen (einschl. des Grenzstranges) die gleiche.

Der Auerbach'sche und Meißner'sche Plexus wird nach diesem Schema als ein gesondertes Nervensystem betrachtet, das nicht zum eigentlichen Sympathicus gehört.

Bekannt ist der Einfluß des Großhirns auf die vom Sympathicus innervierten Organe. Psychische Erregungen wirken auf Herz und Gefäße, Darm, Geschlechtsorgane in ihrer Tätigkeit sowohl anregend, wie hemmend.

Von den sensiblen Fasern im Sympathicus ist noch wenig bekannt. Unter normalen Bedingungen haben wir keine deutliche Empfindung von den vom Sympathicus innervierten Organen, sehr heftige aber bei pathologischen Vorgängen (Magen-, Darm-, Ureterenkolik u. a.).

19. Reflexbewegungen.

Mechanismus der Reflexbewegungen.

Die Reflexbewegungen pflegt man zu definieren als unwillkürliche, unbewußte auf einen äußeren Reiz erfolgende Muskelkontraktionen. Sie kommen zu stande dadurch, daß die infolge eines Reizes in sensiblen Fasern entstandene Erregung auf motorische Fasern durch Vermittlung eines Zentralorgans ohne gleichzeitige psychische Begleiterscheinung übertragen wird.

Die physiologischen Reflexe sind angeboren; doch können auch willkürliche und oft mühsam erlernte Bewegungen durch Übung zu reflektorischen werden (so beim Gehen, Sprechen, Schreiben, Sport).

Zum Zustandekommen einer Reflexbewegung gehört also:

1. der erregende Reiz,
2. die zentripetalleitende, sensible Faser,
3. das übertragende Zentralorgan,
4. die zentrifugalleitende, motorische Faser,
5. der in Bewegung gesetzte Muskel.

2 + 3 + 4 nennt man den Reflexbogen. Im einfachsten Falle besteht derselbe aus einem sensiblen Neuron, dessen Endbüschchen oder dessen Kollateralen sich direkt an die Zelle des Muskelneurons legen. Doch können sich in komplizierten Fällen zwischen dem gereizten sensiblen und dem Muskel-Neuron noch andere Neuronen dazwischenschieben. Die Erregungsleitung erfolgt in einem Reflexbogen immer nur in einer Richtung, vom sensiblen auf den motorischen Neuron, nicht umgekehrt.

Das übertragende Zentralorgan können periphere Ganglien, das Rückenmark und das Gehirn sein. Bei den meisten Reflexbewegungen findet die Übertragung im Rückenmark statt; den Abschnitt desselben, wo dies geschieht, nennt man das Zentrum für die entsprechende Reflexbewegung.

Um die Reflexbewegungen zu studieren, stellt man sich ein „Reflexpräparat“ her, indem man einen Frosch enthirnt oder ihm das Rückenmark durch einen Schnitt vom Gehirn trennt.

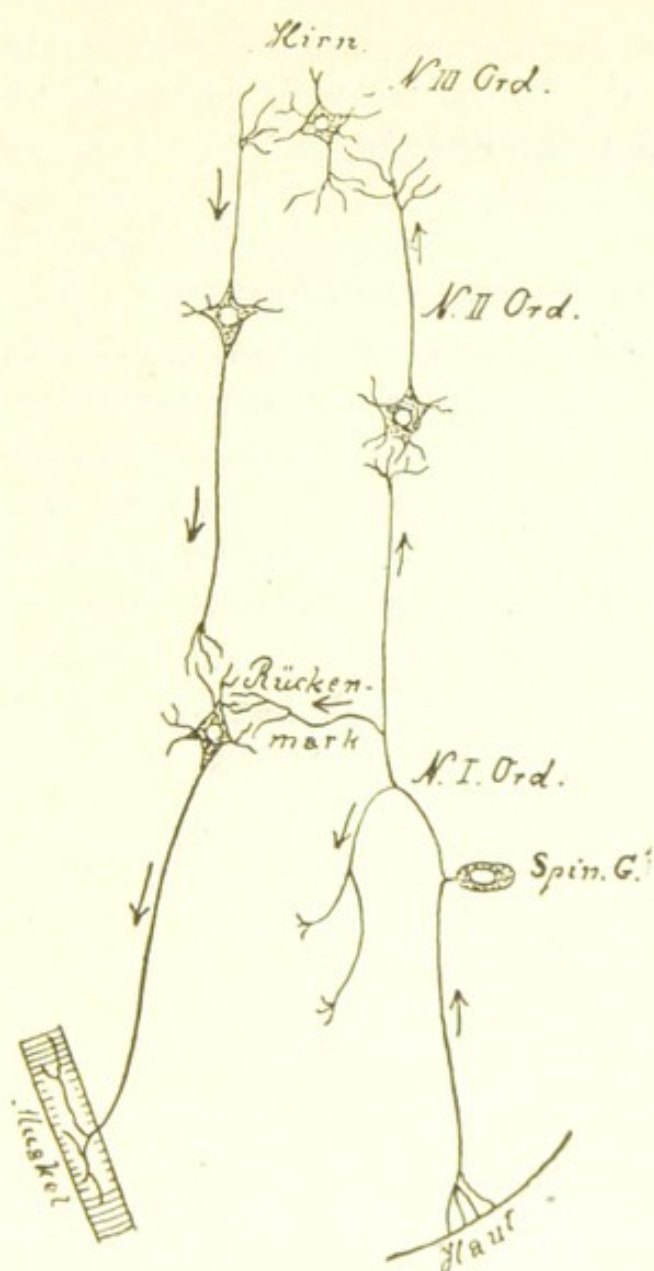


Fig. 26. Reflexschema.

annehmen, der alle Bewegungen durchdenkt und leitet. Die Seele ist überhaupt kein räumliches Ding, kann also keinen Sitz haben.

Reflexzeit.

Die Übertragung des Reizes im Zentrum von der sensiblen Bahn auf die motorische bedarf einer meßbaren Zeit, „Reflexzeit“. Sie ist mehr als 10 mal größer, als wenn die Nerven-

Ein enthirnter Frosch zieht die Beine in Sprungstellung an und verharnt darin, solange er nicht berührt wird. Appliziert man ihm verschiedene (mechanische, chemische, thermische) Reize, so reagiert er darauf in völlig zweckmäßiger Weise; gegen die kneifende Pinzette stemmt er sich mit den Hinterbeinen, aufgetragene Säure wischt er ab mit dem Bein derselben Seite; wird diese festgehalten, mit dem Bein der anderen Seite. Er verhält sich ganz ähnlich wie ein schlafender Mensch.

Wegen der Zweckmäßigkeit dieser Bewegungen eine Rückenmarkseele annehmen wollen, heißt nur im Rückenmark wieder einen Frosch

bahn ununterbrochen in einander überginge. Beim Frosch hat man gefunden, daß die Zeit zwischen der Reizung eines sensiblen Nerven und der entsprechenden reflektorischen Zuckung 0.1—0.03 Sekunde beträgt; beim Menschen wurde für die Zeit des Lidreflexes nach Berührung der Konjunktiva 0.04 Sek., bei Opticusreizung 0.06 bis 0.13 Sek. gefunden. Die Reflexzeit ist etwas größer, wenn die Bewegung auf der der Reizung entgegengesetzten Seite erfolgt, als wenn sie auf der gleichen Seite eintritt.

Ausbreitung der Reflexe.

Für die Ausbreitung der Reflexbewegungen hatte man folgende Regeln aufgestellt:

1. Treten bei schwachen sensiblen Reizen nur einseitige Reflexbewegungen auf, so geschieht die Bewegung auf der Seite der Reizung.

2. Erstreckt sich bei stärkeren Reizen die Bewegung auch auf die andere Seite, so treten dort nur dieselben Muskeln in Tätigkeit, die auf der gereizten Seite schon tätig sind.

3. Sind die Bewegungen verschieden stark, so finden die stärkeren Bewegungen auf der gereizten Seite statt.

4. Wird irgend ein Punkt der Haut gereizt, so treten zunächst solche Muskeln in Aktion, deren Nerven im Rückenmark in gleichem Niveau mit dem gereizten sensiblen Nerven ihren Ursprung haben. Breitet sich die Erregung weiter aus, so nimmt sie ihren Weg zunächst nach oben; es treten folgeweise die Muskeln in Tätigkeit, deren Nerven näher dem verlängerten Mark entspringen. Erst danach breitet sich die Erregung im Rückenmark von der zuerst erregten Stelle nach abwärts aus.

Doch sind diese Regeln nicht streng gültig; insbesondere können Reflexe von sehr verschiedenen Niveaus ausgelöst werden, und häufig sieht man gekreuzte Reflexe (vom rechten Hinterbein zum linken Vorderbein) auftreten.

Nach dem Grade der Ausbreitung kann man die Reflexbewegungen unterscheiden in:

1. *p a r t i e l l e*, bei denen die Erregung eines sensiblen Bezirks die Bewegung eines oder einiger Muskeln zur Folge hat (Patellarsehnenreflex),

2. *a u s g e b r e i t e t e*, bei denen auf einen sensiblen Reiz ganze Muskelgruppen in Tätigkeit treten.

- a) Sind dies funktionell koordinierte Gruppen, so entstehen dabei Bewegungen, die den Anschein der gewollten Zweckmäßigkeit haben (s. o. enthirnter Frosch), dann spricht man von *geordneten Reflexbewegungen*.
- b) Dem gegenüber erscheinen die *ungeordneten Reflexbewegungen* oder *Reflexkrämpfe* als Zuckungen verschiedenster Muskelgruppen oder sogar des ganzen Körpers. Sie treten auf sehr starke sensible Reize ein oder in pathologischen Fällen (s. u.).

Der Grad der Reflexerregbarkeit.

1. Durch Reizung der Hautenden von zentripetalen Nerven werden Reflexe leichter ausgelöst als durch Reizung des Nervenstammes selbst.

2. Ganz schwache Reize, die einzeln unwirksam sind, können bei häufiger Aufeinanderfolge Reflexbewegungen auslösen. Es findet also im Rückenmark eine Summation auf einander folgender sensibler Reize statt, und zwar reichen schon 3 Reize in der Sekunde aus. Die kräftigste Wirkung wird durch 16 Reize in der Sekunde erzielt. Darüber hinaus findet eine Steigerung der Wirkung nicht statt.

3. Die Reflexerregbarkeit ist abhängig vom Alter (im Kindesalter größer), Geschlecht, Tierspezies, Temperatur (bei Kaltblütern nimmt sie mit Temperaturerniedrigung ab).

4. Die Reflexerregbarkeit wird erhöht durch gewisse Gifte: Strychnin (steigert die Erregbarkeit der Hinterhornzellen), Tetanusgift.

5. Sie wird herabgesetzt

- a) vom Gehirn aus, durch den Willen; Reflexbewegungen, die durch sog. willkürliche Muskeln zu stande kommen, können unterdrückt werden.
- b) Es gibt besondere Reflexhemmungsmechanismen (in den Vierhügeln und im verlängerten Mark), die unabhängig vom Willen tätig sind.
- c) Im Zustand der Apnoe.
- d) Durch gewisse Gifte: Chloroform, Morphinum, Alkohol.

Da das Gehirn sowohl willkürlich als auch unwillkürlich durch die eben erwähnten Hemmungsmechanismen hemmend

auf die Reflexe wirkt, so zeigen enthirnte Tiere oder im Rückenmark durchschnittenen Tiere unterhalb der Schnittstelle erhöhte Reflexerregbarkeit. Ebenso können Narkotika: Chloroform, Äther, Morphinum, in einem Stadium, wo durch sie die willkürliche Tätigkeit des Gehirns ausgeschaltet ist, wo aber ihre reflexherabsetzende Wirkung sich noch nicht geltend macht, zu einer erhöhten Reflexerregbarkeit führen.

Die physiologischen Reflexbewegungen.

1. **Schluß der Augenlider** auf Berührung der Conjunctiva bez. Cornea = Cornealreflex.

Sensible Bahnen: I. Ast des Trigeminus (Nn. ciliares für die Hornhaut und N. infratrochlearis für die Conjunctiva palpepr.) oder N. opticus (beim Blinzeln).

Zentralorgan: Med. oblongata. Für Blinzeln (Opticusreizung) wahrscheinlich Hirnrinde (beim Menschen).

Motorische Bahn: Rr. zygomatici N. facialis zum Orbicularis oculi. Zugleich sezernieren die Tränendrüsen.

2. **Verengung der Pupille** auf Lichteinfall.

Sensible Bahn: N. opticus.

Zentralorgan: Corpp. quadrigemina und Oculomotoriuskern am Boden des Aquaeductus Sylvii.

Motorische Bahn: N. oculomot. und ciliares breves zum Sphincter pupillae.

Das Zentrum ist tonisch erregt; Nachlassen dieser Erregung ruft allein schon Pupillenerweiterung hervor. Sie wird unterstützt durch die Nn. ciliares longi aus dem Sympathicus, die den Dilator innervieren; ihr Zentrum liegt im Halsmark.

Verengt oder erweitert sich die eine Pupille durch Lichteinfall oder Beschattung, so tut es gleichzeitig auch die andere (konsensuelle Pupillenreaktion s. S. 246).

3. **Schlingakt**, kann willkürlich eingeleitet werden, läuft dann aber reflektorisch weiter.

Sensible Bahn: R. lingualis vom N. glossopharyngeus, Rami pharyngei N. vagi.

Zentralorgan: Med. oblongata.

Motorische Bahn: Rami pharyngei vom Vago-Accessorius zu den Schlund- und Oesophaguskeln.

4. **H u s t e n** stellt sich ein, sobald Fremdkörper in die Respirationswege gelangen, bes. wenn beim Schlingakt (s. S. 194) der Verschuß gegen den Kehlkopf zu spät erfolgt. Der Kehlkopfverschuß wird dann hergestellt und durch die unter hohem Druck herausgetriebene Luft gesprengt, dadurch wird der Fremdkörper herausgeschleudert und zugleich der den Husten begleitende Schall hervorgebracht.

Sensible Bahn: N. laryng. sup.

Zentralorgan: Med. oblongata.

Motorische Bahn: N. laryng. inf. (zum Verschuß des Larynx) + Nerven der Expirationsmuskeln.

Der Husten wird oft auch in unzweckmäßiger Weise ausgelöst (Stick-, Keuchhusten). Der Husten bei Reizung in den Lungen wird durch Mitempfindung (Übertragung des Reizes auf den N. laryngeus sup.) ausgelöst.

5. **N i e s e n** erfolgt auf Reizung der Nasenschleimhaut. Der Nasenrachenverschuß (s. S. 194) wird hergestellt, darauf, bisweilen nach voraufgegangener tiefer Inspiration, durch eine kräftige Expiration bei offener Stimmritze gesprengt und dadurch die in der Nase befindlichen Fremdkörper herausgeschleudert.

Sensible Bahn: Rr. nasales vom N. ethmoidalis (Trigeminus).

Zentralorgan: Med. oblongata.

Motorische Bahn: Nerven des weichen Gaumens und Expirationsmuskelnerven.

6. **L a c h e n** : eine Reihe von kurzen Expirationstößen, wobei die schwach geschlossenen Stimmbänder Töne von wechselnder Höhe erzeugen. **W e i n e n** : einzelne tönende Expirationen. **S e u f z e n** : nach voraufgegangener tiefer Inspiration eine beschleunigte Expiration, welche in der Stimmritze ein eigentümliches Geräusch erzeugt. **S c h l u c h z e n** : stoßweise Inspirationen, welche in der Stimmritze und im Gaumensegel einen kurzen Ton erzeugen, meist mit einem ruckähnlichen Aufwärtssteigen des Kehlkopfes verbunden. **G ä h n e n** : eine tiefe Inspiration bei weit offener Stimmritze und meist weit offenem Munde. Alle diese Formen der Atembewegungen werden reflektorisch (Lachen durch Kitzel von der Haut, Schluchzen durch Reize im Gebiet des Glossopharyngeus und Vagus, Gähnen durch Müdigkeit) oder durch psychische Eindrücke hervorgerufen. Zentrum:

Medulla oblongata. Motorische Bahn: Nerven der verschiedenen Atemmuskeln.

7. B r e c h e n (s. S. 197). Die sensible Bahn kann sehr verschieden sein, Erbrechen kann hervorgerufen werden vom Gehirn (durch widrige Vorstellungen), vom äußeren Gehörgang (R. auricularis N. vagi), vom Rachen (N. glossopharyngeus), vom Magen (N. vagus), von Leber, Darm, Nieren (Nn. splanchnici), Peritoneum, Uterus aus.

Zentralorgan: Medulla oblongata.

Motorische Bahn: Nerven für die Muskeln der Bauchpresse.

8. Harnhalten und Harnlassen (s. Harn, S. 235).

9. Kothalten und Kotlassen (s. Darm, S. 224).

10. E r e k t i o n kommt zu stande durch vermehrte Füllung der Blutgefäße des Penis (s. Zeugung).

Sensible Bahn: N. dorsalis penis, auch vom Gehirn aus (durch sinnliche Vorstellungen).

Zentrum: oberer Teil des Lendenmarks.

Motorische Bahn: Vasodilatoren in den Nn. erigentes für die zuführenden Arterien, Fasern für den M. transversus perinei zur Kompression der Vv. profundae penis.

11. E j a k u l a t i o n :

Sensible Bahn: N. dorsalis des Penis.

Zentrum: Lendenmark.

Motorische Bahn: Nn. perinei zum M. bulbo-cavernosus.

12. W e h e n :

Sensible Bahnen: Plexus uterinus (N. sympathicus).

Zentrum: Lendenmark.

Motorische Bahn: Plexus uterinus zur Uterusmuskulatur.

13. M u s k e l t o n u s. Man nahm früher an, daß die Skelettmuskeln durch beständige Erregungen vom Zentralnervensystem in einer schwachen dauernden Kontraktion erhalten würden. Ein solcher automatischer Muskeltonus besteht indessen nicht, wohl aber ein reflektorischer. Hängt man einen enthirnten Frosch vertikal auf, und durchschneidet man auf der einen Seite den N. ichiadicus, so hängt dies Bein schlaffer herab. Derselbe Erfolg tritt ein nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln: der schwache Tonus des unverletzten Beines ist also reflektorischer Natur (Brondgeest'scher Versuch).

14. Schließlich sind noch einige experimentelle und klinisch wichtige Reflexbewegungen zu erwähnen.

Westphalsches Kniephänomen, Patellarsehnenreflex: bei Schlag auf das Lig. patellae inf. kontrahiert sich der M. quadriceps.

Skrotalreflex: bei Reizung der Innenfläche der Oberschenkel tritt die gleichseitige Hälfte des Skrotums in die Höhe.

Ferner Bauchdecken-, Fußsohlenreflex usw.

Pathologische Reflexbewegungen.

Bei Krankheitsvorgängen können reflektorische Kontraktionen einzelner Muskel oder ganzer Muskelgruppen, „Reflexkrämpfe“, auftreten.

So tritt Erbrechen bei Peritonitis, bei Gallen- und Nierensteinen ein.

Schielen (Strabismus convergens) und Pupillenerweiterung bei Wurmreiz und in der Dentitionsperiode.

Wadenkämpfe bei Darmkolik (Cholera).

Tetanische Kontraktion der ganzen Körpermuskulatur, mit den Kaumuskeln beginnend (Trismus) und von da absteigend, im Tetanus infolge des Tetanusgiftes, das als Stoffwechselprodukt von den Tetanusbakterien erzeugt wird.

Sekretorische Reflexe.

Die Reflexe beschränken sich aber nicht bloß auf Bewegungen, sondern, da es auch zentrifugale sekretorische Nerven gibt, können auch Sekretionen ausgelöst werden.

So findet bei jedem Augenlidschluß reflektorisch Tränensekretion statt.

Ebenso werden der Speichel (s. dort) und andere Verdauungssäfte (s. dort), ferner der Schweiß (s. dort) reflektorisch abgesondert.

Auch die Milchdrüsensekretion gehört bis zu einem gewissen Grade hierher.

Während bei den Reflexen eine Übertragung der Erregung von sensiblen Nerven auf motorische statt hat, findet in den Zentralorganen bes. im Gehirn auch eine Übertragung von

motorischen Nerven auf motorische statt, es entstehen Mitbewegungen, und von sensiblen auf sensible, es entstehen Mitempfindungen.

Mitbewegungen (assoziierte Bewegungen).

Es sind Bewegungen, die ohne den Willen neben den intendierten eintreten. So die Verengerung der Pupille bei der Akkommodation und bei der Einwärtsdrehung des Auges; die konsensuelle Pupillenreaktion (s. oben); die gleichzeitige Bewegung beider Augen, beider Gesichtshälften und Körperhälften.

Alle mechanische und künstlerische Geschicklichkeit, die Erlernung jedes Sports beruht zu einem Teil auf der Unterdrückung unnützer assoziierter Bewegungen.

Pathologisch treten sie hervor im Veitstanz (Chorea).

Mitempfindungen (Irradiation der Empfindung).

Bei heftigem Zahnschmerz empfindet man in der ganzen Gesichtshälfte Schmerzhaftigkeit.

Bei Reizen, welche die Luftröhre oder die Bronchien treffen, wird der N. laryngeus sup. in Mitleidenschaft gezogen, es findet reflektorisch Husten statt.

Bei Steinen in der Blase entsteht Kitzel im vorderen Teil der Harnröhre.

Besonders Allgemeingefühle, wie Schauder, Kitzel, können sich über die direkt betroffene Stelle hinaus auf den ganzen Körper verbreiten.

20. Physiologie der Zentralorgane.

Vorbemerkung.

Die Zentralorgane sind Rückenmark und Gehirn. Das Rückenmark stellt, soweit es nicht Leitungsorgan ist, einen Reflexapparat dar. Indem in ihm ein Reiz von einem sensiblen auf einen motorischen Nerven übertritt, wird ein Reflexbogen einfachster Art hergestellt. Doch kann die Reflexvermittlung auch auf zusammengesetztere Art zu stande kommen, so daß sich ein Neuron II. III. usw. Ordnung (s. allgemeine Nervenphysiologie) zwischen den gereizten zentripetalen und den wirk-samen zentrifugalen dazwischen schiebt.

Solche komplizierte Reflexübertragung findet zum Teil schon im Rückenmark, in viel reicherm Maße im Gehirn statt. Das Gehirn ist physiologisch lediglich als ein außerordentlich kompliziertes Reflexorgan aufzufassen, in welchem die zentripetalen Bahnen aller Sinnesapparate mit den zentrifugalen motorischen Bahnen in eine sehr ausgedehnte, überaus mannigfache und nach den verschiedensten Richtungen hin abstufbare Beziehung treten. Daneben finden sich im Gehirn noch Gruppen von Nervenzellen, die normalerweise nicht reflektorisch, sondern autochthon, durch örtlich wirkende Reize (chemische z. B. gewissen CO_2 -Gehalt des Blutes) erregt werden, die sogenannten automatischen Zentra.

Die Erfahrung lehrt, daß mit den Vorgängen im Gehirn Vorgänge des Bewußtseins in Verbindung stehen. Die Frage ist, welcher Art diese Verbindung ist. Ein Kausalverhältnis kann sie nicht sein, als Glieder einer notwendigen Sukzession können Körper und Geist nicht auftreten, bewegte Materie kann nicht Ursache von Vorstellungen sein und umgekehrt, Vorstellung kann nicht Ursache von Bewegungsänderungen sein. Deswegen nicht, weil Vorstellungen uns nur in ihrer zeitlichen Folge, nur als intensive, nicht als extensive Größen, nicht als Raumgrößen gegeben sind. Es ist deswegen völlig falsch zu sagen,

daß Vorstellungen, Bewußtsein, daß die Seele, worunter man die Gesamtheit der geistigen Vorgänge eines Individuums in einem gegebenen Augenblick versteht, ihren Sitz im Gehirn oder sonst irgendwo haben. Bewußtseinsvorgänge können nicht lokalisiert, sie können nur in der Zeit wahrgenommen werden. Materie und Vorstellung sind daher mathematisch nicht vergleichbar, wir können zwischen ihnen nicht fragen, wie verhält sich die Größe der Wirkung zur Größe der Ursache, wir können daher keine Gesetze zwischen ihnen finden.

Die einzige Art der Verbindung zwischen Vorstellung und Materie kann nur in der Anschauung stattfinden, die beiden gemeinsam ist, in der Zeit. Wir können nur das Beisammen in der Zeit von ihnen bestimmen, nur einen zeitlichen Parallelismus zwischen ihnen durchführen. Mehr läßt sich von diesem Verhältnis nicht aussagen.¹⁾

Die Physiologie geht darauf aus, den Verlauf der Nervenbahnen und die Erregungsvorgänge in ihnen zu studieren und womöglich dereinst in den mechanisch-kausalen Bewegungsvorgang der Gehirnmoleküle einzudringen. Die Untersuchung wird wie am Nerven vorgenommen, indem man einmal die verschiedensten Stellen des Rückenmarks und Gehirns reizt und den Erfolg beobachtet, zum andern, indem man Stellen zerstört oder abträgt und einerseits den Verlauf der darauf in den Nervenbahnen eintretenden Degenerationen verfolgt, andererseits eintretende Ausfallserscheinungen ermittelt. Dabei hat sich gezeigt, daß gewisse Stellen der Zentralorgane bei ihrer Reizung bestimmte Bewegungen zur Folge haben, andere nach ihrer Zerstörung bestimmte körperliche oder „seelische“ Funktionen, die vorher vorhanden waren, vermissen lassen. Solche Stellen nennt man Zentra für die betreffenden Funktionen.

¹⁾ In der Einleitung war gesagt worden, daß es nur eine Art des Daseins gibt: Vorstellung. Auch die Körper, die bewegte Materie sind nur eine Art der Vorstellung, eine Form des Denkens; diejenige, in welcher wir ein Beharrliches außer uns dem wechselnden Inhalt unseres Bewußtseins gegenüberstellen, und in welcher wir daher allein Erfahrung machen können. Von diesem Standpunkt aus lautet das Problem von dem Verhältnis zwischen Körper und Seele nicht mehr, wie es komme, daß Materie denken kann, sondern vielmehr, wie es komme, daß unser Bewußtsein die Vorstellung der Materie, die räumliche Anschauung habe, ein Problem, das wir nicht lösen können.

Diese Art der Lokalisation unterscheidet sich fundamental von den früheren Lokalisationsbemühungen (Gall), die nach Fühlen, Wollen, Denken, Gedächtnis und sogar nach einzelnen Vorstellungen im Gehirn herumschürften.

Das Rückenmark.

Bau.

Das Rückenmark stellt einen platt zylindrischen, langen Strang vor, der durch die Fissura longitudinalis ant. und post. in zwei Hälften, eine rechte und eine linke, geteilt wird. Jede Hälfte zeigt entsprechend dem Austritt der vorderen und hinteren Wurzeln eine sichtbare Furche, Sulcus lateralis ant. und post.

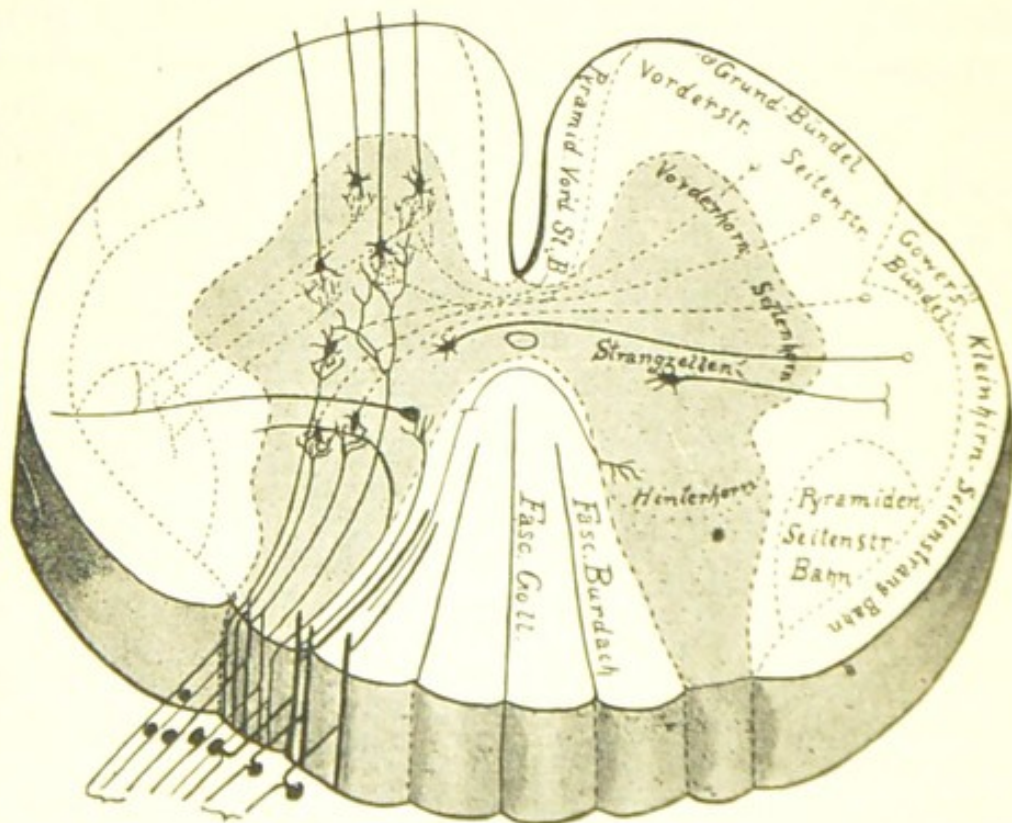


Fig. 27. Schema eines Rückenmarksquerschnittes nach Edinger. Die Neuronen erster Ordnung ausgezogen, die Neuronen zweiter Ordnung punktiert.

Auf einem Querschnitt erkennt man, daß das Rückenmark aus einer zentralen grauen Substanz besteht, die in Form eines H angeordnet ist und einer peripherischen umgebenden weißen Masse. Die graue Substanz zeigt eine Anschwellung an den Stellen, wo die Plexus für die Extre-

mitäten entspringen, die Halsanschwellung für die obere, die Lendenanschwellung für die untere Extremität; auch die weiße Substanz zeigt an diesen Stellen eine Verstärkung, nimmt aber im allgemeinen von unten bis zur Halsanschwellung zu. Die Zellen des Rückenmarks sind sämtlich multipolar, sie liegen in der grauen Substanz in 4 Gruppen: Vorderhörner, Seitenhörner (so wird der selbständig gewordene laterale Teil des Vorderhorns im unteren Hals- und oberen Brustmark bezeichnet), Clark'sche Säulen (dort, wo die Seitenhörner weniger ausgebildet sind: im Halsmark der Cervicalkern, im Dorsal- und Lendenmark), Hinterhorn. Die weiße Substanz enthält markhaltige Fasern, die der Leitung dienen.

Die graue Substanz der Vorderhörner enthält 1. motorische Wurzelzellen, große Zellen, deren Neurite in die vorderen Wurzeln der Spinalnerven übergehen, 2. kleinere Strangzellen, deren Neurite in den weißen Strängen derselben Seite verlaufen, und zwar a) Seitenstrangzellen im Gower'schen Strang (Seitenstrangrest), b) Vorderstrangzellen im Vorderseitenstrangrest; zu diesen Zellen ziehen die hinteren Wurzelfasern, c) Hinterstrangzellen, d) Kommissurenzellen (Strangzellen), deren Neurite sich mit denen der anderen Seite kreuzen und in den Vordersträngen endigen.

Die graue Substanz der Hinterhörner enthält 1. Clark'sche Säulenzellen, deren Neurite an die Peripherie der Seitenstränge laufen und hier in den Corpora restiformia als Kleinhirnseitenstrangbahn ins Kleinhirn, 2. Golgi'sche Zellen oder Binnenzellen (Reflexzellen), deren Neurite in der grauen Substanz verbleiben und mit zahlreichen Nervelementen in Verbindung treten.

Die weiße Substanz wird durch die austretenden vorderen und hinteren Wurzeln jederseits in drei Stränge geteilt.

Hinterstränge: Die Fasern aus den Spinalganglien sammeln sich zu hinteren Wurzeln; diese teilen sich in einen kleineren, lateralen Anteil, der in die Hinterhornspitze eintritt und T-förmig sich in auf- und absteigende Äste teilend nach kurzem Verlauf dort endigt, und einen größeren medialen Anteil, der in den Funiculus Burdach tritt und ebenfalls sich T-förmig in Äste teilend lange und kurze Bahnen bildet. Die kurzen Äste biegen bald rechtwinklig um ins Hinterhorn zu Strangzellen, ins Vorderhorn, in die Mittelzone,

zu Clarke'schen Zellen; die langen Äste gehen aufwärts im Burdach'schen Strang, dann im Goll'schen Strang und laufen im oberen Ende der Funic. gracil. und cuneat. in Endbäumchen aus, von wo dann die sensiblen zentralen Neuronen der Schleifenbahn beginnen zur Rindenstelle der Schleifenbahn.

Vorderstränge: ein medialer, darin die Pyramiden-Vorderstrangbahn, ein lateraler, darin der Vorderstrangrest.

Seitenstränge: hierin die Pyramidenseitenstrangbahn, ferner Kleinhirnseitenstrangbahn (Foville'scher Strang), Seitenstrangrest (Gower'scher Strang) und Seitenstranggrundbündel.

Leitungsbahnen.

Die motorischen Bahnen werden dargestellt durch die Pyramidenvorderstrangbahnen, die von derselben Seite des Gehirns kommen, und durch die Pyramidenseitenstrangbahnen, die, von der anderen Seite des Gehirns kommend, in der Decussatio pyramidum übertreten. Die Endbäumchen der Fasern dieser Stränge treten in Kontakt mit den Dendriten der Vorderhornzellen, in denen der periphere motorische Neuron beginnt. Quere Durchtrennung des Rückenmarks hat absteigende Degeneration der Pyramidenbahn zur Folge (cf. S. 243). Nach neueren Untersuchungen kommt außerdem als motorische Bahn in Betracht das sog. Monakow'sche Bündel, das vom roten Kern entspringend zum Seitenstrang der anderen Seite kreuzt.

Die sensiblen Bahnen bestehen aus den hinteren Wurzeln (s. o.), dem Hauptteil der Hinterstränge und dem Kleinhirnseitenstrang. Quere Durchtrennung hat aufsteigende Degeneration der eben genannten Bahnen zur Folge. Die hier nicht genannten Stränge sind zum Teil kurze Bahnen, die verschiedene Teile des Rückenmarks verbinden. Zum Teil haben sie vielleicht noch andere Funktionen.

Durchschneidungsversuche am Rückenmark.

Halbseitige Durchschneidung des Rückenmarks (also bis zur vorderen und hinteren Längsfurche) macht bei Säugern unterhalb der Schnittstelle Bewegungslähmung auf derselben Seite, ferner abnorme Erhöhung der Sensibilität („Hyperästhesie“) auf derselben Seite und Herabsetzung der Sensibilität

auf der gesunden Seite. Nach einiger Zeit schwindet die Hyperästhesie und es tritt auch auf der operierten Seite Herabsetzung der Sensibilität ein. Durchschneidung nur der Hinterstränge macht die Körpergegend unterhalb anästhetisch (für Berührungs-, Temperatur- und Muskelgefühle), doch bleibt die Schmerzempfindlichkeit erhalten. Legt man einen links- und einen rechtsseitigen Halbschnitt in verschiedener Höhe an, so tritt unterhalb weder vollständige Bewegungs-, noch vollständige Empfindungslähmung ein. Auch wenn man einen Schnitt durch die ventrale und einen durch die dorsale Hälfte in verschiedener Höhe legt, bleibt die Motilität doch ziemlich erhalten. Es scheint, daß die kleinste Brücke zwischen oberem und unterem Abschnitt für die Leitung der Bewegungen und Empfindungen in gewissem Umfange genügen kann.

Reizbarkeit des Rückenmarks.

Elektrische und mechanische Reizung erweisen sich meistens unwirksam, weshalb man früher das Rückenmark überhaupt für unerregbar hielt. Nur die vasomotorischen Nerven darin sind leicht erregbar, so kann man vom Gefäßzentrum in der Med. oblongata Verengerung aller Gefäße und Steigerung des Blutdruckes bekommen. Indes sind neuerdings auch wirkliche Reizwirkungen vom Rückenmark erhalten worden. Dabei hat sich gezeigt, daß man bei tetanischer Reizung der oberen Rückenmarkshälfte nicht Tetanus, sondern geordnete Bewegungen in den hinteren Extremitäten bekommt; ferner kann ein an sich unwirksamer Reiz durch Summation wirksam werden. Dem konstanten Strom gegenüber verhält sich das Rückenmark wie ein peripherischer Nerv.

Die Funktionen des Rückenmarks.

Sie bestehen in:

1. der Erregungsleitung auf motorischen Bahnen vom Gehirn zu peripherischen Nerven,
2. der Erregungsleitung auf sensiblen Bahnen von peripherischen Nerven zum Gehirn,
3. der Erregungsübertragung von sensiblen auf motorische Bahnen; Reflexbewegung (s. dort).

Die Stellen des Rückenmarks, wo nachweislich die Übertragung stattfindet, nennt man „Zentren“ für die betreffenden Bewegungen (bez. Sekretionen).

Außer den reflektorischen Zentren, die bei den Reflexbewegungen aufgezählt sind, finden sich noch sog. automatische Zentren im Rückenmark: „vasomotorische Zentren“, welche die von ihnen innervierten Gefäße in einem mittleren Erregungszustand (Gefäßtonus) erhalten und „Schwitzzentren“.

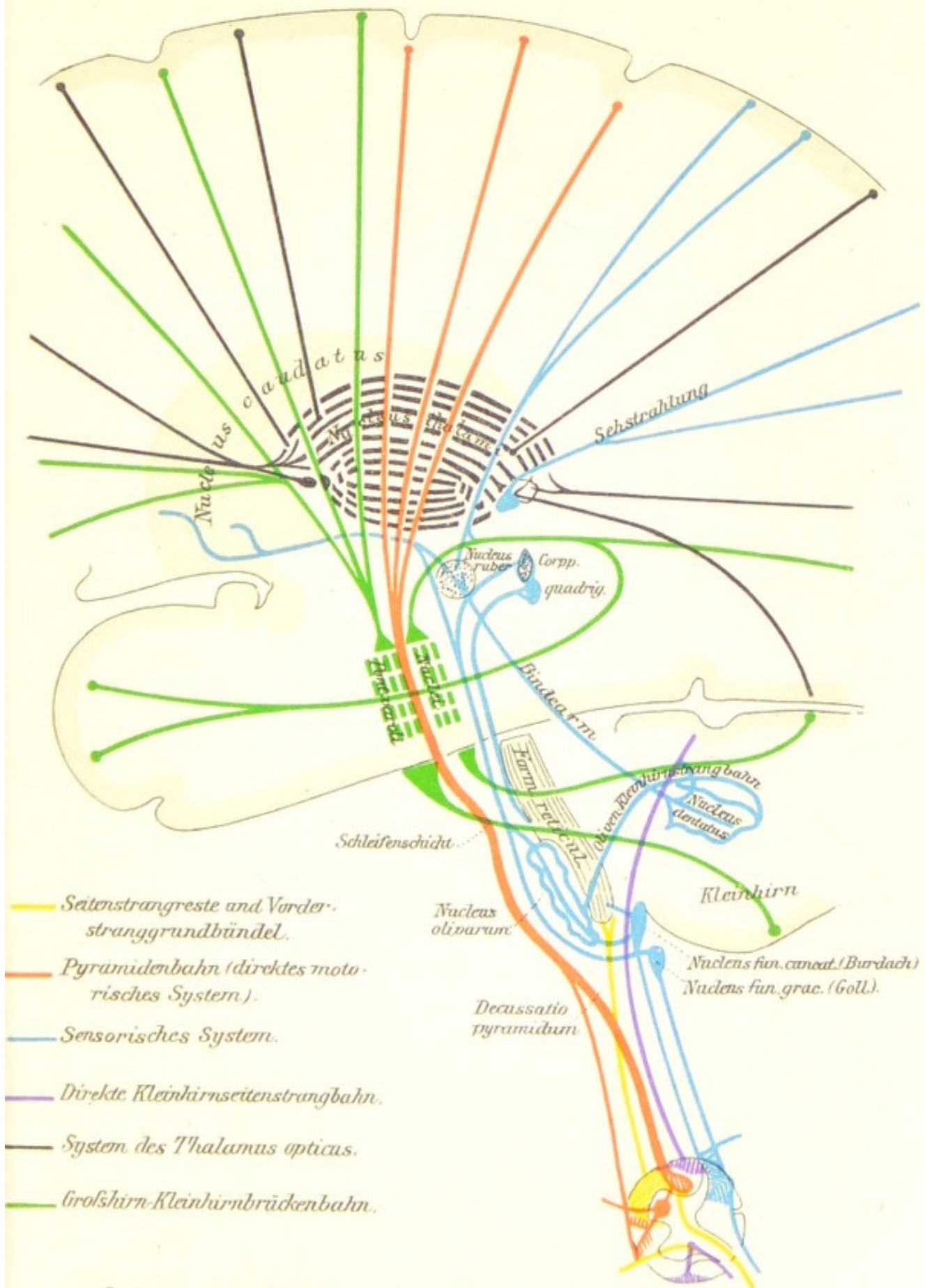
Das Gehirn.

Bau.

Das Rückenmark setzt sich durch die Medulla oblongata in das Gehirn fort. Das Gehirn teilt man ein in Großhirn oder Mantelhirn, in Hirnstock oder Hirnstamm und in Kleinhirn.¹⁾

Als Großhirn bezeichnet man alle diejenigen Teile, welche aus den sekundären Vorderhirnbläschen hervorgegangen sind (s. Anmerkung). Äußerlich in Hirn-, Scheitel-, Hinterhaupt- und Schläfenlappen zerfallend, zeigt das Großhirn an seiner äußeren Oberfläche einen 2—3 mm dicken Überzug grauer Substanz, die graue Rinde. In ihr lassen sich 4—6 Schichten von Zellen unterscheiden. Bemerkenswert sind darunter die sogenannten Pyramidenzellen, große Ganglienzellen mit der Spitze nach der Oberfläche des Gehirnes zu liegend und einen Arm von ihrer Basis nach innen abgebend. Außer den Zellen finden sich Achsenzyylinder, die hier mit Endbäumchen endigen.

¹⁾ Das Gehirn ist hervorgegangen aus der Anschwellung am vorderen Ende des Medullarrohrs. Während sich aus diesem das Rückenmark bildet, gliedert sich jene Anschwellung in 3 Abschnitte, die 3 primären Hirnbläschen: Vorder-, Mittel- und Hinterhirnbläschen. Aus dem Vorderhirnbläschen wächst das sekundäre Vorderhirnbläschen heraus, das Hinterhirn teilt sich durch eine quere Einschnürung, so daß wir am Ende der 5. Woche nach der Befruchtung folgende 5 Hirnbläschen unterscheiden können, wobei in Klammern die daraus hervorgehenden Teile des reifen Gehirns beigelegt sind: 1) Sekundäres Vorderhirnbläschen (= Vorderhirn = Hirnmantel mit Balken, Fornix, vordere Kommissur, Linsenkern, Schweifkern; 2) Primäres Vorderhirnbläschen (= Zwischenhirn = Sehhügel mit Trichter, Sehnervenkreuzung und Corp. mammillaria); 3) Mittelhirnbläschen (= Mittelhirn = Vierhügel und Großhirnschenkel); 4) Sekundäres Hinterhirnbläschen (= Hinterhirn = Kleinhirn mit Armen und Brücke); 5) Primäres Hinterhirnbläschen (= Nachhirn = Medulla oblongata).



Schema der Leitungsbahnen nach Flechsig.

L. J. Thomas, Lith. Inst. Berlin S 53.

An die graue Rinde schließt sich eine mächtige Schicht weißer Substanz, aus markhaltigen Fasern bestehend. Ein großer Teil dieser Fasern zieht als Corona radiata (s. u. Fig. 30) radiär in konvergenter Richtung nach abwärts zu den Großhirnganglien (Corpus striatum) und den Stammganglien und stellt so die Verbindung zwischen dem Rindengrau und dem zentralen Höhlengrau her, das im Gehirn die Fortsetzung der um den Zentralkanal des Rückenmarks gelegenen grauen Substanz darstellt.

Als Hirnstock stellt man dem Großhirn alle die Teile gegenüber, welche aus den übrigen (Zwischen-, Mittel-, Hinter-, Nach-) Hirnbläschen hervorgegangen sind mit Ausnahme des Kleinhirns. Es gehören also zum Hirnstock 1) die Sehhügelregion, 2) Hirnschenkel mit Vierhügeln, 3) Brücke, 4) verlängertes Mark. Er enthält besonders in seinen Ganglien (Thalamus opticus, Vierhügel) eine mächtige Anhäufung des zentralen Höhlengraues, und stellt in der Brücke und Medulla oblongata die Verbindung zwischen Großhirn einerseits und Kleinhirn und Rückenmark andererseits her.

Das Kleinhirn besitzt wie das Großhirn eine graue Rindenschicht und eine zentrale graue Masse, (Nucleus dentatus u. a.) und steht mit dem Rückenmark (durch die Corpora restiformia), mit dem Großhirn (durch die Brückenschenkel) und mit den Vierhügeln (durch die Bindearme) in Zusammenhang.

Leitungsbahnen im Gehirn.

1. Fasern zum Rückenmark.

a) Motorische Bahnen.

Verfolgen wir die Pyramidenbahnen von der Großhirnrinde nach abwärts, so gelangen wir von den beiden Zentralwindungen und dem Lobus praecentralis durch den hinteren Schenkel der Capsula interna, weiter durch den Fuß der Großhirnstiele (Pedunculi cerebri) in den mittleren Abschnitt der Brücke, wo die Bahnen zum Teil durchsetzt, vor allem aber dorsal und ventral umfaßt werden von den Verbindungsfasern zwischen Großhirn zum Kleinhirn (Crura cerebelli ad pontem). Vom hinteren Rande der Brücke treten dann die markweißen Pyramiden in das verlängerte Mark, wo in der Decussatio pyramidum die motorische Kreuzung, die vordere Pyramidenkreuzung, stattfindet. Hierdurch tritt der größte Teil der

Pyramidenfasern auf die andere Seite über und verläuft als Pyramidenseitenstrang im Rückenmark nach abwärts; der andere kleinere Teil bleibt ungekreuzt und zieht als Pyramidenvorderstrang auf derselben Seite im Rückenmark nach abwärts (s. S. 268). Übrigens ist die Kreuzung der Pyramidenseitenstränge keine vollständige.

b) S e n s i b l e B a h n e n.

Die Fasern der Goll'schen und Burdach'schen Stränge endigen in der Medulla oblongata im Nucleus gracilis und Nucleus cuneatus. Von hier aus beginnen neue Neuronen; die Fasern treten durch die graue Substanz bogenförmig nach vorn, kreuzen sich über und dorsalwärts von der Pyramidenkreuzung, indem sie unter Überschreitung der Raphe auf die andere Seite übertreten und so die hintere Pyramidenkreuzung oder Schleifenkreuzung bilden. Danach treten die Fasern von der entgegengesetzten Seite mit Fasern derselben Seite zusammen, die, besonders im Gowers'schen Bündel verlaufend, sich schon im Rückenmark gekreuzt haben, und bilden ein gemeinschaftliches Faserbündel, die Schleife. Diese geht durch den dorsalen Teil der Brücke (Haubenregion der Brücke), wo sie den ventralen Abschnitt einnimmt, durch den Haubenteil der Großhirnstiele und durch den hinteren Schenkel der Capsula interna als Haubenstrahlung zum Scheitellappen.

Die Kleinhirnseitenstrangbahnen oder Foville'schen Stränge, Achsenzyylinder der Zellen in den Clarke'schen Säulen darstellend, gehen durch die Corpora restiformia der Medulla oblongata in die unteren Kleinhirnstiele über und haben ihr cerebrales Ende im Wurm des Kleinhirns, dem Hauptsitz der Koordination. Außerdem enthalten die Corpora restiformia bez. die unteren Kleinhirnstiele Fasern, welche die untere Olive der Medulla verbinden mit dem Vließ des grauen Nucleus dentatus der anderen Kleinhirnhemisphäre (Oliven-Kleinhirnbahn).

2. Fasern zwischen Großhirn und Kleinhirn.

a) G r o ß h i r n - K l e i n h i r n b a h n über das Brückengrau, von denen man eine vordere und eine hintere unterscheidet. Sie ziehen von der Rinde des Stirnlappens und des Hinterhaupt- und Schläfenlappens durch den vorderen und hinteren Schenkel

der Capsula interna und durch den Hirnschenkelfuß zu den Kernen der Brücke, von da durch die Raphe pontis zu den Brückenschenkeln der entgegengesetzten Seite und weiter zur Rinde der Kleinhirnhemisphären.

b) Kleinhirn-Großhirnbahn über den roten Kern; es sind Fasern, welche hauptsächlich aus dem Hilus des Nucleus dentatus kommen, durch die Bindearme (Crura cerebelli ad corpora quadrigemina) unter Überschreitung der Raphe (Bindearmkreuzung) zum roten Kern der anderen Seite und von da zum Thalamus ziehen, von wo ein neuer Neuron zur Großhirnrinde geht.

3. Fasern, welche verschiedene Teile des Großhirns verbinden.

a) Assoziationsfasern (s. Fig. 28), welche in ein und derselben Hemisphäre verlaufen; sie verbinden entweder

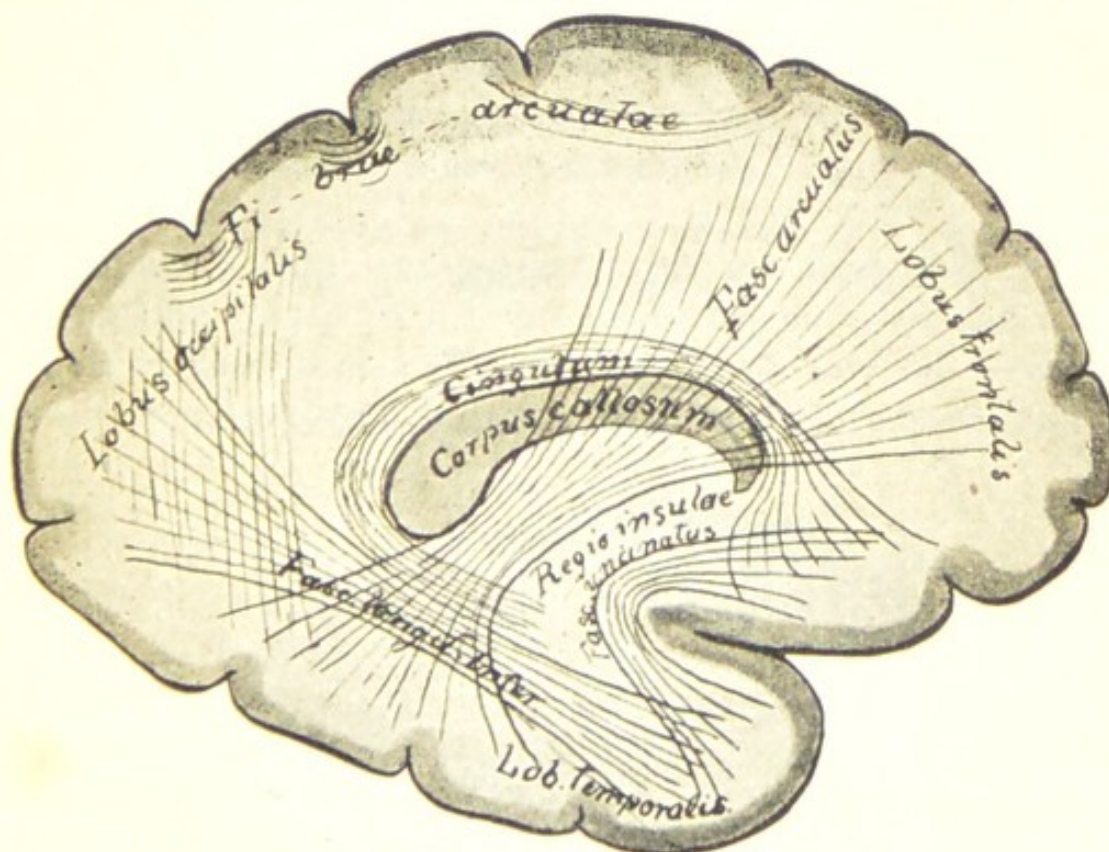


Fig. 28. Schema des Verlaufs der Assoziationsbahnen nach Edinger.

unmittelbar benachbarte Bezirke (Fibrae arcuatae), oder entferntere Abschnitte (Cingulum, Fasciculus arcuatus, uncinatus und longitudinalis inferior). Die Assoziationsfasern sind beim Neugeborenen kaum vorhanden, sie bilden sich erst aus mit der Zunahme der Intelligenz.

b) Kommissurenfasern, welche von einer Hemisphäre zur anderen verlaufen. Die Hauptkommissur ist der Balken (s. Fig. 29).

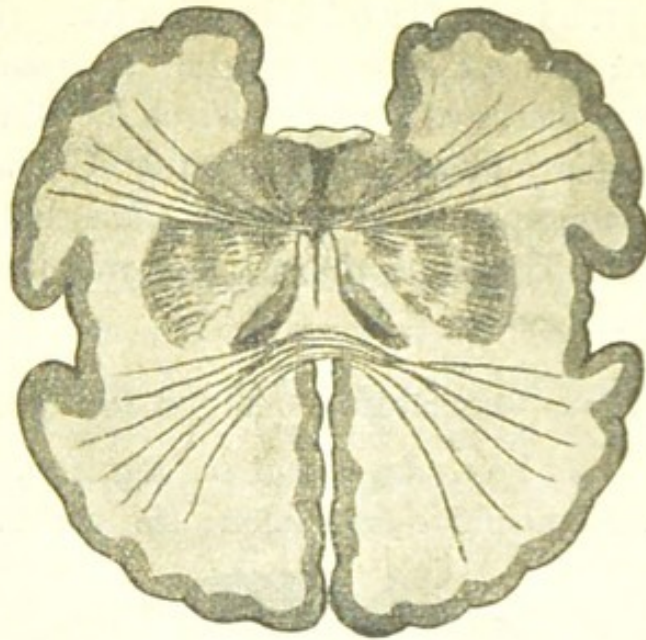


Fig. 29. Schema der Kommissuren-Fasern nach Edinger. (Balken und Commissura anterior.)

Im Gegensatz zu den Assoziations- und Kommissurenfasern gehören zum Stabkranz, *Corona radiata* (s. Fig. 30), die von der Rinde zum Thalamus konvergierenden Bündel, welche als Seh- oder Thalamusstiele (vorderer, oberer,

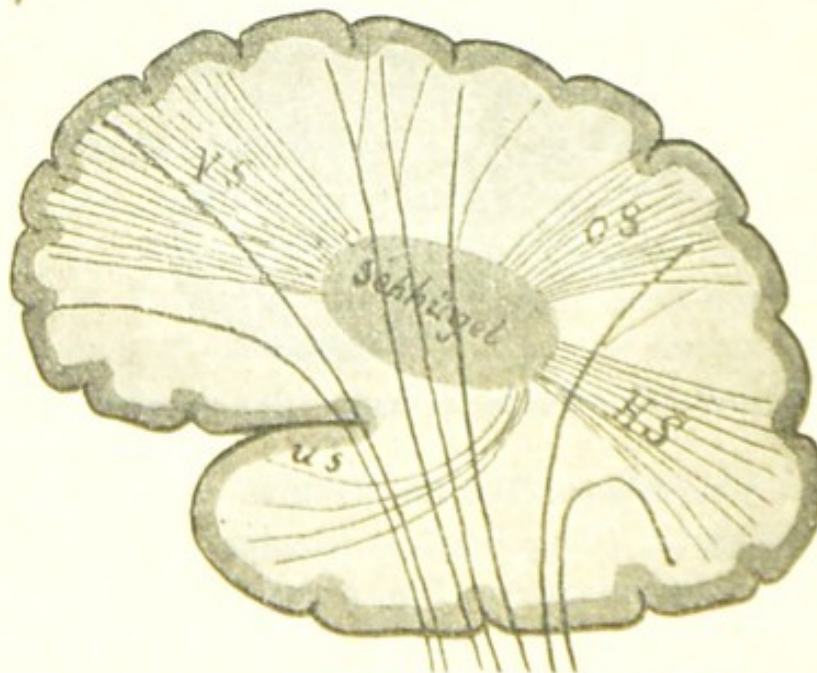


Fig. 30. Schema der Stabkranzfasern nach Edinger.

hinterer, unterer) unterschieden werden. Ferner die unter 1 und 2 erwähnten Bahnen zum Rückenmark und zum Kleinhirn, schließlich die zentralen Bahnen des Facialis und Hypoglossus, die von der unteren Zentralwindung durch die Capsula interna und den Hirnschenkelfuß zu den Kernen der Nerven auf die andere Seite übertreten.

Bemerkenswert ist, daß alle diese Bahnen durch die Capsula interna, bes. durch den hinteren Schenkel derselben ziehen. Die Kapsel ist deswegen von besonderer Wichtigkeit; schon geringe Läsionen derselben ziehen schwere Störungen nach sich. Im vorderen Abschnitt des hinteren Schenkels der Capsula interna verlaufen die motorischen Bahnen, die Pyramidenbahnen und die zentralen Facialis- und Hypoglossusbahnen, im hinteren Abschnitt, „Carrefour sensitif“, die sensiblen Bahnen, Schleifen-, Großhirn-Kleinhirnbahnen, Opticus-, Acusticusbahnen.

Ferner ist wichtig, daß alle diese Fasern während ihres Verlaufs zwischen Rinde und Kernen eine *Kreuzung* eingehen (auf die andere Seite treten).

In der weißen Substanz werden die Fasern auch als *Strahlungen* bezeichnet (Pyramidenstrahlung, sensible Strahlung, Sehstrahlung usw.).

Die Funktionen des Gehirns.

Großhirn.

Je höher in der Reihe der Vertebraten ein Tier in Bezug auf seine Intelligenz entwickelt ist, um so schwerer ist im Allgemeinen auch sein Großhirn sowohl im Verhältnis zum übrigen Gehirn und zum Rückenmark, als auch zum ganzen Körper. Beim Menschen beträgt das Gewicht des Großhirns etwa $\frac{4}{5}$ des gesamten Hirngewichts und etwa $\frac{1}{50}$ des Körpergewichts (s. Anhang). Neben dem Gewicht kommen beim Großhirn auch die Zahl und Tiefe seiner Windungen, sowie die Dicke seiner grauen Rinde in Betracht.

Bei Störungen in der Entwicklung des Gehirns beim Embryo bleiben die geistigen Fähigkeiten auf niedriger, bisweilen tierischer Stufe stehen (Mikrozephalen).

Ähnliches ergibt das Experiment. Eine *enthirnte Taube* macht den Eindruck eines schlafenden Tieres: sie reagiert

nur noch auf direkte sensible Reize. Sie sieht nicht, hört nicht, riecht nicht, bewegt sich nicht von selbst, frißt nicht; doch kann sie bei künstlicher Fütterung monatelang am Leben bleiben. Ähnlich verhält sich ein enthirnter Hund.

Dies alles führt zu der Annahme, daß im Großhirn diejenigen (komplizierten) Nervenerregungsvorgänge sich abspielen, welche mit höheren geistigen Vorgängen, die wir als Bewusstsein, als Willen zu bezeichnen pflegen, verbunden sind.

Entsprechend der Bedeutung des Gehirns als Reflexorgan und entsprechend dem angeführten Faserverlauf, werden wir an der Großhirnoberfläche, als der letzten Endstation der Bahnen, Bezirke lokalisieren: 1. in denen sensible und motorische Bahnen, die Stabkranzfasern, endigen, 2. in denen Bahnen endigen, die wieder die unter 1 genannten Bezirke verbinden, also ihnen gleichsam übergeordnet sind, die Assoziations- und Kommissurenfasern.

1. Stabkranzfaserbezirke.

Sie enthalten behufs Übertragung der Erregung neben den Endverzweigungen der sensiblen Bahnen die Ursprungszellen der motorischen Bahnen; rein sensible Bezirke gibt es so wenig als rein motorische. Da die verschiedenen Sinne hier mit den motorischen Bahnen in Beziehung gesetzt werden, nennt man sie „Sinnessphären“ und teilt sie ein in

a) *K ö r p e r f ü h l s p h ä r e*, nimmt die laterale (die ganze Gegend um den Sulcus centralis) und mediale Fläche des Scheitellappens ein. Sie übertrifft die anderen „Sphären“ an Ausdehnung bei weitem.

Hier endigen die zentripetalen (sensiblen) Rückenmarks- und Kleinhirnbahnen (Schleifen- und Bindearmfasern). Es nehmen hier ihren Ursprung die zentrifugalen motorischen Bahnen (Pyramidenbahnen und Großhirn-Brücken-Kleinhirnbahnen). In den Zentralwindungen entspringen im oberen Teil die motorischen Fasern für die untere (so daß also auch in dieser Beziehung eine Kreuzung stattfindet) Extremität der entgegengesetzten Seite, im mittleren für die obere Extremität, im unteren für den Facialis.

Von dieser „motorischen Zone“ gelingt es auch, mit tetanisierenden Strömen Bewegungen zu erhalten. Sind die Ströme schwach, so tritt in bestimmten scharf begrenzten Muskelgruppen

Kontraktion auf, bei stärkeren Strömen werden auch andere Muskelgruppen ergriffen, bei sehr starken Strömen treten (bei Katze, Hund, Affe) epileptische Krämpfe auf („Rindenepilepsie“). Je höher ein Tier in der Säugetierreihe steht, um so schärfer ist auf den Reiz die Lokalisation, d. h. um so mehr gesonderte Muskelgruppen kontrahieren sich, um so einfachere und begrenztere Bewegungen werden ausgeführt. Beim Orang Utang lassen sich z. B. vielfachere und spezialisiertere Bewegungen durch Hirnrindenreizung erzielen als beim *Macacus*. Dort, beim höchsten Affen, häufen sich auch die motorischen Felder in der vorderen Zentralwindung an. Dasselbe ist noch mehr beim Menschen der Fall. Ausschaltung der motorischen Zone führt zu schweren Bewegungsstörungen auf der gekreuzten Seite. Diese gehen aber vorüber, nur minimale Bewegungstörungen bleiben (beim Hund) dauernd zurück; diese betreffen gerade die feinere Abstufung und Regulation der Bewegungen; letzteres tritt noch deutlicher beim Affen hervor.

Im hinteren Teil der unteren Stirnwindung (in der Pars opercularis) liegen die motorischen Zentren für die bei der Sprach- und Stimmbildung beteiligten Muskeln, „Broca'sches Sprachzentrum“. Verletzung dieser Stellen (pathologisch beim Menschen durch einen Schlaganfall d. h. einen Bluterguß in diese Gegend der Gehirnmasse) ruft Sprachlosigkeit, „motorische Aphasie“, hervor. Davon unterschieden wird die „sensorische Aphasie“, nach Verletzung der oberen Schläfenwindung. Der Kranke kann sprechen, lesen, schreiben, aber er versteht das g e s p r o c h e n e Wort nicht, doch hört er jedes Geräusch.

b) H ö r s p h ä r e. Sie liegt in der Rinde des Schläfenlappens. Als zentripetale Fasern endigen hier die Fortsetzungen des N. cochlearis der entgegengesetzten Seite.

c) S e h s p h ä r e. Sie nimmt die Rinde in der Konvexität des Hinterhauptlappens ein. Es endigen hier die Fortsetzungen des Tractus opticus, jede Hirnhälfte steht mit beiden Augen in Verbindung. Einseitige Läsion der Occipitalrinde macht beim Affen gleichseitige bilaterale Hemianopsie.

Wird bei einem Tier die Hörsphäre oder die Sehsphäre zerstört, so ist es taub oder blind. Man spricht dann von „Rindentaubheit“, „Rindenblindheit“.

d) R i e c h s p h ä r e. Sie liegt an der unteren Fläche der Hemisphären, im basalen Teil des Gyrus fornicatus, dem Gyrus

uncinatus und dem angrenzenden Teil der Insula. Es endigen hier die Bahnen des Tractus olfactorius.

e) S c h m e c k s p h ä r e. Sie liegt im Gyrus temp. sup. und med., doppelseitige Zerstörung hebt beim Hunde den Geschmack auf, einseitige den Geschmack auf der gekreuzten Seite.

2. Die Kommissuren und Assoziationsbezirke, „Assoziationszentren“ (Flechsig).

Sie sollen Verbindungsbögen zwischen den Sinnessphären darstellen und sie gleichsam zu höheren Einheiten zusammenfassen. Sie sollen den zwischen den Sinnessphären freibleibenden Teil der Hirninde einnehmen.

Man hat 3 Zentren unterschieden: ein hinteres großes, im Bereich des Schläfen-, Occipital- und Scheitellappens; ein mittleres, deckt sich mit dem Gebiet der Insula Reilii; ein vorderes, nimmt einen Teil des Stirnlappens ein. Ob diese Aufstellung berechtigt ist, und ob diesen Zentren wirklich eine höhere Bedeutung zukommt, ist indessen sehr fraglich.

Großhirnganglien und Hirnstock

(ohne Medulla oblongata).

Über die Funktion des Streifenhügels, Sehhügels und der Vierhügel ist bis jetzt nur so viel ermittelt, daß sie Zentren für die komplizierten koordinierten Bewegungen enthalten; sie können auf sensible Reize reflektisch in Tätigkeit treten. Tiere, bei denen sie erhalten sind, und nur das Großhirn entfernt ist, bewahren ihr Gleichgewicht, fliegen oder laufen, wenn sie gestoßen werden; auch das fällt weg, wenn diese Zentren zerstört sind.

Die Vierhügel insbesondere stellen das Reflexzentrum für die Pupillenverengung auf Lichteinfall dar (s. Reflexbewegungen). Außerdem sollen in ihnen Zentren für die Bewegungen der oberen Extremitäten liegen.

Nach einseitiger Zerstörung bleibt die Pupillenverengung sowohl auf der gleichen wie auf der entgegengesetzten Seite aus. In der vorderen äußeren Partie liegt auch ein Koordinationszentrum für die Augenmuskeln, in der hinteren ein Hemmungs- und ein Zentrum für die Atmung.

Auf die Wichtigkeit der Capsula interna ist schon hingewiesen.

Einseitige Zerstörung des Streifenhügels hat Lähmung der gegenüberliegenden Körperhälfte zur Folge. Im Streifenhügel soll sich auch ein Zentrum für die Wärmeregulation befinden; nach Verletzung desselben, „Wärmestich“, steigt die Eigenwärme an.

Einseitige Verletzungen der Großhirnganglien und des Hirnstocks haben *Zwangsbe-
w-
e-
g-
u-
n-
g-
e-
n* zur Folge; es treten scheinbar zwangsmäßige, bis zur Erschöpfung anhaltende eigentümliche Bewegungen ein: „Rollbewegung“, Bewegung um die Längsachse; Kreisbewegungen nach einer Seite, meist nach der der Verletzung entgegengesetzten, als „Reitbahnbewegung“ (Manegegang) und „Zeigerbewegung“ (wobei die Hinterfüße an derselben Stelle bleiben); Überschlagen nach vorwärts oder rückwärts. Hierher gehört auch die „Drehkrankheit der Schafe“, die hervorgebracht wird dadurch, daß die Finne des Hundebandwurms, *Taenia coenurus*, in das Gehirn gelangt.

Kleinhirn.

Das Kleinhirn ist in die große Nervenbahn zwischen Großhirn und Rückenmark bez. Medulla oblongata gleichsam als Nebenleitung eingeschaltet. Es stellt einen verhältnismäßig selbständigen Teil des Zentralnervensystems dar, der mit dem ganzen in Verbindung stehend von ihm beeinflußt wird und wieder auf dasselbe zurückwirkt. Bilateral angelegt wirkt es, ungleich dem Großhirn, vorzugsweise auf dieselbe Körperhälfte.

*R-
e-
i-
z-
u-
n-
g* des Kleinhirns hat im wesentlichen Augenbewegungen nach der gereizten Seite zur Folge, gelegentlich auch Kopfbewegungen und rasche Bewegung der gleichseitigen Extremitäten.

Nach der *E-
x-
s-
t-
i-
r-
p-
a-
t-
i-
o-
n* des Kleinhirns erleidet die Intelligenz keine merkliche Einbuße, ebensowenig treten Störungen in der vegetativen Funktion auf, einschließlich der sexuellen. Eine nachweisbare Schädigung hingegen erfahren die willkürlichen Bewegungen. Die operierten Tiere ermüden sehr leicht, ihre Bewegungen sind zitternd und schwankend und oft durch unwillkürliche Zwischenbewegungen unterbrochen, doch schwimmen und fliegen die operierten Tiere meist gut. Die

Muskeln zeigen ferner im Ruhezustande eine verminderte elastische Spannung und in der Tätigkeit die Neigung zu frühzeitiger Abspannung. Alle diese Störungen betreffen die Muskeln der hinteren Extremitäten und die Streckmuskeln der Wirbelsäule in stärkerem Grade. Man hat die Schädigungen auf Störungen des Muskelsinnes zurückgeführt; mit ihm geht die Fähigkeit verloren, die Bewegungen abzustufen und die einzeln oder synergisch wirkenden Muskelgruppen in richtiger Reihenfolge, Stärke und Schnelligkeit arbeiten zu lassen, daher die Störungen eine „sensorische Ataxie“ darstellen (wie die Tabes eine infolge Erkrankung der hinteren Wurzeln). Die Ausfallserscheinungen bei Exstirpation verschiedener Teile des Kleinhirns unterscheiden sich nicht ihrem Wesen, sondern lediglich ihrer Intensität, Ausbreitung und Dauer nach und durch ihre Präponderanz auf der einen Körperhälfte. Bemerkenswert ist, daß im Laufe der Zeit die beschriebenen Bewegungstörungen sich fast vollständig ausgleichen können. Man nimmt an, daß dann die Großhirnrinde kompensierend eintritt.

Beim Menschen hat Erkrankung des Kleinhirns bes. des Wurmes Bewegungstörung der Beine beim Gange (er wird taumelnd, zickzackförmig), die sog. cerebellare Ataxie zur Folge. Häufig wird über Schwindel und Kopfschmerzen in der Nackengegend geklagt.

Medulla oblongata.

Das verlängerte Mark ist physiologisch von besonderer Bedeutung. Es enthält Zentren für verschiedene Funktionen, die dem normalen Fortgang des Stoffwechsels dienen, darunter das Atemzentrum, dessen Zerstörung sofortigen Tod zur Folge hat. Außerdem bildet es, wie der Pons, einen zentralen Knotenpunkt für viele Hirn- und Rückenmarksbahnen.

Im Boden des vierten Ventrikels liegen die Kerne des V.—XII. Hirnnerven (der III. und IV. Hirnnervenkern liegen unter dem Aquaeductus Sylvii) und zwar der V.—VII. im vorderen (oberen), der VIII.—XII. im hinteren (unteren) Abschnitt; der VIII. ragt noch in den vorderen Abschnitt hinein. Daher haben auch alle in diesen Hirnnerven zu beobachtenden Reflexerscheinungen in der Medulla oblongata ihr übertragendes Zentralorgan. Dazu gehören die

Reflexzentren:

- a) für den Lidschluß,
- b) für den Schling- und Schluckakt,
- c) für Niesen und Husten,
- d) für das Kauen, Beißen, Saugen, vielleicht auch für Magen- und Darmbewegungen,
- e) für den Brechakt,
- f) für die Speichelsekretion, vielleicht auch für die Sekretionen von Magen, Darm und Pankreas,
- g) für die Tränensekretion.

Außer diesen vorwiegend reflektorisch erregten Zentren finden sich noch solche, die durch in loco wirkende Reize erregt werden; die sogenannten

automatischen Zentren. Dazu gehören

a) das Atemzentrum, Noeud vital; es liegt zu beiden Seiten der Spitze des Calamus scriptorius und erstreckt sich bis in die Formatio reticularis hinein. Von ihm aus werden die Atemmuskeln erregt, als Reiz wirkt wie bei allen automatischen Zentren Sauerstoff-Mangel und Kohlensäure-Anhäufung im Blut. Reflektorisch wird der Rhythmus reguliert durch Reizung zentripetaler hemmender Fasern.

b) das Herzhemmung- und Herzbeschleunigungszentrum. Sie dienen zur Regulierung der Zahl und der Stärke der Herzkontraktionen. Sie können auch reflektorisch erregt werden.

c) das Gefäßzentrum für die gefäßverengernden und gefäßerweiternden Nerven; sie regulieren die Blutverteilung in den einzelnen Körperteilen. Auch sie können reflektorisch erregt werden.

d) das Schwitzzentrum; es soll den spinalen Schwitzzentren übergeordnet sein und sie zusammenfassen. Es wird auch noch durch Temperaturerhöhung erregt.

e) das Krampfzentrum; es soll sich ein solches in der Medulla oblongata finden, welches den Reflexen des Rückenmarkes übergeordnet ist und bei seiner Erregung (z. B. bei der Erstickung) Krämpfe der ganzen Körpermuskulatur auslösen soll.

f) das Diabeteszentrum; man hat es angenommen, weil Verletzung des Bodens vom 4. Ventrikel (Zuckerstich,

Piqure) Diabetes mellitus zur Folge hat. Der Zucker stammt aus dem Leberglykogen.

Reaktionszeit.

Von der Natur des Nervenprinzips und der in den Zentralorganen ablaufenden Erregungsvorgänge weiß man nichts. Doch hat man wenigstens eine Vorstellung von dem zeitlichen Ablauf der Erregungsprozesse gewonnen, indem man die Reaktionszeit gemessen hat d. h. die Zeit, die vergeht von dem Augenblick, wo ein Sinnesreiz (Schall-, Licht-Empfindung) ein Individuum trifft, bis zu einer möglichst schnell darauf folgenden verabredeten Bewegung. Sie hat sich zu etwa 0·12—0·14 Sek. für den momentanen Licht- und Schallreiz, für den elektrischen Reiz zu etwa 0·14 Sek. ergeben. Da sie bei verschiedenen Menschen verschieden ist, so ist ihre Kenntnis bei astronomischen Beobachtungen von großer Wichtigkeit; sie wird hier als „persönliche Gleichung“ in Rechnung gebracht. Zieht man von der Reaktionszeit die Zeit ab, die für die Leitung in den sensiblen und motorischen Nerven und für die Muskel-Latenz verbraucht wird, so bleibt der größte Teil für den Ablauf des Hirnprozesses übrig, „Gehirnzeit“.

Die Reaktionszeit wird kleiner durch Übung und mit zunehmender Stärke des Sinneseindrucks und größer durch Ermüdung.

Schlaf.

Schlafen und Wachen sind die periodische Abwechslung zwischen Ruhe und Tätigkeit des Gehirns. Der Schlaf stellt den natürlichen Gleichgewichtszustand der lebenden Gehirns substanz dar. Die Sinnesreize und die dadurch ausgelösten Bewegungsimpulse beseitigen ihn. Die Tätigkeit der Gehirns substanz bringt Veränderungen hervor, die in jenen ursprünglichen Zustand zurückzukehren streben. Werden die Sinnesreize fern gehalten, so treten keine Veränderungen ein, es besteht Schlaf. Daher können Menschen und Tiere mit Sicherheit in Schlaf versetzt werden, wenn man alle Sinneseindrücke von ihnen fern hält. Haben die Veränderungen aber einmal stattgefunden, so suchen sie sich, wenn sie eine bestimmte Größe erreicht haben, also in gewissen Perioden, im Schlaf, auszugleichen. Wird aber

diese Größe überschritten, so tritt eine Schädigung der Gehirns-
substanz ein, sodaß sie nicht sogleich oder überhaupt nicht mehr
in den Gleichgewichtszustand zurückkehren kann. Daher
Hunde, die man 4—5 Tage des Schlafes beraubt hat, rettungslos
zu Grunde gehen. Auch beim Menschen kann geistige Über-
anstrengung zu Schlaflosigkeit und zu schwerer Schädigung des
Allgemeinbefindens führen.

Welcher Art jene Veränderungen der Gehirnssubstanz sind,
ist unbekannt. Der Ort, wo sie vor sich gehen, ist möglicher-
weise die graue Rinde des Gehirnes, daneben aber auch die
niederen Zentren. Denn ein großhirnloser Hund zeigt noch
Wechsel von Schlaf und Wachen.

Es gibt auch Gifte, die eine Lähmung der lebenden Gehirn-
substanz und damit Schlaf herbeiführen, wie Morphinum, Äther,
Chloroform. Hierzu gehören auch gewisse Stoffe, die bei der
Muskeltätigkeit gebildet werden. Blut von einem durch starke
Muskularbeit ermüdeten Hunde einem normalen eingespritzt
ruft bei diesem Zeichen der Ermüdung und Somnolenz hervor.

Der Schlaf besteht in einer Verminderung der Tätigkeit
aller Organe, insbesondere des Herzens und der Atemwerkzeuge.
Zwischen 2 Atemzügen tritt mehr oder minder deutlich eine
Pause auf. Die kleinsten Hirngefäße sind verengt. Die Reflex-
erregbarkeit ist herabgesetzt. Die Augenlider sind (infolge der
Erschlaffung des Levator palpebrae) geschlossen, die Pupillen
etwas verengt, die Bulbi nach oben und innen gedreht. Die
Sekretionen, wie der Stoffwechsel überhaupt sind vermindert,
die willkürlichen Muskeln sind erschlafft.

Die Tiefe des Schlafes ist bald nach seinem Eintritt am
größten, so verharit sie nur kurze Zeit, um anfangs schnell,
darauf langsamer bis zum Erwachen abzunehmen. Einige Zeit
vor dem Erwachen liegt noch ein zweites, aber weit geringeres
Maximum der Schlaftiefe.

Der erwachsene arbeitende Mann bedarf in 24 Std. minde-
stens 6 Stunden Schlaf.

T r ä u m e treten bei geringer Schlaftiefe ein, bes. kurz vor
dem Erwachen.

S o m n a m b u l i s m u s und H y p n o t i s m u s sind dem
Schlaf ähnliche Zustände. Es handelt sich wahrscheinlich um
eine partielle Lähmung der Hirnrinde.

Stoffwechsel. Hirnbewegungen. Chemie.

Daß die Nervenzellen, die graue Substanz, im Gegensatz zu den Nervenstämmen in hervorragendem Maße von der Stoffzufuhr abhängig sind, darauf weist schon die reiche Versorgung mit Blutgefäßen hin. Insbesondere beim Warmblüter läßt sich leicht zeigen, daß Absperrung der Blutzufuhr die Ganglienzellen schnell funktionsunfähig macht. Komprimiert man die Bauch-aorta unterhalb der Nierarterien, so werden sehr bald die hinteren Extremitäten gelähmt, und die Zentren für Blasen- und Mastdarmschluß erlahmen (Stenson'scher Versuch). Absperrung der vier Hirnarterien (der beiden Carotiden und der beiden A. vertebrales) ruft Dyspnoe und allgemeine Krämpfe (Erstickungskrämpfe) durch Reizung der Medulla hervor (Kußmaul-Tenner'scher Versuch). Auch beim Menschen ruft verminderte Blutzufuhr zum Gehirn (Ohnmacht, Blutverlust) schnell Bewusstlosigkeit hervor; Verschluß einer Carotis soll bedrohlich, gleichzeitiger Verschluß beider lebensgefährlich sein. Ob die Blutgefäße des Gehirns Vasomotoren besitzen, ist noch fraglich.

Am bloßgelegten Gehirn und am kindlichen Gehirn durch die Fontanellen kann man Gehirnbewegungen beobachten, einmal respiratorische (ein Anschwellen bei der Inspiration, ein Absinken bei der Expiration) hauptsächlich venösen Ursprungs, zweitens kleinere frequentere Schwankungen, herrührend von der Pulsation der großen basalen Hirnarterien.

Von chemischen Bestandteilen kommen im Gehirn vor: Eiweiß und Kollagen, Lecithin, Cholestearin und Fette, Protagon (s. S. 35), Cerebrin (s. S. 30); ferner einige in Äther unlösliche Substanzen (stickstoff- und phosphorhaltige wie Nukleïn, Neurokeratin, Jecorin) Milchsäure, flüssige Fettsäuren, Salze und Wasser. Die Reaktion ist neutral bis alkalisch (gegen Lackmus), nach dem Absterben sauer.

21. Lehre von den Bewegungen.

Mechanik des Skelettes.

Die K n o c h e n bilden die Stütze der Körperteile. Sie sind starre Gebilde, die bei relativ geringer Masse größte Festigkeit besitzen. Dies kommt dadurch zu stande, daß ihr Inneres nur durch die schwammige Spongiosa ausgefüllt, bei Röhrenknochen durch das leichte fettreiche Knochenmark, bei Vögeln sogar mit Luft erfüllt ist, und ferner dadurch, daß die Knochen-Lamellen und die Bälkchen der Spongiosa eine für den Widerstand gegen Zug- und Druckwirkung überaus günstige Architektur zeigen, wie das Gitterwerk einer Brücke.

Die V e r b i n d u n g d e r K n o c h e n mit einander ist entweder unbeweglich (durch Nähte oder durch Einkeilung, Gomphosis, wie die Zähne) oder beweglich. Letzteres durch Synarthrosen oder Diarthrosen, Gelenke.

Zu den Synarthrosen gehören die Verbindungen zweier Knochen durch hyalinen Knorpel (S y n c h o n d r o s e n) oder durch Faserknorpel (S y m p h y s e n), wie bei den Beckenknochen und Wirbelkörpern. Die so verbundenen Knochen können nach der verschiedensten Richtung hin, doch nur in sehr beschränktem Maße gegen einander bewegt werden: vermöge der Elastizität ihres Faserknorpels federn sie wieder in die Gleichgewichtslage zurück.

Gelenke.

Die D i a r t h r o s e n oder die e i g e n t l i c h e n G e l e n k e sind die frei beweglichen Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Knochen, die mit überknorpelten (hyaliner Knorpel), glatten, meist kongruenten Knochenflächen (Gelenkflächen) an einander liegen und vermöge der von der Synovial-

membran abgesonderten Gelenkschmiere, Synovia, leicht auf einander gleiten.

Das ganze Gelenk ist umgeben von einer fibrösen Membran, Gelenkkapsel, die von der Zirkumferenz der Gelenkfläche entspringt. Sie ist schlaff genug, um die Beweglichkeit der Knochen zu erhalten. Nur bei den Amphiarthrosen (z. B. zwischen Tarsus und Metatarsus) ist sie so straff, daß die Knochen sich nur sehr wenig zu einander verschieben können.

Der Gelenkbinnenraum ist kein Hohlraum, sondern ein lumenloser Spalt, in dem sich lediglich die spärliche Synovia befindet.

In und neben der Kapsel finden sich starke fibröse Faserzüge, die von einem Knochen zum andern ziehen. Sie sind entweder Hülfsbänder, wenn sie die Bewegung im Gelenk unterstützen, oder Hemmungsbänder, wenn sie dieselbe, bes. bei zu starkem Druck oder Zug, hemmen, wie z. B. das Ligam. ileo-femorale die übermäßige Streckung und Rotation nach außen des Oberschenkels. Für die Befestigungen der Knochen gegen einander spielen die Bänder, da sie ja nicht allen Gelenken zukommen, nur eine untergeordnete Rolle. Hierfür sind vielmehr die über die Gelenke hinwegziehenden Muskeln von größter Bedeutung. Auch der Luftdruck sollte für das Zusammenhalten der Gelenke, so bes. beim Hüftgelenk, wichtig sein. Am herausgeschnittenen Präparat ist das der Fall, für den lebenden Körper kommt der Luftdruck höchstwahrscheinlich nicht in Betracht, jedenfalls nicht gegenüber der Muskelwirkung.

Außer durch Bänder findet eine Hemmung der Bewegungen noch durch Muskeln und ferner durch Knochenfortsätze, die Knochenanschläge statt, z. B. hemmt das Olecranon zu große Streckung, der Proc. coronoides zu große Beugung des Vorderarms. Indessen spielen die Muskelhemmungen die größte Rolle.

Die Gelenkflächen sind geometrisch im allgemeinen als Rotationsflächen zu betrachten, d. s. Flächen, die durch Rotation einer Kurve um eine Achse im Raum entstanden sind. Je nach der Gestalt der Kurve und nach ihrer Lage zur Drehungsachse entstehen sehr verschiedene Flächen. Doch kann man gewisse Typen unterscheiden:

1. **K u g e l g e l e n k e** oder **A r t h r o d i e n**. Die Flächen sind Stücke einer Kugelfläche, das Segment einer Vollkugel (der Gelenkkopf), ruht auf dem Segment einer Hohlkugel (der Pfanne). Sie sind die frei beweglichsten Gelenke, sie lassen Bewegungen in drei zu einander senkrechten Achsen ausführen, die durch den Kugelmittelpunkt gehen: Schultergelenk.

Greift die vertiefte Hohlkugel sehr weit über die Vollkugel, so entsteht das **N u ß g e l e n k**: Hüftgelenk.

Ein modifiziertes Kugelgelenk ist das **E i g e l e n k** zwischen Vorderarm und Handwurzel.

2. **S a t t e l g e l e n k**. Die Flächen gleichen denen eines Sattels, sie sind in einer Richtung konvex und in der darauf senkrechten konkav. Gelenk zwischen *Os multangulum majus* und *Os metacarpi primum*. Es kann Beugung und Streckung, Abduktion und Adduktion, auch beschränkte Rotation stattfinden.

3. **C h a r n i e r -** (*Ginglymus*) oder **W a l z e n g e l e n k**. Gegen einen Vollzylinder, meist nur eine „Leitfurche“, bewegt sich ein Hohlzylinder. Die Bewegung findet infolge der stets hier vorhandenen Seitenbänder nur in einer Ebene um die Achse des Vollzylinders statt: Gelenke zwischen den Phalangen, zwischen Ulna und Trochlea des Humerus, das Kiefergelenk der Raubtiere.

Modifikationen des Charniergelenks sind das Schrauben- und das Spiralgelenk.

Beim **S c h r a u b e n g e l e n k** dreht sich der bewegliche Knochen um eine durch den festen Knochen gehende Achse, Dreh-Achse, und verschiebt sich zugleich dagegen: Ellenbogengelenk und Sprunggelenk (Gelenk zwischen Unterschenkel und Talus).

S p i r a l g e l e n k. Die Zirkumferenz der festen Gelenkfläche bildet, von der Seite gesehen (im Sagittalschnitt), eine Spirale. Daher beschreibt jeder Punkt des beweglichen Knochens ebenfalls eine Spirale: Kniegelenk. Die seitlichen Bänder des Kniegelenks werden bei der Streckung gespannt, daher ist bei gestrecktem Knie eine Drehung des Unterschenkels unmöglich. Bei der Beugung lockern sich die Bänder, es kann Pronation des Unterschenkels (Richtung der Fußspitze medianwärts) und Supination stattfinden.

4. **D r e h g e l e n k**, **T r o c h o i d e s**. Es findet sich in Form des „Zapfengelenkes“ nur zwischen Atlas und Epistropheus. In anderer Form im Radio-Ulnargelenk, wodurch Pronation

und Supination des Unterarms zu stande kommt. Das Radiusköpfchen dreht sich dabei innerhalb des Lig. annulare, das seinen Hals ringförmig umfaßt. Dabei beschreibt das untere Ende des Radius um das untere Ende der Ulna ein Stück eines Kegelmantels.

5. *A m p h i a r t h r o s e* oder *W a c k e l g e l e n k*, stellt den Übergang von den Synarthrosen zu den Diarthrosen dar. Die Gelenkflächen sind fast eben oder nur wenig ausgehöhlt, die Knochen durch straffe Bänder verbunden: Gelenke zwischen den kleinen Knochen der Handwurzel und der Vorderfußwurzel, zwischen Tarsus und Metatarsus.

Wirkung der Muskeln auf die Knochen.

Die Muskeln sind in einem etwas gedehnten Zustand am Skelett befestigt; sie üben daher auf die Knochen, an die sie sich ansetzen, auch in der Ruhe einen *e l a s t i s c h e n* Zug aus. Dadurch wird einmal bewirkt, daß bei der Kontraktion die Kraft sogleich auf die Knochen wirkt; zweitens, daß wenn z. B. die Kontraktion der Beuger nachläßt, die elastische Kraft der Strecker allein sofort die Streckung des Gliedes herbeizuführen strebt.

Die meisten Muskeln setzen sich nicht direkt an die Knochen an, sondern mit Hülfe von *S e h n e n* oder *F a s c i e n*. Durch die Sehnen wird die Kraft des Muskels auf einen Punkt des Knochens konzentriert, durch die Fascien wird sie auf eine größere Fläche verteilt.

Durch die *K o n t r a k t i o n* werden die Insertionspunkte gegen einander verschoben und genähert, wofern nicht, wie beim *M. trochlearis*, der Muskel über eine Rolle läuft. Im allgemeinen verschiebt ein Muskel beide Knochen, an welche er ansetzt.

Muskeln, die auf einen Punkt in gleichem Sinne wirken, heißen *S y n e r g i s t e n*; die in entgegengesetztem Sinne wirken, *A n t a g o n i s t e n*. Doch hat diese Bezeichnung jedesmal nur Geltung für eine bestimmte Bewegung, so daß, wie z. B. bei der Bauchpresse (s. S. 112), dieselben Muskeln das eine Mal Synergisten, das andere Mal Antagonisten sein können.

Die *K r a f t* d e s *M u s k e l s* kommt nur dann zur vollen Wirksamkeit, wenn Zugrichtung und Muskelfaserrichtung zusammenfallen, d. h. wenn der Muskel sich rechtwinklig zum bewegten Knochen inseriert. Das findet aber nur bei wenigen Muskeln statt: bei den Kaumuskeln, den *Mm. recti capitis*, bei

den Wadenmuskeln, die die Achillessehne bilden, und bei der Portio transversa des Adductor pollicis. Die übrigen Muskeln setzen sich unter einem spitzen Winkel an; es wird nur ein Teil der von ihnen entwickelten Kraft in äußere Bewegung umgesetzt, der andere wird durch Druck und Zug in Wärme verwandelt. Diese beiden Teile findet man, indem man die Zugkraft des Muskels nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegt in eine auf den bewegten Knochen senkrechte (wirksame), und in eine gegen die Drehungsachse gerichtete (unwirksame) Komponente.

Die ungünstige, Kraftverlust bedingende Wirkung der schiefwinkligen Insertion der Muskeln wird vermindert einmal dadurch, daß die Insertion weniger spitzwinklig gemacht wird durch Knochenvorsprünge, durch Rollen oder durch Sesambeine. Auch die Kniescheibe ist in diesem Sinne als Richtungsrolle aufzufassen. Außerdem nähert sich während der Kontraktion in dem Maße, wie die Muskeln sich verkürzen, durch die Bewegung des Knochens der spitze Insertionswinkel dem rechten an.

Die K n o c h e n stellen in bezug auf die Wirkungsweise der Muskeln H e b e l vor, hauptsächlich einarmige, bei denen Kraft und Last an derselben Seite vom Drehpunkt angreifen. Während der Angriffspunkt der Last gegen das freie Ende des Hebels hinrückt, liegt der Angriffspunkt der Kraft nahe dem Drehpunkt. Da nach den Hebelgesetzen die Produkte aus Kraft und Weg gleich sind, so ist am Drehpunkt die Kraft groß, der Weg klein, am freien Ende umgekehrt die Kraft klein, der Weg groß. Solche Hebel nennt man „Wurfhebel“ oder „Geschwindigkeitshebel“. Der Mensch ist das Wurfthier κατ' ἐξοχὴν.

Zweiarmige Hebel sind im Körper z. B. der Vorderarm und der Fuß für die Wadenmuskeln.

Die Ortsbewegungen.

Sie bestehen in einer Fortbewegung des Schwerpunktes. Derselbe liegt im menschlichen Körper bei der Normalstellung (im anatomischen Sinne) im kleinen Becken dicht vor dem Promontorium des Kreuzbeins und befindet sich beim Stehen im labilen, bei den Ortsbewegungen im dynamischen Gleichgewicht. Er ist ausreichend unterstützt, wenn das aus ihm gefällte Lot, die Schwerlinie, in die Unterstützungsfläche fällt, das ist die Fläche, mit welcher der Körper den Boden berührt.

Stehen.

Damit bezeichnet man die ruhige aufrechte Haltung des Körpers auf den Füßen, wobei der Schwerpunkt des Körpers sich senkrecht über der Unterstützungsfläche befindet. Diese erhält man, wenn man die Punkte umschreibt, mit denen die durch straffe Bänder fixierten Fußgewölbe aufruhcn: Fersenhöcker und Köpfchen der Metatarsalknochen, vorwiegend des zweiten und dritten. Durch Auswärtsstellung der Füße wird die Unterstützungsfläche vergrößert. Die Grenzen der wirk-samen Unterstützungsfläche liegen überall 3 cm nach innen vom Fußrand, und $3\frac{1}{2}$ cm hinter den Zehenspitzen.

Als „n a t ü r l i c h e H a l t u n g“ beim aufrechten Stehen nahm man früher diejenige an, welche mit minimaler Muskelanstrengung verbunden wäre, welche also hauptsächlich dadurch zu Stande käme, daß die Schwerkraft und die Spannung der Gelenkbänder sich das Gleichgewicht hielten.

Man dachte sich, daß dieselbe auf folgende Weise erhalten wird: Der Talus wird bei rechtwinkliger Haltung des Fußes zwischen die Knochen des Unterschenkels festgeklemmt. Die Kniee werden so durchgedrückt, daß Unterschenkel und Oberschenkel lediglich durch die Spannung der Ligg. lateralia in eine einzige steife Stütze verwandelt werden. In gleicher Weise wird das Becken gegen die Oberschenkel fixiert. Es wird um die gemeinsame Hüftgelenkachse so weit nach hinten geneigt, daß die Ligg. ileo-femoralia gespannt werden und ein weiteres Zurückfallen unmöglich machen. Auf dem Becken ruht der ganze Oberkörper; der Kopf endlich balanziert auf dem Atlas im Gleichgewicht.

Diese ganze Auffassung ist aber nach neueren Untersuchungen irrtümlich. Der Talus wird nicht festgeklemmt, die Ligg. lateralia und ileo-femoralia werden bei der natürlichen Haltung gar nicht in dem Maße gespannt, um der Schwere der über ihnen befindlichen Teile das Gleichgewicht zu halten, und der Kopf sinkt ohne Muskelanstrengung nach vorn. Eine Haltung, bei der Unterschenkel, Oberschenkel und Becken in der obigen Weise gegeneinander fixiert werden, ist jedenfalls keine natürliche, man wird sie vielmehr als „H a l t u n g d e r Muskelschwachen und der Greise bezeichnen“

müssen, und selbst bei dieser ist eine gewisse Muskeltätigkeit erforderlich.

Indessen gibt es in der Tat eine aufrechte Stellung, bei der nur minimale Muskelanstrengung erforderlich ist, die sog. *Normalhaltung*; sie ist identisch mit der Haltung eines in Rückenlage auf ebener Unterlage ruhenden Körpers. Dabei befindet sich der Schwerpunkt des Rumpfes senkrecht über der Hüftgelenkachse, und diese senkrecht über der Fußgelenkachse. Die Muskeln haben dann nur die Kniee gestreckt und die Wirbelsäule aufrecht zu halten.

Die *wirkliche natürliche Haltung beim Stehen* kommt dagegen durch vielfältige beständig korrigierte Muskelwirkung zustande, wobei nicht bloß eine Muskelgruppe, sondern auch ihre Antagonisten tätig sind. Dabei bilden Unter- und Oberschenkel einen nach hinten wenig offenen Winkel so, daß die Mitte des Kniegelenks etwa 10 mm vor der Verbindungslinie des Fuß- und Hüftgelenks sich befindet. Die Hüftgelenkachse liegt 5 cm vor der Fußgelenkachse, dennoch erscheint das Becken nicht vorgeschoben, weil der Schwerpunkt nahezu senkrecht über der Hüftgelenkachse liegt. Das Lot vom Gesamtschwerpunkt des Körpers fällt auf diese Weise ungefähr 4 cm vor die Fußgelenkachse. Hieraus ergibt sich, daß beim Stehen in natürlicher Haltung, damit der Körper im Fußgelenk nicht nach vorn überbiegt, dauernd Muskelanstrengung nötig ist.

Die Korrektur der Muskelwirkung wird reflektorisch ausgelöst, vornehmlich durch das Druckgefühl der Fußsohlen, teils auch durch den Muskelsinn und durch den Gesichtssinn. Sind die sensiblen Bahnen für die unteren Extremitäten gelähmt (Tabes), so wirkt allein der Gesichtssinn; daher Kranke mit Tabes bei geschlossenen Augen unsicher stehen.

Sitzen.

Hierbei ruht die Last des Oberkörpers auf den Sitzknorren des Beckens und auf dem hinteren, dem Sitz aufliegenden Teil der Oberschenkel. Beim Sitzen ohne Rückenlehne muß die Tätigkeit der Rückenspanner die labile Gleichgewichtslage erhalten.

Gehen.

Beim Gehen wird der Schwerpunkt des Körpers durch die abwechselnde Tätigkeit beider Beine in horizontaler Richtung vorwärts bewegt. Dabei wechselt ein Zeitraum, in dem beide Beine aufstehen, ab mit einem Zeitraum, in dem das eine aufsteht, das andere vorbeischwingt. Der Körper ruht zeitweise nur auf einem Bein, welches ihn zuletzt vorwärts stößt, dasselbe Bein ist also erst „Stützbein“, und dann „Stoßbein“ (inzwischen schwingt das andere pendelartig vorbei), dann selbst „Hang- oder Schwungbein“.

Das Schwungbein kommt in leicht gebogener Lage mit der Ferse zuerst auf den Boden an und wird zum **S t ü t z b e i n**. Durch die dem Rumpf infolge der Stemmwirkung des anderen Beines schon erteilte Schwungkraft wird es um den jeweiligen Stützpunkt des Fußes als Drehpunkt nach vorn gedreht, bis der Oberschenkelkopf, der dabei eine kleine Senkung erfährt, vor dem Fußgelenk liegt.

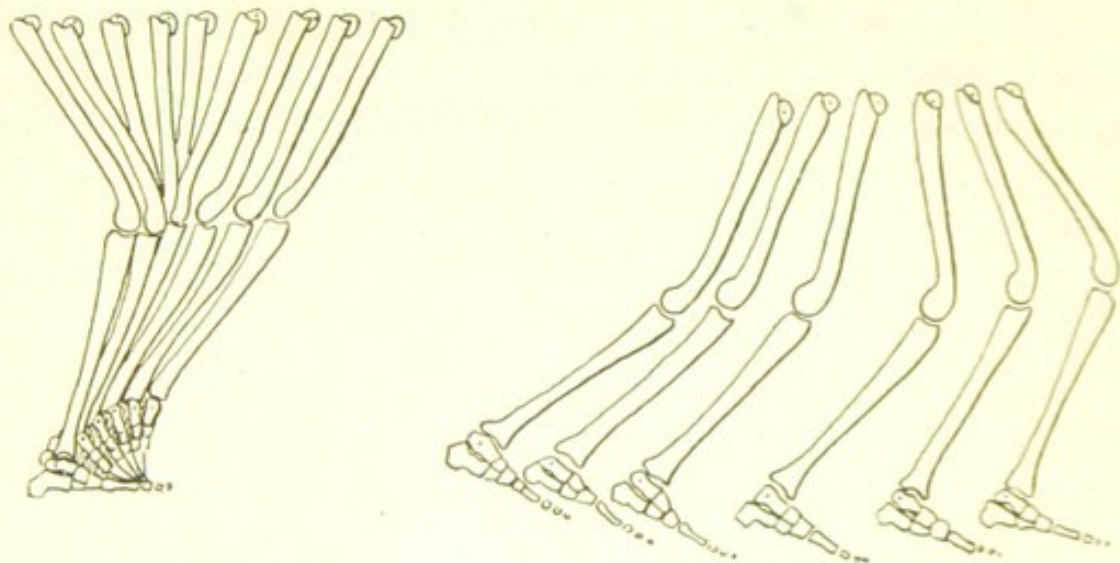
Das Stützbein wird nun zum **S t o ß b e i n**, indem es in zunehmendem Maße durch die Aktion der Streckmuskeln verlängert wird, so daß der Oberschenkelkopf mit einer kleinen Hebung nach vorn bewegt wird. Die Fußsohle wickelt sich dabei von der Ferse nach den Zehen zu vom Boden ab. Durch die vollständige Streckung des Beines kommt der Stoß zustande, der den Schwerpunkt des Körpers nach vorn treibt. Jetzt erfolgt eine kleine Beugung im Hüft- und Kniegelenk, das Bein wird für die fernere Unterstützung zu kurz, es wird zum Schwungbein.

Das **S c h w u n g b e i n**, losgelöst vom Boden, hängt am Rumpfe und schwingt nach Art eines Pendels durch aktive Muskelwirkung nach vorn, wobei es, um nicht am Boden zu schleifen, noch weiter im Knie- und Fußgelenk gebeugt wird. Ist das Schwungbein vorn angelangt, so wird es durch die Streckmuskeln gestreckt, kommt aber noch in leicht gebogener Haltung auf den Boden; es wird wieder Stützbein und fängt den infolge der Beugung des anderen Stützbeins nicht mehr unterstützten Körper auf.

Der Mensch fällt demnach bei jedem Schritt auf das vorgestellte Bein.

Den **Z e i t r a u m** vom Niederkommen des Beines bis zu seiner Ablösung vom Boden nennt man die **a k t i v e P h a s e**,

den der Schwingung die *passive Phase*. Die Dauer eines Schrittes umfaßt den Zeitraum zwischen dem Aufsetzen des einen und des anderen Beines.



Stützbein

und

Hangbein

nach Gebr. Weber. Fig. 33.

Da der Stoß des Stoßbeines seitlich vom Schwerpunkt angreift, so kommen seitliche Schwankungen des Körpers zustande, die durch die isochronen entgegengesetzt pendelnden Bewegungen der Arme ausgeglichen werden.

Je schneller wir gehen, um so niedriger werden die Schenkelköpfe getragen. Denn durch die niedrige Haltung der Schenkelköpfe werden die Schritte länger, weil die Spannweite vergrößert wird, und schneller, weil das schwingende Pendel, das Schwingbein, verkürzt wird (s. Anhang).

Laufen.

Es wechselt ein Zeitraum, in dem kein Bein auf dem Boden steht, ab mit einem Zeitraum, in dem ein Bein auf dem Boden steht und das andere schwingt. Durch die energische Streckung der Beine wird der Körper gleichsam durch die Luft geworfen.

Sprung.

Hierbei ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper durch die Beinstreckung in die Luft geworfen wird, noch größer als beim gewöhnlichen Laufen. Geschieht der Wurf nur nach aufwärts, so erfolgt keine Progressivbewegung, „Sprung auf der Stelle“.

22. Stimme und Sprache.

A. Stimme.

Das Stimmorgan.

Die Stimmbildung geschieht im K e h l k o p f; er ist physikalisch als eine m e m b r a n ö s e Z u n g e n p f e i f e zu betrachten. Die Stimmbänder (Lig. thyreo-arytaenoidea inf.) sind die membranösen Zungen; sie werden angeblasen durch den Expirationstrom, den die Lungen als Blasebalg liefern; doch ist es auch möglich, inspiratorisch Stimme zu geben. Die Luft-röhre stellt die Windlade, Rachen-, Nasen- und Mundhöhle das Ansatzrohr vor. Alle diese lufthaltenden Räume dienen zugleich der Resonanz.

Indem der Expirationstrom die sich oben berührenden und gespannten Stimmbänder in regelmäßig sich wiederholende Schwingungen versetzt, übertragen sich diese Schwingungen auf die umgebende Luft und erzeugen darin ihnen gleiche longitudinale oder Verdichtungswellen, die wir als Ton wahrnehmen. Die Tonhöhe ist der Schwingungszahl in der Zeiteinheit proportional. Bei membranösen Zungen hängt die Schwingungszahl ab von ihrer Länge, Spannung und Dicke, außerdem bei gleicher Zunge von der Stärke des anblasenden Stromes.

Bau des Kehlkopfs.

Die Knorpel des Kehlkopfs, die bei der Stimmbildung beteiligt sind, sind folgende:

1. Der S c h i l d k n o r p e l, Cart. thyreoidea, besteht aus zwei unter nahezu rechtem Winkel nach vorn zusammenstoßenden Platten; er bildet die vorderen und die seitlichen Wände des Kehlkopfs. Mittelst der oberen Hörner ist er am Zungenbein aufgehängt; die unteren Hörner artikulieren mit den Seitenflächen des Ringknorpels.

2. Der Ringknorpel, *Cart. cricoidea*, besteht aus einem vorderen niedrigen und einem hinteren hohen Teil, hat sonach die Form eines Siegelringes, dessen Stein nach hinten dorsalwärts gelegen ist. Er bewegt sich gegen den Schildknorpel um eine Achse, die horizontal in der Frontalebene liegend durch die unteren Hörner des Schildknorpels und den Ringknorpel selbst geht.

3. Die beiden Gießbeckenknorpel, *Cartt. arytaenoideae*. Es sind zwei schmale dreiseitige Pyramiden, mit der Basis ziemlich dicht nebeneinander auf den hinteren oberen Rand der *Cart. cricoidea* artikulierend so gestellt, daß eine vordere Ecke (= *Proc. vocalis*) in das Kehlkopfinnere vorspringt, eine laterale Ecke (= *Proc. muscularis*) seitwärts nach außen die *Cart. cricoidea* überragt und zwischen beiden (Ary-) Knorpeln ein Raum bleibt, der je nach ihrer Stellung verschiedene Form zeigt. Die Artikulation gegen den Ringknorpelrand stellt ein Charniergelenk dar; es findet Rotation um die Gelenkfläche auf den Ringknorpel statt, wodurch der *Proc. vocalis* nach oben und außen bewegt wird (= Erweiterung der Stimmritze, umgekehrt Verengung). Hierzu kommt noch eine geringe Gleitbewegung und auch eine Rotation um die Längsachse der Pyramide.

Die **Stimmbänder**, aus elastischem Gewebe bestehend und von Pflasterepithel überzogen, ziehen von der Hinterwand des Schildknorpels zur vorderen Ecke, dem *Processus vocalis*, des Gießbeckenknorpels. Sie sind in ihrer Länge und Dicke je nach Alter und Geschlecht verschieden. Sie begrenzen mit den Aryknorpeln die Stimmritze, Glottis. Den zwischen den Stimmbändern gelegenen Teil derselben hat man als *Glottis intermembranacea*, den zwischen den Aryknorpeln gelegenen Teil als *Glottis intercartilaginea* bezeichnet.

Bei ruhigem Atmen sind die beiden Stimmbänder und Aryknorpel ziemlich weit voneinander entfernt und bilden annähernd ein gleichschenkliges Dreieck. Bei tiefster Einatmung gehen diese Teile noch weiter auseinander und bilden die Figur eines Trapezes, indem Stimmbänder und Aryknorpel jederseits einen stumpfen Winkel miteinander bilden. Die Stellung der Stimmbänder an der Leiche, Kadaverstellung, ähnlich der bei der Lähmung der *Nn. recurrentes*, ist enger als die Ruhestellung.

Bei der Einatmung werden die Stimmbänder, bes. im hinteren Teil, meist ein wenig entfernt, bei der Ausatmung geht die Bewegung zurück.

Bei der Stimmbildung, Phonation, werden Knorpel und Stimmbänder bis zur Berührung genähert; der feine Spalt, der zwischen ihnen bleibt, ist die Stimmritze (*Glottis vocalis*).

Vollkommen verschwindet die Stimmritze nur beim Pressen, Husten und ähnlichen Verrichtungen. Bei der Flüstersprache, insbesondere wenn sie etwas lauter ist, bleibt die *pars intercartilaginea* offen, während die *pars intermembranacea* mehr geschlossen ist. Deswegen hat man früher fälschlich die erstere *glottis respiratoria*, die letztere *glottis vocalis* genannt.

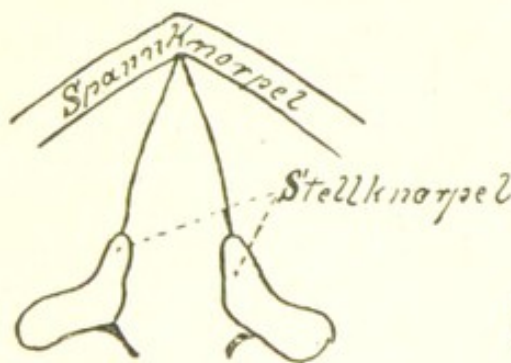
Die Muskeln des Kehlkopfs dienen zum Verschluß und zur Öffnung der Stimmritze und zur Spannung der Stimmbänder.

Verschllossen wird die Stimmritze durch die Adduktoren: in der *pars intermembranacea* durch den *M. cricoarytaenoideus lateralis* (von der Seitenfläche des Ringknorpels schräg nach hinten und oben zur äußeren Ecke, dem *Processus muscularis*, des Aryknorpels), er dreht den Aryknorpel so um seine vertikale Achse, daß der *Proc. vocalis* zur Medianlinie rückt; ferner durch den *M. thyreo-arytaenoides ext.* (vom unteren Teil des Winkels der *Cart. thyreoidea*, zum Teil auch vom benachbarten *Lig. conicum* nach hinten und oben zum seitlichen Rand der Aryknorpel und vorderen Teil des *Proc. muscul.*), dreht ebenfalls den *Proc. vocalis* nach innen und, indem er die unteren Parteen des Stimmbandes in die Höhe zieht, verbreitert er dasselbe und nähert es der Medianlinie. In der *Pars intercartilaginea*: durch den *M. arytaenoideus transversus* (auf der hinteren Fläche der Aryknorpel); er nähert im Verein mit dem *thyreo-arytaenoideus ext.* die ganzen Aryknorpel einander.

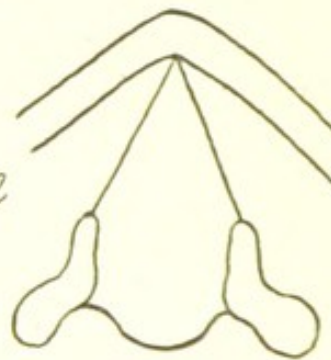
Geöffnet wird die Stimmritze durch die Abduktoren: den *M. crico-arytaenoidus posticus* (von der hinteren Fläche des Ringknorpels schräg nach oben und lateral zum *Proc. muscularis*); er dreht den *Proc. vocalis* nach außen. Er wird unterstützt durch den *M. crico-arytaenoideus lat.*, der den Aryknorpel auf der schräg nach unten und außen geneigten Gelenkfläche abwärts gleiten macht. In diesem Falle ist also der *crico-arytaenoideus lateralis* Synergist des *posticus*; der Hauptwirkung nach aber ist er ein Antagonist desselben, wirkt als Adduktor. Geöffnet wird die Stimmritze ferner durch den *M. arytaenoideus transv.*, der die Aryknorpel um eine vertikale

Achse und damit den Proc. vocalis nach außen dreht. Dadurch wird also auch dieser Muskel bei der Öffnung Antagonist eines für die Schließung synergistisch mit ihm wirkenden Muskels, des M. thyreo-arytaenoideus ext.

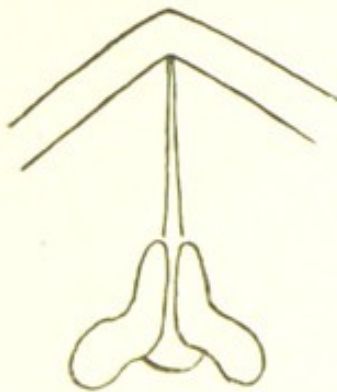
Gespannt werden die Stimmbänder durch die Mm. crico-thyreoidei, welche den vorderen Teil des Ringknorpels heben, den hinteren Teil, die Platte, und die damit verbundenen Aryknorpel nach unten und rückwärts ziehen. Durch Ligamente werden die Aryknorpel dabei am Überkippen nach vorn gehindert.



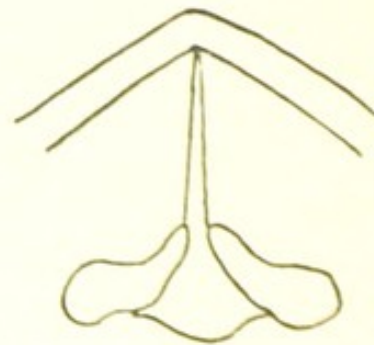
a. Stellung bei ruhigem Atmen.



b. Wirkung der Mm. crico-arytaen. post.



c. Wirkung der Mm. arytaenoidei.



d. Wirkung der Mm. thyreo-arytaenoidei.

Fig. 34. Schema der Wirkungsweise der Kehlkopfmuskeln.

Entspannt werden die Stimmbänder durch die Mm. thyreo-arytaenoidei ext. und die in ihnen selbst verlaufenden Mm. thyreo-arytaenoidei int. (Mm. vocales), indem sie die Endpunkte der Stimmbänder einander nähern. Die int. haben aber noch die wichtige Bedeutung, daß sie der ganzen Masse der Stimmbänder eine für die Aussprache günstige Stellung und Form, sowie die nötige innere Spannung und Festigkeit geben.

I n n e r v i e r t werden der Crico-thyreoideus vom N. laryngeus sup., alle anderen Muskeln vom N. laryngeus inf. (s. recurrens).

Zur Beobachtung der Stimmbänder dient der Kehlkopfspiegel Laryngoskop, erfunden von Garcia 1855.

Das Ansatzrohr des Kehlkopfes wird gebildet durch den Raum über den wahren Stimmbändern. Hierzu gehören zunächst die Morgagni'schen Ventrikel mit den falschen Stimmbändern, die beim Menschen mit dem schleimig-serösen Sekret ihrer überaus zahlreichen Drüsen hauptsächlich die Aufgabe haben, die wahren Stimmbänder zu befeuchten und sie geschmeidig und leicht schwingungsfähig zu erhalten. Die Rachen-, Nasen- und Mundhöhle ferner stellt einen Raum von sehr komplizierter Gestalt dar, der in außerordentlich mannigfacher Weise verändert werden kann. Hierdurch wird der Klang der Stimme und ihr reicher Wechsel geschaffen. Nicht beeinflußt wird vom Ansatzrohr.

Die Höhe und Tiefe der Stimme.

Zufolge dem, was oben über die Tonhöhe bei Zungenpfeifen gesagt ist, ist die menschliche Stimme um so höher, je kürzer, je gespannter und je dünner die Stimmbänder sind.

Wegen größerer Kürze und Dünne der Stimmbänder haben Kinder eine höhere Stimme als Frauen, Frauen eine höhere als Männer. Bei diesen sind die Stimmbänder etwa 18 mm lang, bei Frauen 13 mm, bei Knaben unter 14 Jahren etwa 11 mm. Mit der Entwicklung der Mannbarkeit werden auch die Stimmbänder länger, die Stimme vertieft sich, mutiert.

Bei ein und demselben Individuum kann die **S t i m m e e r h ö h t** werden 1. durch stärkere Längspannung der Stimmbänder, 2. durch Verkürzung der schwingenden Teile der Stimmbänder, indem sich von hinten her die Gießbeckenknorpel mit ihren inneren Flächen immer mehr aneinander legen, 3. durch Veränderung der Gestalt der Stimmbänder, erzeugt durch verschiedene Tätigkeit des M. vocalis (bei der Fistelstimme s. u.), 4. durch stärkeres Anblasen bei gleicher Spannung.

Soll umgekehrt bei stärkerem Anblasen, bei lauterem Singen die Tonhöhe dieselbe bleiben, so muß in gleichem Maße eine Entspannung der Stimmbänder erfolgen; ebenso bei

schwächerem Anblasen, bei leiserem Singen, eine Anspannung: *Kompensation der Kräfte am menschlichen Stimmorgan* (Joh. Müller). Von der Ausbildung dieser Kompensation hängt auch die Sicherheit des Stimmeinsatzes bei beliebiger Tonstärke ab. Ein wie außerordentlicher Grad der Sicherheit hierin von geübten Sängern erreicht wird, beweist der Umstand, daß ihnen das Treffen des beabsichtigten Tones bis auf Fehler von 1 pCt. der Schwingungszahl (= nur etwa $\frac{1}{8}$ Ton) gelingt. Das kleinste Intervall, das die menschliche Stimme bilden kann, beträgt etwa $\frac{1}{4}$ Ton.

Damit überhaupt die Stimmbänder in Schwingung versetzt werden, bedarf es bei einem Ton von mittlerer Höhe und Stärke eines Expirationstoßes von mindestens 12 mm Quecksilberdruck; bei lautem Rufen kann der Druck bis auf 70 mm Hg steigen.

Stimmregister.

Man unterscheidet an der menschlichen Stimme hauptsächlich zwei Register, die *Brust-* und die *Falsett-* oder *Fistelstimme*. Die tiefsten Töne werden mit der Brust-, die höchsten mit der Fistelstimme gesungen. Dazwischen liegt eine Skala, die auf beiden Registern gegeben werden kann. Dabei ist die Bruststimme klangreicher, d. h. reicher an tieferen Obertönen, der Ton kann ohne Atemholen länger angehalten werden, strengt auch weniger an als die Fistelstimme.

Der Unterschied zwischen beiden Registern besteht darin, daß die Resonanz bei den tiefen Tönen der Bruststimme vorwiegend im Thorax stattfindet, bei den hohen Tönen der Fistelstimme vorwiegend in den oberen Lufträumen (Mund, Rachen, Nasenhöhle). Außerdem sollen bei der Fistelstimme die Stimmbänder nur teilweise schwingen entweder mit einem schmalen Saum (= innere Kante der Stimmbänder), oder nur mit einem (dem vorderen) Teil ihrer Länge und jedenfalls mit starker Spannung.

Umfang und Lage der Stimme.

Unter Umfang versteht man den Abstand zwischen dem höchsten und dem tiefsten Ton, den ein Individuum hervorbringen kann; unter Lage denjenigen Teil der Tonskala, in

welchem sich der Umfang befindet. Die Bruststimme eines jeden Menschen umfaßt etwa 2 Oktaven. Man unterscheidet:

Baß:	die Töne liegen zwischen	e	(80)	und	f'	(342)
Tenor:	„ „ „ „	c	(128)	und	c''	(512)
Alt:	„ „ „ „	f	(171)	und	f''	(684)
Sopran:	„ „ „ „	c'	(256)	und	c'''	(1024).

Die beigelegten Zahlen geben die Schwingungszahl des betreffenden Tones in 1 Sekunde an.

Die menschliche Stimme überhaupt umfaßt demnach etwa 4 Oktaven.

Ausnahmweise wurde vom Baß (Gaspard Forster) das Contra F (42 Schwingungen), vom Sopran (Lucrezia Ajugari) das c''' (2048 Schwingungen) erreicht.

Klangfarbe.

Die Klangfarbe hängt ab von der Zahl und Stärke der Obertöne, die sich zu dem im Kehlkopf erzeugten Grundton mischen. Die Obertöne entstehen dadurch, daß die in den Hohlräumen über und unter dem Kehlkopf befindliche Luft in Mitschwingung versetzt wird. Von besonderer Bedeutung für die Unterscheidung der Vokale sind die Obertöne des Ansatzrohres, die von der Konfiguration desselben abhängen.

Brust- und Fistelstimme in der beiden gemeinsamen mittleren Skala unterscheiden sich ebenfalls nur durch die Klangfarbe.

Jeder Mensch hat ein ihm eigentümliches Stimm-Timbre; dasselbe hängt von der Gestaltung aller dem Stimmorgan zugehörigen Räume ab.

B. Sprache.

Die Sprache setzt sich zusammen aus Sprachlauten; diese werden eingeteilt in Vokale und Konsonanten. Vokale sind Klänge, Konsonanten Geräusche.

Vokale.

Sie entstehen dadurch, daß, wie schon erwähnt, zu dem im Kehlkopf gebildeten Grundton sich die Töne des Ansatzrohres, die durch verschiedene Konfiguration desselben, des Rachens und der Mundhöhle, hervorgebracht werden, als Obertöne bei-

mischen, während die Nasenhöhle abgeschlossen ist. * Fehlt dieser Abschluß, so entstehen näselnde Laute.

Die Gestalt des Ansatzrohres stellt beim *A* einen nach vorn offenen Trichter dar, beim *I* eine Flasche mit einem nach hinten gelegenen großen Körper, den der Kehlraum bildet, und einem nach vorn gelegenen langen und engen Hals, den die emporgewölbte Zunge und der harte Gaumen bilden. Beim *U* bildet das Ansatzrohr eine rundliche Flasche ohne Hals mit zwei diametralen Öffnungen, von denen die Ausgangsöffnung vorn zwischen den Lippen eng, die Eingangsöffnung hinten, wo die Zunge platt auf dem Boden der Mundhöhle liegt und nur in ihren hinteren Partien zum Gaumen emporgehoben ist, mäßig weit ist. Alle anderen Vokale werden durch Mundstellungen gebildet, die Übergangsformen von der einen zur anderen dieser extremen Konfigurationen sind. Man kann daher folgendes Diagramm für das natürliche System der Vokale aufstellen:

	a	
	ä	ao
e	ö	o
i	ü	u

Für jeden Vokal hat also die Mundhöhle eine besondere Konfiguration und ist auf einen oder zwei bestimmte Töne abgestimmt, die *Vokaltöne*, deren Lage auf der Tonskala konstant ist („absolutes Moment“). Diese ein bez. zwei Vokaltöne, und nicht ein zum Grund-(Stimm-)Ton bestimmter Oberton, dessen Lage auf der Tonskala also mit der Lage des Grundtons wechselt („relatives Moment“), machen das Wesen des Vokals aus. Da aber derselbe Vokal in verschiedener Tonhöhe gesungen werden kann, so muß die absolute Höhe der Vokaltöne einen gewissen Bereich einnehmen, innerhalb deren er verschoben werden kann, „Verstärkungsgebiet“, ohne daß der Vokalcharakter sich ändert.

Diejenigen Vokale bei denen das Ansatzrohr durch die Stellung der Zunge in zwei Abteilungen getrennt ist (*A—I* Reihe) haben zwei Eigentöne die *U—A* Reihe nur einen.

Die Vokaltöne lassen sich auf analytischen und synthetischen Wege ermitteln. Bei der Analyse gebraucht man Resonatoren, die nur auf einen Ton abgestimmt sind. Man läßt einen Vokal

erklingen und probiert aus, welcher von der Resonatoren mit-
tönt. Bei der Synthese läßt man Stimmgabeln, die auf die Vokal-
töne abgestimmt sind, zusammen ertönen.

Die Vokaltöne der Mundhöhle mischen sich der im Larynx
hervorgebrachten Stimme bei. Nach der einen Ansicht, „Re-
sonanztheorie“, sind sie im Stimmton als Obertöne enthalten;
da ihre Lage auf der Tonskala wie bemerkt, konstant ist, so muß
ihre Ordnungszahl als Oberton je nach der Höhe des Stimm-
tones wechseln. Das Ansatzrohr wirkt nun als Resonator und
verstärkt eben den seiner jedesmaligen Konfiguration entsprechen-
den Oberton der Stimme.

Diese Resonanztheorie hat man neuerdings widerlegt und
eine andere aufgestellt. Danach wird das Ansatzrohr durch
die Luft-Schwingungen des Stimmtones aus dem Larynx inter-
mittierend angeblasen; so werden die ihm eigentümlichen be-
stimmten Töne, die *Formanten*, die meist sogar unhar-
monisch zum Grundton sind, völlig isoliert hervorgebracht und
der Stimme zugemischt.

Diphthonge.

Nicht alle Laute, welche in der Schrift durch zwei Vokal-
zeichen ausgedrückt werden, sind Diphthonge. Diese sind viel-
mehr physiologisch dadurch charakterisiert, daß man aus der
Mundstellung für den einen Vokal schnell in die für den anderen
übergeht, die Stimme während dieser Bewegung lauten läßt und
den ersten der beiden vokalischen Bestandteile stärker akzen-
tuiert. Nicht alle Vokale eignen sich gleich gut für Diphthongen;
die besten Diphthongen sind die, welche von einem vollen Vokal
(*A*) zu einem weniger klangvollen (*U*, *I*) übergehen.

Flüstersprache.

Bei ihr findet im Gegensatz zur lauten Sprache, keine Stimm-
gebung im Kehlkopf statt. An den mäßig von einander ent-
fernten Stimmbändern wird nur ein Reibungsgeräusch erzeugt.

Konsonanten.

Während bei den Vokalen das Ansatzrohr *Schall modifi-
zierend* wirkt, ist es bei den Konsonanten als *Schall
bildend* tätig. Es wird bei denselben irgendwo im Ansatz-

rohr vom Kehlkopf einschließlich bis zu den Lippen entweder eine Enge gebildet, in welcher der Luftstrom ein selbständiges, vom Tone der Stimme unabhängiges Geräusch hervorbringt, d. s. die *Dauergeräusche*, oder es wird irgendwo im Ansatzrohr ein Verschluß hergestellt und dann gesprengt, wiederum unter Bildung eines charakteristischen Geräusches, d. s. die *Verschluß- oder Explosivlaute*. Hierzu kommen noch als dritte Gruppe die *Semivocales* (Liquidae) welche insofern zu den Vokalen gehören, als sie geräuschlose Klänge mit einem oder mehreren festen Formanten (s. o.) sind, doch haben sie nicht den entschieden musikalischen Charakter der Vokale; daher *Halbvokale* genannt. Sie zerfallen wieder in glatte und remittierende Halbvokale.

1. Die *glatten Halbvokale*. Bei den *Nasallauten* *M*, *N*, *Ng* ist die Mundhöhle an einer Stelle verschlossen, das Gaumensegel hängt herab und der tönende Luftstrom entweicht durch die Nase. Dabei wird die in der Nase eingeschlossene Luft in mehr oder minder starke Resonanz versetzt, was aber wesentlich nur für *Ng* ist. Bei *M* liegt der Verschluß der Mundhöhle zwischen den Lippen, bei *N* zwischen der Zungenspitze und dem harten Gaumen (die Lippen sind mäßig geöffnet) bei *Ng* zwischen dem Zungenrücken und dem hinteren Teil des harten Gaumens oder dem weichen Gaumen. Bei den *L-Lauten* entweicht der Luftstrom durch zwei seitliche, symmetrisch zur Mittellinie gelegene Engen der Mundhöhle nach außen. Beim *L* der Deutschen legt sich die Zunge mit ihrem Rande dicht oberhalb der Vorder- und Backenzähne an den Alveolarfortsatz des Oberkiefers an und läßt zwei kleine seitliche Lücken in der Gegend der ersten Backenzähne frei. Durch diese Lücken entweicht der tönende Luftstrom und geht zwischen der inneren Seite der Wangenschleimhaut und der äußeren der seitlichen Zähne nach außen. Das Gaumensegel ist geschlossen, die Lippen sind so weit geöffnet, daß man die Zähne sieht.

2. Die *remittierenden Halbvokale*, die *R- oder Zitterlaute* entstehen dadurch, daß im Ansatzrohr oder im Kehlkopf selbst ein leicht beweglicher Teil desselben durch den Luftstrom wie eine Zunge in Schwingungen, in zitternde Bewegung versetzt wird, wodurch der Stimmton intermittierend wird. Je nach dem Ort, wo diese periodischen Unter-

brechungen stattfinden, unterscheidet man ein Lippen-*R* (hier schwingen die Lippen gegen einander), ein Zungen-*R* (hier schwingt der vordere Teil der Zunge, der an den Alveolarfortsatz des Oberkiefers und an die Vorderzähne anschlägt), ein Zäpfchen-*R* (hier schwingt das Zäpfchen in einer Rinne in der Mitte der hintern Partie der Zunge), ein Kehlkopf-*R* (durch langsames Erzittern der Stimmbänder, die zu gleicher Zeit in normaler Weise schwingen können).

3. Die *Dauergeräusche* bestehen aus kontinuierlichen Geräuschen, welche gewisse charakteristische Formanten enthalten; sie können mit und ohne Stimme gesprochen werden. Das Gaumensegel ist bei ihnen gehoben.

Die Enge wird von den beiden Lippen oder der Unterlippe und den Oberzähnen gebildet: stimmlos *F* (*V*), mit Stimme *W*.

Die Enge liegt zwischen der Zungenspitze, die sich in der Mitte ein wenig aushöhlt, und Alveolarfortsatz des Oberkiefers: ohne Stimme scharfes *S*, mit Stimme weiches *S*.

Die nächste Enge wird gebildet, indem sich die Zunge etwas weiter nach hinten an den harten Gaumen legt: stimmlos *Sch*¹), mit Stimme das französische *J*.

Wird die Enge gebildet zwischen Zungenrücken und hartem Gaumen, so entsteht ohne Stimme das deutsche *Ch* (in *Pech*), mit Stimme das deutsche *J*.

Liegt die Enge zwischen den Stimmbändern selbst, so entsteht das deutsche *H*, im Altgriechischen durch den *Spiritus asper* bezeichnet.

4. Die *Verschlußlaute*. Wird der Lippenverschluß gesprengt, während hierbei die Stimmritze geöffnet und das Gaumensegel natürlich fest geschlossen ist, so entsteht ohne Stimme *P*, mit Stimme *B*.

Wird der Verschluß zwischen Zunge und vorderer Hälfte des harten Gaumens gebildet, so entsteht ohne Stimme *T*, mit Stimme *D*.

Kommt der Verschluß zwischen Zungenrücken und dem hinteren Teil des harten Gaumens oder selbst dem weichen Gaumen zu stande, so entsteht ohne Stimme *K*, mit Stimme *G*.

Wird der Verschluß der Stimmbänder gesprengt, so entsteht ein Laut, der in der arabischen Sprache als besonderer Laut ge-

sprochen wird (Hamze), bei den alten Griechen wurde er durch den Spiritus lenis ausgedrückt.

Man hat neuerdings mit Hilfe des Edison'schen Phonographen Kurven von den Vokalen und Konsonanten aufgenommen, welche eine eingehendere Analyse ermöglichen.

Wir haben bisher immer die Annahme gemacht, daß die Sprachlaute zu stande kommen durch den *Exspirationstrom*; dies ist auch bei den Sprachen der indogermanischen Völker der Fall.

Eine Ausnahme machen die Zulu-Sprachen, bei denen die Schnalzlaute (z. B. das *C* in Cetewajo) *Inspirationslaute* sind. Solche Schnalzlaute werden von den Zulus an allen erwähnten Artikulationstellen gebildet.

Auch die „Jodler“ oder „Jauchzer“ der Alpenbewohner werden meist inspiratorisch gebildet.

Bei den Tieren sind die Laute ebenfalls vorwiegend expiratorisch. Beim Gesang der Vögel spielen indessen Inspirationslaute eine große Rolle. Pferd und Esel können ebenfalls vermittelt des Inspirationstromes die Stimmbänder in schwingende Bewegung versetzen. Das Wiehern des Pferdes, das Schreien des Esels erfolgt teils inspiratorisch, teils expiratorisch. Das Grunzen und Quietschen der Schweine erfolgt vorwiegend inspiratorisch. Das Pfeifen der Murmeltiere ist ein Inspirationslaut.

¹⁾ *Sch* ist also ein einfacher Laut, obgleich wir ihn mit drei Consonanten schreiben; einige Sprachen (Sanskrit, Semitisch, Altslavisch, Russisch) haben auch ein eigenes und einfaches Lautzeichen dafür.

Einleitung zur Sinnesphysiologie.

Der adäquate Reiz. Empfindung.

Die Sinnesorgane stellen periphere Endapparate der sensiblen Nerven dar, die normalerweise auf einen bestimmten Reiz hin, den *a d ä q u a t e n* Reiz, den Erregungsprozeß in dem ihm zugehörigen Nerven auslösen. So sind für das Auge gewisse Ätherschwingungen, für das Ohr gewisse Luftschwingungen der adäquate Reiz. Doch kann die Erregung auch durch verschiedene andere Reize ausgelöst werden gerade so, wie beim motorischen Nerven die verschiedensten Reize Zuckung des zugehörigen Muskels hervorrufen.

Den der Erregung der sensiblen Nerven parallel gehenden geistigen Vorgang nennen wir *E m p f i n d u n g*.

Einteilung der Empfindungen.

Wir unterscheiden die Empfindungen ihrer *M o d a l i t ä t* nach in solche, zwischen denen keine Übergänge möglich sind (Gesicht, Gehör, Geschmack usw.); jeder derselben wird uns durch besondere Nerven vermittelt.

Auf die Tatsache, daß bei einigen dieser Nerven jeder überhaupt wirksame Reiz nur die dem Nerven eigentümliche Empfindungsmodalität auslöst, daß z. B. mechanische, elektrische Reizung des Opticus immer nur Lichtempfindung bewirken soll, hat man das Gesetz der *s p e z i f i s c h e n* *E n e r g i e* des Sinnesnerven begründet. Dies beruht nicht auf einer besonderen Beschaffenheit der Sinnesnerven, sondern auf der Eigenart ihrer zentralen Endorgane, auf der Natur der erregten Sinneszentren im Gehirn. Wir empfinden nicht die Einwirkungen der Außenwelt auf unseren Körper als solche, sondern nur wie sie von unserem Gehirn aufgenommen werden.

Innerhalb jeder Modalität unterscheiden wir wieder die Empfindungen nach ihrer *Q u a l i t ä t* (rotes und grünes Licht), nach ihrer *Q u a n t i t ä t* (*I n t e n s i t ä t*) (helles und dunkles Licht). Außerdem kann noch unterscheidend hinzutreten der *G e f ü h l s t o n* (ob sie mit Lust- oder Unlustgefühl verbunden sind).

Intensität der Empfindung.

Während ganz schwache Reize noch unwirksam sind, fangen sie, bis zu einem bestimmten Grade verstärkt, eben an, zu wirken, „*R e i z s c h w e l l e*“ oder „*S c h w e l l e n w e r t* der *E m p f i n d u n g*“. Die kleine Zunahme des Reizes, welche bei gegebener Empfindung die erste wahrnehmbare Zunahme derselben bewirkt, heißt „*U n t e r s c h i e d s c h w e l l e*“.

Wir nehmen mit unseren Sinnen in bezug auf die Intensität nur Relationen, nicht absolute Größen wahr, nur Empfindungsunterschiede, nicht Empfindungsstärken. So ist das Auge ein relatives aber kein absolutes Photometer.

„Die Zunahme des Reizes, die eine gleich merkliche Zunahme der Empfindung bewirkt, steht zur ganzen Reizgröße in einem konstanten Verhältnis. Es muß der Reiz um so mehr verstärkt werden, um noch einen Zuwachs der Empfindung hervorzurufen, je größer die Empfindung vorher war“. Diesen Satz, den E. H. Weber für einzelne Sinnesgebiete gefunden hatte, erweiterte G. Fechner zum *p s y c h o p h y s i s c h e n* *G e s e t z* für alle Sinnesgebiete: „Die Empfindungen wachsen nicht wie die absoluten Größen der Reize, sondern annähernd wie die Logarithmen der Reizgrößen“.

Dieses Gesetz ist erstlich nicht, wofür man es gehalten, psychophysischer Natur, d. h. es bestimmt nicht die Wechselwirkung zwischen Außen- und Innenwelt, zwischen körperlichen und geistigen Vorgängen. Denn *E m p f i n d u n g* kann sich nur an *E m p f i n d u n g* messen, es gibt keine Brücke von den physischen Vorgängen zu den psychischen. Es ist das Gesetz vielmehr lediglich ein psychisches Gesetz.

Aber auch als solches ist es zweitens in dieser Allgemeingültigkeit nicht richtig. Denn es lassen sich Versuchsbedingungen treffen, wo die Empfindungsgröße sich annähernd direkt proportional zur Reizgröße verhält.

Es ist demnach dieses Weber-Fechner'sche Gesetz nur der mathematische Ausdruck für einen unter bestimmten Bedingungen eintretenden Spezialfall eines allgemeineren psychologischen Gesetzes, des Gesetzes nämlich von der Relativität unserer inneren Zustände.

Dauer der Empfindung.

In bezug auf die Dauer läßt sich sagen, daß in einigen Modalitäten (Gesicht, Gefühl) die Empfindung den Reiz überdauert, *Nachempfindung*.

Bedeutung der Empfindung.

Die Empfindungen sind rein geistige Vorgänge in uns, Licht, Ton, Geruch usw. existieren nicht außer uns, kommen nicht etwa objektiv dem adäquaten Reiz zu. Es entsprechen ihnen vielmehr lediglich materielle Veränderungen unseres Körpers, die durch innere oder äußere chemisch-physikalische Vorgänge hervorgerufen werden.

Schon die einfachste Wahrnehmung ist, wie uns die empiristische Psychologie lehrt, ein sehr zusammengesetzter Vorgang, bei dem erst die Erfahrung die Verbindung und Deutung der bloßen Sinnesempfindungen regelt.

23. Gesichtssinn.

Wir sehen die Objekte der Außenwelt durch Vermittelung des Lichtes, welches von ihnen her in unser Auge als adäquater Reiz auf den peripherischen Endapparat des N. opticus, die Netzhaut, fällt.

Die in der Netzhaut ausgelöste Erregung wird durch den Sehnerven dem Gehirn zugeleitet und so erhält unser Bewußtsein die Vorstellung von gewissen im Raum befindlichen Gegenständen. Demnach werden wir zu betrachten haben:

I. Die Lehre von den Wegen des Lichtes im Auge, oder, da es sich hier fast nur um Lichtbrechung handelt, die Dioptrik des Auges.

II. Die Lehre von den Empfindungen des Sehnervenapparates.

III. Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.

I. Die Dioptrik des Auges.

Das menschliche Auge gleicht einer photographischen Camera obscura. Die vorn befindliche Konvexlinse derselben ist im Auge ersetzt durch ein System brechender Flächen; die lichtempfindliche Platte stellt die Netzhaut dar. Daß in der Tat auf diese ein umgekehrtes reelles verkleinertes Bild der außen befindlichen Gegenstände entworfen wird, läßt sich direkt durch den Versuch an dem herausgeschnittenen Auge eines albinotischen Kaninchens zeigen; durch die Sklera sieht man das auf die Netzhaut geworfene Bild durchscheinen (Scheiner, 1609).

Brechende Medien.

Während bei der Camera obscura nur ein brechendes Medium, das Glas der Linse, in Betracht kommt, muß der zur Netzhaut gehende Lichtstrahl folgende fünf brechende Medien durchsetzen:

1. Die Tränenschicht, welche die Hornhaut überzieht,
2. die Hornhaut,
3. den Humor aqueus der vorderen Kammer,
4. die Linse,
5. den Glaskörper.

Es hat sich nun herausgestellt, daß der „Brechungsexponent“ (-index) der Tränenschicht vor der Hornhaut, der Hornhaut selbst, des Humor aqueus und des Glaskörpers fast genau gleich sind, nämlich (der Brechungsexponent der Luft = 1 gesetzt) = 1.34, also etwas größer als der des Wassers = 1.33. Die Linse, die beim Menschen etwa 4 mm dick ist, besteht aus konzentrischen Schichten, deren Brechungsvermögen kontinuierlich von außen nach innen zum Linsenkern zunimmt. Durch die Schichtung ist aber erreicht, daß das gesamte Brechungsvermögen, „Totalindex“, der Linse noch größer ist, als wenn sie bei gleicher äußerer Gestalt nur aus ihrer Kernsubstanz bestände.

Für das Folgende nehmen wir der Vereinfachung halber an, daß die Linse gleichmäßig aus einer Substanz gebildet ist, deren Brechungsvermögen (Luft = 1 gesetzt) 1.4371 (= Totalindex der Linse) beträgt, sodaß die brechende Wirkung dieser hypothetischen Linse gleich der der wirklichen geschichteten ist.

Wir haben dann für die Berechnung des Ganges der Lichtstrahlen nur 3 Medien im Auge zu berücksichtigen:

1. ein vorderes, vor der Linse gelegenes (Tränenschicht + Hornhaut + Humor aqueus),
2. die Linse,
3. ein hinteres, der Glaskörper, von gleichem Brechungsexponenten wie 1.

Die Stärke der Lichtbrechung bei dem Übergang von einem Medium in ein anderes hängt zunächst von dem Verhältnis ihrer Brechungsexponenten ab, also

$$\begin{aligned} \frac{\text{vorderes Medium}}{\text{Luft}} &= \frac{1.34}{1} = 1.34, \\ \frac{\text{Linse}}{\text{vorderes Medium}} &= \frac{1.437}{1.34} = 1.07, \\ \frac{\text{Glaskörper}}{\text{Linse}} &= \frac{1.34}{1.437} = 1.91 \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich, daß die Lichtbrechung zwischen Luft und vorderem Medium stärker ist als zwischen Humor aqueus und Linse oder Glaskörper und Linse.

Die lichtbrechenden Flächen.

Die Stärke der Lichtbrechung zwischen zwei Medien hängt zweitens (außer ihrem gegebenen Brechungsverhältnis) von der Gestalt ihrer Flächen ab.

Im Auge haben wir drei brechende Flächen:

1. die Vorderfläche der Hornhaut (als Begrenzung des vorderen Mediums),
2. die vordere Linsenfläche,
3. die hintere Linsenfläche.

Alle drei Flächen sind in ihrem mittleren Abschnitt, der für das Sehen in Betracht kommt, annähernd sphärische Flächen, weichen aber nach der Peripherie davon mehr oder weniger ab. Die Größe ihrer Krümmung wird ausgedrückt durch die Größe ihres Krümmungshalbmessers (je größer dieser, um so weniger stark die Krümmung). Es beträgt:

der Krümmungshalbmesser der Vorderfläche der Hornhaut (in ihrem Scheitel) = 8 mm,

der Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche (bei erschlaffter Akkommodation) = 10 mm,

der Krümmungshalbmesser der hinteren Linsenfläche = 6 mm.

Es bedarf nur noch der Kenntnis des Abstandes der Flächen von einander; dafür hat man gefunden:

Abstand vom Scheitel der vorderen Hornhautfläche:

der vorderen Linsenfläche 3·7 mm

„ hinteren „ 7·5 mm

„ Netzhaut 22·8 mm.

Alle diese Zahlen stellen Mittelwerte dar, von verschiedenen Untersuchern werden etwas verschiedene Werte angegeben. Die genaue Bestimmung dieser Maße ist nur am lebenden Auge möglich; sie geschieht mit Hilfe des *Ophthalmometers*.

Die Krümmungsmittelpunkte dieser drei Flächen liegen nahezu auf einer geraden Linie, der „optischen Augenachse“.

welche vom Scheitel der Hornhaut durch die Mitte des Auges geht ($f_1 f_2$ Fig. 35).

Das Auge stellt demnach ein zentriertes System brechender Flächen dar.

Gang der Lichtstrahlen im Auge.

Die Zurückführung des Auges auf ein optisches zentriertes System von drei brechenden sphärischen Flächen und zwei Medien mit verschiedenen Brechungssexponenten haben das sog. „schematische Auge“ (Listing) ergeben. An diesen

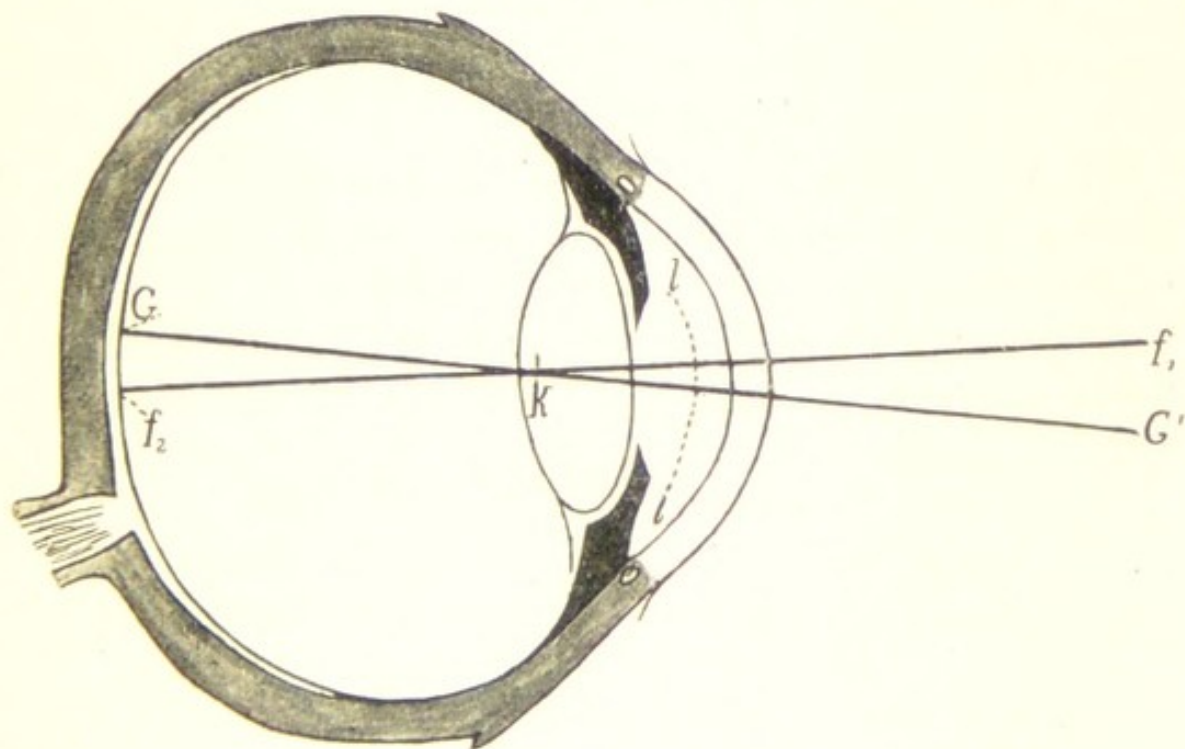


Fig. 35. Das reduzierte Auge.

$f_1 f_2$: die optische Achse, $G G'$: Gesichtslinie oder Sehachse.

kann man mit Hilfe optisch-mathematischer Gesetze den Gang eines Lichtstrahles konstruieren. Dabei hat sich ergeben, daß man für die gewöhnliche Betrachtung, ohne zu große Fehler zu begehen, eine noch weitere Vereinfachung vornehmen kann.

Man denkt sich dann, daß das Auge besteht aus nur einem brechenden Medium vom Brechungssexponenten des Humor aqueus = 1.34, mit einer vorderen konvexen Fläche l , deren Krümmungsmittelpunkt den Knotenpunkt K bildet, und deren Radius 5 mm beträgt: „das reduzierte Auge“ (Listing) $f_1 f_2$ ist die optische Achse des reduzierten Auges.

In einem solchen reduzierten Auge kann man für einen bestimmten Objektpunkt den zugehörigen Bildpunkt leicht finden; es ist die Stelle, an welcher eine Linie vom Objektpunkt durch den Knotenpunkt gezogen die Netzhaut trifft. Eine derartige Linie heißt *Richtungslinie* oder *Sehstrahl*; für mehrere solche Linien ist der Knotenpunkt der Kreuzungspunkt der Richtungslinien.

Der Winkel, den die von den äußersten Punkten des Objektes ausgehenden Richtungstrahlen am Knotenpunkt einschließen, heißt der *Sehwinkel* oder *Gesichtswinkel*.

Diejenige Richtungslinie, welche die Fovea centralis trifft, die Stelle des deutlichsten Sehens, heißt *Gesichtslinie* oder *Sehachse* (GG_1 Fig. 35). Sie fällt nicht mit der Augenachse zusammen, sondern bildet mit ihr einen Winkel (von 4° — 7°).

Das Bild, das eine sphärische Linse von einer ebenen Fläche entwirft, ist sphärisch gekrümmt. Daher erscheinen auf der Platte der Camera obscura, wenn der zentrale Teil des Bildes scharf eingestellt ist, die peripherischen Teile verwaschen und verzerrt, weil für sie der Ort des deutlichen Bildes weiter vorn liegt. Der Hintergrund des Auges stellt nun eine Hohlkugelfläche vor, wobei die peripherischen Teile mehr nach vorn liegen als das Zentrum; daher erscheinen auf der Netzhaut auch die seitlichen Teile des Objektes scharf im Bilde wieder. Die Netzhaut ist gewissermaßen für alle Punkte des Gesichtsfeldes nahezu gleich gut eingestellt. Diese Eigenschaft des Auges nennt man seine *Periskopie*.

Akkommodation.

Ein deutliches Sehen findet nur dann statt, wenn alle von einem Objektpunkt in das Auge fallenden Strahlen sich wieder in einem Punkt, dem Bildpunkt, auf der Netzhaut vereinigen.

Beim ruhenden Auge, wie wir es bisher betrachtet haben, werden nur solche Strahlen auf der Netzhaut zum Bildpunkt vereinigt, die von einem Objektpunkt aus unendlicher Entfernung kommend parallel einfallen. Nahe Objektpunkte haben erst hinter der Netzhaut ihren Bildpunkt, auf der Netzhaut selbst geben die noch nicht vereinigten Strahlen einen *Bildkreis*, *Zerstreuungskreis*. Die Zerstreuungskreise benach-

barter Objektpunkte überdecken sich teilweise. Daher kann das ruhende Auge nahe Objekte nicht deutlich sehen.

Damit nun auch von nahen Objektpunkten in der Netzhaut Bildpunkte entstehen, müssen die einfallenden Strahlen stärker gebrochen werden, das Auge muß seine lichtbrechende Kraft vergrößern. Dies geschieht durch eine Gestaltveränderung der Linse, welche in einer stärkeren Krümmung bes. der vorderen Fläche derselben besteht. Diese Fähigkeit des Auges, sich auf Objekte in verschiedener Entfernung scharf einzustellen, heißt seine *Akkommodation*.

Die *Akkommodation* erhöht also die *Lichtbrechung* im Auge; im nichtakkommodierten Auge (bei *Akkommodationsruhe*) hat die *Lichtbrechung* ihr Minimum.

Bei stärkster *Akkommodation* verkleinert sich der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche von 10 auf 6 mm, der der hinteren von 6 auf 5.5 mm. Infolge dieser Verdickung der Linse rückt ihre Vorderfläche nach vorn nach der Cornea zu und schiebt den ihr aufliegenden Irisrand gleichfalls nach vorn, während die hintere Linsenfläche infolge des Widerstandes des Glaskörpers fast unverändert an ihrem Ort bleibt.

Die Fähigkeit des Auges, sich dem Sehen für die Nähe und Ferne anzupassen, wird durch den Pater Scheiner'schen Versuch demonstriert. Wenn man durch zwei kleine Stichöffnungen in einem Kartenblatt, deren gegenseitiger Abstand kleiner als der Durchmesser der Pupille ist, auf einen nahen leuchtenden Punkt blickt, so erscheint derselbe einfach, sieht man an ihm vorbei in die Ferne, so erscheint er doppelt. Im ersteren Falle haben sich die beiden von dem leuchtenden Punkt durch die Stichöffnungen in das Auge gelangenden Strahlenbündel auf der Netzhaut vereinigt, im letzteren Fall treffen sie dort an zwei Stellen die Netzhaut, und ihre Vereinigung findet erst hinter derselben statt.

Die Veränderungen selbst, die bei der *Akkommodation* eintreten, lehren die *Purkinje-Sanson'schen* Bildchen kennen. Wird im Finstern ein Auge von der einen Seite her durch eine Kerzenflamme beleuchtet und von der anderen Seite beobachtet, so erblickt man auf dem dunklen Hintergrund der Pupille drei Spiegelbildchen der Flamme:

1. ein helles aufrechtes von der Hornhaut,
2. ein aufrechtes größeres, aber lichtschwächeres von der vorderen Linsenfläche,
3. ein umgekehrtes, stark verkleinertes aber ziemlich lichtstarkes von der hinteren Linsenfläche.

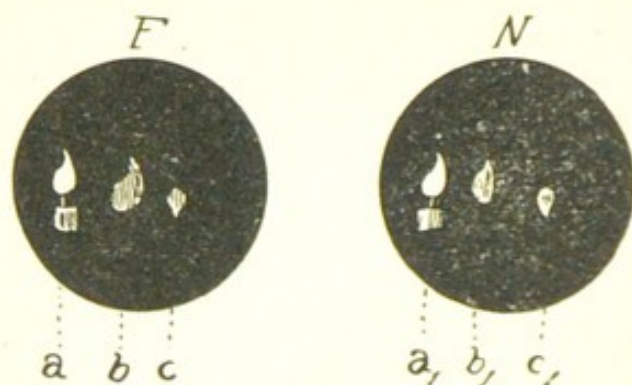


Fig. 36. Die Purkinje-Sanson'schen Bildchen
beim
Fernsehen Nahsehen.

Bei der Akkommodation verändert sich 1 gar nicht, 2 wird erheblich kleiner und rückt näher an 1, 3 wird nur wenig kleiner. Die (verkleinerten) Spiegelbilder von sphärischen Spiegeln sind um so kleiner, je kleiner ihr Krümmungsradius, je gewölbter also die Spiegelfläche ist, woraus sich die oben angegebenen Gestaltveränderungen der Linse ergeben.

Mechanismus der Akkommodation (nach Helmholtz).

Das ruhende Auge ist für die Ferne eingestellt. Bei dieser Ruhestellung wird durch das Ligamentum suspensorium lentis s. Zonula Zinnii die Linse fixiert und durch die Spannung des Bandes infolge des intraokularen Druckes ein Zug auf den Äquatorialrand derselben ausgeübt, so daß der Äquatorialdurchmesser größer, der Dickendurchmesser kleiner, die Flächen also weniger gewölbt sind. Bei der Einstellung für die Nähe wird durch die Kontraktion des aus glatten Muskelfasern bestehenden M. tensor chorioideae s. ciliaris die Ursprungstelle der Zonula Zinnii an der Chorioidea nach vorn gezogen und damit die Spannung der Zonula vermindert. Das bewirkt, daß die Linse, ihrer Elastizität folgend, sich stärker wölbt.

Die Richtigkeit dieser Helmholtz'schen Theorie über den Mechanismus der Akkommodation ist neuerdings gegenüber anderen Erklärungsversuchen wieder sicher gestellt.

Innerviert wird der Akkommodationsmuskel von den Nn. ciliares breves, die im Ganglion ciliare mit Neuronen des Oculomotorius in Kontakt treten.

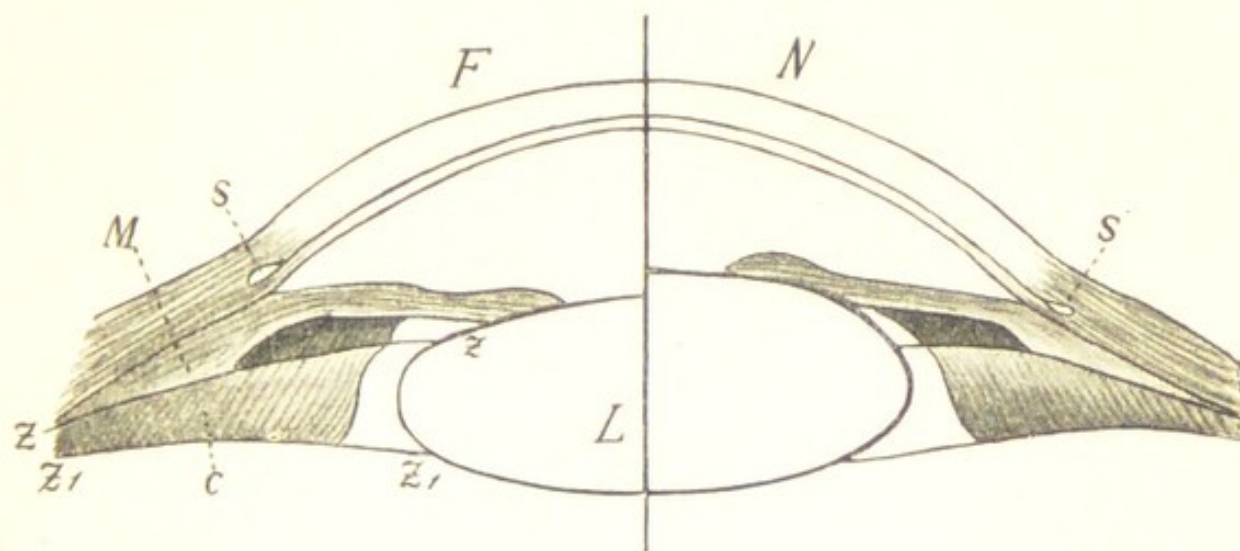


Fig. 37. Gestaltveränderung der Linse bei der Akkommodation nach Helmholtz. — *F*: Ferne, *N*: Nähe, *M*: M. ciliaris, *ZZZ*, *Z₁*; Zonula Zinnii, *C*: Ciliarfortsatz, *L*: Linse.

Die Akkommodation ist mit der Kontraktion des M. rectus internus und des sphincter iridis (Konvergenz der Augenachsen und Pupillenverengung) assoziiert (cf. S. 246).

Grenzen der Akkommodation.

Der weiteste Punkt, der deutlich gesehen werden kann, und auf den das ruhende Auge eingestellt ist, heißt der **Fernpunkt**. Durch die Bestimmung des Fernpunktes wird die brechende Kraft des Auges in der Ruhe, der **statische Refraktion** des Auges, bestimmt.

Der dem Auge nächste Punkt, der noch bei stärkster Akkommodation deutlich gesehen werden kann, heißt **Nahepunkt**.

Bei der **Normalsichtigkeit** oder **Emmetropie** liegt der Fernpunkt im Unendlichen, der Nahepunkt 10–13 cm vor dem Auge.

Wenn man den Fernpunkt und den Nahepunkt eines Auges kennt, ist es sehr leicht zu berechnen, um wieviel die Licht-

brechung im Auge durch die Akkommodation zunimmt. Diese Zunahme, die *Akkommodationskraft* des Auges, wird nämlich durch diejenige Linse bestimmt, welche den vom Nahepunkt kommenden Strahlen eine solche Richtung erteilt, als kämen sie vom Fernpunkt. Die Brennweite dieser Linse gibt die *Akkommodationsbreite* des Auges an; sie verringert sich mit zunehmendem Alter allmählich.

Die *brechende Kraft* einer Linse wird durch $\frac{1}{f}$ ausgedrückt, wobei f die Brennweite bedeutet. Als Einheit der Brechkraft gilt die einer Linse von 1 m Brennweite, *Dioptrie* ($= \frac{1}{1000 \text{ mm}}$) genannt. Die Brechkraft einer Linse von 200 mm ist z. B. gleich $\frac{\frac{1}{200}}{1 \text{ D}} = \frac{\frac{1}{200}}{\frac{1}{1000}} = \frac{1000}{200} = 5$ Dioptrien.

Die Akkommodationsbreite eines normalen Auges, dessen Nahepunkt 0.12 m vor dem Auge liegt, ist gleich 8.3 Dioptrien.

Refraktionsanomalien.

Von diesem Refraktionzustand des normalen, emmetropischen, Auges finden sich häufig Abweichungen, *Ametropien*, die ihren Grund am häufigsten in einer abnormen Lage der Netzhaut haben.

Bei der *Myopie* oder *Kurzsichtigkeit* liegt die Netzhaut weiter hinten als normal. Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich bereits vor der Netzhaut. Damit dies erst auf der Netzhaut geschieht, müssen die Strahlen divergent gemacht werden; dies wird erreicht durch eine vorgesetzte Zerstreuungslinse.

Bei der *Hypermetropie* oder *Weitsichtigkeit* liegt die Netzhaut weiter vorn als normal. Parallel und selbst divergent einfallende Strahlen vereinigen sich erst hinter der Netzhaut. Damit dies schon auf der Netzhaut geschieht, müssen die Strahlen konvergent gemacht, stärker gebrochen werden. Dies wird bewirkt durch eine vorgesetzte Konvexlinse.

Unter *Presbyopie* versteht man eine Refraktionsanomalie, die das emmetropische Auge im Alter erfährt. Dabei

läßt die Elastizität der Linse nach, die Brechkraft bei der Akkommodation für die Nähe nimmt ab, daher für diesen Fall eine Konvexlinse nötig ist.

Die dioptrische Bedeutung der Chorioidea und der Iris.

Wie in allen optischen Instrumenten die Innenwände geschwärzt sind, damit nicht die einfallenden Lichtstrahlen, die auf sie treffen, reflektiert und unregelmäßig zerstreut werden, so verhindert auch im Auge das reichliche schwarze Pigment der Chorioidea und Iris, daß die Lichtstrahlen, nachdem sie die Netzhaut durchsetzt haben, in erheblichem Maße reflektiert werden. Der schwarze Augenhintergrund absorbiert vielmehr den größten Teil des einfallenden Lichtes. Bei den Albinos (Kakerlaken), denen das Pigment fehlt, ist das Sehen bei hellem Licht infolge der auftretenden Blendung gestört.

Die Iris hat außerdem noch zwei besondere Funktionen:

1. dient sie als Blende. Eine stärker gekrümmte sphärische Fläche vereinigt die parallel auffallenden Strahlen nicht in einem Punkt, sondern in einer gekrümmten Fläche, der diakaustischen Brennfläche, weil die Randstrahlen stärker gebrochen werden als die zentralen. (Sphärische Aberration.) In den optischen Instrumenten bringt man daher Blenden an, welche die störenden Randstrahlen abhalten und nur die annähernd gleich stark gebrochenen axialen Strahlen einlassen. Genau dasselbe bewirkt die Iris.

2. reguliert die Iris mittelst der beiden in ihr befindlichen Muskeln (Sphinkter und Dilatator) auf reflektorischem Wege die Menge des einfallenden Lichtes. Je größer diese ist, um so kleiner ist die Pupille, wodurch die Netzhaut vor der schädlichen Wirkung zu starken Lichtes geschützt wird. Im Dunkeln hat die Pupille maximale Weite, etwa 10 mm.

Die Pupillen sind in der Form beide gleich weit; die Veränderung in der Pupillenweite erfolgt beim Menschen beiderseits gleichzeitig, auch wenn der Lichteinfall nur für ein Auge geändert wird (konsensuelle Pupillenreaktion). Das Zentrum hierfür liegt in der Medulla oblongata. Auch mit der Akkommodation und

der Konvergenzbewegung der Augen erfolgt gleichzeitig Pupillenverengung. Das Zentrum hierfür liegt in der Gegend der Vierhügel.

Die Pupille wird

- a) verengt: durch Gifte (Eserin, Muscarin), im Schlaf;
 b) erweitert: durch Gifte (Atropin, Kokaïn), durch sensible Reize, im Zustand höchster Dyspnoe.

Augenleuchten und Augenspiegel.

Die Pupille des Auges erscheint dunkel, weil erstlich, wie schon erwähnt, nur ein sehr geringer Teil des einfallenden Lichtes vom Augenhintergrund reflektiert wird; zweitens weil von dieser geringen Lichtmenge unter gewöhnlichen Umständen nichts in das Auge des Beobachters gelangen kann. Denn die reflektierten Strahlen legen denselben Weg zurück, den sie gekommen; wie sie von einem leuchtenden Punkte ausgegangen sind zur Netz-

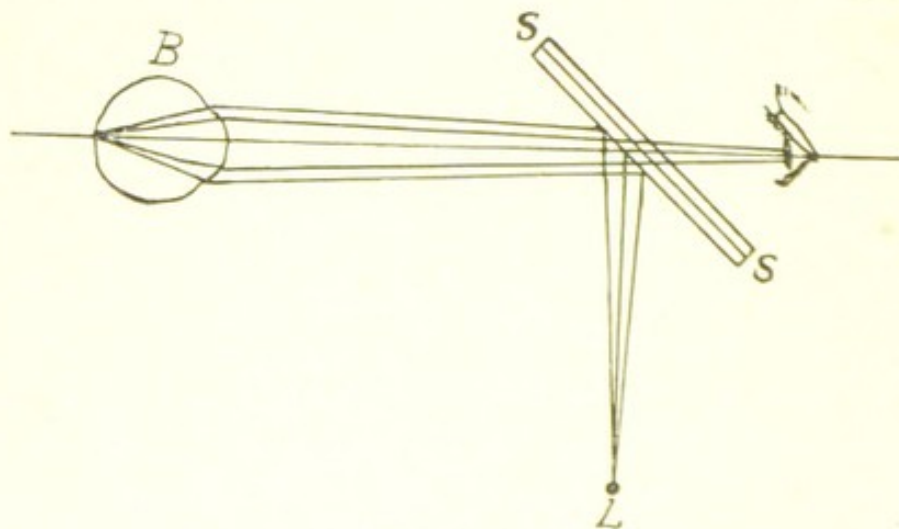


Fig. 38. Prinzip des Augenspiegels.

haut, so kehren sie von der Netzhaut wieder zu demselben leuchtenden Punkte zurück. Das Bild der Netzhaut liegt nach dem „Gesetz der konjugierten Vereinigungspunkte“ im Objektpunkt, der Lichtquelle. Das Auge des Beobachters müßte sich also zwischen Lichtquelle und beobachtetes Auge einschieben, würde dadurch aber die von der Lichtquelle in das beobachtete Auge fallenden Strahlen absperren.

Wenn es dagegen gelingt, die Lichtquelle zwischen beobachtendes und beobachtetes Auge so einzuschieben, daß das Auge

des Beobachters nicht geblendet wird, wenn also in derselben Richtung, in welcher das Auge des Beobachters in das beobachtete Auge sieht, zu gleicher Zeit Licht gelangt, dann muß der Augenhintergrund hell erscheinen. Dies erreichte Helmholtz in der Tat dadurch, daß er vor das beobachtete Auge eine planparallele Glasplatte (SS, Fig. 38) unter einem Winkel von 45° gegen die Augenachse brachte. Eine seitliche Lichtquelle (L) wirft Strahlen auf diese Platte, die zum Teil in das beobachtete Auge reflektiert werden. Diese reflektierten Strahlen werden nun zum Teil wieder vom Augenhintergrund reflektiert und gelangen durch die Glasplatte in das Auge des Beobachters; das beobachtete Auge erscheint hellrot, es leuchtet.

Bei den Albinos erscheint die Pupille rot, d. h. die vom Auge ausgehenden Strahlen können in das Auge des Beobachters gelangen, weil infolge des Mangels an Pigment Licht nicht bloß durch die Pupille, sondern von allen Seiten in das beobachtete Auge dringt.

Ebenso zeigen viele Tiere, bes. die nächtlichen Raubtiere (Katze, Fuchs, Hyäne) das Augenleuchten; bei ihnen findet sich statt einer gleichmäßig schwarzen Fläche eine metallisch glänzende stark reflektierende Membran im Augenhintergrund, das sog. Tapetum.

Mit Hilfe der obigen Anordnung kann man nicht nur das Leuchten der Pupille beobachten, sondern, was viel wichtiger geworden ist, ein deutliches Bild des Augenhintergrundes erhalten. Das hierzu benutzte Instrument ist der Augenspiegel (Ophthalmoskop). Ist das beobachtete Auge emmetropisch und akkommodationslos, so kann der Beobachter, wenn er selbst emmetropisch und akkommodationslos ist, den Augengrund ohne weiteres aufrecht sehen, wie alle anderen Objekte, von denen parallele Strahlen in sein Auge gelangen. (Beobachtung im aufrechten Bild.) Denn in diesem Fall verlaufen die aus dem beobachteten Auge heraustretenden Strahlen parallel und vereinigen sich beim Eintritt in das beobachtende Auge grade auf dessen Netzhaut. Ist das beobachtete Auge myopisch, so treten die Strahlen konvergent aus; um sie parallel zu machen, läßt man sie durch eine passende Konkavlinse gehen. Ist das beobachtete Auge hypermetropisch, so sind die heraustretenden Strahlen divergent;

eine geeignete Konvexlinse macht sie parallel und damit ihre Vereinigung auf der Netzhaut des Beobachters möglich.

Bringt man vor das beobachtete akkommodationslose Auge in der Entfernung von einigen Zentimetern eine Konvexlinse von etwa 10 Dioptrieen, so sammelt diese Linse die austretenden Strahlen zu einem umgekehrten reellen vergrößerten Bild, das bei emmetropischem beobachteten Auge im Brennpunkt, beim myopischen näher der Linse und bei dem hypermetropischen entfernter von ihr liegt. Dieses reelle Bild kann vom Beobachter wahrgenommen werden (*B e o b a c h t u n g i m u m g e k e h r t e n B i l d*). Der Abstand des Beobachters von der Linse muß dabei etwa gleich seiner Nahepunktsentfernung + der Brennweite der Linse sein.

Unvollkommenheiten des dioptrischen Apparates.

1. A s t i g m a t i s m u s.

Derselbe besteht darin, daß die brechenden Flächen des Auges, bes. die vordere Fläche der Cornea nicht in allen Meridianen gleiche Krümmung haben. Bei den meisten Menschen ist die Hornhaut im vertikalen Meridian stärker gekrümmt als im horizontalen, so daß sich die vertikalen Strahlen vor den horizontalen vereinigen, und ein gemeinsamer Brennpunkt fehlt. Das normale Auge sieht von zwei feinen sich rechtwinklig kreuzenden Linien die vertikale in etwas größerer Entfernung als die horizontale, ist also für horizontale Gegenstände kurzsichtiger als für vertikale.

Höhere Grade dieses Fehlers korrigiert man durch Vorsetzen von zylindrischen plankonvexen Gläsern, welche nur in einer Richtung der geringeren Krümmung der Hornhaut zusammenfällt.

2. D i e m o n o c h r o m a t i s c h e o d e r s p h ä r i s c h e A b e r r a t i o n.

Wie schon erwähnt, brechen die Randteile kugeligter Flächen Strahlen von derselben Wellenlänge, monochromatisches Licht, stärker als zentrale Teile, so daß sich die gebrochenen Strahlen nicht in einem Punkt, sondern in der „kaustischen Brennlinie“

vereinigen. Linsen, bei denen dieser Fehler durch schwächere Krümmung des Randes vermieden ist, nennt man „aplanatische“.

Beim Auge wird dieser Fehler dadurch, daß infolge der stärkeren Krümmung der Hornhaut in der Mitte auch die zentralen Strahlen stärker gebrochen werden, und dadurch, daß die Iris als Blende die stärker gebrochenen Randstrahlen zum Teil abhält, unmerklich gemacht.

3. Chromatische Abweichung, Chromasie.

Die verschiedenen Strahlen werden folgeweise verschieden gebrochen, die roten am schwächsten, die violetten am stärksten. Daher liegt der Brennpunkt der violetten Strahlen vor dem der roten Strahlen: es entstehen farbige Säume an den Rändern des Bildes.

Die Chromasie des Auges ist gering und wird für gewöhnlich nicht bemerkt. Man kann sich aber von ihrem Vorhandensein überzeugen, wenn man die eine Hälfte der Pupille durch einen Schirm verdeckt.

4. Irradiation des Lichtes.

Darunter versteht man die merkwürdige Erscheinung, daß uns helle Objekte, z. B. ein weißes Quadrat, auf dunklem Grunde größer erscheinen, als ebenso große dunkle Objekte, z. B. ein schwarzes Quadrat, auf hellem Grund.

Dies rührt nicht davon her, daß etwa die Erregung in der Netzhaut von den direkt getroffenen Stellen übergreift auf benachbarte, sondern daß infolge ungenügender Akkommodation an den Grenzen heller Gegenstände Zerstreuungskreise entstehen. Das wird bewiesen dadurch, daß solche Irradiationen bei Korrektur des Auges durch Benutzung passender Gläser eingeschränkt werden.

5. Entoptische Erscheinungen.

Trübungen der Augenmedien, die auch im normalen Auge vorkommen, wie Körperchen oder Schleimhautflocken auf der Hornhaut, Trübungen und Zellen im Glaskörper u. a., werfen einen Schatten auf die Netzhaut und stören das Gesichtsfeld. Man erkennt sie am besten, wenn man die hell erleuchtete Öffnung eines Nadelstichs in einem dunklen Schirm in den vorderen Brennpunkt des Auges bringt, so daß die Strahlen von diesem

Punkt parallel durch das Auge treten und einen Kernschatten von den Körperchen auf die Netzhaut entwerfen. Man erkennt dann unregelmäßige dunkle Flecken von der Cornea herrührend, eine meist sechsstrahlige Figur durch den Bau der Kristalllinse entstehend, *Mouches volantes* von zelligen Elementen im Glaskörper bedingt u. a.

Hierher gehört auch die *Purkinje'sche Aderfigur*, ein dunkler verzweigter Gefäßbaum auf hellem Grunde. Sie entsteht dadurch, daß die Retinalgefäße auf die Stäbchen und Zapfen Schatten werfen, bes. wenn die Gefäße so schräg beleuchtet werden, daß die Schatten auf Stellen fallen, welche sonst frei von denselben sind. Man erkennt die Figur am besten, wenn man auf einen dunklen Hintergrund sieht und in geringer Entfernung vom Auge seitlich eine Kerzenflamme hin und her bewegt; es bewegen sich dann auch die Schatten der Gefäße im Gesichtsfeld. Die schattenwerfenden Strahlen sind nicht etwa die direkt einfallenden, sondern vielmehr die im Auge reflektierten, welche von dem Netzhautbildchen der Flamme sich nach allen Richtungen hin zerstreuen und dabei auf Gefäße der Retina treffen.

Auch die Bewegungen der Blutkörperchen in den Netzhautkapillaren werden beim Sehen gegen große helle Flächen als leuchtende Pünktchen wahrgenommen.

II. Die Lehre von den Empfindungen des Sehnervenapparates.

Bau der Retina.

Die Retina stellt die End-Ausbreitung des Sehnerven dar. An seiner Eintrittsstelle bildet er die *Papilla nervi optici*. Lateral davon liegt die kreisförmige *Macula lutea*, die an der Leiche gelb aussieht; sie zeigt in der Mitte eine Vertiefung, die *Fovea centralis*. Die Netzhaut besteht aus verschiedenen Schichten; es sind in der Richtung, wie der Lichtstrahl sie durchsetzt, von innen nach außen:

1. *Membrana limitans interna* s. *hyaloidea*,
2. die Opticusfaserlage,
3. die Ganglienzellenlage oder innere gangliöse Schicht,

4. die innere reticuläre oder granulierte Schicht,
5. die innere Körnerschicht oder äußere gangliöse Schicht,
6. die äußere reticuläre oder granulierte Schicht,
7. die äußere Körnerschicht,
8. die Membrana limitans externa,
9. die Stäbchen- und Zapfenschicht,
10. die Pigmentschicht.

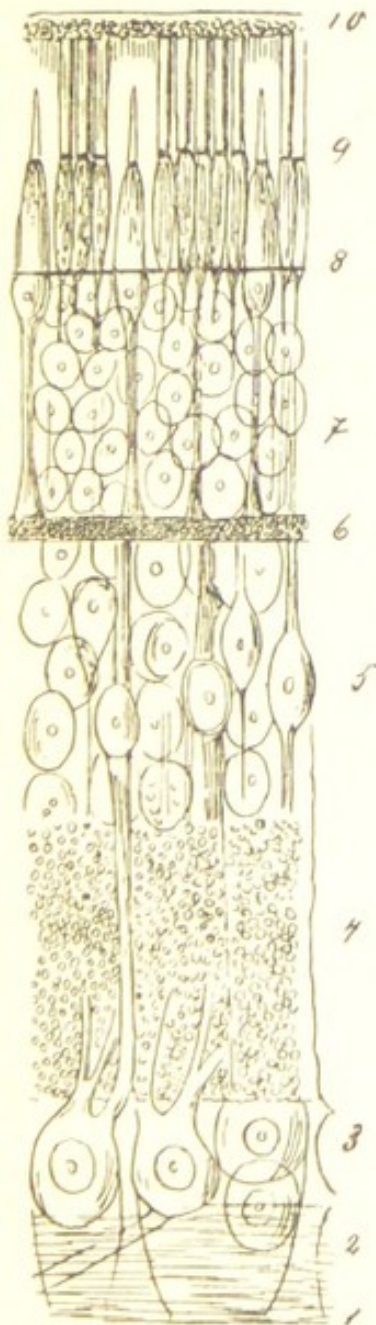


Fig. 39. Bau der Retina nach M. Schultze.

Der Pfeil bedeutet den Gang des einfallenden Lichtstrahles.

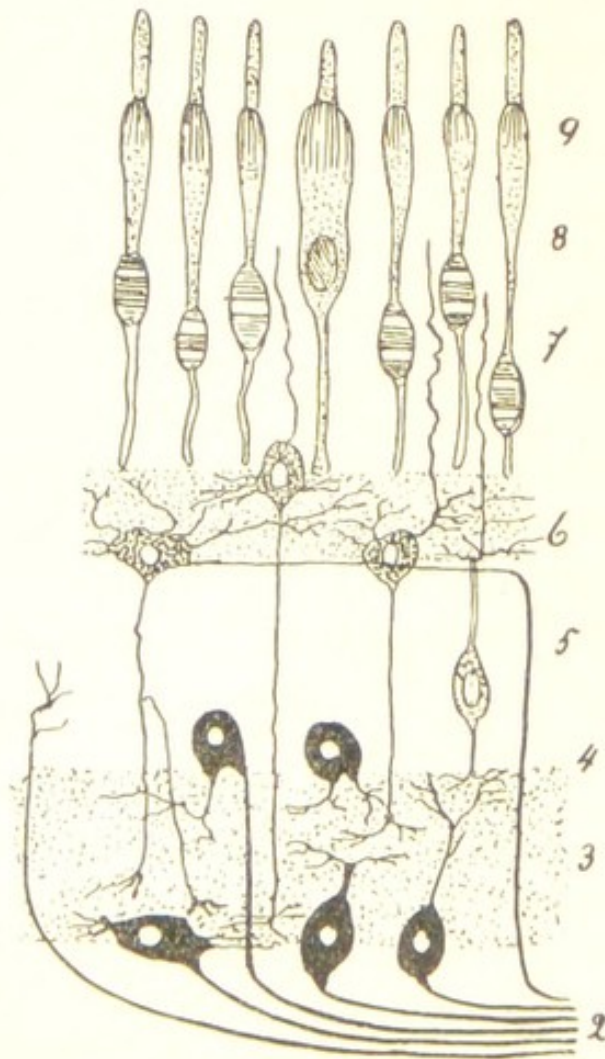


Fig. 40. Die Neuronen der Netzhaut (nach Golgi).

Die mosaikartig angeordneten Stäbchen und Zapfen bilden mit den 6-eckigen Pigmentzellen, die ihnen mützenartig auf-

sitzen, den äußersten Teil der Retina. Sie stehen in leitender Verbindung mit den nackten Achsenzylindern des Opticus in der 2. Schicht.

Nach der Neuronen-Theorie faßt man die ganze Netzhaut als drei hintereinander gelegene Schichten von Neuronen auf:

1. Die Stäbchen und Zapfen sind die äußeren Enden der kernhaltigen Sehzellen, welche die äußere Körnerschicht bilden; sie sitzen den zellulipetalen Fortsätzen auf, die durch Löcher der Limitans externa zu diesen Sehzellen hindurchtreten. Die zellulifugalen Fortsätze der Sehzellen enden in der äußeren retikulären Schicht.

2. Die bipolaren Zellen in der äußeren gangliösen Schicht senden einen zentripetalen Fortsatz in die äußere retikuläre Schicht, wo seine Endverzweigungen mit denen der Sehzellenfortsätze in Kontakt treten, und einen zellulifugalen Fortsatz in die innere retikuläre Schicht, wo seine Endigungen mit den Dendriten der

3. multipolaren Ganglienzellen in der inneren gangliösen Schicht in Verbindung treten. Die Neuraxone dieser Ganglienzellen sind die Opticusfasern.

Die Schichten 2—7 nennt man die Gehirnschicht der Retina, weil sie der grauen und weißen Substanz des Gehirns entsprechen, die übrigen Schichten faßt man als Neuroepithelschicht zusammen.

Die nervösen Elemente werden durch ein bindegewebiges Stützgerüst getragen, den Müller'schen Fasern, deren breite Basis die Limitans interna bildet.

In der ganzen Retina finden sich Stäbchen und Zapfen gemischt, nur in der Macula lutea kommen allein Zapfen vor. Hier haben auch alle Schichten an Mächtigkeit abgenommen, in der Fovea centralis sind sogar davon nur noch die äußeren Körner und Zapfen übrig geblieben.

Die lichtempfindlichen Elemente.

Die Stäbchen und Zapfen sind diejenigen Elemente der Netzhaut, die durch die transversalen Ätherschwingungen des Lichtes erregt werden; dadurch wird sekundär das Nervenprinzip im N. opticus ausgelöst.

Dies läßt sich mit Hülfe der Purkinje'schen Aderfigur beweisen (s. o.). Aus der Größe der Verschiebung der Schattenfigur und der Lichtquelle ist berechnet worden, daß die erregbare Schicht 0.2–0.3 mm hinter der gefäßführenden Schicht liegen müsse; an diesem Ort befindet sich in der Tat die Stäbchen- und Zapfenschicht.

Ferner ist die Eintrittsstelle des Sehnerven, wo sich keine Stäbchen und Zapfen finden, unempfindlich für Licht: *Mariotte's blinder Fleck*.

Fixiert man unter Schließung des rechten Auges mit dem linken von zwei etwa 7 cm von einander entfernten Buchstaben scharf den rechtsstehenden, so daß also sein Bild auf die Fovea centralis fällt, so verschwindet in einer Entfernung von etwa 25–30 cm vom Auge der linksstehende Buchstabe, weil sein Bild bei dieser Entfernung auf die Papilla n. optici trifft. Auch wenn man direkt mittels eines Spiegels ein Flammenbild auf die Papille wirft, hat das Auge keine Lichtempfindung.

Hieraus geht andererseits hervor, daß die Sehnervenfaseren gegen Licht gänzlich unempfindlich sind.

Schließlich sprechen die bezüglich der Sehschärfe (s. u.) gemachten Erfahrungen dafür, daß die Stäbchen- und Zapfenschicht die lichtperzipierende Schicht ist. Was die Funktion der beiden Elemente angeht, so ist es höchst wahrscheinlich gemacht, daß die Zapfen (in der Fovea centralis und Umgebung) den „Hellapparat“ darstellen, der erst bei größerer Lichtintensität in Aktion tritt, und der auch dann die Farben unterscheidet, während die Stäbchen den „Dunkelapparat“ bilden, der die Helligkeitsunterschiede von geringer Intensität zur Wahrnehmung bringt.

Die objektiven Prozesse in der Netzhaut.

Photochemische Prozesse. Seh purpur.

In den Außengliedern der Stäbchen findet sich ein intensiv roter Farbstoff, das *Sehrot* oder der *Seh purpur*. Unter der Einwirkung des Lichtes erblaßt er sehr schnell, indem er erst *chamois* wird und dann direkt in Weiß übergeht. Am intensivsten findet man ihn in Augen von Tieren, die längere Zeit im Dunkeln waren. Es gelingt durch Bleichung des Seh-

purpurs Bilder äußerer Objekte am herausgenommenen Auge auf der Netzhaut zu erzeugen, „Optogramme“. Der Sehpurpur ist also eine lichtempfindliche Substanz, die, wie die Silbersalze der photographischen Platten, durch die Einwirkung des Lichtes zersetzt wird.

Beim Sehen wird beständig Sehpurpur zersetzt und an Stelle des zersetzten neuer gebildet; die Regeneration geschieht sogar noch am herausgeschnittenen Auge. Doch kann er nicht das Sehen bedingen, da er in den Zapfen nicht vorkommt, und in der Fovea centralis, der Stelle des deutlichsten Sehens, nur Zapfen vorhanden sind. Es dienen die Stäbchen und der Sehpurpur zur Wahrnehmung des Weiß von geringerer Intensität; die Menge des zersetzten Sehpurpurs steigt mit der Menge des einfallenden Lichtes. Vom spektralen Licht erweist sich am wirksamsten das gelbgrüne Licht, dann folgen Grün, Blau, Gelb, Violett, Ultraviolett, Orange, Rot.

Morphologische Vorgänge.

An der Froschretina zeigt sich, daß die Pigmentepithelzellen (s. o.) bei Belichtung pigmentierte Fortsätze aussenden, die die Stäbchen einhüllen. Bei starker Belichtung wandert alles Pigment in die Fortsätze, die sich bis zur Limitans externa erstrecken können; in der Dunkelheit verkürzen sie sich wieder. Ebenso zeigt sich, daß die Zapfenninnenglieder unter Einwirkung von Licht sich verkürzen und im Dunkeln sich wieder verlängern. In beiden Fällen erweist sich das kurzwellige Ende des Spektrums am wirksamsten.

Diese Veränderungen gehen aber viel zu langsam vor sich, um bei der vom Licht bewirkten Reizung der Netzhaut eine direkte Bedeutung für die Erregung der Lichtempfindung zu haben.

Elektrische Vorgänge.

An der Netzhaut des Frosches hat man im Dunkeln einen einsteigenden Ruhestrom beobachtet (Stäbchen und Zapfen negativ zur inneren Fläche der Netzhaut), der bei Belichtung eine Intensitätschwankung zeigt, und zwar bei der isolierten Sehpurpur-haltigen Netzhaut des Frosches erst eine kurze Zunahme und darauf eine längere Abnahme (negative Schwankung).

Bei Säugern, Vögeln und Reptilien ruft im allgemeinen Belichtung eine negative, Verdunkelung eine positive Schwankung hervor.

Die subjektiven Lichtempfindungen.

Erregung der Netzhaut und des Sehnerven.

Die Retina kann auch durch andere Reize als das Licht erregt werden. So erzeugt ein örtlich beschränkter Druck bei geschlossenem Auge oder im Dunkeln eine umschriebene Lichterscheinung, „Newtons Druckfigur“. Vollführt man bei geschlossenem Auge Rotationen des Augapfels, so sieht man einen kleinen feurigen Kreis oder Halbkreis. Auch bei der Akkommodation beobachtet man, wahrscheinlich infolge der Zerrung der Netzhaut, einen leuchtenden Kreis, A k k o m m o d a t i o n s - p h o s p h e n.

Bei geschlossenem Auge sieht man eine äußerst schwache unregelmäßige Erleuchtung, E i g e n l i c h t d e r N e t z h a u t oder L i c h t c h a o s, wahrscheinlich infolge mechanischer Reizung der Netzhaut durch die Bewegung des Blutes.

Heftige mechanische Reizung des Sehnerven soll ebenfalls Lichtempfindung erzeugen, was aber von anderer Seite auf eine Mitreizung (Zerrung) der Retina geschoben wird.

Auch durch Öffnen und Schließen des konstanten Stromes wird die Netzhaut und der Sehnerv gereizt, man nimmt Lichtblitze dabei wahr.

U n t e r s c h e i d u n g s v e r m ö g e n d e r N e t z h a u t , S e h s c h ä r f e.

Unter dem Unterscheidungsvermögen der Netzhaut versteht man die Fähigkeit, zwei leuchtende Objektpunkte gesondert zu unterscheiden. Dies Vermögen ist um so größer, je kleiner der Abstand zwischen den Objektpunkten ist. Die Unterscheidung ist ermöglicht durch die mosaikartige Anordnung der Stäbchen und Zapfen; jedes dieser Elemente steht durch isolierte Leitung mit dem Zentrum in Verbindung. Um zwei leuchtende Objektpunkte gesondert zu empfinden, müssen zwei Netzhautelemente erregt werden. Das Unterscheidungsvermögen der Netzhaut ist nicht überall gleich; am größten ist es in der Fovea centralis.

Den Grad des Unterscheidungsvermögens der Netzhaut hat man auch kurz *Sehschärfe* genannt. Bei uns sieht man diejenige Sehschärfe als normal an, mit welcher noch zwei leuchtende Punkte unterschieden werden können, deren Richtungsstrahlen einen Winkel von 60—64 Bogensekunden bilden. Der kleinste Winkel, unter dem überhaupt zwei parallele Linien noch voneinander getrennt wahrgenommen werden, beträgt 50 Bogensekunden. Die Bildpunkte auf der Netzhaut haben in diesem Falle einen Abstand von 0·0037 mm. Da die Zapfen in der Fovea centralis etwa 0·002—0·003 mm dick sind, so geht hieraus hervor, daß in der Tat zwei verschiedene Elemente erregt werden, also die Erregung eines jeden Zapfens mit einer gesonderten Lichtempfindung verbunden ist.

Die peripherischen Teile der Netzhaut haben eine geringere Sehschärfe.

Die Sehschärfe ist wohl von der *Sehfähigkeit*, die durch die Refraktion bedingt ist, zu unterscheiden.

Zur Prüfung der Sehschärfe bedienen sich die Augenärzte der Snellen'schen Schriftproben. Es wird die größte Entfernung gemessen, bei der die Buchstaben bei völliger Korrektur des Auges erkannt werden. Als Einheit der Sehschärfe gilt diejenige, welche die Buchstaben erkennt, wenn der Sehwinkel (s. o.) derselben 5 Bogenminuten beträgt.

Zeitlicher Verlauf der Netzhautempfindung.

Wie bei jeder Nerven-erregung, verstreicht auch bei der Netzhaut-erregung eine gewisse Zeit, bis der Reiz zu wirken anfängt, „Anklingen der Lichtempfindung“; ebenso hört die Lichtempfindung nicht sofort gleichzeitig mit dem einwirkenden Lichtreiz auf, sondern sie verschwindet erst allmählich, „Abklingen der Lichtempfindung“.

Auf letzterem Umstand beruhen die sog. *positiven Nachbilder*. Wird z. B. im Dunkeln ein Stück glühende Kohle im Kreise herumgeführt, so sieht man nicht einzelne leuchtende Punkte, sondern einen feurigen Kreis. Werden diskontinuierliche Lichterscheinungen mit einer gewissen Geschwindigkeit wiederholt, mindestens 25 mal in der Sekunde, so entsteht der Eindruck des Kontinuierlichen. Werden daher Bilder, die folweise die verschiedenen Phasen eines Bewegungsvorganges

darstellen, hinreichend schnell vor dem Auge vorbeigeführt, so stellt sich die Bewegung in kontinuierlichem Ablauf dar (Stroboskopische Scheibe, Lebensrad, Kinematograph).

Die Stärke der Netzhauterregung.

Die Stärke der Netzhauterregung wächst von der „Reizschwelle“ an in gewissem Verhältnis mit der Intensität des Lichtes.

Der höchste Grad der Erregung heißt Blendung.

Das Auge ist nicht im Stande, die absolute Größe der Helligkeit anzugeben, sondern nur Unterschiede, und zwar ist die Empfindlichkeit hierfür im Bereich der mittleren Intensität am größten.

Bei gleicher Intensität des Lichtes nimmt die Stärke der Lichtempfindung zu mit der Größe der beleuchteten Netzhautfläche und der Dauer der Einwirkung und ist unabhängig von dem Erregbarkeitszustand der Netzhaut. Die Lichtempfindung ist stärker, wenn die Netzhaut längere Zeit nicht belichtet, wenn sie ausgeruht war. Bei andauernder Reizung läßt die Intensität der Lichtempfindung nach, die Netzhaut ermüdet. Blickt man danach auf eine gleichmäßig helle Fläche, so erscheinen die vorher hellen Stellen dunkel: *negatives Nachbild*, *Sukzessivkontrast*.

Auf Ermüdung und Erholung beruht auch die *Adaptation*, d. i. die Fähigkeit, sich verschiedenen Helligkeitsgraden anzupassen. Tritt man aus einem hellen in einen dunklen Raum, so sieht man zuerst nichts, bis sich die Netzhaut aus der vorhergegangenen starken Reizung wieder erholt hat, um nun auch für die geringeren Intensitäten erregbar zu sein. Ähnlich im umgekehrten Falle. Je nach der Adaptation erhält das Auge eine ganz verschiedene „Stimmung“. Dies ist ganz besonders für die Farbenwahrnehmung von Einfluß, so daß man hier ein Tagsehen und ein Dämmerungsehen unterscheiden muß.

Die Farbenwahrnehmung.

Das weiße oder Tageslicht stellt eine Mischung von Ätherwellen von verschiedener Länge bez. verschiedener Schwingungszahl in der Zeiteinheit dar. Man kann es in die verschiedenen Wellen mit folgeweise zunehmender Länge zerlegen, *dispers-*

gieren, wenn man es durch ein Prisma gehen läßt. Das dann erscheinende farbige Spektrum stellt den Teil der Ätherwellen dar, durch den unser Auge erregt wird, „sichtbares Spektrum“. Die einzelnen einfachen Farben entstehen also durch Einwirkung von Licht, das eine bestimmte Wellenlänge bez. bestimmte Schwingungszahl in der Zeiteinheit hat.¹⁾

An einer Farbe unterscheidet man:

1. ihre Helligkeit, d. i. die Intensität der Lichtschwingungen; sie ist abhängig von der Schwingungsamplitude; und

2. die Sättigung; eine Farbe ist um so weniger gesättigt, je mehr weißes Licht sie enthält. Die gesättigsten Farben sind die des reinen Spektrums bei Ausschluß alles weißen Lichtes.

Außer Weiß und den Farben unterscheidet man schwarz, wenn kein Licht auf die Netzhaut fällt, wenn sie im Zustand der Ruhe ist. Grau ist ein Weiß von geringer Intensität.

Durch Vermischung einzelner Farben entstehen Mischfarben. Die beste und für viele Aufgaben einzig mögliche Art der Farbmischung ist die, reine Spektralfarben zu mischen. Dies kann entweder objektiv geschehen, indem man Strahlen verschiedener Wellenlänge von zwei Spektren isoliert und auf dieselbe Stelle eines Schirmes übereinander führt; oder subjektiv, indem man die verschiedenen Lichter schnell hintereinander auf die Netzhaut einwirken läßt. Letzteres tut auch, aber mit Pigmentfarben und darum weniger vollkommen, der Farbenkreisel.

Vereinigung sämtlicher Farben des Spektrums erzeugt wiederum Weiß.

Außerdem gibt es Paare unter den Spektralfarben, die gemischt ebenfalls Weiß ergeben, K o m p l e m e n t ä r f a r b e n , z. B. Rot + Grünblau, Orange + Cyanblau und so im Spektrum fortschreitend bis zum Grün. Grün hat keine einfache Komplementärfarbe im Spektrum; sie wird erhalten durch Mischung

¹⁾ In der folgenden Tabelle gibt die erste Reihe die Buchstaben der Fraunhofer'schen Linien an; die zweite in $\mu\mu$ ($1\mu = 1$ Tausendstel, $1\mu\mu = 1$ Millionstel Millimeter) die Wellenlänge des Lichtes, welches etwa diesen Buchstaben entspricht; die dritte Reihe den Bereich der entsprechenden Farben.

A	B	C	D	E	F	G	H
760	690	656	540	527	486	430	397
Rot		Orange		Gelb	Grün	Blau	Violett

der an den Enden des Spektrums liegenden Farben: Rot und Violett = Purpur. Also Purpur + Grün ebenfalls gleich Weiß.

Die Young-Helmholtz'sche Theorie nimmt zur Erklärung der verschiedenen Farbenwahrnehmungen an, daß in der Netzhaut drei verschiedene Elemente existieren, welche durch die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau gleichzeitig, aber in verschiedener Stärke erregt werden. Die rot-empfindenden Elemente werden vom Licht mit größter Wellenlänge (rot), die grünempfindenden vom Licht mit mittlerer Wellenlänge und die blauempfindenden von dem Lichte kleinster Wellenlänge am stärksten erregt. Durch die Mischungen der drei Grundempfindungen kommen die Empfindungen der verschiedensten Mischfarben und des Weiß zu stande.

Die Hering'sche Theorie nimmt drei Sehsubstanzen an: eine Schwarzweiß-Substanz, eine Rotgrün-Substanz und eine Blaugelb-Substanz. Weiß wird empfunden infolge der Dissimilierung der Schwarzweiß-Substanz; bei ihrer Assimilierung, in der Ruhe, wird schwarz empfunden. Ebenso wird in den anderen beiden Substanzen die eine Farbe bei der Dissimilierung, die Gegenfarbe bei der Assimilierung empfunden. Jede Farbe wirkt zugleich dissimilierend auf die Schwarzweiß-Substanz ein; wirken nun auf eine der Farbensubstanzen die beiden Gegenfarben gleich stark im entgegengesetzten Sinne, assimilierend und dissimilierend, so bleibt von beiden nur noch die dissimilierende und daher sich addierende Wirkung auf die Schwarzweiß-Substanz übrig, es entsteht die Empfindung Weiß.

Farbenempfindlichkeit der Netzhaut.

Die Farbenempfindungen kommen nur in dem breiten Bereich der mittleren Intensität zu stande, bei zu starker oder zu geringer Intensität werden keine Farben gesehen. Bei abnehmender Intensität, z. B. in der Dämmerung, verschwinden zuerst die roten Farben, während die blauen am längsten gesehen werden.

Alle Farben nehmer, wenn sie lichtschwach werden, eigentümliche Farbentöne an; ein lichtschwaches Weiß wird grau, ein lichtschwaches Gelb wird braun, ein lichtschwaches Rot wird braunrot usw. Bei noch geringerer Lichtintensität gehen alle Farben schließlich in Schwarz über.

Die Netzhaut ist nicht an allen Stellen gleich empfindlich für Farben. Am schärfsten werden die Farben wie alle Gesichtswahrnehmungen in der Fovea centralis empfunden; daher die Zapfen als besonders farbenempfindliche Apparate anzusehen sind. Nach der Peripherie zu nimmt die Farbenempfindung ab.

Der äußerste Rand der Netzhaut ist farbenblind, hier wird nur hell und dunkel unterschieden.

Farbenblindheit.

Bei manchen Individuen (Männern mehr wie Frauen) betrifft die Farbenblindheit die ganze Netzhaut. Im Gegensatz zu den normalen, den Farbentüchtigen (Trichromaten nach Helmholtz) unterscheidet man die:

1. Total-farbenblinden, Monochromaten, die nur hell und dunkel unterscheiden. Ihnen erscheint das Spektrum als Streifen von zunehmender und wieder abnehmender Helligkeit; das Maximum derselben liegt da, wo wir sattes Wiesengrün sehen.

2. Partiell-farbenblinden, Dichromaten. Sie haben eine Stelle im Spektrum, welche ihnen farblos erscheint, der neutrale Punkt zwischen 485–500 $\mu\mu$. Von da aus nach dem kurzwelligen Ende empfinden sie Blau, das bis zur Sättigung zunimmt und dann direkt, nicht wie bei den normalen durch Violett, in Schwarz übergeht; nach dem langwelligen Ende empfinden sie Gelb, das bei etwa 600 $\mu\mu$ gesättigt erscheint und von da wieder an Intensität abnimmt.

Sie zerfallen in zwei große Gruppen; den Unterschied macht die Intensitätsverteilung im Spektrum. Man kann das so auffassen, daß die Rotkurve und die Grünkurve in eine Kurve zusammenfallen, deren Maximum bei der einen Gruppe dem langwelligen Ende näher liegt als bei der anderen; die Kurve der Blauverteilung ist beiden gemeinschaftlich. Man hat die Gruppen fälschlich in Rotblinde und Grünblinde unterschieden; beide aber sehen weder rot noch grün, beide sind also rot-grün-blind. Nur hört bei der einen Gruppe das Spektrum an dem langwelligen Ende früher auf, sodaß das Rot ihr dunkel erscheint.

Farbige Nachbilder.

Ebenso wie beim weißen Licht erscheinen auch beim farbigen Licht positive und negative Nachbilder. Bei ersteren überdauert

die Farbenempfindung den Reiz, man sieht die gleichen Farben noch fortbestehen. Bei letzteren treten an Stelle der ursprünglichen Farben im Bild die dazu komplementären, *sukzessiver Kontrast*. Zu unterscheiden davon ist

der simultane Kontrast.

Bei Betrachtung einer gefärbten Fläche treten in der Umgebung oder an einer anderen Stelle derselben komplementär gefärbte Partien gleichzeitig auf. Legt man z. B. ein graues Papierschnitzelchen auf eine größere Fläche von gesättigter Farbe und überdeckt das Ganze mit durchscheinendem Seidenpapier, so erscheint das graue Schnitzelchen in der Komplementärfarbe.

III. Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.

Das monokulare Sehen.

Die durch den Gesichtssinn erhaltenen Zeichen (Gesichtsempfindungen) sind ihrer Intensität (Helligkeit) und Qualität (Farbe) nach verschieden, außerdem noch nach der Stelle der gereizten Netzhaut; sie sind in dieser Beziehung *Lokalzeichen*. Diese haben wir wahrscheinlich unter beständiger Korrektur des Tastsinnes durch die Erfahrung deuten gelernt. Damit erledigt sich auch die Frage, warum wir das von den Objekten entworfene umgekehrte Bild auf der Netzhaut aufrecht sehen. Das Bewußtsein weiß nichts von der Netzhaut, ihrer Lage und der Bilder darauf, sie kennt nur Lokalzeichen des Gesichtsinnes.

Gemäß der Erfahrung sehen wir als Ursache der Netzhauterregung einen leuchtenden Punkt außerhalb unseres Körpers an und verlegen ihn auf die gerade Linie (Richtungstrahl), welche von dem erregten Netzhautelement durch den Knotenpunkt nach außen gezogen wird. In welchem Punkt dieser Linie der leuchtende Punkt liegt, bleibt zunächst unbekannt. Mit einem Auge orientieren wir uns daher nur über die Richtung, in welcher das Objekt sich befindet.

Wie schon erwähnt, ist die *Fovea centralis* diejenige Stelle der Netzhaut, mit welcher am deutlichsten und schärfsten ge-

sehen wird; man nennt das Sehen mit der Fovea centralis das direkte Sehen, das mit den übrigen Teilen der Netzhaut das indirekte. Die durch die Fovea centralis gezogene Richtungslinie heißt Gesichtslinie, Sehaxe (Fig. 35 GG₁) oder, da der direkt gesehene Objektpunkt auch Fixationspunkt oder Blickpunkt genannt wird, Fixationslinie, Blicklinie. Die durch die Blicklinie gelegte Ebene heißt die Blickebene.

Die Gesichtslinie fällt nicht mit der optischen Augenachse zusammen, sondern sie trifft die Netzhaut etwas nach innen und unten von dieser und bildet mit ihr einen Winkel von 4—5° (cf. Fig. 35).

Beim Sehen mit einem Auge sehen wir die Objekte wie an eine Fläche verteilt (nicht etwa an oder auf einer Fläche). Diese scheinbare flächenhafte Anordnung der gesehenen Objekte nennen wir das Gesichtsfeld. Die Ausmessung der seitlichen Begrenzung desselben geschieht durch das Perimeter.

Irrtümer bei der Beurteilung der Richtung, Lage, Bewegung und Größe von Objekten heißen optische Täuschungen.

Augenbewegungen.

Lagen des Augapfels.

Der Augapfel dreht sich in seinem Fettlager wie die Kugel in einer Pfanne. Die durch die Augenachse gelegten Ebenen heißen Meridianebenen, die größten Kreise darin Meridiane. Die im Mittelpunkt der Augenachse auf ihr senkrechte Ebene heißt Äquatorialebene, der größte Kreis in ihr Äquator. Der vertikale Durchmesser desselben ist die Höhenachse, der horizontale die Querachse des Auges. Der Drehpunkt des Auges liegt etwa 13 mm hinter dem Hornhautscheitel auf der Augenachse.

Primärlage der Augen ist diejenige, wobei die Augen geradeaus in die Ferne gerichtet sind, also die Augenachsen parallel und sagittal stehen und die Querachsen eine grade Linie bilden. Diese Lage betrachtet man als Ruhelage, von der aus alle übrigen Lagen bestimmt werden können.

Sekundärlagen sind diejenigen, bei welchen die Drehung um 2 Achsen der Primärlage erfolgt: um die Höhenachse

beim Blicken nach rechts und links, um die Querachse beim Blicken nach oben und unten.

Tertiärlagen nennt man diejenigen, bei welchen noch Drehungen um die dritte Achse, die Augenachse, hinzukommen, also Rotationen des Auges erfolgen.

Die Augenmuskeln.

Sie bilden drei Paare von Antagonisten: Rectus ext. und int., Rectus sup. und inf., Obliquus sup. und inf.

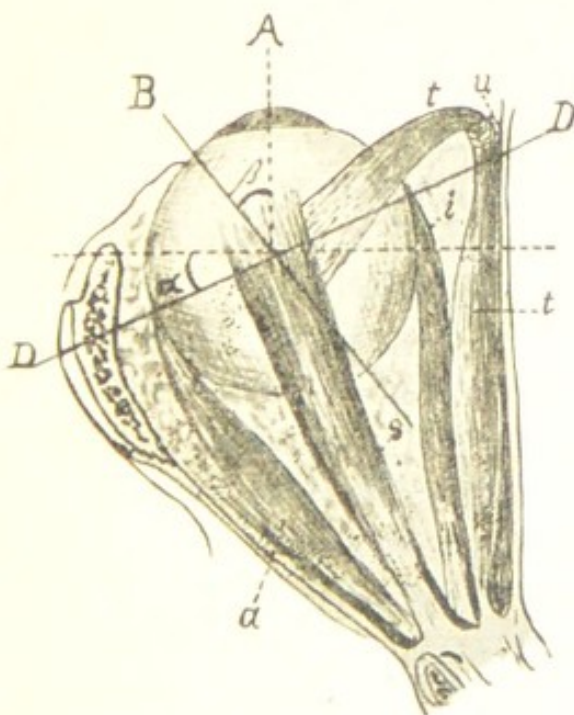


Fig. 41. Augenmuskeln und ihre Drehungsachsen am Augapfel nach Helmholtz.

a: Rectus externus, s: Rectus superior, i: Rectus int., t: Obliq. sup., u: Trochlea.

A: Augenachse, die gestrichelte senkrechte dazu ist die Querachse (Aquatator). DD: Drehachse des Rect. sup. und inf. B: Drehachse des Obliq. sup. und inf.

Der Rectus ext. und int. drehen das Auge nach außen und innen, ihre Drehungsachse fällt mit der Höhenachse zusammen.

Der Rectus sup. dreht den Hornhautscheitel nach oben, der Rectus inf. nach unten, jeder gleichzeitig etwas nach innen (nasalwärts) wegen seines schrägen Verlaufs von dem Ursprung am Foramen opticum zum Augapfel. Ihre Drehungsachse fällt daher nicht ganz mit der Querachse zusammen, sondern bildet mit ihr einen Winkel (α) vom 20° .

Der Obliquus sup. dreht die Cornea nach unten und außen (temporalwärts), der Obliquus inf. nach oben und außen. Die Drehungsachse fällt nicht mit der Augenachse

zusammen, sondern bildet mit ihr einen Winkel (β) von 35° .

Hieraus ergibt sich, daß für eine Drehung um die Querachse der Rectus sup. und Obliquus inf. (senkrechte Erhebung des Blickes), bez. Rectus inf. und Obliquus sup. (senkrechte Senkung) nötig ist.

Für die Tertiärlagen sind drei Muskeln erforderlich: Zu den beiden, die das Auge nach oben oder unten bewegen, kommt noch der Rectus ext., bezw. int. hinzu.

Das binokulare Sehen.

Beim Sehen mit beiden Augen schneiden sich die beiden Sehachsen in dem fixierten Punkt, dem binokularen Blickpunkt. Die Größe des von den Sehachsen gebildeten Konvergenzwinkels, binokularen Gesichtswinkels, ist ein wichtiger Anhaltspunkt für die Schätzung der Entfernung im Bereiche des Nahepunktes und damit der Größe eines Gegenstandes.

Beim monokularen Sehen geschieht die Schätzung der Entfernung bei Objekten, deren Größe bekannt ist, nach der Größe des Netzhautbildchens; dies kann aber bei ungleicher Größe der Objekte gleich groß ausfallen, wenn die Objekte so verschieden weit vom Auge entfernt sind, daß sie gleichen Sehwinkel bilden, d. i. derjenige Winkel, den die von dem äußersten Punkte des Objektes durch den Knotenpunkt gezogenen Richtungstrahlen ergeben. Deswegen wird noch zu Hülfe genommen das Gefühl der Akkommodationsanstrengung (bei näherem Gegenstand akkommodieren wir stärker), die Vergleichung mit bekannten Objekten, die Schattengebung des Objektes, die Luftperspektive, und die scheinbare und wirkliche Lageveränderung des Objektes. Trotz alledem bleibt die Schätzung sehr unsicher.

Viel genauer wird sie aber beim binokularen Sehen, indem das feine Muskelgefühl uns belehrt über den Grad der zur größeren oder geringeren Konvergenz der Sehachsen notwendigen Anstrengungen der Augenmuskeln. Doch gilt auch dies nur für nahe Gegenstände, da, je größer die Entfernung ist, um so geringer die Veränderung des Konvergenzwinkels wird.

Einfachsehen.

Es kommt dadurch zu stande, daß die Bilder der beiden Netzhäute in der Wahrnehmung vereinigt werden. Diejenigen Stellen in beiden Netzhäuten, deren Bilder zu einem gemeinsamen Bilde verschmelzen, heißen identische oder korre-

spondierende Punkte. Dazu gehört der gelbe Fleck, ferner alle Punkte, die von ihm aus gleich weit und symmetrisch gelegen sind.

Bilder, die auf nicht identischen Punkten liegen, können bei hinreichender Aufmerksamkeit doppelt gesehen werden z. B. der eine von zwei hintereinander befindlichen gleichzeitig betrachteten Gegenständen.

Die Gesamtheit aller derjenigen Punkte im Raum, welche bei einer bestimmten Augenstellung einfach gesehen werden, heißt *H o r o p t e r* d. i. *S e h g r e n z e*.

K ö r p e r l i c h e s S e h e n.

Beim Betrachten eines Körpers bekommt jedes Auge vermöge seiner vom anderen verschiedenen Stellung im Kopfe ein perspektivisch verschiedenes Bild. Mit dem rechten Auge allein sieht man mehr von der rechten, mit dem linken mehr von der linken Seite des Körpers; von zwei hintereinander befindlichen Objekten wird das nähere im Verhältnis zum entfernteren vom rechten Auge mehr nach links, vom linken mehr nach rechts verlegt. Indem diese beiden inkongruenten Netzhautbilder in der Wahrnehmung zu einem verschmelzen, erhalten wir den Eindruck des Körperlichen. Dies läßt sich dadurch beweisen, daß wenn man von einem Körper zwei Bilder von zwei der Lage der Augen entsprechenden Stellen des Raumes aufnimmt, man bei der Betrachtung dieser flächenhaften Bilder mit je einem Auge den Eindruck des Körperlichen erhält. Apparate, die diese Betrachtung erleichtern und den Eindruck erhöhen, nennt man *S t e r e o s k o p e*.

Daß die beiden Netzhautbilder identischer Punkte gesondert empfunden und erst infolge von Übung und Erfahrung in der Wahrnehmung vereinigt werden, lehrt der Wettstreit der Sehfelder. Wenn man vor das eine Auge ein rotes, vor das andere ein blaues Glas hält, so sieht man das fixierte Objekt fleckig rot und blau, erst später mit eintretender Ermüdung gleichmäßig grau.

Ferner, wenn von zwei stereoskopischen Bildern diejenigen Stellen des einen schwarz sind, welche im andern weiß sind, so

erhält man an diesen Stellen den Eindruck des Glanzes, weil keine Vereinigung zur Mischfarbe grau entsteht, sondern abwechselnd hell und dunkel empfunden wird.

Vorteile des binokularen Sehens.

Sie bestehen darin, daß erstens das Gesichtsfeld beider Augen größer ist als das eines Auges allein, ferner daß durch die Konvergenz der beiden Sehachsen eine genauere Schätzung der Entfernung und Größe der Objekte ermöglicht ist, und daß durch die Aufnahme der Netzhautbilder von zwei verschiedenen Standpunkten aus die Tiefendimension richtiger beurteilt wird, schließlich daß Fehler des einen Auges durch das andere korrigiert werden können (Mariotte's blinder Fleck).

Anhang.

Schutzorgane des Auges.

Das vordere frei zu Tage liegende Segment des Augapfels kann durch die Augenlider vor äußeren Schädlichkeiten geschützt werden. Der Schluß erfolgt durch *M. orbicularis palpebrarum* (N. facialis); die Öffnung geschieht beim oberen Augenlid durch *M. Levator palpebrae sup.* (N. oculomotorius), das untere fällt durch seine eigene Schwere herab.

Der Schluß der Augenlider erfolgt

1. willkürlich,
2. unwillkürlich, im Schlaf,
3. reflektorisch bei Reizung der Konjunktiva oder auf Lichtreiz (Blinzeln).

Die Hornhaut wird durch die Tränenflüssigkeit gespült und gereinigt. Sie kommt von der im oberen äußeren Teil der Augenhöhle gelegenen Tränendrüse und gelangt zum „Tränensee“ am inneren Augenwinkel. Durch das Sekret der Meibom'schen Drüsen werden die Lidränder befettet, sie verhindern so ein Überfließen. Aus dem Tränensee gelangt die Flüssigkeit wahrscheinlich durch kapillare Ansaugung in die Tränenpunkte und durch die Tränenröhrchen in den Tränen-

sack, von da durch den Tränennasenkanal in den unteren Nasengang.

Die Augenbrauen sollen das Auge vor dem herab-rinnenden Stirnschweiß schützen.

I n t r a o k u l a r e r D r u c k .

Im Innern des Augapfels herrscht ein Druck von 20—30 mm Quecksilber, daher sich der Bulbus fest und prall anfühlt. Wahrscheinlich rührt er in letzter Instanz her von dem in den Chorioideal- und Netzhautgefäßen herrschenden Blutdruck.

24. Gehörsinn.

Der besondere Nerv, der *Sinnesnerv*, für die Gehör-empfindungen ist der *N. acusticus*. Sein peripherischer Endapparat liegt im Gehörorgan.

Den adäquaten Reiz bilden longitudinale Wellen (Verdichtungswellen) elastischer Medien, normalerweise der Luft, „Schall“ genannt.

Der Schall wird durch den leitenden Apparat dem empfindenden Apparat, der Endausbreitung des *N. acusticus*, zugeleitet und diese erregt. Die Erregung pflanzt sich nach dem Gehirn fort, dadurch kommt die Gehörwahrnehmung zu stande.

Wir werden demnach betrachten:

- I. den schallleitenden Apparat,
- II. den schallempfindenden Apparat,
- III. die Erregung des schallempfindenden Apparates oder Gehörerregung,
- IV. die Schallempfindung,
- V. die Gehörwahrnehmung.

I. Der schallleitende Apparat.

Das äußere Ohr.

Die Schallwellen der Luft gelangen in das äußere Ohr, das, aus Ohrmuschel und Gehörgang bestehend, einem trichterförmigen Hörrohr gleich die anlangenden Schallwellen sammelt.

Die Ohrmuschel

ist beim Menschen nur von untergeordneter Bedeutung, da beim Fehlen derselben nur eine geringe Hörherabsetzung eintritt. Nur für die Unterscheidung der Richtung, in welcher die Schallquelle liegt, kommt sie in Betracht (s. u.).

Der Gehörgang

leitet die Schallwellen mit fast unverminderter Intensität zum Trommelfell. Er hat, wie jeder luftgefüllte Hohlraum, einen Eigenton; da der Gang sehr kurz ist, 3 cm, ist dieser Eigenton sehr hoch. Es findet daher eine Resonanz im Gehörgang nur für sehr hohe Töne statt, die uns gerade wegen dieser Verstärkung unangenehm werden.

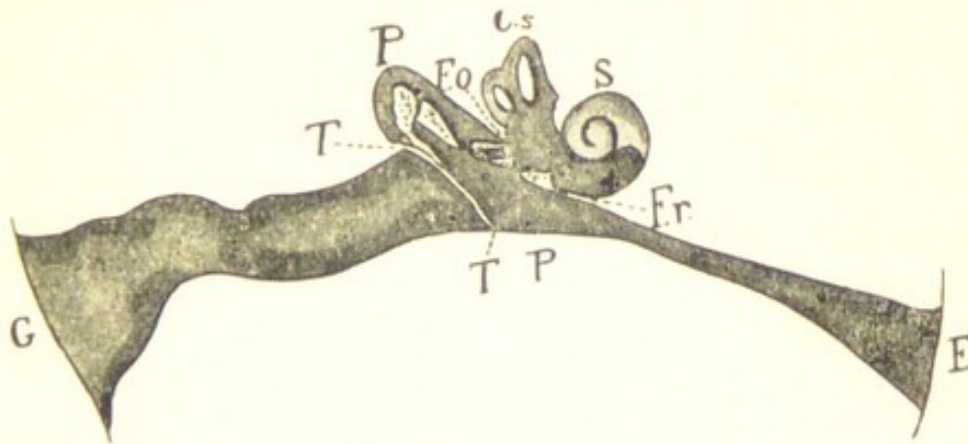


Fig. 42. Gehörorgan (schematisch nach Helmholtz).
G: Gehörgang, *TT*: Trommelfell, *PP*: Paukenhöhle mit Gehörknöchelchen,
F. o.: Fenestra ovalis, *F. r.*: Fenestra rotunda, *C. s.*: Canales semicirculares,
S: Schnecke, *E*: Tuba Eustachii.

Die Krümmungen des Gehörganges verhindern das zu weite Eindringen von Staub und ev. von Fremdkörpern; ähnlich wirken die Haare.

Das Ohrenschmalz schützt die Wände des Gehörganges und das Trommelfell vor Eintrocknung.

Das Mittelohr oder die Paukenhöhle.

Die Paukenhöhle, ein flacher mit Luft erfüllter Hohlraum im Felsenbein, wird außen vom Trommelfell, innen von der knöchernen Wand des Labyrinths begrenzt; in der letzteren befinden sich zwei durch Membranen verkleidete Öffnungen, das *o v a l e* und das *r u n d e F e n s t e r*. Die Schwingungen des Trommelfells werden auf die Membran des ovalen Fensters übertragen durch die Kette der Gehörknöchelchen, welche zwischen beiden ausgespannt ist.

Die Gehörknöchelchen sind der Reihe nach:

1. Hammer, Malleus.
2. Amboß, Incus.
3. Steigbügel, Stapes.

Der Stiel des H a m m e r s , mit dem Trommelfell fest verwachsen, geht vom oberen Rande desselben in radiärer Richtung bis über die Mitte hinaus. Der Stiel setzt sich vermittels des Halses in den Kopf des Hammers fort. Ein zirkuläres Haftband, von der äußeren Paukenhöhlenwand entspringend, umfaßt den Hals und gestattet mit dem Lig. mallei. ant. und post. dem Hammer Bewegungen um eine etwa sagittale, durch den Hals verlaufende Achse. Geht das Trommelfell und damit der Hammerstiel nach innen (der Paukenhöhle zu), so geht der Kopf nach außen und umgekehrt.

Der A m b o ß hat die Gestalt eines Backenzahnes mit zwei Wurzeln, einer kurzen, kurzer Fortsatz, und einer langen, langer Fortsatz; die Krone wird durch die Gelenkfläche des Amboß-Körpers gebildet, die auf dem Kopf des Hammers ruht. Der kurze Fortsatz ist an der hinteren oberen Wand der Paukenhöhle mittels Bändern befestigt; um diesen Befestigungspunkt dreht sich der Amboß so, daß der Körper mit dem Hammerkopf zugleich nach außen geht, während der lange Fortsatz mit dem Hammerstiel zugleich nach innen sich bewegt.

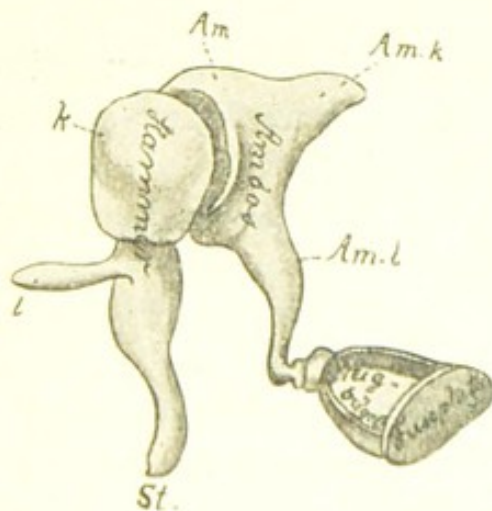


Fig. 43. Gehörknöchelchen.
k. Kopf des Hammers, St. Hammerstiel, l. langer Fortsatz des Hammers, Am. k. kurzer, Am. l. langer Fortsatz des Amboß.

Das Gelenk zwischen Hammer und Amboß ist ein Sperrgelenk; es ist mit zahnähnlichen kleinen Vorsprüngen versehen, welche nicht ineinander greifen, wenn Hammerstiel und Trommelfell nach außen gehen, welche aber sofort fassen, wenn die Bewegung nach innen erfolgt. Der lange Fortsatz des Amboß artikuliert vermittels eines einem Sesambeinchen ähnlichen Knöpfchens mit dem Capitulum des Steigbügels.

Der S t e i g b ü g e l besteht aus zwei Schenkeln, welche die Fußplatte des Steigbügels zwischen sich fassen. Die Fußplatte ist durch das Ringband mit der Membran des ovalen Fensters verwachsen, welche das Labyrinth gegen die Paukenhöhle abschließt.

Die drei Gehörknöchelchen kann man demnach als einen ungleicharmigen Winkelhebel betrachten, der sich um die Drehungsachse im Hammerhals bewegt; den einen längeren Arm stellt der Hammerstiel, den anderen kürzeren stellt der Hammerkopf mit Amboß und Steigbügel dar. Da die Produkte aus Weg und Kraft an den Hebelarmen gleich sind, so wird der Hammerstiel einen langen Weg mit geringer Kraft zurücklegen, umgekehrt der Kopf mit Amboß und Steigbügel einen kurzen Weg mit großer Kraft. Dadurch ist ermöglicht, daß die Schwingungen des Trommelfells nach innen möglichst ausgiebig auf die Membran des ovalen Fensters übertragen werden.

Das Trommelfell.

Es ist schräg von oben außen nach unten innen gestellt, beide Trommelfelle konvergieren etwas nach vorn. Das Trommelfell ist trichterförmig nach innen gezogen, die Trichterwände sind etwas konkav nach innen gewölbt. Da das Trommelfell etwa 13 mal größer ist als die Membran des ovalen Fensters, so wird auch hierdurch noch die Übertragung der Schwingungen auf die letztere verstärkt.

Eine gespannte Membran gibt beim Anschlagen einen Ton an, ihren Eigenton. Erklängen in ihrer Nähe Töne, die diesem Eigenton sich nähern oder ein vielfaches von ihm darstellen, so schwingt die Membran mit, sie „resoniert“. Trichterförmig gespannte Membranen dagegen besitzen infolge der an ihren verschiedenen Punkten herrschenden verschiedenen Spannung keinen Eigenton; sie akkommodieren sich deswegen für eine große Reihe von Tönen den verschiedenen Schwingungsgeschwindigkeiten derselben gleich gut. So auch das Trommelfell.

Das Trommelfell ist zugleich mit den Gehörknöchelchen belastet. Diese Belastung wirkt

1. unterstützend für die Beseitigung jeder Eigenschwingung des Trommelfells,

2. als sehr vollkommene Dämpfung, wie die Dämpfer am Klavier, sodaß ein Nachschwingen der Membran vermieden wird.

Der M. tensor tympani.

Er soll die Schwingungen des Trommelfells bei sehr starker Erschütterung oder doch wenigstens die in solchem Fall sehr

starken Nachschwingungen verringern, dadurch, daß er alle Befestigungsbänder straff spannt.

Der M. stapedius.

Er soll das Trommelfell entspannen; welche Bedeutung das für die Schalleitung hat, ist noch strittig.

Beide Muskeln zusammen helfen also wahrscheinlich die Verbindung der Gehörknöchelchen so fest machen, daß sie nach innen als Ganzes schwingen können.

Innerviert wird der M. tensor tympani vom Trigemimus, der M. stapedius vom Facialis.

Die Zellen des Warzenfortsatzes.

Sie tragen zwar zur Vergrößerung der Paukenhöhle bei; infolge ihrer unregelmäßigen Gestalt kann aber keine störend wirkende Resonanz auftreten.

Die Tuba Eustachii.

Sie setzt das Mittelohr mit dem Rachenraum und dadurch mit der atmosphärischen Luft in Verbindung.

Sie ist für gewöhnlich geschlossen, öffnet sich aber für kurze Zeit bei jeder Schlingbewegung durch Kontraktion des M. Tensor tympani und Levator palati mollis.

Ihre Bedeutung besteht darin, daß bei ihrer Öffnung eine Ausgleichung des Luftdruckes in der Paukenhöhle mit dem der Atmosphäre hergestellt wird.

Wird die Tube infolge katarrhalischer Entzündung ihrer Schleimhaut verschlossen, so wird durch die einseitige Wirkung des Druckes der äußeren Luft das Trommelfell nach innen zur Paukenhöhle gedrückt, und es treten Gehörstörungen auf.

Wenn man bei geschlossener Nasen- und Mundöffnung eine kräftige Expirations- oder Inspirationsbewegung macht, so wird Luft durch die Tube in die Paukenhöhle hineingetrieben oder aus ihr aspiriert, es entsteht eine Druckerhöhung bez. -Erniedrigung; das Trommelfell wird nach außen bez. nach innen getrieben, man hört infolge dessen ein knackendes Geräusch; gleichzeitig ist die Hörfähigkeit herabgesetzt (positiver und negativer Valsalva'scher Versuch).

Inneres Ohr oder Labyrinth.

Das knöcherne Labyrinth.

Es stellt einen geschlossenen Knochenhohlraum dar, der an zwei Stellen einen Membranverschluß aufweist, an der Fenestra ovalis und an der Fenestra rotunda. Im Innern dieses Hohlraumes befindet sich das häutige Labyrinth, das nicht ganz dicht dem Knochen aufliegt, sondern durch eine Flüssigkeitsschicht, die *Perilymphe*, davon getrennt ist, gleichsam darin schwimmt.

Das häutige Labyrinth.

Es ist vollständig mit *Endolymphe* ausgefüllt und zerfällt in einen vorderen zugleich mehr medianwärts gelegenen Abschnitt, *Sacculus* und *Ductus cochlearis*, und einen hinteren zugleich mehr lateral gelegenen Abschnitt, *Utriculus* und *Bogengänge*. Beide Teile sind von einander getrennt, kommunizieren aber indirekt dadurch, daß jeder einen kurzen Schenkel zu dem im *Aqueductus vestibuli* liegenden *Ductus endolymphaticus* schiebt. *Sacculus* und *Utriculus* liegen gemeinsam in dem als *Vestibulum* bezeichneten mittleren Teil des knöchernen Labyrinthes. Doch wird das *Vestibulum* durch eine Knochenleiste, die *Crista vestibuli*, in einen vorderen Knochenhohlraum, *Recessus sphaericus*, für den häutigen *Sacculus* und einen hinteren Knochenhohlraum, *Recessus ellipticus*, für den häutigen *Utriculus*¹⁾ abgegrenzt.

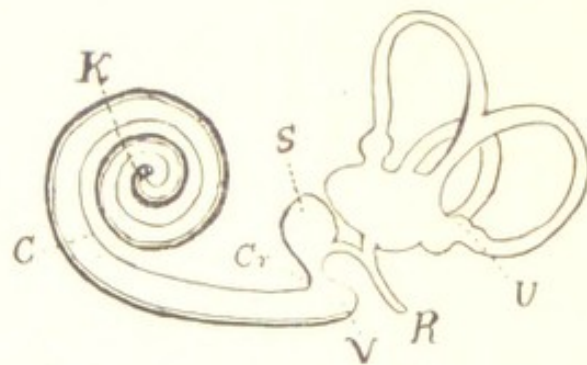


Fig. 44. Das häutige Labyrinth (schematisch).

U: Utriculus mit den Bogengängen, *S*: Sacculus, *R*: Recessus (*Ductus endolymphaticus*), *C*: Schnecke, *Cr*: Canalis reuniens, *V*: Vorhofblindsack, *K*: Kuppelblindsack.

Die Schnecke.

Sie ist ein Kanal von 33 mm Länge, der in $2\frac{1}{2}$ Windungen um den *Modiolus* aufgewunden ist. Sie ist in ihrer natürlichen Lage derart auf die Kante gestellt, daß der *Modiolus* in der

¹⁾ Man muß beachten, daß die einzelnen Abschnitte der zusammenhängenden Knochenhöhlräume und die sie auskleidenden Teile des häutigen Labyrinths vielfach gesonderte Bezeichnung haben.

Flucht des inneren Gehörganges (auf der oberen hinteren Fläche der Pyramide) liegt. Die Basis des Modiolus bildet den Grund des inneren Gehörganges; in diese Basis tritt der Nervus acusticus (zusammen mit dem N. facialis) durch viele feine Öffnungen ein.

Der ganze Kanal, also jede Schneckenwindung ist durch eine Scheidewand in zwei Gänge geteilt, Scala vestibuli und Scala tympani, die an der Kuppel der Schnecke durch das Helicotrema kommunizieren, weil hier die Scheidewand aufhört. Die Scala vestibuli ist der Spitze der Schnecke, die Scala tympani der Basis zugewendet; bei aufrecht gestellter Schnecke nimmt jene die obere, diese die untere Hälfte des Schneckenkanals ein.

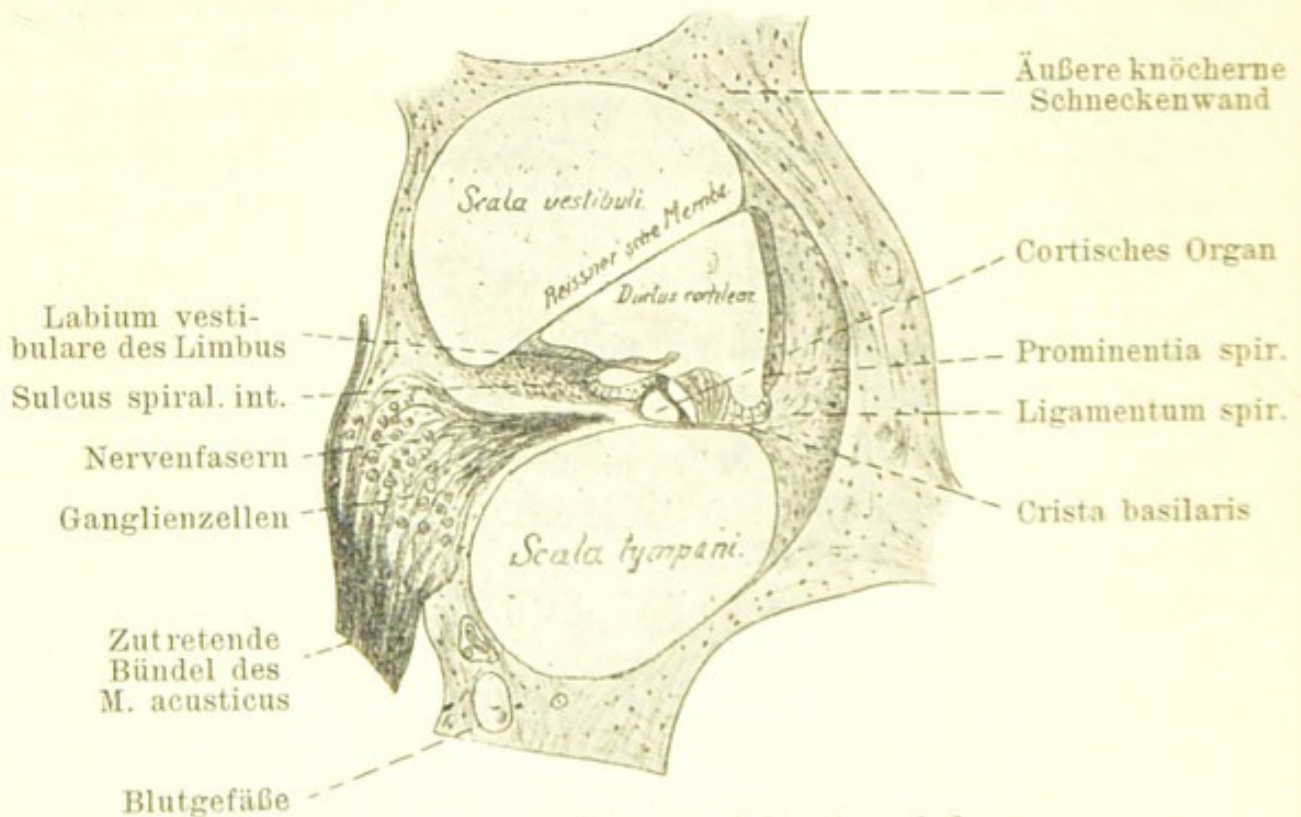


Fig. 45. Durchschnitt einer Schneckenwindung.

Die Scala vestibuli bildet die unmittelbare Fortsetzung des Vestibulums, während die Scala tympani schon unter dem Boden des Vestibulums liegt und hinten an der Fenestra rotunda blind endigt. Von der Scala vestibuli wird durch die Membrana Reissneri der Ductus cochlearis abgeteilt, der an der Schneckenkuppel blind endigt, und der den in der Schnecke gelegenen Teil des häutigen Labyrinths darstellt.

Die Schallleitung im inneren Ohr kommt nun wahrscheinlich folgendermaßen zu stande: Bei jeder Schwingung des Trommel-

fells nach innen wird gleichzeitig die Fußplatte des Steigbügels in der Fenestra ovalis gegen das Vestibulum des Labyrinths vorgetrieben und stößt hier auf die darin enthaltene Flüssigkeit, die Perilymphe. Da Flüssigkeiten so gut wie inkompressibel sind, so wird der Stoß unmittelbar in der Richtung fortgepflanzt, in welcher die Flüssigkeit ausweichen kann. Eine nachgiebige Stelle des Labyrinths bildet nur das runde Fenster, daher wird sich die Erschütterung in die Scala vestibuli und durch das Helicotrema in die Scala tympani gegen das runde Fenster fortsetzen, welches nach außen (gegen die Paukenhöhle zu) getrieben wird. Indem die Schallwelle diesen Weg durchläuft, erschüttert sie indirekt die im Ductus cochlearis eingeschlossene Endolymphe; und zwar werden die Erschütterungen der Perilymphe sowohl in der Scala vestibuli auf die Membrana Reissneri, als auch besonders in der Scala tympani auf die Membrana basilaris, das Fundament des Corti'schen Organs, des schallempfindenden Apparates (s. u.) übertragen.

Daß sich die Erschütterung der Perilymphe des Vestibulums, wenn auch nur in sehr geringem Maße, auch auf die Endolymphe des Utriculus und damit den hinteren Teil des Labyrinths fortsetzt, ist wahrscheinlich. Denn der Aquaeductus cochleae, durch den die Perilymphe allein nach außen treten kann (sie kommuniziert dadurch mit der Cerebrospinalflüssigkeit der Subarachnoidal-Räume) stellt nur einen kapillaren Spalt dar, gestattet also nur ein sehr geringes Ausweichen der Flüssigkeit nach außen.

Schallleitung durch die Kopfknochen.

Wir haben bisher nur die Übertragung des Schalls durch die Luft betrachtet. Da aber auch feste Körper den Schall leiten, so kann eine Erregung des schallempfindenden Apparates auch direkt durch die Kopfknochen zu stande kommen. Setzt man eine angeschlagene Stimmgabel, deren Ton man in einiger Entfernung vom Ohr nicht mehr hört, auf den Proc. mastoideus oder auf die Zähne auf, so wird ihr Ton sofort wieder hörbar. Ist er auch bei dieser Knochenleitung vollständig verklungen, so hört man ihn doch sofort wieder und noch einige Zeit lang, sobald man die Stimmgabel dicht vor das Ohr hält.

Diese Tatsache ist für die Ohrenärzte diagnostisch von großer Bedeutung, weil sie bei Taubheit die Entscheidung gibt,

ob dieselbe auf Erkrankung des schallleitenden oder des schallempfindenden Apparates beruht. Im letzteren Falle ist die Leitung durch die Kopfknochen aufgehoben.

II. Der schallempfindende Apparat.

Die Scheidewand, *Lamina spiralis*, welche die Scala vestibuli von der Scala tympani trennt, besteht aus einem knöchernen Teil, *L. sp. ossæa*, der vom Modiolus entspringt, und aus einem häutigen Teil, der Fortsetzung des vorigen zur gegenüberliegenden, äußeren Schneckenwand, *L. sp. membranacea*. Diese letztere trägt im Ductus cochlearis (s. o.) die aus parallelen radiären Fasern zusammengesetzte *Membrana basilaris*. Auf dieser ist der schallempfindende Apparat, das Corti'sche Organ, aufgestellt.

Das Corti'sche Organ (s. Fig. 46) besteht aus:

1. den Corti'schen Bögen; sie stehen auf den radiären Fasern der Membrana basilaris auf. Jeder Bogen wird gebildet aus zwei Pfeilern, einem graden inneren (dem Modiolus zugewandten) und einem S-förmig gekrümmten äußeren, deren Kopfplatten übereinanderlagern. Der Bogen schließt den Tunnelraum ein.

2. den Corti'schen Zellen, Haarzellen oder Hörzellen, den eigentlichen Sinneszellen. An die inneren Pfeiler legt sich eine Reihe innerer Haarzellen an und daran Epithelzellen, die an Größe allmählich abnehmen. An die äußeren Pfeiler legen sich 3—4 Reihen „äußerer Haarzellen“ an und daran die an Größe nach der Wand zu allmählich abnehmenden Hensen'schen und Claudius'schen Zellen. Jede äußere Haarzelle sitzt mit ihrem abgerundeten unteren Teil in dem ausgehöhlten oberen Teil einer Deiters'schen Zelle, dem Zangenbecher.

Jede Deiters'sche Zelle nämlich trägt in ihrem Inneren eine zentrale Stützfaser, aus welcher sich innerhalb der Zelle seitlich eine Faser abzweigt, die sich dann unterhalb der Corti'schen Zelle zu einem Zangenbecher auswächst. Die Deiters'sche Zelle sendet ferner zwischen die Hörzellen (Corti'sche Zellen) einen schmalen Fortsatz nach oben, der in der Höhe des oberen Endes der Hörzellen zu einem platten biskuitförmigen Gebilde — Phalange — anschwillt, daher Phalangenfortsatz genannt. Diese Phalangen

bilden mit ihren Zwischenräumen gewissermaßen ein Netz (Lamina reticularis), dessen Maschen die an ihrer Oberfläche platten, mit Härchen besetzten Enden der Hörzellen ausfüllen.

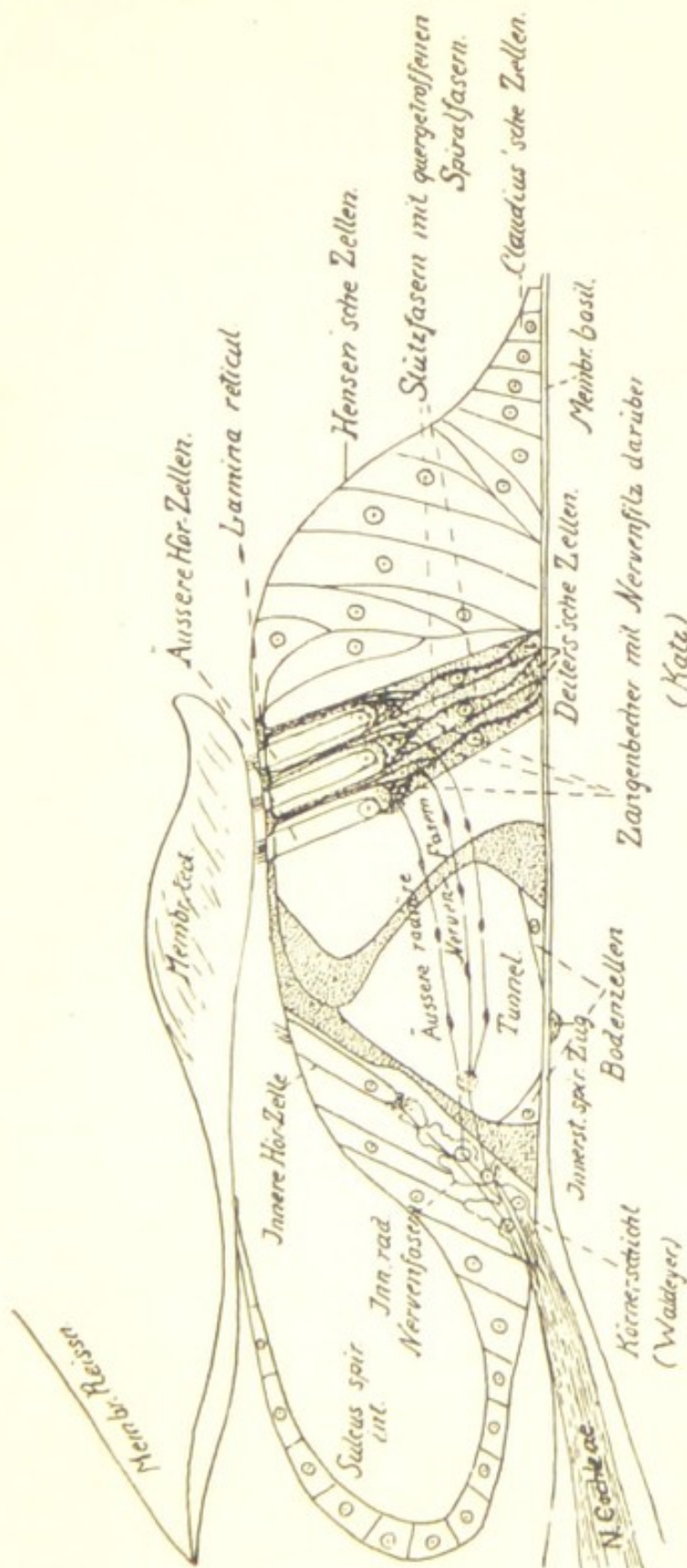


Fig. 46. Corti'sches Organ.

Oberhalb des Corti'schen Organs liegt noch eine aus feinen Fasern bestehende Membran, die *Membrana tectoria*,

welche mit einem Ende an eine bindegewebige Auflagerung der Lamina spiralis ossea (dem Limbus spiralis) befestigt ist, während das andere Ende frei in das Lumen des Ductus cochlearis hineinragt und auf den Härchen der Hörzellen aufliegt.

Der *Nervus acusticus* teilt sich in zwei Äste, den *N. cochlearis* und *N. vestibularis* (s. u.).

Der *N. cochlearis* ist der eigentliche Gehörnerv. Er tritt in den Modiolus der Schnecke ein und breitet sich fächerförmig in der Lamina spiralis ossea aus. Von da gehen nackte Achsenzyylinder zu den inneren und äußeren Hörzellen als innere bez. äußere radiäre Nervenfasern. Die letzteren durchsetzen das Gewölbe, den *T u n n e l* des Corti'schen Bogens, daher *T u n n e l n e r v e n* genannt (eine Nervenfasern für jede Hörzelle) und endigen am unteren Ende derselben so, daß jede ein wirres, innig verfilztes Geflecht, gleichsam ein Nest, bildet, welches sich also zwischen unteres Ende der Hörzelle und Zangenbecher der Deiters'schen Zelle einschiebt.

III Die Gehörerregung.

Die Membrana basilaris gleicht nach Helmholtz mit ihren dreh-

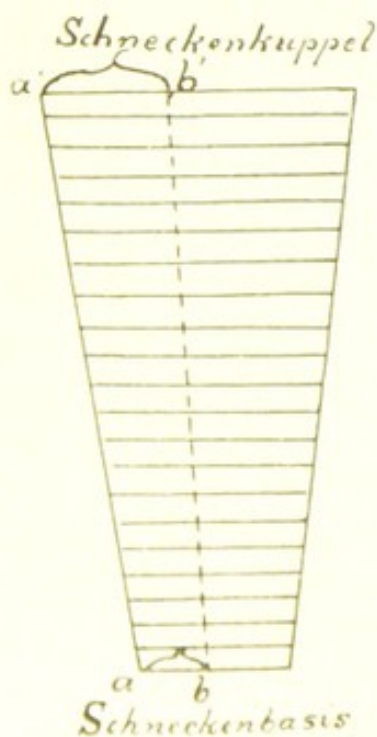


Fig. 47. Membrana basilaris aufgerollt.
a b, a' b' Corti'sche Bögen.

Schneckenkuppel zur Basis an Länge abnehmenden Fasern einer Aneinanderreihung gespannter Saiten, deren jede einen Eigenton hat, und von denen einzelne unabhängig von den übrigen in Mitschwingung versetzt werden, wenn ihr Eigenton in ihrer Nähe ertönt. Singt man in ein Klavier bei aufgehobenem Dämpfer einen Ton, so wird durch Resonanz nur diejenige Saite in Mitschwingung versetzt, welche auf diesen Ton abgestimmt ist, so daß man ihn erklingen hört. Ebenso werden durch Wasserwellen des Labyrinthes von bestimmter Schwingungszahl bestimmte Fasern der Membrana basilaris in Mitschwingung versetzt. Dadurch geraten wieder die ihnen aufsitzenden Gebilde,

die Corti'schen Bögen mit den Hörzellen, in Schwingungen, und der Nervenfilz der zugehörigen Achsenzylinders wird mechanisch gereizt. Der Erregung der zugehörigen Hirnzellen im Hörzentrum geht die Empfindung der verschiedenen Töne parallel. Da die Fasern der Basilarmembran an der Schneckenbasis am kürzesten, an der Kuppel am längsten sind, so werden jene die Wahrnehmung der hohen, diese die der tiefen Töne vermitteln.

Auch in den Säckchen des Vorhofs (Sacculus und Utriculus) an der Macula acustica befinden sich härchentragende Epithelzellen, auf denen die Otolithen liegen. Man hat angenommen, daß diese Zellen nicht auf bestimmte Tonhöhen abgestimmt sind, sondern daß sie durch Wellen von jeder beliebigen Periode in Mitbewegung versetzt werden können; sie sollen daher der Empfindung der Geräusche dienen.

IV. Die Schallempfindung.

Die Schallempfindungen werden eingeteilt in Geräusche, Töne und Klänge.

Geräusche.

Sie kommen zu stande durch unregelmäßige, nicht periodische Schwingungen der Luft.

Töne.

Folgen die Schwingungen regelmäßig und genügend schnell aufeinander, so empfinden wir einen Ton. Ein einfacher Ton wird hervorgerufen durch einfache Schwingungen; solche führt z. B. unter Einwirkung der Schwere das Pendel aus; man nennt daher die einfachen Schwingungen auch *Pendelschwingungen*¹⁾ oder, da die Geschwindigkeit eines Pendels proportional dem Sinus des Ablenkungswinkels ist, auch *Sinus-Schwingungen*. Bei den tönenden Körpern werden die Schwingungen durch die Elastizität der Körper unterhalten, daher auch *elastische Schwingungen* genannt. Sie hören, wie die Pendelschwingungen, unter dem Einfluß innerer Widerstände allmählich auf, werden gedämpft.

Einfache elastische Schwingungen führen Stimmgabeln aus; sie geben daher einfache Töne.

¹⁾ In Deutschland und England nennt man „Schwingung“ eine Pendel-Bewegung hin und her (Vibration double), in Frankreich eine Bewegung hin oder her (Vibration simple).

An einem einfachen Ton unterscheidet man seine

1. I n t e n s i t ä t. Sie ist dem Quadrat der Schwingungsamplitude direkt proportional.

2. H ö h e. Sie ist der Zahl der Schwingungen in der Zeiteinheit direkt proportional.

Der tiefste überhaupt hörbare Ton hat 16 Schwingungen in der Sekunde, der höchste etwa 50 000.

Die in der Musik verwendeten Töne haben Schwingungszahlen zwischen 33 in der Sekunde (contra C) und 4752 (das fünfgestrichene d der Pikkoloflöte).

Um eine Tonempfindung hervorzurufen und die Höhe des Tones richtig zu beurteilen, genügen schon 2 Schwingungen innerhalb des Bereichs von der Kontraoktave bis zur 4. gestrichenen Oktave. Das absolute Zeitminimum eines Tones liegt bei $g^{IV} = 0.00063$ Sek.

Was die Unterschiedsempfindlichkeit angeht, so vermögen geübte Musiker noch zwei Zungentöne von 500.0 und 500.3 Schwingungen und ferner die Tonhöhen 1000.0 und 1000.5 als verschieden zu erkennen.

Wie bei den Gesichtsempfindungen findet auch bei der Tonempfindung ein Anklingen statt, indem mit jeder folgenden Schwingung bis zu einer gewissen Grenze der Ton klarer und stärker wird, und ein Abklingen, indem die Empfindung den Reiz überdauert; zieht sich letzterer über Sekunden hin, so spricht man von Nachklingen.

Ob das Ohr auch ermüden kann, ist noch fraglich. Doch können sehr starke Töne zu einer Art Betäubung führen, die sich in einer Herabsetzung der Hörschärfe dokumentiert.

Einen Ton, dessen Schwingungszahl in der Zeiteinheit stetig zunimmt, nennt man „Heulen“.

Klänge oder musikalische Töne.

Die scheinbar einfachen Töne der musikalischen Instrumente und unserer Stimme stellen in Wirklichkeit ein Gemisch von solchen dar; sie sind aus mehreren einfachen pendelartigen Schwingungen zusammengesetzt.

Zu dem von uns scheinbar allein gehörten Ton, dem Grundton mischen sich in wechselnder Zahl und Stärke bestimmte höhere Töne, O b e r t ö n e, die in Bezug auf die

Schwingungszahl in einem einfachen Zahlenverhältnis zum Grundton stehen. Die Wellenform hat nicht mehr die Gestalt einer einfachen Sinuskurve, sondern eine mannigfaltig davon abweichende; dennoch läßt sie sich immer zerlegen in Systeme solcher einfachen pendelartigen Schwingungskurven.

Dies tut auch in der Tat das Ohr beim Hören eines Klanges und, indem es den verschiedenen Gehalt an Obertönen wahrnimmt, empfindet es das, was man die Klangfarbe, Timbre, nennt. Darauf beruht, daß uns ein Ton von derselben Höhe und Stärke, von verschiedenen Instrumenten oder der Stimme hervorgebracht, verschieden erscheint.

Wenn Grundton und Oberton zu gleicher Zeit anheben, so fallen die Anfangspunkte der beiden Tonschwingungen und die entsprechenden Endpunkte zusammen, es besteht „Phasengleichheit“. Beginnt der eine Ton etwas später oder früher, so ist das nicht mehr der Fall, es besteht „Phasenungleichheit“ oder „Phasenverschiebung“. Für das Ohr macht das keinen Unterschied, ihm erscheinen die Töne in beiden Fällen gleich.

Die Erkennung der Obertöne wird erleichtert durch *Resonatoren*, Hohlkugeln von verschiedener Größe, deren weite Öffnung der Tonquelle zugekehrt, deren engeres trichterförmiges Ende in den Gehörgang eingesetzt wird. Wird die Luftmasse in den Kugeln dadurch in Mitschwingung versetzt, daß ihr Eigenton außen ertönt, so wird derselbe von dem Ohr in verstärkter Intensität gehört.

Harmonie.

Harmonisch klingen nur solche Töne, deren Schwingungszahlen in einem einfachen Verhältnis stehen, z. B. im Grundakkord: Grundton, große Terz, Quinte, Oktave.

$$C: E: G: c = 4: 5: 6: 8.$$

Leibnitz: *Musica est exercitium arithmeticae occultum nescientis se numerare animi*. Solche harmonischen Klänge nennen wir *Konsonanzen*.

Töne, deren Schwingungen in einem weniger einfachen Zahlenverhältnis stehen, empfinden wir unangenehm; sie bilden *Dissonanzen*. Die Dissonanz zweier Töne hat ihre Ursache in den

Schwebungen.

Diese bestehen in einem in regelmäßigen Abständen sich wiederholenden Abschwellen und Anschwellen der Intensität des Tones und rühren her von der Interferenz zweier Schallwellensysteme. Treffen die Wellenberge und die Wellentäler zweier Schallwellen zeitlich zusammen, so summieren sie sich und verstärken den Ton; fallen aber Wellenberg und Wellental zeitlich zusammen, so wird der Ton schwächer oder erlischt ganz.

Die Anzahl der Schwebungen, welche in der Zeiteinheit gehört werden, ist gleich dem Unterschied der Schwingungszahlen der Töne.

Die Schwebungen sind subjektiver Natur, sie erregen keinen Resonator.

Treten mehr als 10—12 Schwebungen in der Sekunde auf, so sind dieselben einzeln nicht mehr wahrnehmbar, sie mischen sich als Geräusch dem Ton bei und geben ihm eine gewisse Rauigkeit, die wir als Dissonanz empfinden, ähnlich der unangenehmen Empfindung des Auges, die ein flackerndes Licht hervorbringt.

Das Gefühl der Dissonanz erreicht bei einer gewissen Zahl von Schwebungen ein Maximum, bei etwa 32 in der Sekunde.

Kombinationstöne.

Wird ein Ton *c* gleichzeitig mit seiner Quinte *g* angegeben, so hört man einen tieferen Ton *C* leise mitklingen, dessen Schwingungszahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen beider Töne ist, *Tartini'sche* oder *Differenztöne*.

Außerdem gibt es noch eine andere Art Kombinationstöne, die weit schwächer und schwieriger wahrnehmbar sind, die *Summationstöne*, deren Schwingungszahl gleich der Summe der Schwingungszahlen der beiden ursprünglichen Töne ist.

Über die Natur der Kombinationstöne herrscht Streit. Man hat sie für subjektive Töne, *Schwebungstöne* erklärt, die durch die Schwebungen erzeugt werden, sobald ihre Zahl in der Sekunde so groß ist, daß sie als Töne wahrgenommen werden (also über 32 in der Sekunde). Neuere Untersuchungen haben sich dagegen für ihre objektive Existenz ausgesprochen. Die Entscheidung hierüber ist von Wichtigkeit, weil, wenn diese Töne bloß subjektiver Natur sind, die Helmholtz'sche Hörtheorie, wie sie oben dargestellt ist, nicht richtig sein kann; denn danach

ist ja die Schnecke ein Resonanzapparat, der nur durch objektive Töne in Mitschwingungen versetzt wird.

Der Durakkord erhält den Charakter des Klaren, Bestimmten der Befriedigung durch die Konsonanz der Kombinationstöne, der Mollakkord den Charakter des Unklaren, Verhüllten durch ihre Dissonanz.

V. Die Gehörwahrnehmung.

Werden wir uns der Gehörempfindungen bewußt, so haben wir eine Gehörwahrnehmung. Die Ursache derselben verlegen wir, wie bei den Gesichtsempfindungen, nach außen und schreiben ihr als Schallquelle unsere Empfindung als Eigenschaft zu. Wir sprechen von den verschiedenen Tönen und der Klangfarbe der Instrumente, während dies doch lediglich unsere Empfindungen sind. Die Verlegung nach außen geschieht selbst dann, wenn eine rein zentrale Erregung des Hörzentrums statt hat, wie im Traum, im Fieber oder bei Hirnkrankheiten, sog. *G e h ö r - h a l l u z i n a t i o n e n*.

Die **Richtung**, aus der ein Schall kommt, beurteilen wir im allgemeinen nach seiner Intensität, wobei die Ohrmuschel uns unterstützt. Am stärksten wird der Schall empfunden, wenn der Gehörgang den Schallwellen in gerader Linie zugewendet ist, so daß die Ohrmuschel die günstigste Stellung einnimmt, um Schallwellen in den äußeren Gehörgang zu reflektieren. Drückt man die Ohrmuscheln platt an den Kopf, so kann man die Richtung des Schalls, insbesondere ob er von vorn oder hinten kommt, viel schlechter unterscheiden.

Die **Entfernung** der Schallquelle pflegen wir nach der Intensität und der Veränderung der Klangfarbe zu beurteilen. In Bezug auf letztere ist zu bemerken, daß die höheren Töne eher verschwinden als tiefere, also die Obertöne eher als der Grundton. Von einer fernen Streichmusik hören wir zuerst den Baß (vergl. die Darstellung der scheinbar sich entfernenden Dorfmusik beim Bauernwalzer in Weber's Freischütz).

Das **Hören mit beiden Ohren** unterstützt ebenfalls unsere Erkenntnis der Richtung und Entfernung der Schallquelle.


Anhang.

Die Bedeutung der Bogengänge.

Die drei Bogengänge entspringen sämtlich an der hinteren Wand des Vestibulums und kehren nach einer nicht ganz vollständigen Kreistour wieder zu ihr zurück. Sie liegen in drei zu einander senkrechten Ebenen: der vordere obere steht in frontaler Richtung vertikal, der hintere untere in sagittaler Richtung vertikal, der laterale steht horizontal.

In ihnen liegen die entsprechenden Kanäle des häutigen Labyrinths, welche in den Ampullen an der Crista acustica ein härchentragendes Epithel besitzen. Zu den Bogengängen, insbesondere zu den Zellen der Crista acustica, die als Neuroepithel anzusehen sind, ziehen die Fasern des N. vestibularis.

Die Bogengänge mit den Otolithensäcken, Sacculus und Utriculus, und der N. vestibularis dienen höchst wahrscheinlich zur Erhaltung des Gleichgewichts und zur Orientierung im Raume. Indem bei Bewegungen des Kopfes und des Körpers Flüssigkeitsströmungen in der Endolymphe der Bogengänge entstehen, welche die Haarzellen und damit die Endigungen des N. vestibularis reizen, wird die Vorstellung von der Lage des Kopfes und indirekt des ganzen Körpers vermittelt.

 Zerstörung der Bogengänge hat wahrscheinlich keine Gehörstörung, sicher aber Störungen in der Haltung und Bewegung des Kopfes und des Körpers zur Folge.

Geruchsin.

Das Geruchsorgan liegt in der *Pars olfactoria* der Nasenschleimhaut, d. i. der oberste Teil der Nasenhöhle, begrenzt medial von der Nasenscheidewand, lateral von der oberen Muschel und dem oberen Teil der mittleren Muschel. Die *Pars olfactoria* hat ein gelbbraunes Aussehen (herrührend von körnigem Pigment); ihr Epithel besteht aus Zylinderzellen (auch Stützzellen genannt) und zwischen ihnen das eigentliche Sinnesepithel, die *Riechzellen* oder *Stäbchenzellen*. Das sind spindelförmige Ganglienzellen mit großem Kern und Kernkörperchen und einem langen, schmalen zylindrischen Fortsatz, der an der Oberfläche mit feinen Härchen, den Riehhärchen, frei endigt. Unten geht ein sehr feiner Fortsatz ab, der einen zentripetalen Achsenzylinder vorstellt und durch die Siebbeinplatte in den *Bulbus olfactorius* eintritt. Von hier beginnt ein neuer Neuron, der zur Riechsphäre (s. dort) geht.

Gerochen werden Substanzen, die mit dem Einatmungsstrom in die Nase gelangen; die riechbaren Stoffe sind entweder Gase oder feinste Tröpfchen oder feinste Partikelchen. Bei der gewöhnlichen Respiration bleibt die eigentliche *Regio olfactoria* von dem bewegten Luftstrom frei; in diesem Falle steigen die riechenden Moleküle durch Diffusion zur Riechspalte auf. Beim absichtlichen Riechen, Schnüffeln, wird ein möglichst großer Teil des Luftstroms direkt in die Riechspalte geleitet. Steht der Luftstrom in der Nase still, so hört auch fast plötzlich die Geruchsempfindung auf. Auch von hinten durch die Choanen kann gerochen werden beim Kauen und bes. beim Schlucken, was für die Sekretion der Verdauungssäfte von Bedeutung ist.

Die Empfindlichkeit der Geruchsorgane ist außerordentlich groß. Es bringt eine eben noch merkbare Geruchsempfindung hervor, wenn in 1 l Luft enthalten ist vom Kampher ein Hundert-

tausendstel mg, von Moschus ein Millionstel mg, von Merkaptan noch beträchtlich weniger (0·00000004 mg).

Das Geruchsorgan ermüdet für einen bestimmten Geruch ziemlich schnell, bleibt aber dabei für andere Gerüche völlig empfänglich.

Verschiedene Gerüche, in geeigneter Menge mit einander gemischt, geben Mischgerüche oder können sich auch gegenseitig aufheben, kompensieren. Bei starker Intensität kann im letzteren Fall auch Wettstreit der Gerüche eintreten.

Es ist sehr schwer, die Geruchsempfindungen zu klassifizieren. Man unterscheidet angenehme und unangenehme Gerüche, doch bestehen dabei große individuelle Verschiedenheiten.

Unter den gasförmigen Substanzen gibt es auch solche, welche die Endigungen des Trigemini reizen, die also nicht Geruchsempfindungen, sondern Tastempfindungen auslösen (Ammoniak, Chlor, Jod, Brom u. dergl.).

Die sensiblen Nerven der sehr empfindlichen Nasenschleimhaut gehören dem II. Ast des Trigemini an.

Geschmacksinn.

Das Geschmacksorgan bilden die sogenannten Geschmacksknospen oder Schmeckbecher. Sie sind von flaschenförmiger Gestalt und bestehen aus den inneren „Geschmackszellen“, welche oben stäbchenartig endigen und nach unten in feine Fädchen auslaufen, die mit den Endausbreitungen des Geschmacksnerven sich verbinden; diese Zellen sind nach außen von den daubenartig angeordneten Stütz- oder Deckzellen umschlossen. Schmeckbecher finden sich beim Menschen im Epithel der Papillae circumvallatae, foliatae und einiger fungiformes der Zunge, ferner im weichen Gaumen (nicht aber Uvula), an der hinteren Rachenwand, an der hinteren Fläche der Epiglottis und im Kehlkopf; beim Kind auch auf der Zungenmitte und Wangenschleimhaut und den hinteren Gaumenbögen. Der Geschmacksnerv für die Zunge ist der N. Glossopharyngeus; seine Fasern ziehen teils direkt, teils durch die Jakobson'sche Anastomose in der Chorda und weiter im N. lingualis Trigemini zu den Schmeckbechern. Nach anderen enthält der Trigeminus selbst Geschmacksfasern, die nicht aus dem Glossopharyngeus stammen; wahrscheinlich enthält der Trigeminus außerdem die Geschmacksfasern für den Gaumen. Für die Epiglottis und Kehlkopf ist der N. laryngeus sup. Vagi der Schmecknerv.

Der Geschmacksinn ist der eigentliche chemische Sinn. Den adäquaten Reiz bilden gelöste oder auf der Zunge lösliche Stoffe, die in direkte Berührung mit den Schmeckbechern treten; wie dann die Erregung zu stande kommt ist unbekannt. Nicht-lösliche Körper (Eiweiß, Gummi) werden durch den Geschmacksinn nicht wahrgenommen.

Wir unterscheiden 6 Geschmacksqualitäten:

1. S ü ß schmecken die mehratomigen Alkohole mit höherem Kohlenstoffgehalt; die (Mono-)Amidosäuren; die Salze von Blei, Aluminium, Bor, Beryll.

2. Bitter schmecken die Alkaloïde; die Glykoside und sog. Bitterstoffe; gewisse Salze (Magnesium, Zink usw.).
3. Salzig schmecken die als Salze bezeichneten Verbindungen von Säuren mit Alkalien; doch gibt es hiervon Ausnahmen z. B. neutrales Bleiazetat (Bleizucker) schmeckt süß.
4. Sauer schmecken die Säuren.

Manche Autoren nehmen als 5. und 6. Qualität noch den alkalischen oder laugenhaften und den metallischen Geschmack an. Doch scheinen nur die vier ersten (nach anderen sogar nur die beiden ersten) reine Geschmäcke zu sein, während die beiden anderen Kombinationen mit Tasterregungen darstellen.

Während an der Zungenbasis alle Qualitäten in gleicher Weise unterschieden werden, finden an der Zungenspitze bei den einzelnen Individuen erhebliche Unterschiede statt, derart, daß nur einige oder gar keine Geschmacksempfindungen zu stande kommen. Auch kann ein und dieselbe Substanz an den verschiedenen Gegenden der Zunge einen verschiedenen Geschmack haben.

Auch Mischempfindungen zweier oder mehrerer Geschmacksqualitäten können vorkommen.

Die beste Temperatur zum Schmecken liegt bei 10^0 — 35^0 C. Kaltes und heißes Getränk heben vorübergehend die Geschmacksempfindung auf.

Die Zeit zwischen Applikation einer Substanz und Eintritt der Empfindung beträgt für:

Chlornatrium	0·16"	Säuren	0·17"
Zucker	0·16"	Chinin	0·21"

Strychnin schmeckt

stark bitter in wässriger Lösung	1 : 40 000
merklich bitter	1 : 400 000
noch erkennbar	1 : 640 000

Die Empfindlichkeit für Chinin ist 211 mal größer als für Chlornatrium.

Bei manchen Stoffen hört die Geschmacksempfindung zugleich mit dem Verschlucken derselben auf, bei anderen, insbesondere bitteren, besteht sie lange Zeit nach dem Verschlucken

fort, N a c h g e s c h m a c k , und kann selbst durch nachfolgende Geschmackseindrücke anderer Qualität nicht gänzlich verdrängt werden.

Läßt man den konstanten elektrischen Strom durch die Zunge hindurchgehen, so hat man während der Dauer der Stromeschließung an der Stelle des Stromeintritts (= Anode) eine säuerliche, an der Stelle des Stromaustritts (= Kathode) eine bittere Geschmacksempfindung.

Die Geschmacksempfindungen sind häufig mit Tastempfindungen und mit Geruchsempfindungen verbunden.

25. Gefühlsinn.

Die Nervenendapparate.

Die äußere Haut und die Schleimhäute stellen ein peripherisches Sinnesorgan dar, das der Gefühlsempfindung dient. Die sensiblen Nerven endigen darin entweder:

1. frei, nur mit einer terminalen knopfförmigen Anschwellung versehen, zwischen den Epithelzellen oder

2. mit besonderen Nervenendapparaten.
Diese sind entweder Tastzellen oder Endkolben.

Zu den T a s t z e l l e n gehören:

a) einfache Tastzellen, an deren Unterseite sich eine marklose Nervenfaser anlegt:

b) zusammengesetzte Tastzellen (Grandry'sche, Merkel'sche Körperchen). Die Tastzellen sind bis jetzt nur in der Rüsselscheibe des Schweins, sowie im Schnabel und in der Zunge der Vögel gefunden. Sie wurden „einfache Tastkörperchen“ genannt.

Z u d e n E n d k o l b e n g e h ö r e n :

a) die Krause'schen Kolbenkörperchen; der Achsenzylinder ist von einem feinkörnigen Kolben umgeben, während das Neurilemm in die umgebende Hülle übergeht.

b) Genitalnervkörperchen, die herantretende Nervenfasern läuft in Windungen um den Innenkolben herum, und der nackte Achsenzylinder dringt schließlich in das Innere ein.

c) Vater-Paccini'sche Körperchen, ähnlich wie a, nur besteht die Hülle aus einer Anzahl ineinander geschachtelter, Flüssigkeit enthaltender Kapseln, zwischen denen platte Bindegewebszellen liegen; die Kapsel ist ebenfalls aus dem Neurilemm hervorgegangen.

d) Wagner-Meissner'sche Körperchen; es sind elliptische Gebilde mit Querstreifung, die herrührt von den quergestellten

Kernen und Zellgrenzen der die Hülle bildenden abgeplatteten Zellen. Der nackte Achsenzylinder geht in eine dem Innenkolben entsprechende körnige Substanz über.

Schließlich gehören zu den Nervenendapparaten noch die Tast- oder Fühlhaare, deren jedes mit einer Nervenfaser verbunden ist.

Einteilung des Gefühlsinnes.

Im wesentlichen haben wir zwei Arten der Gefühlsempfindungen, die nicht ineinander übergehen können, die wir daher als Modalitäten (s. Einleitung in die Sinnesphysiologie) betrachten müssen: *T a s t -* und *T e m p e r a t u r e m p f i n d u n g e n* und dem entsprechend mechanische und thermische Einwirkungen die den adäquaten Reiz bilden.

Diesen Gefühlen, die durch äußere Sinnesreize hervorgebracht werden, können diejenigen gegenübergestellt werden, die nur aus inneren Reizen in verschiedenen peripherischen Organen hervorgehen, und die uns über die Zustände des eigenen Körpers unterrichten, die *O r g a n e m p f i n d u n g e n*. Sie sind, sofern sie an die Funktion der Tastorgane gebunden sind, innere Tastempfindungen, wie sie durch die Lage, durch die Bewegungen, durch die Kraftleistungen des Körpers ausgelöst werden. Dazu kommen noch alle sonstigen aus inneren Reizen hervorgehende Empfindungen, darunter diejenigen, die in dem physiologischen und pathologischen Zustand der Organe begründet sind; wir fassen sie als Gemeingefühle zusammen.

Die Empfindungen des Gefühlsinnes sind verschieden auch je nach dem Ort, welcher vom Reize getroffen wird. Diese Verschiedenheit nennt man *L o k a l z e i c h e n*. Die Genauigkeit dieser Lokalzeichen ist sehr ungleich. Am unvollkommensten ist sie bei den Gemeingefühlen. Nur der Tastsinn und in geringerem Maße auch der Temperatursinn sind in Bezug auf ihr Lokalisationsvermögen messenden Untersuchungen zugänglich.

Diese Fähigkeit, den gereizten Ort anzugeben, hat man fälschlich auch als besonderen Sinn, als *O r t s i n n* bezeichnet.

Tastsinn.

Am Tastsinn unterscheidet man den Tastsinn im engeren Sinn und den Drucksinn.

Tastsinn.

Der Tastsinn gibt uns (auch nach Ausschluß des Gesichtsinnes) Auskunft über Größe und Beschaffenheit der Oberfläche der Körper. Vervollständigt wird dieser Eindruck dadurch, daß Tastorgan und Objekt gegen einander verschoben werden, und das Tastorgan auf diese Weise mit verschiedenen Stellen ein und desselben Körpers in Berührung kommt. Dieses Tastvermögen ist besonders an den Händen ausgebildet, welche vermöge der Beweglichkeit der Finger ganz besonders geeignet zum Tasten erscheinen. Dabei sind wir an eine bestimmte Stellung des Tastorgans gewöhnt; z. B. berühren sich normaler Weise Ulnarfläche des II. Fingers und Radialfläche des III. Fingers, was zwischen diesen beiden Fingern liegt, wird also stets von diesen beiden Flächen berührt. Wird die normale Stellung des Tastorgans verändert, so unterliegt man Täuschungen. Kreuzt man Zeigefinger und Mittelfinger und betastet mit den gekreuzten Fingerspitzen eine Erbse (= Erbsversuch des Aristoteles), so erhält man die Vorstellung von zwei Erbsen, denn die Erbse berührt Radialfläche des II. und Ulnarfläche des III. Fingers, d. h. 2 Flächen, die bei normaler Stellung des Tastorgans eine Berührung nur von zwei verschiedenen Gegenständen erfahren können.

Es scheint, als ob wir beim Tastsinn verschiedene Qualitäten von Empfindungen haben. Wir unterscheiden glatte und rauhe, spitze und stumpfe, harte und weiche Eindrücke, wobei zwischen den einzelnen Gegensätzen alle möglichen Übergänge stattfinden können. Ebenso charakteristisch sind die Empfindungen, die Flüssigkeiten (Wasser, Öl, Quecksilber) und der Widerstand der bewegten Luft hervorbringen; in letzterer Beziehung wieder empfinden wir einen Windstoß anders als eine Schallvibration. Indessen handelt es sich hier wahrscheinlich nicht um verschiedene einfache Qualitäten, als vielmehr um räumlich und zeitlich verschiedene Komplexe derselben einfachen Tastempfindung, kombiniert mit der Druckempfindung.

Tastwahrnehmungen finden sich nur an der äußeren Haut und ihren nächsten Fortsetzungen (Mundhöhle, Nasenhöhle, Mastdarm, Urogenitalöffnung, äußerer Gehörgang) und fehlen in allen Eingeweiden (Magen, Darm usw.), dort findet sich nur Schmerzempfindung.

Die Tastempfindungen gelangen durch die hinteren Wurzeln der Spinalnerven, durch die Ganglien der grauen Hinterhörner, durch die Hinterstränge derselben Seite aufwärts zur Medulla oblongata, treten dort auf die entgegengesetzte Seite über (hintere Pyramidenkreuzung), verlaufen durch Pons, Pedunculi cerebri (Haube), Capsula interna (innere Hälfte des hinteren Drittels), Stabkranz zum Parietallappen (dem Zentrum für die Tastempfindungen).

Drucksinn.

Er meldet uns, wenn eine äußere Kraft auf die Körperfläche einwirkt. Dabei scheint es, als ob wir verschiedene Qualitäten unterscheiden könnten. So glauben wir, wenn wir die Aufmerksamkeit darauf besonders lenken, bei demselben Druckreiz auf der Volarfläche eine andere Empfindung zu haben als auf der Dorsalfläche. Der Drucksinn ist nicht gleichmäßig über die ganze Haut verbreitet, vielmehr liegen die ihn vermittelnden Nervenendapparate getrennt von einander, Druckpunkte, die mit den Temperaturpunkten (s. u.) nicht zusammenfallen.

Die Druckempfindungen werden nicht nur als solche wahrgenommen, sondern auch ihrer Stärke nach abgeschätzt. Man prüft den Drucksinn, indem man den zu untersuchenden Teil auf eine feste Unterstützungsfläche auflegt und mit verschiedenen schweren Gewichten belastet. Die minimalen Gewichte, die eben als Belastung empfunden werden, sind nach Aubert und Kammler:

Stirn, Schläfe	2 mgr.
Bauch	5—10 mgr
Handteller	5—15 mgr
Handrücken	2—5 mgr
Vorderarm	2—15 mgr
Äußerer Fußrand	115 mgr
Plantarseite des Fußes	115—515 mgr
Nägel der Finger und Zehen	1000 mgr.

Kalte Gewichte erscheinen schwerer als warme.

Auch für Druckunterschiede ist die Haut sehr empfindlich. An Stirn, Lippen und Wangen können wir Gewichte unterscheiden, die sich wie 29 : 30 verhalten, doch nur dann, wenn zwischen dem Auflegen beider Gewichte höchstens 15 Sek. vergangen sind.

Temperatursinn.

Den Ausgangspunkt der Temperaturempfindungen bildet die Eigenwärme der Haut. Sobald eine Hautstelle über diesen ihren physiologischen Nullpunkt erwärmt wird, entsteht Wärmeempfindung, sobald sie unter denselben abgekühlt wird, Kälteempfindung.

Dieser Nullpunkt ist aber selbst nicht unveränderlich, sondern, da sich die Haut der Außentemperatur bis zu einem gewissen Grade anpaßt, so sinkt er in der Kälte und steigt in der Wärme. Außerdem ist er bei derselben Temperatur für verschiedene Stellen des Körpers verschieden (s. Anhang). Am größten ist die Empfindlichkeit für Temperaturen, die dem betreffenden Nullpunkt nahe liegen.

Es scheint, als ob diese beiden Qualitäten auch durch spezifisch verschiedene Endorgane vermittelt werden. Es zeigt sich nämlich, daß die Temperaturempfindung nicht gleichmäßig über die ganze Haut verbreitet ist. Vielmehr ist sie an einzelne Punkte gebunden, von denen die einen nur der Empfindung der Kälte, die anderen nur der Empfindung der Wärme dienen: Kältepunkte und Wärmepunkte. Erstere finden sich in reicherm Maße und sind mit stärkeren Empfindungen verbunden; der Kältesinn ist daher am ganzen Körper intensiv und extensiv stärker angelegt als der Wärmesinn. Von den zwischen den Punkten gelegenen Hautstellen gelingt es nicht, eine Temperaturempfindung hervorzurufen.

Die für die Temperaturreize empfindlichsten Stellen sind: Augenlider, Lippen, Zunge, dann der Ellenbogen. Manche Hautstellen sind für Kälte sehr empfindlich, aber nicht für Wärme, z. B. Conjunktiva und Cornea des Auges, Brustwarze, Glans penis. Am wenigsten empfindlich ist die behaarte Kopfhaut. Auch die Hände, wie überhaupt diejenigen Stellen, welche besonders für das Tasten benutzt werden, zeigen nur geringe Empfindlichkeit für Temperaturreize. Ebenso sind die Schleimhäute dafür wenig oder gar nicht empfindlich; doch besitzt die Mund- und Nasenschleimhaut eine überwiegende Empfindlichkeit für Kälte.

Als geringste noch wahrnehmbare Temperaturdifferenz wurde an der Streck- und Beugeseite des Ober- und Unterarms

0·2° C. gefunden; die feinste Unterschiedsempfindlichkeit soll zwischen 27° und 32° C. möglich sein.

Ein Stück Metall, das als guter Wärmeleiter der Haut schnell Wärme entzieht, erscheint kälter als ein Stück Holz von der gleichen Temperatur. Wasser, welches die Temperatur des physiologischen Nullpunktes besitzt, wird nicht empfunden.

Der sogenannte Ortsinn.

Die Fähigkeit, den Ort anzugeben, wo eine Hautreizung stattgefunden hat, hat man den Ortsinn genannt. Er ist an verschiedenen Körperstellen sehr verschieden, an einigen Stellen gröber, an anderen feiner.

Behufs Prüfung des Ortsinnes berührt man bei geschlossenen Augen irgend eine Hautstelle und läßt den Ort der Berührung mit dem Finger bezeichnen; Gesunde treffen sehr genau oder irren nur um 1—2 cm.

Eine andere Art der Prüfung geschieht in der Weise, daß man die beiden Spitzen eines Tasterzirkels auf die zu untersuchende Stelle aufsetzt; wenn man die beiden Spitzen bis zu einer gewissen Grenze genähert hat, ist der Ortsinn nicht mehr imstande, sie als zwei Spitzen zu unterscheiden und nimmt nur noch eine Berührung wahr. Die Entfernung, in welcher die Spitzen eben noch als zwei empfunden werden, gibt das Maß für den Ortsinn der betreffenden Stelle ab.

Bei messenden Versuchen am Erwachsenen hat E. H. Weber gefunden, daß zwei Spitzen eben noch als zwei empfunden wurden, wenn ihre Entfernung in Millimetern betrug:

Zungenspitze	1
Volarseite des letzten Fingergliedes	2
Lippe	5
Wange	9
Stirn	23
Handrücken	34
Unterschenkel	40
Mitte des Oberarms und Oberschenkels	68

Mißt man für irgend eine Hautstelle die Entfernung, in welcher beide Spitzen eben noch als eine gefühlt werden, und führt diese Messung nach verschiedenen Richtungen aus, so er-

hält man eine kreisförmige oder mehr ovale Figur, *E m p f i n - d u n g s k r e i s* genannt, innerhalb dessen also stets zwei gleichzeitige Reize als einer wahrgenommen werden. Nicht an allen Stellen der Haut kommt den Empfindungskreisen eine wirklich kreisförmige Gestalt zu. Meist ist die Unterscheidungsfähigkeit in longitudinaler und querer Richtung verschieden, und zwar in letzterer feiner.

Benachbarte Empfindungskreise greifen ineinander über.

Organempfindungen.

Hierzu rechnen wir den *Muskelsinn*.

Er belehrt uns nicht nur über den Grad der Muskelanstrengung, welche zur Überwindung eines Widerstandes (*Kraftempfindung*) oder zur Hebung einer Last (*Bewegungsempfindung*) nötig ist, sondern auch über die jedesmalige Lage der Glieder (*Lageempfindung*). Das anatomische Substrat dieses Sinnes sind die sensiblen Muskelnerven, noch wichtiger als diese aber wahrscheinlich die Sehnennerven und Gelenknerven. Durch alle diese Nerven werden wir über die Lage, Stellung und Bewegung des Körpers und seiner Teile unterrichtet. Reflektorisch werden dann die koordinierten Bewegungen ausgelöst, die zur Erhaltung des Gleichgewichts notwendig sind. Bei Abnahme oder Fehlen dieser sensiblen Erregungen treten Störungen der Bewegungen der Glieder ein, die wir als „*Ataxie*“ bezeichnen, wie bei der *Tabes dorsalis*; solche Kranke können im Dunkeln oder bei geschlossenen Augen nicht sicher stehen und Gegenstände nicht sicher halten.

Vermittelst des Muskelsinnes vermögen wir auch die Schwere gehobener Gegenstände zu beurteilen. Um die Feinheit des Muskelsinnes in dieser Beziehung zu prüfen, werden die Gewichte in ein nach Art einer Schleuder zusammengelegtes Tuch eingewickelt und gehoben. Drucksinn und Muskelgefühl unterstützen sich vielfach, doch ist das Muskelgefühl feiner, da man durch dasselbe Gewichte unterscheidet, die sich wie 39:40 verhalten, während der Drucksinn nur Gewichte trennt, die sich wie 29:30 verhalten.

Welch hohe Bedeutung dem Muskelgefühl zukommt, beweisen die Sprache und die Augenbewegungen.

Hierher gehört auch der **Raumsinn**, der durch das innere Ohr (die Bogengänge s. dort) vermittelt wird.

Gemeingefühle.

Hierzu hat man den **Schmerz** gezählt.

Überschreitet die Reizung einer Hautstelle der Intensität, der Dauer oder der Frequenz nach eine gewisse Grenze, so entsteht eine *S c h m e r z e m p f i n d u n g*. Wir haben außerdem auch schmerzhaftige Organempfindungen, die je nach ihrem Sitz verschieden erscheinen, ferner schmerzhaftige Gehörempfindungen, schmerzhaftige Lichtempfindungen. Doch ist es bei diesen schwer, sie von den Unlustempfindungen zu trennen.

Genauer erforscht sind nur die Schmerzempfindungen der Haut. Sicher ist, daß die Vorstellung des Schmerzes seine Stärke erhöht; Ablenkung der Aufmerksamkeit davon vermindert ihn (Vergl. Kant: Von der Macht des Gemütes, durch den bloßen Vorsatz seiner krankhaften Gefühle Meister zu sein). Was die physiologische Ursache des Schmerzes betrifft, so gehen die Meinungen darüber auseinander. Am nächsten liegt anzunehmen, daß sie in einer übermaximalen Erregung der gewöhnlichen zentripetalen Nerven bestehe. Darauf würde hinweisen, daß die Schmerzempfindung im Gegensatz zur Tast- und Druckempfindung auch vom Nervenstamm aus erregt werden kann. In letzterer Beziehung sind zwei Erscheinungen bemerkenswert:

1. die sog. *I r r a d i a t i o n* des Schmerzes d. i. die Ausbreitung des Schmerzes in einem Hof um den direkt affizierten Teil z. B. Gesichtschmerz bei Zahnweh; sie beruht auf Mitempfindung (s. d.)

2. die *e x z e n t r i s c h e P r o j e k t i o n* oder besser die *p e r i p h e r i s c h e L o k a l i s a t i o n* der E m p f i n d u n g e n. Wird ein sensibler Nerv an einer Stelle seines Verlaufs von einem hinreichend starken Reiz getroffen, so entsteht eine Schmerzempfindung, und diese Schmerzempfindung wird an die Peripherie d. h. an die Endausbreitung der Nerven verlegt. Wird z. B. der N. ulnaris am Condylus int. humeri durch irgend einen Insult gereizt, so entsteht eine schmerzhaftige Empfindung in der Endausbreitung des Nerven d. h. in der Hand. Ebenso klagen Amputierte über Schmerzen in den abgesetzten Gliedmaßen.

Dem gegenüber steht fest, daß die mechanische Reizung der Haut (Einstechen einer Nadel), ferner die adäquate Reizung der Temperaturpunkte ohne Schmerzerregung stattfinden kann; also sind nicht alle Teile der Haut schmerzempfindlich. Man hat deswegen besondere Schmerznerven mit eigenen Endorganen (S c h m e r z p u n k t e) annehmen wollen. Man führt dafür an, daß mechanische Reizung reine Schmerzempfindung ohne jede gleichzeitige Druckempfindung hervorzubringen im stande ist, und ferner daß bei mechanischem Reiz im Gegensatz zur Druckempfindung zwischen der Einwirkung und dem Eintritt der Schmerzempfindung ein Zwischenraum von mehreren Sekunden verfließen kann, und schließlich, daß die Nachempfindung des Schmerzes sehr lange andauert.

Die übrigen Gemeingefühle.

Über die Schauer-, Kitzel-, Wollust-, Ekelgefühle ist wenig sicheres bekannt. Häufig treten sie als Begleiterscheinungen anderer echter Sinnesempfindungen auf. Sie können biswsilen auch durch bloße Vorstellungen erweckt werden. Auch das Hunger- und das Durstgefühl gehören hierher (s. S. 171).

26. Zeugung.

Unter Zeugung versteht man den Vorgang, durch welchen neue Individuen hervorgebracht werden.

Arten der Zeugung.

Urzeugung

ist die Entstehung von Organismen aus unbelebter Materie (s. S. 39). In frühester Zeit (Aristoteles) nahm man sie selbst für Aale und Frösche und bis Spallanzani noch für Insekten an. Später beschränkte man sie auf die niedersten Organismen und glaubte sie besonders in Pflanzenaufgüssen (daher Aufgußtierchen, Infusorien) beobachtet zu haben, bis gezeigt wurde, daß die Keime solcher Organismen durch die Luft hineingelangen und sich auf dem günstigen Nährboden entwickeln.

Seitdem nimmt man als gegenwärtig beobachtet nur noch die **elterliche Zeugung** oder **Tokogonie** an.

Neue Individuen entstehen nur aus gleichartigen elterlichen. Man unterscheidet dabei eine **ungeschlechtliche** oder **monogene Zeugung** aus **einem** elterlichen Organismus. Sie kann zu stande kommen

1. durch **T e i l u n g**. Der elterliche Organismus zerfällt in zwei oder mehrere gleichartige Stücke, deren jedes sich zu einem selbständigen Organismus fortentwickelt.
2. durch **S p r o s s u n g** oder **K n o s p u n g**. Durch unregelmäßiges Wachstum entsteht eine Hervorragung, Knospe, ein für das Muttertier nicht notwendiger Teil, der größer wird und zu einem selbständigen Individuum auswächst. Dabei löst es sich entweder vom mütterlichen Organismus oder bildet mit ihm vereiaigt Kolonien, Tierstöcke (Polypen, Bryozoen).

3. durch **S p o r e n b i l d u n g**. Es bilden sich innerhalb des Organismus Keime, die sich herauslösen, fortleben und sich zu eben solchen Organismen weiter entwickeln.

Geschlechtliche oder digene Zeugung. Zwei verschiedene Zeugungselemente vereinigen sich.

1. **Das männliche:** der Samen, Sperma, entsteht im Hoden;
2. **das weibliche:** das Ei, Ovulum, entsteht im Ovarium.

Sind beide Elemente, bez. die sie bereitenden Organe im Körper eines und desselben Organismus vereinigt, so spricht man von **H e r m a p h r o d i t i s m u s**; sind sie auf zwei Individuen getrennt verteilt, von **G e s c h l e c h t s d i m o r p h i s m u s**.

Parthenogenesis, jungfräuliche Zeugung. Trotz Vorhandensein zweier Geschlechter und zweier verschiedener Zeugungsprodukte können sich auch Eier unbefruchtet (jungfräulich, d. h. ohne mit Sperma in Berührung gekommen zu sein), zu neuen Individuen entwickeln, z. B. bei den Bienen:

Königin = Weibchen mit vollkommen entwickeltem Geschlechtsapparat, Arbeiterinnen = Weibchen mit verkümmerten Geschlechtsteilen, Drohnen = männliche Bienen.

Beim Ausflug (sog. Hochzeitsflug) wird die Königin von einer Drohne begattet, empfängt sehr reichlich Samen, den sie in dem Receptaculum seminis aufbewahrt. Sie legt nun befruchtete und unbefruchtete Eier, je nachdem sie den vorbeitretenden Eiern Samen aus dem Receptaculum beimischt oder nicht. Unbefruchtete Eier werden zu Drohnen. Befruchtete Eier werden zu weiblichen Bienen. Einige werden durch besonders reichliche Fütterung, das Königinnenbrot, in einer besonderen Wabe, der Weiselwiege, zu zeugungsfähigen Königinnen; aus den anderen werden geschlechtlich verkümmerte Arbeitsweibchen. Fluglahme, also nicht befruchtungsfähige Königinnen, legen nur unbefruchtete Eier, sind drohnenbrütig.

Metagenesis, Generationswechsel; es wechselt die Zeugungsform in dem Lebenskreise einer Art. So beim Bandwurm. Der fertige Bandwurm im Darm des Menschen besteht aus Kopf (Skolex) und Gliedern (Proglottiden).

Der Kopf erzeugt an seiner Basis in der Längsrichtung des Tieres fortwährend neue Glieder, die sich zwischen Kopf und die älteren Glieder einschieben, so daß das dem Kopf zunächst gelegene Glied stets das jüngste, das am weitesten entfernte stets

das älteste ist. Der Kopf erzeugt also ungeschlechtlich durch Sprossung neue Glieder.

Jedes der Glieder stellt einen Hermaphroditen dar, es enthält männliche (Penis) und weibliche (Scheide) Geschlechtswerkzeuge dicht bei einander, begattet sich selbst (geschlechtliche Zeugung), erzeugt befruchtete Eier, welche mit dem Kot aus dem Menschen entleert werden. Jedes Ei wächst wieder zu einem Skolex in einem anderen Tier, Zwischenwirt (z. B. Rind) aus. Es bildet dabei eine Blase, an deren Innenfläche der Skolex sich entwickelt. Dieser Blasenzustand des Bandwurms, sein Jugendzustand, heißt Finne, Zystizerkus, auch Blasenwurm genannt. Wird blasenhaltiges, finniges Fleisch vom Menschen genossen, so wird die Blase verdaut, der in ihr enthaltene Skolex wird frei und bleibt zurück, entwickelt durch Sprossung Glieder und wächst so wieder zum fertigen Bandwurm aus.

Die männlichen Geschlechtsprodukte, der Samen.

Beschaffenheit des Samens.

Der Samen, das Sperma, ist das Sekret der männlichen Keimdrüse, des Hodens, einer tubulösen Drüse. Er stellt eine weißliche zähe fadenziehende Flüssigkeit dar, von neutraler bis alkalischer Reaktion und hohem spez. Gewicht. Er enthält 82 pCt. Wasser. Feste Bestandteile sind Albuminate, Nukleïn, eine eigentümliche Amidbase, das Protamin, ferner Cholestearin, Lezithin, Fette; von Salzen vorwiegend Calcium- und Magnesiumphosphat. Außerdem hat der Samen einen eigentümlichen Geruch den unbekannten Stoff, der denselben verursacht, hat man Spermatin genannt, er stammt aus der Prostata.

Beim Stehenlassen erstarrt der Samen gallertig, es scheiden sich rhomboëdrische Kristalle aus, Spermakristalle, auch sie stammen aus der Prostata.

Der Samen enthält außerordentlich reichlich morphotische Elemente, die Samen fäden, Spermatozoen, etwa 50 μ lang; sie bestehen aus einem verdickten, kurz ovalen oder birnförmigen Kopfende, dem Kopf, einem stäbchenförmigen Mittelstück und einem dünnen fadenförmigen Anhang, dem Schwanz, der im Innern den aus Fibrillen zusammengesetzten Achsenfaden enthält. Sie gehen hervor aus großen runden viel-

kernigen Zellen in den Tubuli des Hodens, den sogenannten Spermatozyten. Aus dem Kern einer solchen Zelle geht der Kopfteil und das Mittelstück, aus dem Protoplasma der Schwanz hervor.

Die Samenfäden zeigen eine Eigenbewegung. Der Schwanz dient als aktives kontraktiles Bewegungsorgan, er macht schlagende, pendelnde Bewegungen und wellenförmige Schlängelungen. Die Geschwindigkeit der Fortbewegung beträgt 0.1 mm in der Sekunde. Alle die Agentien, welche die Flimmerbewegung beeinträchtigen, tun dies auch bei den Samenfäden, wie starke Säuren und Alkalien, starker Wasserzusatz, Alkohol, Äther, Chloroform. Dagegen wird die Beweglichkeit begünstigt durch schwache Alkalien und die Sekrete der weiblichen Geschlechtsorgane.

B e r e i t u n g d e s S a m e n s .

Sie beginnt mit dem Eintritt der Geschlechtsreife oder Pubertät, in unserem Klima um das 15. oder 16. Jahr, damit erwacht auch der Geschlechtstrieb. Die Bereitung geht wahrscheinlich beständig vor sich, doch ist sie erhöht bei häufiger Entleerung des Samens. Der Samen gelangt aus dem Hoden in das Vas deferens, von da in den Ductus ejaculatorius, der im Colliculus seminalis in die Urethra mündet.

Dem aus der Urethra entleerten Samen ist das Sekret der Drüsen des Vas deferens, der Samenblasen, der Prostata und der Cooper'schen Drüsen beigemischt.

E n t l e e r u n g d e s S a m e n s .

Der Samenentleerung geht zunächst eine Erektion des Penis voraus, welche in starker Füllung der Blutgefäße und dadurch Zunahme der Konsistenz und des Volumens des Penis besteht, wobei sich die Scheidenkrümmung desselben ausbildet. Hierauf wird der Samen durch Muskeltätigkeit aus dem Vas deferens und der Harnröhre ausgetrieben.

E r e k t i o n .

Die Füllung der Blutgefäße kommt zu stande

1. durch stärkeren Blutzufluß der zuführenden Arterien infolge der Wirkung der Vasodilatoren in den Nn. erigentes;

2. durch Behinderung des Venenabflusses. Dies geschieht zum Teil schon durch die Schwellung der Corpora cavernosa selbst, wobei die in ihrer Rinde liegenden Venenanfänge komprimiert werden. Ferner werden durch Kontraktion des M. ischio-cavernosus und transversus perinei profundus die Vv. profundae penis comprimiert.

Die Erektion erfolgt reflektorisch infolge Reizung der sensiblen Penisnerven. Die zentripetalen Bahnen laufen im N. dorsalis penis, das übertragende Zentrum liegt im Lendenmark; zentrifugale Bahnen sind die motorischen Nerven der Sakralnerven. Auch vom Großhirn (durch sinnliche Vorstellungen) kann Erektion hervorgerufen werden.

E j a k u l a t i o n.

Sie kommt zu stande durch kräftige Peristaltik des mit starker glatter Muskulatur versehenen Vas deferens und der Samenblasen. Ist der Samen in die Urethra gelangt, so wird er von hier aus durch rhythmische Kontraktionen des M. bulbo- und ischio-cavernosus in Absätzen herausgeschleudert.

Die durch eine Ejakulation entleerte Samenmenge beträgt 1—6 ccm.

Die weiblichen Geschlechtsprodukte, das Ei.

B e s c h a f f e n h e i t d e s E i e s.

Die Keimzelle, das Ei, besteht aus:

1. einer hyalinen Zellenmembran, die beim Menschen fein radiär gestreift ist, Zona pellucida; bei vielen Tieren besitzt sie eine besondere Öffnung, die Mikropyle.

2. einem körnigen, sehr eiweißreichen Protoplasma, dem Dotter, Vitellus;

3. einem Kern, dem Keimbläschen, Vesicula germinativa;

4. einem Kernkörperchen, dem Keimfleck, Macula germinativa.

Der Dotter im besonderen besteht aus zwei verschiedenen Substanzen:

a) aus der eigentlichen lebenden Substanz, dem Protoplasma, auch Bildungsdotter oder Hauptdotter genannt und

b) aus dem Nährmaterial, dem Deutoplasma, welches zur Ernährung dient, daher Nahrungsdotter oder Nebendotter genannt.

In den Vogeleiern stellt das Gelbe das eigentliche Ei dar; es ist der Hauptmasse nach Deutoplasma, man unterscheidet davon einen weißen und gelben Anteil; ersterer umgibt auch die Keimscheibe (Hahnentritt, Narbe, Cicatricula), die den eigentlichen Bildungsdotter darstellt. Das Weiße des Eies und die Kalkschale sind akzessorische Hüllen, die auf dem Wege durch die Tuben erst aus besonderen Drüsen derselben hinzukommen. Beim Menschen, wie überhaupt bei allen Säugetieren, ist der Nahrungsdotter nur in sehr geringer Menge vorhanden („alezithale Eier“) und in Form von Körnchen, den Dotterkörnchen, gleichmäßig über das Protoplasma verteilt. Bei den „zentrolezithalen Eiern“ umgibt der Hauptdotter den Nebendotter (Arthropoden), bei den „telolezithalen“ Eiern liegt der Hauptdotter wandständig und bildet den *a n i m a l e n* Pol der Eier (Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel). Dieser Pol ist bei manchen Tieren (Fröschen) pigmentiert und schwimmt wegen seines leichteren spez. Gewichtes im Wasser oben.

Die Bildung der Eier.

Sie geht so vor sich, daß von dem Zylinderepithel, dem sogenannten Keimepithel, welches die Oberfläche des Ovariums überzieht, sich schlauchförmige Einstülpungen, die Ovarialschläuche, in das Stroma einsenken und in die Tiefe wachsen; sie werden dann durch das Ovarialstroma abgeschnürt. Aus diesen Abschnürungen gehen die Graaf'schen Follikel hervor. Das sind kleine bläschenförmige Gebilde im Stroma des Ovariums, welche von einer gefäßreichen bindegewebigen Kapsel, der Theca folliculi, umgeben sind. Auf der inneren Fläche derselben findet sich ein mehrschichtiges Epithel, die Membrana granulosa, welches an einer Stelle zu einem Haufen verdickt ist, dem Cumulus ovigerus oder Discus proligerus; dieser schließt das Ei ein. Der Binnenraum des Follikels wird von dem Liquor folliculi eingenommen. In den Ovarialschläuchen, die in die Tiefe des Stromas wachsen, finden sich größere runde Zellen, die Eizellen, während die kleineren Zellen zum Epithel der Graaf'schen Follikel werden.

Die Ausstoßung des Eies, Ovulation.

Der Liquor folliculi nimmt mehr und mehr zu, dadurch wächst der Follikel und tritt an die Oberfläche des Ovariums. Schließlich platzt er, wobei eine kleine Blutung stattfindet, und das Ei wird in die Bauchhöhle entleert. An Stelle des geplatzten Follikels bildet sich eine Narbe, die durch eingelagertes Pigment gelb erscheint, Corpurs luteum.

Das losgelöste Ei wird durch die nach dem Uterus hin wimpernden Flimmerzellen der Tuben in diese hinein und in den Uterus fortgeführt.

Beim Menschen findet alle 4 Wochen eine Eiausstoßung statt. Dieselbe ist begleitet von einer Blutung aus der Uterinschleimhaut, *M e n s t r u a t i o n*, sie erfolgt durch Abstoßung der obersten Lagen des Flimmerepithels, der Decidua menstrualis, infolge fettiger Degeneration der Zellen. Das Epithel regeneriert sich wieder aus den erhaltenen tieferen Zellenlagen der Schleimhaut.

Ovulation und Menstruation beginnen in unserem Klima etwa im 15. Jahre (s. Anhang) und erlöschen ungefähr im 45. Jahre (Menopause, Klimakterium).

Die Reifung des Eies.

Der Befruchtung muß die Reifung vorangehen. Diese besteht darin, daß der Eikern an die Oberfläche des Eies rückt und unter Bildung einer Kernspindel eine mitotische Teilung eingeht. Die eine Hälfte wird durch die Eihülle ausgestoßen und bleibt als Richtungskörperchen oder Polkörperchen dem Ei anliegen. Dann erfolgt eine nochmalige mitotische Kernteilung und die Ausstoßung eines zweiten Richtungskörperchens. Danach rückt der übrig bleibende Kernteil in die Mitte der Eizelle zurück und bildet den weiblichen Vorkern.

Die Befruchtung.

Die Befruchtung besteht in der Vereinigung von Samenzelle und Ei oder genauer von männlichem Spermakern und weiblichem Eikern.

Von dem durch den Akt der Begattung in den weiblichen Genitalkanal entleerten Samen gelangt ein Teil der Spermatozoen

vermöge ihrer Eigenbewegungen in den Uterus und von da in die Eileiter, wo sie gewöhnlich im Anfangsteil derselben, in der Ampulla, auf das ihnen entgegen fortbewegte Ei treffen. Nur eines der Spermatozoen dringt hier in das Ei ein. Der Schwanzfaden löst sich auf, und der Kopf bildet einen neuen Kern, den Spermakern oder männlichen Vorkern; um ihn ordnen sich die Körnchen des Protoplasmas der Eizelle strahlenförmig an. Weiterhin rückt er gegen den weiblichen Vorkern oder Eikern vor, und in der Mitte der Eizelle vereinigen sie sich zu einem Gebilde, dem ersten Furchungskern. Dieser ist also das eigentliche Fortpflanzungsorgan und als der Träger der erblichen Eigenschaften zu betrachten. Es wird deshalb auch die Kernsubstanz als die eigentlich lebende Substanz (Idioplasma) bezeichnet.

Das so befruchtete Ei gelangt nach einigen Tagen in den Uterus und entwickelt sich dort weiter, indem die ursprüngliche Eizelle durch Karyokinese sich in eine immer zunehmende Menge von Zellen teilt: diesen Prozeß nennt man Furchung.

Unbefruchtete Eier gehen bald zu Grunde.

Die ersten Stadien der Entwicklung.

Infolge der Furchung zerfallen die Eier entweder vollständig in Tochterzellen, **totale Furchung** (**h o l o b l a s t i s c h e E i e r**), wobei entweder gleich große Teilstücke entstehen, **aequale Furchung** (Amphioxus, Säugetiere), oder es treten ungleich große Segmente auf, **inaequale Furchung** (Cyclostomen, Amphibien).

Oder es vollzieht sich eine **partielle Furchung** (meroblastische Eier); nur der Bildungsdotter furcht sich, während der Nahrungsdotter ungeteilt bleibt. Bei Eiern mit polständigem Nahrungsdotter (vegetativer Pol) beschränkt sich daher die Furchung auf den animalen Pol, den der Bildungsdotter einnimmt, **discoideale Furchung**; es entsteht eine Keimscheibe (Fische, Reptilien, Vögel); bei Eiern mit mittelständigem Nahrungsdotter geht die Segmentation an der umhüllenden Oberfläche vor sich, **superficiale Furchung**, es entsteht eine **Keimhaut** (Arthropoden).

Aus dem Haufen der Furchungszellen, **Morula**, bildet sich weiterhin bei allen Wirbeltieren eine **Keimblase**, **Blastula**, mit einer mit Flüssigkeit gefüllten Furchungshöhle. Durch Ein-

stülpung eines Teiles der Oberfläche entsteht die **zweiblättrige Becherlarve, Gastrula**; die beiden Lamellen des Bechers sind das äußere und das (primäre) **innere Keimblatt**, Ektoblast und Entoblast. Der durch die Einstülpung entstandene Hohlraum ist die **Urdarmhöhle**, seine Öffnung nach außen der **Urmund**.

Aus dem **äußeren Keimblatt** geht hervor: Epidermis mit Anhanggebilden, Hautdrüsenepithel, Nervensystem, Epithel der Sinnesorgane, Linse.

Das (primäre) **innere Keimblatt** sondert sich in:

1. das **sekundäre innere Keimblatt** oder **Darmdrüsenblatt**: Epithel des Darmkanals und seiner Drüsen, Epithel der Harnblase.
2. Die **Chordaanlage**: Chorda.
3. Die **mittleren Keimblätter**: Quergestreifte Muskeln, Epithel der Pleuroperitonealhöhle, Geschlechtszellen, Epithelien der Geschlechtsdrüsen und ihrer Ausführwege, Epithel der Niere und des Harnleiters, Teile des Mesenchyms.
4. **Mesenchymkeime**: Gruppe der Bindesubstanzen, Gefäße und Blut, lymphoide Organe, glatte Muskulatur.

Die Fruchtbarkeit.

Die Fruchtbarkeit, die Fähigkeit in einer gegebenen Zeit neue Geschöpfe hervorzubringen, ist bei verschiedenen Tieren verschieden. Günstigenfalls produziert

Elephant	alle 3—4 Jahre	1 mal 1 Junges
Pferd	„ 2 „	1 mal 1 Junges
Mensch	jährlich	1 mal 1 Junges
Kuh und Hirsch	„	1 mal 1 Junges
Schaf und Ziege	„	1—2 mal 1—2 Junge
Katze	„	2 mal 3—6 Junge
Hund	„	2 mal 4—10 Junge
Schwein	„	2 mal 6—12 Junge
Hase	„	2—3 mal 2—5 Junge
Kaninchen	„	5—8 mal 4—7 Junge
Maus	„	4—6 mal 4—10 Junge.

Anhang.

Daten und Tabellen.

Allgemeines.¹⁾

Körperlänge.

Des erwachsenen Mannes rund	172 cm
Des erwachsenen Weibes rund	160 „
Des Neugeborenen im Mittel nicht ganz	50 „

Mittelgröße der Bevölkerung:

Frankreich	154 cm	Deutschland (Baden)	157 cm
Österreich	155·3 „	(Preußen)	162·1 „
Italien	156 „	England	160 „
Spanien		Nord-Amerika	
Belgien	157 „	Schweden	160·8 „

Längenwachstum.

Der Säugling nimmt zu im 1. Monat	4 cm
2. „	3 „
3. „	2 „
in den folgenden je	1·0—1·5 „
im 1. Jahre etwa	20 cm
„ 2. „	9 „
„ 3. „	7·3 „
„ 4. u. 5. „	je 6·5 „
in den zehn folgenden Jahren je	6 „

Körpergewicht.

Des erwachsenen Mannes im Mittel	65 k.
Des erwachsenen Weibes im Mittel	53 k.
Der Neugeborenen im Mittel	3·250 k.

¹⁾ Die folgenden Angaben sind zum größten Teil entnommen: Vierordt, Daten und Tabellen, 2. Auflage, Jena 1893. Daten, die schon im Text vorkommen, sind nicht wiederholt.

Die Kinder Erstgebärender sind rund 141 g leichter als die Mehrgebärender. Unmittelbar nach der Geburt verliert das Kind an Gewicht etwas, im ganzen etwa 150 g, dann steigt das Gewicht wieder und ist nach etwa 10 Tagen gleich dem bei der Geburt.

Mittlere tägliche Zunahme des Körpergewichts des Säuglings.

Im	I. Quartal	etwa	25—30 g
„	II.	„	14 „
„	III.	„	11 „
„	IV.	„	10 „

Körpergewicht und Körperlänge in den einzelnen Lebensjahren.

Alter	Mann		Weib	
	Länge m	Gewicht k	Länge m	Gewicht k
Geburt	0·49	3·2	0·48	3·2
5 Jahre	1	16	1	15
10 „	1·3	25	1·2	23
15 „	1·6	41	1·5	40
20 „	1·7	60	1·6	52
25 „	1·7	66	1·6	54
30 „	1·7	66	1·6	55
40 „	1·7	64	1·6	55
50 „	1·7	63	1·6	56
60 „	1·65	62	1·5	54

Die Kleider werden beim Manne auf $\frac{1}{18}$, beim Weibe auf $\frac{1}{24}$ des Gesamtgewichts geschätzt.

Körpervolumen und Körperoberfläche.

Ein Mann von 64 k Gewicht hat rund 60000 cm³ Volumen und 16000 cm² Oberfläche.

Gewicht (g) einiger Organe im normalen Erwachsenen (63 k).

	Mann	Weib
Gehirn	1374	1260
Herz	313	310
Lunge rechte	513	500
linke	441	424
Leber	1579	1526
Nieren	277	264
Milz	149	180

Maßsystem.

A b s o l u t e s.

Masse als Grundmaß.
Einheit der Masse gleich der
Masse des Grammstückes.

T e c h n i s c h e s.

Gewicht als Grundmaß.
Einheit der Kraft gleich dem
Gewicht eines Grammstückes
unter 45° Breite.

Einheit der Kraft gleich dem Gewicht von $\frac{1}{981}$ g unter 45° Breite. Einheit der Masse gleich der Masse von 981 g-Gewichten.

In der Physik bezeichnet man, um jede Zweideutigkeit zu vermeiden, mit G r a m m (bez. K i l o g r a m m) schlechtweg die Masseneinheit im absoluten Maßsystem, mit G r a m m g e w i c h t (bez. K i l o g r a m m g e w i c h t) die Einheit des Gewichts oder der Kraft im technischen System.

Bezeichnet F die Kraft, m die Masse, a die Beschleunigung, so ist $F = ma$. Für das absolute Maßsystem ergibt sich hier-nach als Einheit der Kraft diejenige, welche der Masseneinheit die Einheit der Beschleunigung erteilt.

Dasjenige a b s o l u t e M a ß s y s t e m, in dem das Zenti-meter als Einheit der Länge, das Gramm als Einheit der Maße, die Sekunde als Einheit der Zeit benutzt wird, nennt man das c m . g . s e c . S y s t e m.

In diesem System ist die Einheit der Kraft diejenige, welche der Masse von 1 g die Beschleunigung $\frac{1 \text{ cm}}{\text{sec}^2} = 1 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2}$ erteilt; diese Krafteinheit heißt eine D y n e ($= \frac{\text{gc}}{\text{s}^2}$).

Die Einheit der Arbeit ist gleich der einer Dyne auf dem Weg von 1 cm, diese Einheit heißt ein E r g ($= 1 \text{ gc}^2\text{s}^{-2}$).

Als technische Einheit wird das Kilogramm-gewicht benutzt; es ist

$$1 \text{ Kilogramm-gewicht} = 981\,000 \text{ Dynen.}$$

Allgemeine Muskel- und Nervenphysiologie.

Die elektrischen Maße und Einheiten.

1 S i e m e n s - E i n h e i t (S. E.) = Widerstand einer Queck-silbersäule von 100 cm Länge, 1 mm² Querschnitt bei der Temperatur des schmelzenden Eises = 0.953 Ohm.

1 l e g a l e s O h m (Ω) = Widerstand einer Quecksilbersäule von 106 cm Länge, 1 mm² Querschnitt bei 0° C.

1 Daniell (D) = elektromotorische Kraft eines Daniell-Elements = 1·1 Volt (eines Bunsen = 1·8 Volt, einer Akkumulatorzelle = 2 Volt).

1 Volt (V) = Potentialunterschied (E), gibt in 1 Ohm den Strom von 1 Ampère = 0·9 eines (guten) Daniell.

1 Ampère (A) = Stromstärke (I), gleich dem Strom, den 1 Volt

$$\text{in 1 Ohm hervorbringt} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} = \frac{1 \text{ V}}{1 \Omega}$$

= 0·33 mg Kupfer oder elektrochemisch äquivalente Mengen pro Sekunde niederschlagend.

= Sekunden Arbeit von 10^7 Ergs, äquivalent mit 0·24 Gramm-Kalorien.

$$1 \text{ Milli-Ampère} = \frac{1 \text{ Volt}}{1000 \text{ Ohm}}$$

1 Watt (W) = V · A ist gleich dem Produkt 1 V × 1 A, d. h. gleich der Arbeit, welche ein Strom von 1 A Stärke bei 1 V Spannung in der Sekunde leistet (= $\frac{1}{4145}$ Kalorie 0·102 Meterkilogramm in der Sekunde = $\frac{1}{735}$ Pferdekraft H. P.). Ein Watt bezeichnet also die Einheit des Stromeffekts.

1 Coulomb (C) = Elektrizitätsmenge, die in 1 Sekunde bei 1 A durch jeden Querschnitt des Kreises strömt. 1 Mikrocoulomb (m C) = der Millionste Teil eines C.

1 Farad (F) = Kapazität eines Konduktors, auf welchem 1 Coulomb einen Potentialzuwachs von 1 V erzeugt. 1 Mikrofard (mF) = der Millionste Teil eines Farads.

$$\text{Das Gesetz vom Ohm: } I = \frac{E}{W}.$$

Spezifischer Widerstand für den elektrischen Strom.

Quecksilber	1
Silber	0·017
Kupfer	0·018
Zink	0·057
Platin	0·092
Eisen	0·099
Gaskohle	43
käufliche Salpetersäure	18 000

Schwefelsäure (spez. Gewicht 1·84)	47 000
Muskel (Längswiderstand) vom Frosch	2 300 000
Nerv (Längswiderstand)	2 500 000
(Querwiderstand)	12 500 000
Reines Wasser	120 000 000

Widerstand des menschlichen Körpers.

	faradisch Elektrode = 25 cm ²	galvanisch Elektrode = 12·5 cm ²
Hohlrand	784 Ohm	41 300 S. E.
Handrücken	595	304 000
Unterarm (Streckseite)	705	375 000
Unterschenkel	462	331 000
Fußrücken	941	236 000
Fußsohle	1400	23 000

Nach Entfernung der Haut leitet der menschliche Körper 10—20 mal besser als destilliertes kaltes Wasser.

Daten für den Gebrauch des Du-Bois-Reymond'schen Schlitteninduktoriums.

Vergleichung des Öffnungs- (O) und Schließungs- (S) Induktionsschlages, physiologisch bestimmt.

O mit Eisenkern ist 8 mal stärker als S mit Eisenkern,
 O ohne „ „ 3 „ „ „ ohne „ „
 O mit Eisenkern ist 5 mal stärker als O ohne Eisenkern,
 S „ „ 2 „ „ „ S „ „

Muskelkraft des Menschen.

Es wurde (von Henke) berechnet pro cm² Querschnitt der

	k
Wadenmuskeln	4
Fußstrecker (Tibialis anticus)	5·9
Armbeuger rechts	8·991
Armbeuger links	7·38

Arbeitsleistung eines Menschen.

Sekundenleistung c. 7 m. k. ($\frac{1}{10}$ Pferdekraft)

Die Leistung eines gesunden Arbeiters bei
10 stündiger Arbeitszeit wird veranschlagt
zu rund 300 000 m. k.

Vergleichende Angaben über Zugkräfte für den Menschen und einige Nutztiere.

	Ge- wicht	mittlere Kraft	mittlere Geschwin- digkeit	mittlere Arbeits- zeit	Leistung p. Sekunde	tägliche Leistung
	k	k	m	Stund.	m. k.	
Mensch	70	14	0·785	8	11	316 800
Esel	180	35	0·785	8	27·5	792 000
Ochs	300	56	0·785	8	44	1 267 200
Pferd	375	56	1·250	8	70	2 016 000

Blut und Lymphe.

Blutverteilung in den einzelnen Organen.

Es läßt sich rechnen	von der gesamten Blutmenge
für Herz, Lunge, große Blutgefäße	$\frac{1}{4}$
„ die Leber	$\frac{1}{4}$
„ die ruhenden Muskeln	$\frac{1}{4}$
„ die übrigen Organe	$\frac{1}{4}$

Analyse des Gesamtbluts.

auf 1000 Teile	25 j. Mann	30 j. Frau
Wasser	788·7	824·5
Feste Stoffe	211·3	175·4
Albumin- und Extraktivstoffe	191·8	157·9
Fibrin	3·9	1·9
Hämatin	7·2	6·5
Salze	7·9	8·6
und zwar:		
Chlornatrium	2·7	3·4
Chlorkalium	2·1	1·6
Schwefelsaures Kalium	0·2	0·2
Phosphorsaure Salze als Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium	2·0	1·5

Größe der roten Blutkörperchen bei verschiedenen Tieren.

I. Kreisscheibenförmige	Durchmesser in $\mu^1)$
Moschus jav.	2.5
Ziege (alt)	4.1
Schaf	5.0
Katze	6.5
Kaninchen	6.9
Hund	7.3
Mensch	7.8
Petromyzon mari	15.0

II. Elliptische, a) langer Durchmesser, b) kurzer Durchmesser in μ

	a)	b)
Lama	8.0	4.0
Huhn	12.1	7.2
Taube	12.6	7.8
Ente	12.9	8.0
Rana temp.	22.3	15.7
Triton crist.	29.3	19.5
Proteus ang.	58.0	34.0
Amphiuma tridactylum	78.0	45.0

Ein rotes Blutkörperchen des Menschen hat 0.000 000 072 cbmm ($72\mu^3$) Volumen, 0.000 128 qmm ($128\mu^2$) Oberfläche und 0.000 079 8 Milligr. Gewicht.

Gesamtzahl der Blutkörperchen

in 4500 cm³ Blut.

bei 5 000 000 roten	} pro
„ 6000 farblosen	
22½ Billionen rote,	
27 Milliarden farblose.	

1 mm³

Hämoglobingehalt.

Bei Männern 13.77 pCt., bei Weibern 12.59 pCt., bei Schwangeren 9—12 pCt.,
 Bei Tieren: Hund 9.7 pCt., Rind 9.9 pCt.; Schaf 10.3 pCt.; Pferd 13.1 pCt.; Vögel 16-17 pCt.

¹⁾ 1 μ = 0.001 mm.

Analyse der (nüchternen) Lymphe.

	pCt.		pCt.
Fixa	3.7—5.5	Zucker	c. 0.01
Ätherextrakt	0.06—0.13	(nach Kohlehydratnahrung erscheinen 1 pCt. davon in der Lymphe als Zucker)	
(Fett, Lezithin, Cholestearin)		Stickstoffhaltige Extraktiv- stoffe	0.05—0.07
5 Stunden nach Fettnahrung vermehrt bis auf ca. 5 pCt.		Salze	0.8—0.9

Lymphkörperchen (des Hundes)

8200 pro 1 mm³.

Vergleichung zwischen Blut, Lymphe, Chylus.

In 1000 Teilen Plasma von

	Blut	Lymphe	Chylus
Wasser	901.50	957.61	958.50
Faserstoff	8.06	2.18	1.27
Eiweiß	81.92	32.02	30.85
Salz	8.51	7.36	7.55
Kochsalz	5.546	5.65	5.95
Natron	1.532	1.30	1.17

Atmung.

Brustumfang (in cm).

Expirationsumfang,

Arme wagrecht, unter den Brustwarzen und dicht unter dem
Schulterblattwinkel,

Mittel für Männer 82, für Weiber 76

Inspirationsumfang „ „ „ 86—95.

Brustspielraum (Unterschied zwischen tiefster Aus-
und Einatmung) Mittel 8.

Breite des Thorax (Kostal- oder Querdurchmesser),

Männer 25—36 Weiber 23—24.

Neugeborene in Ruhestellung,

4 cm unter der Achselhöhle 9.8.

Atmungsluft (Respirationsluft).

Bei ruhiger Atmung mit jedem Atemzug 500 cm^3 ,
pro Minute 6000 cm^3 , pro Stunde $360\,000 \text{ cm}^3$. pro 24 Stunden
 $8\,640\,000 \text{ cm}^3$.

Sie wird gesteigert pro Minute

	um
durch Mittagsmahlzeit	ca. 680 cm^3
„ Körperbewegung als Nachwirkung)	ca. 300 „
„ Abnahme der Außentemperatur um 1°C .	ca. 60 „

Sie wird verringert durch Anfüllung des Magens.

Vitalkapazität und Körperlänge.

Körperlänge cm	Vitalkapazität cm^3	Differenz
154.5—157	2635	206
157 —159.5	2841	141
159.5—162	2982	185
162 —164.5	3167	120
164.5—167	3284	197
167 —169.5	3484	76
169.5—172	3560	74
172 —174.5	3634	208
174.5—177	3842	42
177 —179.5	3884	150
179.5—182	4034	420
182	4454	

Durchschnitt 3484 für je $2\frac{1}{2} \text{ cm}$ Länge 111 cm^3
auf 1 cm Differenz in der Körpergröße kommt somit ein durch-
schnittliches Mehr von 44 cm^3 Ausatemungsluft.

Für 20—40 Jahre kommt nach einer anderen Berechnung
pro 1 cm Körperlänge

bei Männern 22—24 cm^3 }
„ Weibern 16—17.5 „ } Differenz 6—6.5 cm^3 .

Der Z i e m s s e n ' s c h e Q u o t i e n t $\left(\frac{\text{Vitalkapazität}}{\text{Körperlänge}}\right)$ ver-
langt für eine gesunde Lunge bei Männern 18, bei Weibern über 12.

B r u s t u m f a n g : für je $2\frac{1}{2} \text{ cm}$ Brustumfang Zunahme
um 150 cm^3 .

Sauerstoffverbrauch pro Minute.

	Weg m	Steigarbeit kg	Sauerstoff- verbrauch cm ³	Respirat. Quotient
ruhiges Stehen			263·75	0·801
fast horizontaler Gang	74·48	32·27	763·0	0·805
Gehen bergauf	67·42	403·72	1253·0	0·799

**Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureausscheidung
in Gramm pro 24 Std. in verschiedenen Lebensaltern.**

Jahre	Sauerstoff- aufnahme	Kohlensäure = ausscheidung	Kohle gr
8	375	443	121
15	652	766	209
16	809	950	259
18—20	854	1003	274
20—40	914	1074	293
40—60	757	889	242
60—80	689	810	221

Einfluß der Atembewegungen auf die Kohlensäureausscheidung.

Zahl der Atem- züge pro Minute	Volum (cm ³)		% Gehalt an Kohlen- säure (dem Volumen nach)
	der Atemluft	der Kohlensäure pro Minute	
12 (Norm)	6000	258	4·3
24	12000	420	3·5
48	24000	744	3·1
96	48000	1392	2·9

Temperatur der ein- und ausgeatmeten Luft in C°.

Einatemluft	Ausatmungsluft
— 6·3	+ 29·8
+ 17—19	+ 36·2—37
+ 44	+ 38·5

Herz.**Einige Dimensionen des Herzens.**

Höhe des linken Ventrikels	9·5 cm
Muskeldicke des linken Ventrikels	1·6 „
Höhe des rechten Ventrikels	9·4 „

Muskeldicke des rechten Ventrikels	0.5 cm
Höhe des Herzens (linker Ventrikel) zur Körperhöhe (157)	1:16.5
Muskelmasse des rechten Ventrikels zu der des linken	ca. 1:2
Volumen des Herzens	268 cm ³
Auf 100 cm Körperlänge ergeben sich 150—190 cm ³ Volumen Herz.	

Ganz allgemein vergleicht man die Größe des Herzens mit der der Faust des betreffenden Individuums.

Kreislauf.

Durchmesser einiger Gefäße in mm.

Größter Durchmesser des linken Ventrikels unterhalb der Basis	67
Durchmesser des rechten Ventrikels an der Basis	88
Aorta ascendens	32 { (Wanddicke 1,6; Querschn. 5 cm ²)
„ descendens unten	17
Art. carotis communis	9
„ axillaris	9
„ brachialis	7
„ cruralis	9
V. cava sup.	23
V. jugularis com.	11—12
V. cruralis	12

Der Durchmesser eines Kapillargefäßes ist ca. 0,009 mm.

Der Querschnitt sämtlicher Körperkapillaren = ca. 3500 cm², also 600 mal größer als der der Aorta ascendens.

Pulsfrequenz.

a) G e s c h l e c h t.

Der normale erwachsene Mann hat 71—72 Pulsschläge in einer Minute, das Weib gegen 80.

b) A l t e r.

c) K ö r p e r l ä n g e.

	Schläge in der Minute		mittlere Körper-	Pulsfrequenz
	männlich	weiblich	größe (cm)	pro Minute
Neugeborener	130—140		unter 50	151·5
1 Jahr	120—130		50—60	139·8
2 „	110		60—70	126·8
3 „	105		70—80	116·6
4 „	100		80—90	110·9
5 „	98		90—100	106·6
10 „	83	88	100—110	101·5
10—15 „	80	84	110—120	93·6
15—20 „	78	82	120—130	92·2
21—28 „	73	80	130—140	87·7
28—35 „	70	78	140—150	85·1
35—42 „	68	78	150—160	77·8
42—49 „	70	77	160—170	73·2
49—56 „	67	76	170—180	71·9
56—63 „	68	77	180—190	72·5
63—70 „	70	78	190—200	73·4
70—77 „	67	81	über 200	71·2
77—84 „	71	82		

d) N a h r u n g s a u f n a h m e.

Durch die Mittagsmahlzeit resp. die „Verdauung“ Steigerung um 8—20 Schläge.

Mittagsmahlzeit ohne Wein um 13·1

„ mit „ „ 17·5

e) T a g e s z e i t.

Morgens ist der Puls um etwa 10 Schläge frequenter als abends.

Herzfrequenz bei verschiedenen Tieren (in der Minute).

Vögel	120—180	Mensch	70—75	Elefant	25—28
————		Kalb	56	————	
Kaninchen	130—200	Rind	40—50	Frosch	60
Katze	120—140	Füllen	60	Fische	20—24
Hund	70—120	Stuten,		Schildkröte	20
Schaf, Ziege,		Wallache	36—40	Krebs	50
Schwein	70—80	Hengste	28—30		

Tierische Wärme.

Körpertemperatur bei verschiedenen Tieren in C°.

Schwalbe	44.3		
Möwe	37.8		
Mensch	37.2		
Delphin	35.5		
Maus	41.1		
Bienen im Bienenstock	30—32		
beim Schwärmen	40		
Riesenschlange	10—12°	über die Umgebungstemperatur	
Amphibien und Fische	0.5—4°	„ „	„
Mollusken	0.46°	„ „	„
Medusen	0.27°	„ „	„
Polypen	0.21°	„ „	„

Körpertemperatur des Menschen in C°.

a) in verschiedenem Lebensalter.

Alter	Mitteltemperatur bei Zimmerwärme	Ort der Messung
Neugeborener	37.45	Mastdarm
5—9 Jahre	37.2	Mund und Mastdarm
15—20 „	37.37	Achselhöhle
21—30 „	37.22	„
31—40 „	37.1	„
41—50 „	36.87	„
51—60 „	36.83	„
80 „	37.46	Mundhöhle

Im Verlauf der beiden ersten Lebensstunden erfolgt ein Sinken der Temperatur um ca. 1.70 im Durchschnitt auf 35.84, ein Maximum von 37.59 zwischen 30.—36. Stunde.

b) in verschiedenen Tagstunden.

I.: 42j. Mann, ca. 60 kg Gewicht, 165 cm Körperlänge.

II.: 41j. Mann, ca. 71 kg Gewicht, 173 cm Körperlänge.

Nahrungsaufnahme morgens gegen 7 h,

mittags	zwischen 12 und 1 h,
nachmittags	„ 3 „ 4 h,
abends	„ 6 „ 7 h,

Stunde	I	II
6—7	36·7	36·5
7—8	36·8	36·7
8—9	36·9	36·8
9—10	37·0	37·0
10—11	37·2	37·2
11—12	37·3	37·3
12—1	37·3	37·3
1—2	37·4	37·4
2—3	37·4	37·3
3—4	37·4	37·3
4—5	37·5	37·5
5—6	37·5	37·6

Temperatur an verschiedenen Körperstellen bei 20° C Zimmerwärme.

a) H a u t.

Stirne	34·1—34·4
Wange	34·4
Ohrläppchen	28·8
Nasenspitze	24·0
Handrücken	32·5—33·2
Vola manus	
geschlossen	34·8—35·1
Vorderarm	33·7
Oberarm	34·3
Oberschenkel	34·2
Wade	33·6

b) K ö r p e r h ö h l e n.

Uterus	37·8—38·3
Scheide	37·6—38·1
Rectum	37·5—38·0
äußerer Gehörgang	37·3—37·8
Mundhöhle	37·2

c) a u f d e r K l e i d u n g

bei 17·5° Zimmerwärme

auf dem Rock	22·3
„ der Weste	24·2
„ dem Leinenhemd	28·2

Herkunft der erzeugten Wärme

für einen Mann bei leichter Arbeit und bei Aufnahme von 671 g organischer Substanzen für den Tag.

Von 100 g verzehrter Substanz sind			Von 100 erzeugten Wärmeeinheiten stammen von		
Eiweiß	Fett	Kohlehydrate	Eiweiß	Fett	Kohlehydrate
18.4	7.9	73.7	16.7	16.3	66.9

Nahrungsmittel.

Die chemische Zusammensetzung einiger Nahrungsmittel.

In 100 Teilen:	Eiweiß	Fette	Kohlehydrate	Wasser	Salze	Holz-faser
----------------	--------	-------	--------------	--------	-------	------------

I. Animalische Nahrungsmittel.

Rindfleisch	20.0	1.5	0.6	76.7	1.2	—
Kalbfleisch	19.4	2.9	0.8	75.6	1.3	—
Schweinefleisch	19.9	6.2	0.6	72.6	1.1	—
Huhn	22.7	4.1	1.3	70.8	1.1	—
Hecht	18.3	0.7	0.9	79.3	0.8	—
Frauenmilch	2.29	3.78	6.21	87.4	0.31	—
Kuhmilch	3.55	3.69	4.88	87.2	0.71	—
Ziegenmilch	4.29	4.78	4.46	85.7	0.76	—
Kuhbutter	0.74	84.39	0.62	13.6	0.66	—
Hühnerei	12.5	12.1	—	73.6	1.1	—

II. Vegetabilische Nahrungsmittel.

Weizen	12.4	1.8	67.9	13.6	1.8	2.5
Roggen	11.5	1.8	67.8	15.3	1.8	2.0
Reis	7.9	0.9	76.5	13.1	1.0	0.6
Feines Weizenbrot	7.1	0.2	55.5	35.6	1.1	0.3
Kommisbrot	7.5	0.5	49.4	36.7	1.5	1.5
Leguminosen (Bohnen)	24.3	1.6	49.0	14.8	3.2	7.1
Kartoffeln	2.0	0.2	20.6	75.5	1.0	0.7
Spinat	2.5	0.6	4.4	88.5	2.1	0.9
Spargel	1.8	0.3	2.6	93.8	0.5	1.0
Frisches Obst (Äpfel)	0.4	0.8	13.0	84.8	0.5	1.5

Nährgehalt der Nahrungsmittel.

Für 1 Mark erhält man Nährwerteinheiten:

A. Animalische Nahrungsmittel.

Schellfisch getrocknet	3153	geräucherter Schinken	774
Leber vom Kalb	2916	Bücklinge	771
Kuhmilch	2247	Blutwurst	741
Magerkäse	1987	Kalbfleisch (mager)	617
Speck (gesalzen)	1839	Eier	586
Lunge vom Ochsen	1736	Gänsebrust(pommersche)	564
Schweineschmalz	1658	Ente (wilde)	521
Hering (Pökel)	1396	Haushuhn (fett)	507
Schweinefleisch (fett)	1200	Sprotten (Kieler)	478
Fettkäse	1152	Hecht	471
Kuhbutter	1120	Lachs oder Salm (frisch)	365
Leberwurst	1031	Lachs (geräuchert)	285
Schweinefleisch (mager)	882	Seezunge	226
geräucherte Zunge vom		Kaviar (Astrachan)	203
Ochsen	787	Austern	18·4

B. Vegetabilische Nahrungsmittel.

Erbsen	5803	Nudeln (Makkaroni)	1535
Pumpnickel	5475	Weißkraut	1492
Linsen	5231	Rohrzucker	1320
Roggenmehl	5146	Spinat	1074
Kartoffeln	4902	Obst (getrocknet)	783
Weizenmehl (gröberes)	4864	Teltower Rübchen	419
Roggenbrot	4506	Rosenkohl	397
Weizenmehl (feines)	3507	Biskuits (englische)	347
Hafermehl (Grütze)	3166	Champignon (frisch)	227
Graupen	3050	Spargel	82·2
Weizenbrot (feines)	2221	Blumenkohl	56·2
Kochreis	1913		

Kostmaß

pro Körperkilogramm in den verschiedenen Lebensjahren

Alter	Eiweiß	Fett	Kohlehydrate
2—6 Jahr	3·7 g	3·0 g	10·0 g
7—15 „	2·8 „	1·5 „	9·0 „
Erwachsener	1·6 „	0·8 „	8·0 „

Das Kostmaß ist also im Kindesalter größer als beim Erwachsenen, weil erstens der wachsende Organismus zu seinem Aufbau relativ mehr Nährstoffe bedarf, zweitens der Stoffwechsel im Kindesalter ein größerer ist, da der zu ersetzende Wärmeverlust wegen der größeren Oberfläche im Verhältnis zur Masse ein größerer ist.

Für den Soldaten wird gerechnet:

	Eiweiß	Fett	Kohlehydrate
in der Garnison	120	56	500
im Manöver	135	80	500
im Feld	145	100	500
Grobes Mittel	135	71	462

Tagesbedarf für einzelne Nahrungsmittel (in g).

Nimmt man für einen Arbeiter im Mittel an 118 g Eiweiß (= 18.3 g Stickstoff), 56 g Fett und 500 g Kohlehydrate (= 328 g Kohlenstoff), so müßte er verzehren:

um den Stickstoff- bedarf zu decken		Ordnungszahl beim Stickstoff	um den Bedarf an Kohlenstoff zu decken	
1) Käse	272	1) Speck	9	450
2) Erbsen	520	2) Weizenmehl	3	824
3) Weizenmehl	796	3) Reis	6	896
4) 18 Eier	905	4) Erbsen	2	919
5) Schwarzbrot	1430	5) Käse	1	1160
6) Reis	1868	6) Schwarzbrot	5	1346
7) Milch	2905	7) 43 Eier	4	2231
8) Kartoffeln	4575	8) Kartoffeln	8	3124
9) Speck	4796	9) Milch	7	4652
10) weiße Rüben	8714	10) weiße Rüben	10	10650
11) Bier	17000	11) Bier	11	13160

Beispiel einer Tagesration.

	Eiweiß	Fett	Kohlehydrate
750 g Brot = 470 g Roggenmehl	62	—	331
212 g Fleisch	42	23	—
33 g Fett zum Kochen	—	33	—
200 g Reis oder entsprechend Gemüse	12	—	154
Summa	119	56	485

Kapazität des Magens in cm^3 .

für den Erwachsenen an der Leiche im Mittel	3300
am Lebenden „ „	2500
für das Kind am Ende des ersten Jahres	400

Magensaft.

Analyse eines (speichelhaltigen) menschlichen Magensaftes in 1000 Teilen:

Wasser	994.404
Organische Stoffe, bes. Ferment etc.	3.195 (Pepsin 3)
Freie Salzsäure	0.200
Chlornatrium	1.465
Chlorkalium	0.550
Chlorcalcium	0.061
Phosphate	0.125

In einer Stunde werden etwa 580 g abgesondert.

Zeit der Magenverdauung einiger Nahrungsmittel nach Beobachtungen
an einem Mann mit einer Magenfistel.

Reis	1 Stunde	
Schweinefüße	1 „	
Forelle und Lachs	1 „	30 Minuten
Milch gekocht	2 Stunden	
Ochsenleber gebraten	2 „	
rohe Eier	2 „	
Milch ungekocht	2 „	15 Minuten
gesottene Bohnen	2 „	30 „
Kartoffeln geröstet	2 „	30 „
Austern	2 „	50 „
Ei leicht gekocht	3 „	
Beefsteak	3 „	
Kuchen	3 „	
Weizenbrot	3 „	
Harte Eier	3 „	30 „
Kartoffeln gekocht	3 „	30 „
Hammelfleisch	3 „	45 „
Schweinefleisch geröstet	3 „	50 „
Zahmes Geflügel gekocht	4 „	
Kalbfleisch gebraten	4 „	

Rindfleisch gebraten	4 Stunden	
Pökelfleisch	4 „	15 Minuten
Wilde Ente gebraten	4 „	30 „

Pankreatischer Saft.

Anal y s e vom Pankreassaft des Hundes aus einer
Dauerfistel.

Wasser	980·45
Feste Stoffe	19·55
darin	
Organische Substanzen	12·71
Asche	6·84

Spezif. Gewicht 1·010—1·011
tägl. Menge etwa 200—350.

Galle.

Anal y s e von Menschengalle

Wasser	859·2	Cholestearin	2·6
feste Stoffe	140·8	Schleim und Farbstoff	29·8
gallensaure Alkalien	91·4	Mineralisches	7·7
Fett	9·2		

Darmsaft.

Anal y s e

Wasser	975·861
Eiweiß	8·013
andere organische Stoffe	7·337
Salze	8·789

Menge: auf 30 cm² Darmfläche wurden pro Stunde im
Maximum 4 g erhalten.

Länge des Darmkanals bei verschiedenen Säugetieren

gemessen von der Nase bis zum After.

Schaf und Ziege wie 26: 1	Mensch ¹⁾ wie 10: 1
Rind „ 20: 1	Hund „ 5: 1
Schwein „ 16: 1	Katze „ 4: 1.
Pferd „ 12: 1	

¹⁾ Das oft angeführte Verhältnis 6: 1 ist gemessen von dem Scheitel zur Sohle.

Kapazität des Darmkanals (exkl. Magen).

Pferd	200 Liter
Rind	80 „
Schwein	27 „
Hund	8 „
Mensch	6 „

Harn und Schweiß.

Analyse des 24 stündigen Harns.

	in 24 Stunden	pCt.
Harnmenge	1500 cm ³	
spez. Gew.	1.020	
Wasser	1440 g	96
feste Stoffe	60	4
Harnstoff	35	2.33
Harnsäure	0.75	0.05
Chlornatrium	16.5	1.10
Phosphorsäure	3.5	0.23
Schwefelsäure	2.0	0.13
Gesamtmenge der Erdphosphate	1.2	0.08
Ammoniak	0.65	0.4
freie Säure	3	0.2

Gang der täglichen Harnstoffausscheidung.

Student, 22 Jahre alt, 82.5 kg schwer, bei ca. 21 g Stickstoffzufuhr.

	Harnmenge	Harnstoff	
		absolut	pCt. der Tagesmenge
vormittags 7—1 h	386	11.42	28.9
nachmittags 1—7 h	348	8.63	21.9
Nacht erste Hälfte	492	10.90	27.6
zweite Hälfte	489	8.50	21.6
in 24 Stunden	1715	39.45	100

Harnstoffausscheidung in den ersten Lebensjahren.

Alter	mittlerer 24 stündiger Harnstoff g
2	12·1
3	12·99
5	14·47
10	15·26
15	18·96

24 stündige Zufuhr und Ausscheidung von Chlornatrium.

Mann 25 J., 65 kg.

Aufgenommen g	Ausgeschieden g	Ausscheidung in pCt. der Zufuhr
33·6	25·7	76
28·7	22·0	79
23·9	17·4	72
19·0	17·0	89
14·2	13·6	96
9·3	9·8	106
1·5	3·8	246

Schweiß.

Analyse in 1000 Teilen:

Wasser	999·573
feste Stoffe	4·427
Extraktivstoffe	0·005
Harnstoff	0·044
Chlornatrium	2·230
Chlorkalium	0·024

Physiologie der Zentralorgane.**Kopfmaße.**

	Männer cm	Weiber cm
Horizontalumfang	55	53
Länge zwischen Glabella und Protuberantia occipit. ext.	21	19
Breite zwischen den Jochbogen	15	14

Als Wachstumsnorm kann gelten bei 33 cm Horizontalumfang des Kopfes der Neugeborenen

am Ende des 21. Monats	46	cm
am Ende des 171. Monats (12 $\frac{1}{3}$ Jahr)	49 5	„
am Ende des 300. Monats (25 Jahr)	52·25	„

Hirngewichte verschiedener Nationen (g).

Deutsche	Engländer	Franzosen	Litauer	Schotten	Hindus
1424	1422	1322—1333	1319	1309	1006—1176.

Bei den Europäern Gesamtmittel für Männer 1358, für Weiber 1235, Differenz 123.

Das Gehirn der Neugeborenen wiegt 330 g (männlich), 280 g (weiblich).

Oberfläche des Gehirns.

	Gewicht des frischen Gehirns g	insgesamt	Oberfläche in cm ² freiliegend	in den Furchen verborgen
Kliniker Fuchs	1499	2210	721	1489
Mathematiker Gauss	1492	2196	726	1470
ein Handarbeiter	1273	1877	628	1249
29jährige Frau	1185	2041	689	1352

Hirngewichte berühmter Männer.

	g	Alter
Cromwell (Staatsmann)	2233	—
[Mäßig begabter Mann aus den besseren Ständen	2028	—]
Turgenjeff (Dichter)	2012	65
[Rustan, skandinav. Bauer	ca. 2000	—]
Cuvier (Anatom)	1861	63
Byron (Dichter)	1807	36
Abercrombie (Arzt)	1785	64
Kant (Philosoph)	1600	79
W. von Siemens (Ingenieur)	1600	82
Schiller (Dichter) ¹⁾	1580	46
Dirichlet (Mathematiker)	1520	54
Fuchs (Kliniker)	1499	52
Gauss (Mathematiker)	1492	78
von Helmholtz (Physiker u. Mathematiker)	1440	73

¹⁾ Aus der Schädelkapazität berechnet.

Dupuytren (Chirurg)	1437	58
Dante (Dichter) ¹⁾	1420	56
Hermann (Philologe)	1358	51
J. von Liebig (Chemiker)	1352	70
Hausmann (Mineraloge)	1226	77
Döllinger (Physiologe)	1207	71
Gambetta (Staatsmann)	1100	44
[Idiot Mottey	369	—]

Lehre von den Bewegungen.

Zeitliche Verhältnisse beim Gehen mit verschiedener Geschwindigkeit.

a) Mittelwerte.

Schrittzahl	Zeit für 43·43 m Weg Sek.	Schrittdauer Sek.	Schrittlänge cm	Geschwindigkeit pro Sekunde m
51	18·12	0·353	85·1	2·397
54	22·55	0·417	80·4	1·928
57	28·90	0·507	76·2	1·503
60	33·70	0·562	72·4	1·288
65	39·27	0·604	66·8	1·106
69	46·07	0·668	62·9	0·942
76	57·72	0·760	57·2	0·753
80	68·78	0·860	54·3	0·631
97	93·67	0·966	44·8	0·464
109	114·40	1·050	39·8	0·379

b) Marschgeschwindigkeit in der deutschen und österreichischen Armee.

	Schrittlänge cm	Schrittzahl p. Minute	Weg p. Stunde km
Deutschland			
naturgemäßer Schritt	76·128	113	5·16
Vorschrift des Exerzierreglements	80	112	5·37
Österreich			
gewöhnlicher Schritt	75·86	110	5·01
durchschnittliche tägliche Marschleistung	22·5 km		
maximale Marschleistung; für 1 Tag	50	„	„
„ 2 Tage	70	„	„

¹⁾ Aus der Schädelkapazität berechnet.

Tabelle verschiedener Geschwindigkeiten.

	m in der Sekunde		m in der Sekunde
Schnecke	0·0015	Ozeanwogen	21·8
Mittlere Stromgeschwin- digkeit des Blutes		Schnellzug	23·6
in der Aorta des		Brieftaube	27·0
Menschen	0·5	Nervenprinzip im mo- torischen Nerven des	
Mensch im Schritt	1·25	Menschen	40
Schreibfläche am Schlei- derkymographion von		Orkan	45
Engelmann im		Elektrische Schnellbahn	57·5
Maximum	2·2	Schwalbe	67
Schneesчуhläufer (in der Ebene)	2·95	Schall in der Luft	337
Schnellster Fluß	4·00	Äquatorpunkt	463
Luftballon bei Wind- stille	6·4	Kanonenkugel	500
Schnellläufer	7·1		in der Sekunde km
Fliege	7·6	Mond	1
Pulswelle des Menschen	9	Sonne	7·6
Frische Brise	10·0	Erde	29·5
Geschwindigkeit der Kontraktionswelle des		Sternschnuppe im Mittel	40
Warmblütermuskels	10	Kabelstrom	4000
Eisläufer	11·6	Telegraphenstrom	11690
Schnellster Dampfer	12	Induktionstrom	18400
Rennpferd	12·6	Elektrischer Strom im Mittel	36000
Bergstrom	14·3	Licht	300000
Radfahrer (neuester Re- kord auf 100 km)	18	Entladung der Leyd- flasche i. Kupfer- draht von 1·7 mm Querschnitt	463500

Zeugung.

Zeit des Eintrittes der Menstruation.

In Deutschland: Berlin Anfang des	15. Jahrs,
Ostpreußen	16 Jahr,
Bayern	16 „
Württemberg (Land)	16—(17) „

Dänemark und Norwegen	16 Jahr
Österreichischer Staat	15 „ 7 ¹ / ₂ Monat,
Eskimo in Labrador	15 „ 3 „
Neger in Jamaica	14 „ 10 „
Indier in Calcutta	11 „ 11 „
Italien und Spanien	12 „
Jamaica	12 „
Smyrna	11 „
Arabien	10 „
Persien	9—11 „
Eboi (Guineaküste)	8—9 „

Nach anderen Angaben treten die Menses ein im Durchschnitt:

heißes Klima	13 Jahr 6 Tage,
mittleres „	14 „ 4 „
kaltes „	15 „ 10 „

Trächtigkeitsdauer.

Mensch	40 Wochen.
Elefant	90 „
Giraffe	63 „
Pferd	48 „
Rind	40 „
Bär, Affe	30 „
Reh	24 „
Schaf, Ziege	20—22 „
Schwein	17 „
Löwe	15—16 „
Wolf	10 „
Hund, Fuchs	9 „
Katze	8 „
Hase, Kaninchen, Meer-	
schweinchen	4—5 „
Ratte, Maus	3—4 „

Alphabetisches Register.

- Abducens 248.
Aberration, monochromatische 322, chromatische 323.
Absorption von Gasen 102.
Accelerantes cordis 143.
Accessorius 250.
Achseneylinder des Nerven 73.
Acid-Albuminat 22, 201.
Acusticus 250.
Adäquater Reiz 307.
Adaptation 331.
Addison'sche Krankheit 161.
Adenin 23.
Adrenalin 161.
Akkommodation des Auges 314, Mechanismus 316, Grenzen 317.
Akkommodationsbreite 318.
Akkommodationskraft 318.
Akkommodationsphosphen 329.
Akroleïn 33.
Aktionstrom des Muskels 66, des Nerven 79, des Herzens 140.
Albinos 319, 321.
Albumine 21.
Albuminoïde 24, 202.
Albumosen 22, 201.
Alexine 100.
Alkali-Albuminate 22.
Alkoholika 172, 175.
Alloxurbasen 27.
Amide 26.
Amidosäuren 26, 215, 219.
Amine 26.
Ammoniak 27, 219, 228.
Amöbe, amöboïde Bewegung 44.
Amphiarthrose 287.
Ampullen der Bogengänge 358.
Amyloïd 32.
Amylosen 31.
Amylum 32.
Anelektrotonus 79.
Anlagerungsteile der Herzklappen 135.
Anode 56.
Anorganisches 1.
Anorganische Bestandteile des Körpers 15.
Anorganische Nahrungstoffe 172.
Anpassung 12.
Anspannungszeit des Herzens 139.
Antagonisten 289.
Antipepton 201, 215.
Aphasie 278.
Apnoe 117.
Apodiktisch 1.
Appetitsaft 199.
Arbeit 4, 53, des Herzens 140.
Arbeitsleistung 387.
Aromatische Körper 28, 219, 230.
Arteriellcs Blut 103.
Arterien 145, 151, 392.
Aschegehalt des Körpers 16.
Asparaginsäure 26.
Asphyxie 117.
Aspiration der Lungen 113.

- Assimilation 6, 26.
 Assoziationsfasern 273.
 Assoziationzentren 279.
 Astigmatismus 322.
 Ataxie, sensorische, cerebellare 281, 370.
 Atelektatisch 107, 115.
 Atembewegungen 107, Frequenz und Rhythmus 115.
 Atemzentrum 116, 282.
 Atmen, chemisch 119, 391.
 Atmung 7.
 Atmungsgeräusche 115.
 Atmungsgröße 114.
 Atmungsluft 114, 390.
 Auge, schematisches, reduziertes 313.
 Augenaxe, optische 312.
 Augenbewegungen 336.
 Augenbrauen 341.
 Augenleuchten 320.
 Augenlider 340.
 Augenmuskeln 337.
 Augenspiegel 320.
 Auslese, natürliche 13.
 Auslösung 5.
 Autographische Methode 11, 154.
 Automatische Zentra 72, 116, 282.
 Austreibungszeit des Herzens 139.
 Autoxotonische Muskelzuckung 61.
 Axiome 1, 2.
 Bakterizide Eigenschaft der Zellen 42, des Blutplasma 100.
 Bandwurm 374.
 Bathmotrope Wirkung des Vagus 142.
 Bauchpresse 112.
 Becherlarve 381.
 Befruchtung 379.
 Beißen 188.
 Benzoësäure, 8, 229.
 Beobachtung 10.
 Beschleunigungsnerven des Herzens 143, Zentrum 282.
 Bewegungsgröße 4.
 Bewußtsein 9.
 Bienenstaat 374.
 Bienenwachs 34.
 Bier 175.
 Bildkreis 314.
 Bilirubin 212.
 Biliverdin 212.
 Binokulares Sehen 338, Vorteile desselben 340.
 Biuret 226—reaktion 20, 201, 227.
 Blickebene 336.
 Blicklinie 336.
 Blickpunkt 338, binokularer 338.
 Blinder Fleck, Mariotte's 327.
 Blockfasern des Herzens 130, 133.
 Blut, Bedeutung, Eigenschaften 92, Bestandteile 93, 387.
 Blutbewegung, Gesetze 148, in den Kapillaren, Arterien, Venen 151.
 Blutdruck in den Gefäßen 154, Atemschwankungen des — 156.
 Blutfarbe 92, 94, 103, Deckfarbe, Lackfarbe 95.
 Blutfarbstoff 96.
 Blutgase 102.
 Blutgerinnung 100.
 Blutkörperchen, rote 93, 388, weiß 98.
 Blutkörperchensäure 103.
 Blutkreislauf 127, 145, des Fötus 129.
 Blutkuchen 93, 101.
 Blutmenge 102.
 Blutplättchen 99.
 Blutplasma 93, 99, 389.
 Blutserum 93, 100.
 Blutstromgeschwindigkeit 152.
 Blutverlust 157.
 Blutverteilung 127, 387.
 Bogengänge 358.

Branntwein 175.
 Braten 177.
 Brechakt 197, 261.
 Brechungsexponent(index) 311.
 Brot 178.
 Brown'sche Molekularbewegung 45.
 Bruststimme 300.
 Brustumfang 112, 389.
 Burdach'scher Strang 268.
 Butter 176, 240.
 Buttermilch 240.

Cachexia strumipriva 160.
 Cellulose 32, 178.
 Celsius-Skala 163.
 Cerealien 178.
 Cerebrin 30.
 Chemische Bestandteile des Körpers 15.
 Chemotaxis 46.
 Chemotropismus 46.
 Chitin 25.
 Cholalsäure 211.
 Cholestearin 35.
 Chondrin 25.
 Chondroproteide 24.
 Chorda tympani 191, 248, 249.
 Chorioidea 319.
 Chromasie des Auges 323.
 Chromoproteide 23.
 Chronotrope Wirkung des Vagus 142.
 Chylus 105, 389.
 Ciliarmuskel 316.
 Corti'sches Organ 350.
 Crista acustica 358.

Darm 217, Länge 217, 401, Kapazität 402.
 Darmgärung 219.
 Darmlymphe 105.
 Darmperistaltik 217.
 Darmresorption 220.
 Darmsaft 218, 401.
 Darmverdauung 218.
 Dauergeräuschlaute 304, 305.
 Deduktion 10.

Demarkationsstrom 66.
 Dentition 399.
 Depressor, N., 158.
 Descendenztheorie 11.
 Dextrin 33.
 Dextrose 31.
 Diabetes 209, Zentrum 282.
 Diarthrosen 286.
 Diastatische Fermente 28, 193, 215, 218.
 Diapedese 98.
 Diastole 136.
 Dickdarm 222.
 Differenzttöne 356.
 Diffusion 88.
 Dikrotismus 152.
 Dimensionen des Körpers 382.
 Dioptrie 318.
 Dioptrik des Auges 311.
 Diphthonge 303.
 Disaccharide 31.
 Dissimilation 6, 26.
 Dissonanz 355.
 Dissoziabile Verbindung, Dissoziation 32.
 Donders'scher Druck 113.
 Doppelbilder 339.
 Doppelsinniges Leistungsvermögen 76.
 Dromotrope Wirkung des Vagus 142.
 Drucksinn 367.
 Druckverhältnisse im Thorax 113, im Herzen 138.
 Drüsen, einzellige, mehrzellige 83, feinerer Bau 84, Einteilung 84, 86.
 Drüsen mit innerer Sekretion 85, 160.
 Drüsenabsonderung 86.
 Drüsenstrom 87.
 Durst 171.
 Dynamisches Gleichgewicht 1, 6.
 Dyspnoe 110, 116.
 Effekt der Kraft 4.
 Ei, weibliches 377.

- Eier als Nahrungsmittel 178.
 Einfachsehen 338.
 Einheiten, elektrische 384.
 Eisen im Körper 18.
 Eiweiß, zirkulierendes, denaturiertes, genuines, lebendiges, natives, totes 21, in der Nahrung 173.
 Eiweißdrüsen 191.
 Eiweißkörper 18, Reaktionen 20.
 Eiweißkost 173, 182.
 Ejakulation 261, 377.
 Elastizität der Lungen 113, des Muskels 52, des Schlauches 148, der Arterien 150.
 Elastine 25.
 Elektrische Fische 48.
 Elektrische Leitfähigkeit 90.
 Elektrische Maße und Einheiten 384.
 Elektrische Vorgänge im Muskel 66.
 — im Nerven 79.
 Elektrolyte 90.
 Elektrotonus, An-, Kat-, 79.
 Elemente 15.
 Emmetropie 317.
 Empfindung 307, Einteilung 307, Intensität 308, Dauer 309, Bedeutung 309.
 Empfindungskreis 370.
 Endolymph 347.
 Energie 4, spezifische, der Sinnesnerven 307.
 Enterokinase 216.
 Enthiernte Tiere 256, 275.
 Entoptische Erscheinungen 323.
 Entwicklung 380.
 Enzyme 28.
 Erbrechen 197, 261.
 Erektion 261, 376.
 Erepsin 219.
 Erfahrung 10.
 Erholung 9.
 Ermüdung 9.
 Erregbarkeit der Nerven 76.
 Erregung 9.
 Erschöpfung 9.
 Eudiometer 119.
 Eupnoe 109, 116.
 Eustachi'sche Tube 346.
 Exkrete 86.
 Experiment 10.
 Explosivlaute 304, 305.
 Expiration 107, 112, modifizierte 112.
 Extrastrom 57.
 Extrasystole 132.
 Fäces 222.
 Facialis 249.
 Fällung 19, 20.
 Falsettstimme 300.
 Farbenblindheit 334.
 Farbenempfindlichkeit der Netzhaut 333.
 Farbenmischung 332.
 Farbentheorien 333.
 Farbenwahrnehmung 331.
 Farbstoffe 25.
 Fenster, rundes, ovales 343.
 Fermente 28.
 Fernpunkt 317.
 Fettbestand des Körpers 34.
 Fette 33, in der Nahrung 174.
 Fettmast 185.
 Fettspaltende Fermente 28, 216.
 Fibrin 100, 101.
 Fibrinferment 29, 101.
 Fibrinogen 100, 101.
 Filtration 90.
 Fistelstimme 300.
 Fixationslinie 336.
 Fleisch 177.
 Fleischbrühe 177.
 Fleischmast 185.
 Fleischmilchsäure 36, 51, 65, 68.
 Flimmerbewegung 44.
 Flüstersprache 303.
 Formanten 303.
 Fovea centralis 314, 326, 327, 329, 334.

- Frequenz der Atmung 115;
 der Herzbewegungen 137,
 393, des Pulses 152, 393.
 Fruchtbarkeit 381.
 Fruchtzucker 30.
 Fühlsphäre 276.
 Furchung, totale, partielle 380.

 Gärung, alkoholische, Milch-
 säure-, Buttersäure- 31,
 des Harns 232.
 Gähnen 112, 260.
 Galaktose 30.
 Galle 209, Bedeutung 212, Che-
 mie 211, 401, Sekretion 209.
 Gallenfarbstoffe 212.
 Gallensäuren 211.
 Galvanotaxis 47.
 Galvanotropismus 47.
 Gase des Blutes 102.
 Gefäße, Bau, Verzweigung 145,
 Innervation 157, Dimensio-
 nen 392.
 Gefäßzentrum 282.
 Gefrierpunktserniedrigung 89.
 Gefühlsinn 364.
 Gehen 293.
 — zeitliche Verhältnisse 405.
 Gehirn, Bau 270, Leitungs-
 bahnen 271, Funktionen 275,
 Stoffwechsel 285, Oberfläche
 404, Gewicht 404.
 Gehirnlokalisation 265.
 Gehirnnerven 244.
 Gehirnzeit 283.
 Gehirnzucker 30.
 Gehörerregung 352.
 Gehörgang 343.
 Gehörhalluzinationen 357.
 Gehörknöchelchen 343.
 Gehörorgan 342.
 Gehörsinn 342.
 Gehörwahrnehmungen 357.
 Gelenke 286, kapsel, bänder,
 flächen 287.
 Gemeingefühle 365, 372.
 Gemüse 179.
 Generationswechsel 374.
 Genussmittel 175.
 Geotaxis 46.
 Geotropismus 46.
 Geräusche 353.
 Gerinnung des Eiweiß 19.
 — des Blutes 100.
 Gerinnungsenzyme 29, 51, 101.
 Geruchssinn 358.
 Geschlechtsdrüsen, innere Se-
 kretion 162.
 Geschmacksinn 361.
 Geschwindigkeiten 406.
 Gesetz 3.
 Gesichtsfeld 336.
 Gesichtssinn 311.
 Gesichtslinie 314, 336.
 Gesichtswinkel 314, binokularer
 338.
 Gewebsatmung 124.
 Gebebsflüssigkeit 41, 104.
 Gewürze 175.
 Glaskörper des Auges 311.
 Glatte Muskeln 68.
 Gleichgewicht 1, dynamisches 5.
 Gleichgewicht des Körpers 291.
 Globin 97.
 Globulizide Wirkung des Plas-
 ma 96, 100.
 Globuline 21.
 Glossopharyngeus 250.
 Glukase 29.
 Glutaminsäure 27.
 Glutin 25.
 Glykocholsäure 211.
 Glykogen 32.
 Glykogen in der Leber 207,
 im Muskel 52, 208.
 Glykokoll 27, 211.
 Glykoproteide 23.
 Glykosen 30.
 Glykoside 30.
 Glyzerin, Ester des 33.
 Goll'scher Strang 268.
 Gowers'scher Strang 268.
 Graphische Methode 11.
 Großhirn 270, 275.
 Großhirnganglien 271, 279
 Grundton 354.

- Gründüngung 7.
 Guanin 27.
 Gummi 33.

 Hämatin 97.
 Hämatoïdin 98.
 Hämin 98.
 Hämochromogen 98.
 Hämodromograph 153.
 Hämodromometer 153.
 Hämoglobin 23, 96, reduziertes,
 Oxy-, Met-, Kohlenoxyd- 96,
 Stickoxyd- 97.
 Hämoglobingehalt 388.
 Hämotachometer 153.
 Halbvokale 304.
 Haltung, natürliche 291.
 — der Muskelschwachen und
 Greisen 291.
 Harmonie 355.
 Harn 225, Eigenschaften 225,
 Chemie 226, 402, Zersetzung
 231, Einfluss der Nahrung
 231, Sekretion 233, Entlee-
 rung 235.
 Harngärung, saure, alkalische
 232
 Harnfarbstoffe 230.
 Harnsäure 27, 228.
 Harnsalze 230.
 Harnstoff 27, 226, tägliche
 Ausscheidung 402, in den
 ersten Lebensjahren 403.
 Hautatmung 124.
 Hauttalg 241.
 Heliotropismus 46.
 Hemipecton 200, 215.
 Hemmungsnerv des Herzens
 141, des Darmes 218.
 Hemmungszentrum des Her-
 zens 142, 282.
 Hermaphroditismus 374.
 Herz 127, Gestalt, Bau 130,
 Muskulatur 131, Klappen
 133, Höhlen 135, Rhythmus
 und Frequenz 137, Druck-
 verhältnisse 138, Dimensio-
 nen 391.
 Herzfrequenz bei verschiedenen
 Tieren 393.
 Herzganglien 143.
 Herznerven 141.
 Herzperiode 137.
 Herzschlag 137.
 Herzstoß 139.
 Herztätigkeit, Ursache der 143.
 Herztöne 139.
 Hexobiosen 29.
 Hexonbasen 27.
 Hexosen 29.
 Hirnbewegungen 285.
 Hirnoberfläche 404.
 Histidin 27.
 Histone 22.
 Hintere Wurzeln der Rücken-
 marksnerven 243.
 Hippursäure 229.
 Hirngewicht 404.
 Hirnstock 279.
 Hodenreflex 262.
 Homoiotherme Tiere 163.
 Hornhaut 311.
 Horopter 339.
 Hörsphäre 278.
 Hubhöhe 61.
 Humor aqueus 311.
 Hunger 171, 181.
 Husten 112, 260.
 Hydrodiffusion 88.
 Hydrolytische Fermente 28.
 Hypermetropie 318.
 Hypertonische Lösung 90.
 Hypnotismus 284.
 Hypoglossus 251.
 Hypophyse 162.
 Hypothese 10.
 Hypotonische Lösung 89.
 Hypoxanthin 27.

 Identische Stellen der Netz-
 haut 339.
 Ikterus 210.
 Indol 28, 219, 230.
 Induktion 10.
 Induktions-Apparat 57, 386.

- Induktionströme 57, Wirkung der 82.
 Inosit 52.
 Inotrope Wirkung des Vagus 142.
 Insorption der Gase 102.
 Inspiration 107, modifizierte 112.
 Inspirationsluft, Veränderung der 125.
 Intercostalmuskeln 109.
 Interzentrale Nerven 243.
 Intraokularer Druck 341.
 Invertasen 29.
 Invertin 29.
 Irradiation des Lichtes im Auge 323, der Empfindung 263, des Schmerzes 371.
 Iris 319.
 Irritabilität des Muskels 67.
 Isodynam 166.
 Isomaltose 31.
 Isometrische Muskelzuckung 61.
 Isosmotische Lösung 89.
 Isotonische Lösung 89.
 Isotonische Muskelzuckung 60.

 Jekorin 35.
 Jodothyryl 18, 161.
 Jodstärke 32.
 Jodzahl des Fettes 33.

 Kältepunkte 368.
 Käse 177, 239.
 Kalorie 5.
 Kalorimeter 165.
 Kaltblüter 163.
 Kampf um das Dasein 12.
 Kapazität der Herzhöhlen 135.
 Kapillaren 145, 151, 153, 392.
 Kapillargefäßdruck 155.
 Kapillarpuls 149.
 Kardiogramm 138.
 Kartoffeln 179.
 Kasein 22.
 Kastration 162.
 Katelektrotonus 79.
 Kathode 56.
 Kauen 188.
 Kehlkopf, Knorpel 295, Muskeln 297, Nerven 299, Ansatzrohr 299.
 Keimbläschen, Keimfleck 377.
 Keimblase 380.
 Keimblatt, äußeres, inneres 381.
 Keratine 25.
 Kern 38.
 Kernteilung 40.
 Klang 354.
 Klangfarbe 301, 355.
 Klapper des Herzens 133, der Venen 145, der Lymphgefäße 104.
 Kleber 178.
 Kleinhirn 280.
 Kleinhirnseitenstrangbahn 268, 272.
 Kniephänomen 262.
 Knochen 286, Verbindung 286.
 Knospung 373.
 Koagulation 19.
 Körperfühlsphäre 276.
 Körpergewicht 382.
 Körperlänge 382.
 Körperlehre 9.
 Körperliches Sehen 339.
 Körperoberfläche 383.
 Körpertemperatur 163, 394.
 Körpervolumen 383.
 Kohlehydrate 29, in der Nahrung 174.
 Kohlensäureausscheidung 121, 123, 391.
 Kohlensäure im Blut 163.
 Kollagene 24.
 Kollapsluft 115.
 Kollaterale 255.
 Kolloide Körper 19, 25.
 Kolostrumkörperchen 238.
 Kombinationstöne 356.
 Kompensatorische Pause 133.
 Komplementärfarben 332.
 Komplementärluft 114.
 Konsonanten 303.
 Konsonanz 355.

Kontraktion 53.
 Kontraktionswelle des Muskels 60.
 Kontrast, simultaner 335.
 — successiver 331, 335.
 Koordinatensystem 11.
 Korrespondierende Punkte der Netzhaut 339.
 Kopfmaße 403.
 Kostmaß 185, 397.
 Kot 222.
 Kotentleerung 224.
 Kraft 3, 4, 5, des Muskels 61, 386.
 Krampfzentrum 282.
 Kreatin 27.
 Kreatinin 27, 229.
 Kreislauf des Lebens 7.
 — des Körpers, größer, kleiner, intermediärer 127, 145, des Fötus 129.
 Kresol 28, 219, 230.
 Kristall 1.
 Kristalloide Körper 19.
 Kropf 160.
 Kurare 68.
 Kurzsichtigkeit 318.

 Labferment 29, 203.
 Labyrinth 347.
 Lachen 112, 260.
 Lähmung 9.
 Längenwachstum 382.
 Lävulose 30.
 Lagen des Augapfels 336.
 Lagophthalmus 249.
 Laktation 237.
 Laktase 29.
 Laktose 31.
 Lamina spiralis 350.
 Lanolin 34.
 Latenzzeit der Muskelzuckung 59.
 Laufen 294.
 Leben der Zelle 41.
 Lebensdauer der Zelle 42.
 Lebensknoten 116.
 Lebenskraft 1.

Leber, Bau 205, Bedeutung 206, als Filter 206, als Drüse 209.
 Leguminosen 179.
 Leukozythen 98, 105, 388.
 Leuzin 26.
 Lezithalbumine 24.
 Lezithine 35.
 Lichtbrechung im Auge 310.
 Lichtchaos 329.
 Lichtempfindung 329, Anklängen, Abklingen der 330.
 Lidschluß 259.
 Linse 311, 312.
 Lokalisation der Empfindungen 365.
 Lokalisationslehre 266.
 Lokalzeichen 335, 365.
 Luftmenge in der Lunge 114.
 Luftröhre 295.
 Lungen 107.
 Lungenatmung 118.
 Lungenelastizität 113.
 Lungenprobe 115.
 Lymphagoge Substanzen 105.
 Lymphdrüsen 106.
 Lymphe 104, 389.
 Lymphkapillaren, -gefäße, -spalten 104, 105.
 Lymphkörperchen 105, 106, 388.
 Lymphplasma 105, 389.
 Lysin 27.

 Maße, elektrische 384.
 Maßsystem 384.
 Macula actustica 353.
 Macula lutea 314, 326.
 Magen, 196, Selbstverdauung 204, der Wiederkäuer 204.
 Magenbewegungen 192.
 Magendrüsen 198.
 Magenkapazität 400.
 Magensaft 200, 400.
 Magensekretion 199.
 Magenverdauung 196, Chemie der 200, Innervation 199, Zeit der 400.

- Maltase 29.
 Malzzucker 31.
 Mariotte's blinder Fleck 327.
 Marschgeschwindigkeit 405.
 Materie 9.
 Mathematik 1, 2.
 Mechanische Arbeit des Herzens 140.
 Mechanisches Wärmeäquivalent 5.
 Medulla oblongata 281.
 Membran, permeable, semipermeable 88.
 Membrana basilaris 350, 352.
 Membrandiffusion 88.
 Menstruation 379, 406.
 Metagenesis 374.
 Metamorphose, progressive, regressive 26.
 Methämoglobin 97.
 Milch als Nahrungsmittel 176, Eigenschaften 237, Sekretion 237, Zusammensetzung 238, Gerinnung 238, Menge 240.
 Milchsäuren 36.
 Milchzucker 31.
 Millon's Reagenz 20.
 Milz 159.
 Minimalluft 115.
 Miotica 246.
 Mischfarben 332.
 Mischgerüche 360.
 Mitbewegung 263.
 Mitempfindung 263.
 Mittelohr 342.
 Molken 239.
 Monokulares Sehen 335.
 Monosaccharide 30.
 Motorische Nerven 242.
 Mucin 23, 193.
 Mucoïle 23.
 Munddrüsen 190.
 Mundverdauung 187, Mechanik 188, Chemie 192, Bedeutung 193.
 Muskeln, quergestreifte 49.
 — rote, blasse 51, 60, 62.
 — glatte 68.
 Muskularbeit 53, 61.
 Muskelchemie 51.
 Muskelelastizität 52.
 Muskelerregung, Gesetze der elektrischen 54.
 Muskelfaser, Muskelzelle 49.
 Muskelfibrille 49.
 Muskelgeräusch 64.
 Muskel-Irritabilität 67.
 Muskelkraft 61, 386, Quelle der 64.
 Muskelkontraktion 53, 58.
 Muskelreize 54, Summation, Tetanus 56.
 Muskelsinn 370.
 Muskelstarre 68.
 Muskelstoffwechsel 64.
 Muskelstrom 66.
 Muskeltonus 261.
 Muskelwärme 65.
 Muskelwirkung auf die Knochen 289.
 Muskelzuckung 53, zeitlicher Verlauf 59, mechanisches Verhalten dabei 58, bei Isotonie 60, bei Auxotonie 61, bei Überlastung 61, Einfluß der Reizstärke 62, Temperatur, Ermüdung 63.
 Mydriaca 246.
 Myographion, Myogramm 59.
 Myopie 318.
 Myosin 51, -ferment 29, 51.
 Nachbilder 330, 331, farbige 334.
 Nachempfindung 309.
 Nachgeschmack 363.
 Nährgehalt der Nahrungsmittel 397.
 Nährsalze 173.
 Nahepunkt 317.
 Nahrung 172, 179.
 Nahrungsmittel 171, tierische 176, pflanzliche 178; chem. Zusammensetzung 396, Tagesbedarf 398.
 Nahrungstoffe 171.

- Naturlehre 1, 2, 9.
 Naturwissenschaft 2.
 Nebennieren 161.
 Negative Schwankung 67.
 Nerven 70, 242, Uermüdbarkeit der 78; Wirkung des konstanten Stromes auf die 79; Wirkung der Induktionsströme auf die 82.
 Nervenchemie 73.
 Nervende- und -regeneration 78.
 Nervenregbarkeit 75.
 Nervenregung 74, 80.
 Nervenfasern 73.
 Nervenleitung 76.
 Nervenprinzip 74, Geschwindigkeit des 77.
 Nervenreize 74.
 Nervenstoffwechsel 78.
 Nervenstrom 79.
 Nervenzellen 71.
 Netzhaut s. Retina.
 Neurin 35.
 Neuron, Neuronenlehre 70.
 Niesen 112, 260.
 Noeud vital 116, 282.
 Normalhaltung 292.
 Normalsichtigkeit 317.
 Nukleïnbasen 23, 229.
 Nukleïne 23.
 Nukleïnsäuren 23.
 Nukleoalbumine 21.
 Nukleoglykoproteïde 24.
 Nukleoproteïde 22.
 Nullpunkt physiologischer 368.
 Oberton 354.
 Obst 179.
 Oculomotorius 245.
 Öffnungszuckung 81.
 Oesophagus 194.
 Ohr, äußeres 342, inneres 347.
 Ohrenschmalz 241.
 Ohrmuschel 342.
 Oleïn 33.
 Olfactorius 244.
 Ophthalmometer 312.
 Opticus 245.
 Optische Augenaxe 312.
 Optische Täuschungen 336.
 Optogramm 328.
 Organempfindungen 365, 372.
 Organgewichte 383.
 Organisches 1, 6.
 Organische Bestandteile des Körpers 18.
 Organismus 1, 6.
 Orthopnoe 110.
 Ortsbewegungen 290.
 Ortsinn der Haut 369.
 Osazone 30.
 Osmose 89.
 Ovulation 379.
 Oxalsäure 36, 230.
 Oxydation 7.
 Oxyhämoglobin 97.
 Palmitin 33.
 Pankreas, innere Sekretion 162.
 Pankreasdiastase 215.
 Pankreassaft, Sekretion 214, Chemie 215, 401, Wirkung 215.
 Pars olfactoria, respiratoria der Nase 359.
 Paranukleïn 21.
 Parenchymflüssigkeit 104.
 Parthenogenesis 374.
 Partialdruck der Gase 102.
 Paukenhöhle 343.
 Pectin 33.
 Pentosen 29.
 Pepsin 200.
 Pepton 201.
 Perilymphe 347.
 Perimeter 336.
 Periskopie 314.
 Peristaltik 69, des Darmes 217. — des Herzens 137.
 Pfeilgift 68.
 Pferdekraft 4.
 Pflanze 6.
 Pflanzenschleim 33.

- Pflanzliche Nahrungstoffe 178.
 Phasengleichheit 355.
 Phenol 28, 219, 230.
 Phosphen 329.
 Phosphoglykoproteide 24.
 Phototaxis 46.
 Phototropismus 46.
 Physiologie, Begriff 1.
 Pigmente 25.
 Piqûre 209, 282.
 Pitot'sche Röhre 153.
 Plasma des Blutes 99, 389.
 — des Muskels 51, der Lymphe,
 des Chylus 389.
 Pneumatometer 113.
 Poikilotherme Tiere 163.
 Polysaccharide 31.
 Präinspiratorische Bewegungen
 111.
 Präzipitine 100.
 Presbyopie 318.
 Protagon 35.
 Proteide 22, 202.
 Proteine 21, 201, koagulierte
 22.
 Proteosen 22.
 Protamine 22.
 Protoplasma der Zelle 37.
 Pseudonukleïn 21.
 Psychischer Magensaft 199.
 Psychologie 10.
 Psychophysisches Gesetz 308.
 Ptosis 246.
 Ptyalin 193.
 Pulsfrequenz 392.
 Pulskurve 151.
 Pulslehre 151.
 Pupillenreaktion 259, konsen-
 suelle 246.
 Purkinje'sche Aderfigur 324.
 Purkinje-Sanson'sche Bildchen
 315.
 Purinkörper 27.
 Pylorus 197.
 Pyramidenbahnen 268, 271.
 Räuspern 112.
 Rahm 239.
 Ranziges Fett 34.
 Raumsinn 358, 371.
 Reaktionszeit 283.
 Reduktion 6.
 Reduziertes Auge 313.
 Reflektorische Sekretion 262.
 Reflexbewegungen 255, Aus-
 breitung 257, physiologische
 259, pathologische 262.
 Reflexerregbarkeit 258.
 Reflexpräparat 256.
 Reflexzeit 256.
 Refraktäres Stadium 132.
 Refraktionsanomalien 318.
 Refraktionzustand, statischer
 317.
 Reifung des Eies 379.
 Reitbahnbewegung 280.
 Reiz 8.
 Reizbarkeit 8.
 Reizleitung 8.
 Reizqualitäten 8.
 Reizschwelle 8, 308.
 Reserveluft 114.
 Residualluft 115.
 Resonatoren 355.
 Resorption 43, im Darm 221.
 Respirationsluft 114, 390.
 Respiratorischer Quotient 121,
 122.
 Retina, Bau 324, lichtempfind-
 liche Elemente 326, Photo-
 chemische Prozesse 327, Mor-
 phologische, elektrische Vor-
 gänge 328, Farbenempfind-
 lichkeit 333, Erregung 329,
 Eigenlicht 329, Unterschei-
 dungsvermögen 329, Stärke
 der Erregung 331.
 Rheotaxis 47.
 Rheotropismus 47.
 Rhythmus der Atembewe-
 gungen 115, der Herzbewe-
 gungen 137.
 Richtungskörperchen 379.
 Richtungslinie 314.
 Riechen 112.
 Riechsphäre 278.

- Riechzellen 359.
 Rindenbezirke 276.
 Rippenbewegungen 110.
 Rippenheber 109.
 Rösten des Fleisches 177.
 Rohrzucker 31.
 Rollbewegung 280.
 Rückenmark, Bau 266, Leitungsbahnen 268, Durchschneidungsversuche 268, Reizbarkeit 269, Funktionen 269.
 Rückenmarksnerven 243.
- Saccharosen 31.
 Sacculus 347.
 Säuren, freie, im Körper 16.
 Salze im Körper 16.
 — in der Nahrung 173.
 Samen 375.
 Sarkolemm 50.
 Sarkoplasma 50.
 Sauerstoff im Blut 103, in der Luft 119, Aufnahme in der Lunge 123, Verbrauch bei der Atmung 124, 391.
 Sauerstoffzehrung des Blutes 8, 104.
 Saugen 189.
 Scala tympani 348.
 — vestibuli 348.
 Schädlicher Raum der Luftwege 115.
 Schallempfindung 353.
 Schallleitung 349, 350.
 Scheiner'scher Versuch 315.
 Scheinfütterung 199.
 Schema der Organismen 14.
 Schematisches Auge 313.
 Schilddrüse 160.
 Schlaf 283.
 Schlagvolumen 136.
 Schleimdrüsen 190.
 Schließungszuckung 81.
 Schlitteninduktorium 58, 386.
 Schluchzen 112, 260.
 Schluckakt 193, 259.
- Schlürfen 189.
 Schmecksphäre 279.
 Schmerz 371.
 Schnecke 347.
 Schnüffeln 112.
 Schwebungen 356.
 Schwebungstöne 356.
 Schwellenwert der Empfindung 308.
 Schweiß 236, 403.
 Schweißsekretion 164, 236.
 Schwerlinie 290.
 Schwerpunkt 290.
 Schwitzzentrum 282.
 Schwungbein 293.
 Seele 264.
 Seelenlehre 9.
 Sehaxe 314, 336.
 Sehen, direktes, indirektes 336, binokulares 338, monokulares 335, einfaches 338, körperliches 339.
 Sehfähigkeit 330.
 Sehgrenze 339.
 Sehpurpur 327.
 Sehrot 327.
 Sehschärfe 329.
 Sehsphäre 278.
 Sehstrahl 314.
 Sehwinkel 314.
 Sekrete 86.
 Sekretin 214.
 Sekretion 83, innere 85, 160.
 Sekretkapillaren 85.
 Sekundärer Tetanus 67.
 Sekundäre Zuckung 67.
 Selbststeuerung der Atmung 118.
 Sensible Nerven 242.
 Seröse Höhlen 105, Drüsen 191.
 Serum 93, 100.
 Seufzen 112, 260.
 Simultankontrast 335.
 Sinnessphären 276.
 Sinnesphysiologie 307.
 Sinus-Schwingungen 353.
 Sitzen 292.
 Skatol 28, 211.

- Skeletine 25.
 Skelett 286.
 Somnambulismus 284.
 Spannung der Gase 102.
 Speckhaut 93.
 Speichel 190, 399.
 Speicheldrüsen 190.
 Speichelsekretion 192.
 Spermatozoen 375.
 Spezifische Energie der Sinnes-
 nerven 307.
 Sphärische Aberration 322.
 Sphygmograph, Sphygmo-
 gramm 151.
 Spirometer 114.
 Spitzenstoß 139.
 Sporenbildung 374.
 Sprache 301.
 Sprachzentrum 278.
 Sprossung 373.
 Sprung 294.
 Stabkranzfaserbezirke 276.
 Stäbchen der Netzhaut 326,
 327.
 Stärke 6, 32.
 Stannius' Versuch 144.
 Staub in der Luft 111.
 Steapsin 216.
 Stearin 33.
 Stehen 291.
 Stereoskop 339.
 Stimmbänder 296.
 Stimme 295, Höhe und Tiefe
 299, Umfang und Lage 300.
 Stimmregister 300.
 Stimmritze 297.
 Stimmung des Auges 331.
 Stoffe der regressiven Metamor-
 phose des Eiweiß 26.
 Stoffwechsel 6, 180, der Zellen
 42.
 Stoßbein 293.
 Strabismus divergens 246, con-
 vergens 248.
 Strömungsgesetze der Flüssig-
 keiten 146.
 Strom, konstanter. Reizung
 des Nerven mit — 80.
 Stromgeschwindigkeit des Blu-
 tes 152.
 Stromuhr 153.
 Stützbein 293.
 Sukzessivkontrast 331.
 Sympathicus 252.
 Symphysen 286.
 Synchronosen 286.
 Synergisten 289.
 Syntonine 22.
 System 1.
 Systole 136.
 Tagesration 398.
 Tapetum 321.
 Tastsinn 365, 366.
 Tastzellen 364.
 Taurin 211.
 Taurocholsäure 211.
 Taxis 46.
 Teilung 372.
 — der Zelle 40.
 Temperatur des Menschen 163.
 Topographie 164, 395.
 Temperatursinn 368.
 Tetanus 56.
 Thermotaxis 57.
 Thermotropismus 47.
 Thigmotaxis 47.
 Thigmotropismus 47.
 Thoraxmaße 112.
 Thrombin 101.
 Thymus 161.
 Thyreodektomie 160.
 Thyreojodin 161.
 Tic douloureux 248.
 Tier 7.
 Tierische Wärme 163, 394.
 Tierstimmen 306.
 Tokogonie 373.
 Ton 353.
 Totalindex der Linse 311.
 Totenstarre 68.
 Trächtigkeitsdauer 407.
 Tränenflüssigkeit 240, 340.
 Transfusion 102.
 Transsudation 91.
 Traubenzucker 30.

Traum 284.
 Trigemini 247.
 Triglyzeride 33.
 Trochlearis 246.
 Trommelfell 345.
 Tropismus 46.
 Trypsin 215.
 Tryptophan 27.
 Tuba Eustachii 346.
 Tyrosin 26.

 Umlaufzeit des Blutes 154.
 Unorganische Bestandteile des Körpers 15.
 Unterschiedschwelle 308.
 Unterstützungsfläche 290.
 Ureolytische Enzyme 29.
 Urzeugung 39, 373.
 Utriculus 347.

 Vagus 250, Bedeutung für die Atmung 117, Hemmungsnerv des Herzens 141, Wirkung auf den Blutdruck 156.
 Variabilität 12.
 Vasodilatoren 158.
 Vasokonstriktoren 157.
 Venen 145, 151, 392.
 Venöses Blut 103, 104.
 Verdauung, intracellulare, extracellulare, Sekrete 43, 186.
 Verdaulichkeit der Nahrung 223.
 Verdauungsenzyme 29.
 Vererbung 13.
 Verlängertes Mark 281.
 Vernix caseosa 241.
 Verschlucken 194.
 Verschlußlaute 304, 305.
 Verseifen 34.
 Versuch 10.
 Vital-Kapazität 114, 390.
 Vitellin 19.
 Vokale 301.
 Vokaltöne 302.
 Vordere Wurzeln der Rückenmarksnerven 243.

Vorhöfe 135.
 Vorkern 379.
 Vorstellung 9.

 Wachstum 6, der Zellen 41.
 Wärmeabgabe des Körpers 164.
 Wärmeäquivalent, mechanisches 5.
 Wärmebildung 165.
 Wärmedyspnoe 117.
 Wärmepunkte 368.
 Wärmeregulation 167, gegen die Kälte 167, gegen die Wärme 168, Grenzen 168, Herkunft der Wärme 396.
 Wärmestarre 68.
 Wärmestich 169, 280.
 Wallrath 34.
 Wanderzellen 98.
 Warmblüter 163.
 Warzenfortsatz 346.
 Wasseraufnahme 172.
 Wassergehalt des Körpers 15.
 Wasserverdunstung 164.
 Wehen 261.
 Wein 175.
 Weinen 112, 260.
 Weitsichtigkeit 318.
 Wellenbewegung des Schlauches 147.
 Wettstreit der Sehfelder 339, der Gerüche 360.
 Widerstand, spezifischer für den elektrischen Strom 385, des menschl. Körpers 386.
 Winterschläfer 170.
 Wollfett 34.

 Xanthinbasen 23, 27, 159, 229.
 Xanthoproteinreaktion 20.

 Zapfen der Netzhaut 326, 327.
 Zeigerbewegung 280.
 Zelle 37.
 Zellenbildung 39.
 Zellenkern 38.
 Zellenteilung 40.

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| Zentralorgane 264, 403. | Zurkerstich 209, 282. |
| Zerstreuungskreis 314. | Zuckung 53. |
| Zeugung 372. | Zuckungsgesetz 81. |
| Ziemssen'scher Quotient 390. | Zuckungskurve 59. |
| Zitterlaute 304. | Zugkräfte 387. |
| Zonula Zinnii 316. | Zwangsbewegungen 280. |
| Zotten des Darmes 220. | Zweckmäßiges in der Natur 12. |
| Zuchtwahl 12. | Zwerchfell 107. |
| Zuckerproben 30. | Zymogen 29. |
-



