

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

1. Jahrgang.

9. Mai 1913.

Heft 19.

Wege und Ziele der Hirnforschung. Die Interakademischen Hirnforschungs- institute.

Von Prof. Ludwig Edinger, Frankfurt a. Main.

Wer ein Stückchen Gehirn, etwa eines, das er auf dem Speiseteller vor sich sieht, näher betrachtet, wird, je nach der Stelle, nur ein gleichartiges Grau oder Weiß in der weichen Masse erblicken, und auch, als man sich längst des Mikroskopes zu bedienen wußte, hat man da nur „Röhrchen“ und „Kügelchen“ gesehen, deren Anordnung, deren Zusammenhänge garnicht zu ermitteln waren. Zwar wußte man um die Mitte des 19. Jahrhunderts schon fast 50 Jahre, daß sich durch Abfaserung erhärteter Gehirne bestimmte Stränge immer gleichartig darstellen ließen und daß man die Nerven abfasernd in die sonst gleichartige Masse weiterhin verfolgen konnte. Ja schon die Schemata in *Descartes'* Buche nehmen an, daß das Gehirn überall hin von Bahnen, von Fasersträngen durchzogen, ja vielleicht aufgebaut sei. Natürlich war das Bestreben das große Seelenorgan näher kennen zu lernen groß, und seit Jahrhunderten schon hat man immer und immer wieder versucht, aus dem, was jezeitig bekannt war, Schlüsse auf die Leistung zu ziehen. Gar manche uns heute kindlich naiv scheinende Hypothese wurde aufgestellt. Die Geburtstunde einer wirklichen Anatomie des Nervensystems aber schlug erst an jenem Wintertage des Jahres 1842, an dem der große Kasseler Arzt *Benedict Stilling* einen Schnitt durch ein Rückenmark untersuchte, das er bei einer Kälte von -13° gefroren hatte. Als er da alle die feinen Fasern geordnet nebeneinander sah, wurde ihm sofort klar, daß er den Schlüssel zu dem geheimnisvollen Baue gefunden hatte, daß er eine Methode, die weit führen mußte, endlich besaß. Und noch heute untersuchen wir solche Schnitte, suchen durch die Kombination vieler aufeinander folgender die Wege der Bahnen festzustellen. Des Frierens bedarf es nicht mehr, seit wir eine gewisse Anzahl von chemisch das Organ erhärtenden Flüssigkeiten kennen gelernt und seitdem wir Maschinen besitzen, die Schnitte in beliebiger Größe von der Dicke weniger Hundertstel des Millimeters abzuhebeln getechnik, die speziell auf Arbeiten von *Gerlach*, von solchem Schneiden in Massen einzubetten, die das Schneiden erleichtern und den Schnitt nachher zusammenhalten. Wir schmelzen etwa ein kleines Gehirn in Paraffin, hobeln es in $\frac{1}{100}$ mm dicke Scheiben, entfernen das Paraffin aus den nebeneinander auf eine Glasplatte angeordneten und färben sie dann mit allerlei Substanzen, die je nachdem die Fasern oder die Zellen, gesunde oder erkrankte Teile besser vortreten lassen. Dieser Färbetechnik, die speziell auf Arbeiten von *Gerlach*, von *Weigert* und *Nissl* basiert ist, haben sich auf Grund von *Golgis* Arbeiten später noch die mannig-

fachsten Metallimprägnationen zugesellt, und jedesmal, wenn ein neues technisches Verfahren uns geschenkt wurde, haben wir wieder Neues gelernt, oft an Stellen oder in Gewebsteilen, die völlig bekannt schienen. Was wir vom Zusammenhang der Teile, was wir vom inneren Aufbau der Zellen selbst und was wir von ihrem Verhalten bei Erkrankungen wissen, beruht auf solchen Imprägnationen und Färbungen. Alljährlich erscheinen mehrere hundert nur auf sie gestützte Arbeiten. Zahlreiche zusammenfassende Darstellungen, die naturgemäß immer schnell veralten, wenn wieder eine neue Technik auftaucht, sind gegeben worden und wir haben Spezialisten, die nur das eigentlich Histologische interessiert und die in oft sehr lebhaftem Streite ihre Meinungen ausfechten. Ein großer Teil der hierher gehörenden Literatur ist polemisch, weil eben sehr wenig ganz feststeht. Die Hauptfrage, die seit 20 Jahren diskutiert und zu lösen gesucht wird, geht dahin, ob das Nervensystem aus einzelnen Zellen besteht, die nur mittels ihrer Ausläufer, der zentralen und peripheren Nervenbahnen untereinander in Verbindung treten — auch die Art des Verbindens wird diskutiert — oder ob es sich um ein von vornherein alles durchziehendes System unter sich zusammenhängender Fibrillen handelt, zwischen welche da und dort Zellen eingelagert sind. Man neigt jetzt im allgemeinen mehr zu der ersteren Auffassung und sieht in der Nervenzelle und ihren Ausläufern eine biologische Einheit, deren Existenz bis in die feinsten Verzweigungen hinaus abhängig ist von dem Kerne der Nervenzellen. Die Fibrillen stellen wahrscheinlich nur die Leitungswege her.

Aber wenn wir auch das Feingewebliche noch besser kennen, als es tatsächlich der Fall ist, das würde uns noch immer keinen Überblick über den Gesamtaufbau der vielen Teile geben, die das Gehirn zusammensetzen, wir würden daraus nicht erfahren, wie sie untereinander zusammenhängen, wo die einzelnen Bahnen entspringen, wo sie enden, wo Zwischenstationen im Bahnverlauf sind und dergleichen mehr. Ein gut gefärbter Schnitt ist kaum zu übersehen oder gar zu verstehen. Allzusehr verwirren da nach allen Richtungen laufende in allen Querschnitten getroffene Fasergruppen und Einzelfasern. Wer derlei versuchte, würde vor der gleichen Aufgabe etwa stehen wie einer, der aus einer langen Reihe feiner Querschnitte durch ein zum Klumpen geballtes Damasttisch Tuch den Verlauf eines einzelnen Fadens erkennen wollte. Man hat daher seit langem versucht, sich die Sache einfacher zu gestalten. Mit dem Abfasern, das früher geübt war, konnte man natürlich es nicht mehr probieren, nachdem erkannt war, wie außerordentlich verwirrt die einzelnen Bahnen verlaufen. Das mußte auch mißlingen, als man vorher mit chemischen Mitteln Trennungen, Auflockerungen versuchte. Wie aber, wenn in jenem Damasttisch tuche ein einziger roter Faden wäre, der ließe sich leicht

in jedem der Schnitte wiederfinden und aus den Schnittbildern in seinem ganzen Verlaufe rekonstruieren. Anders färbare Einzelfasern herzustellen hat man nun mit Nutzen am Nervensysteme versucht.

Jede Nervenfasern hängt von ihrer Ursprungszelle ab, derart, daß sie zugrunde geht, wenn jene vernichtet wird. Untergehende Fasern aber lassen sich vielfach anders mit Überosmiumsäure färben als normale, sie werden kohlschwarz, wenn jene kaum gelblich werden. Schneidet man z. B. einem Tiere einen bestimmten Teil der Großhirnrinde weg, so entarten alle da entspringenden Fasern bis hinab zu ihren Endpunkten im Rückenmarke; in diesem erscheinen tief schwarze Stellen immer da, wo Fasern aus der Hirnrinde liegen. Mit dem Verfahren der Degeneration hat man viele Bahnen gefunden. Mit ihm haben wir auch vieles, das durch Färbungen bekannt war, erst ganz sicherstellen können, ihm verdanken wir die Kenntnis z. B. der wahren Nervenursprünge und der Bahnen, die aus dem Großhirn zu ihnen führend, es erlauben den Gedanken in die Tat zu übersetzen. Verfolgung der nach Blutungen in die Sprachregion degenerierten Bahnen aus dem Großhirne zu den Kernen der beim Sprechen notwendigen Muskeln hat uns z. B. so die Sprachbahn erkennen lassen. Überhaupt hat man die Erkrankung einzelner Hirnteile immer gerne benutzt, um zu ermitteln, welche Fasern durch sie unterbrochen werden und bis wohin man die Degenerationsprodukte im Nervensystem verfolgen kann. Natürlich beschränkt man sich längst nicht mehr auf solche Zufälle, sondern erzeugt absichtlich die Unterbrechungen an gewählten Stellen. So hat man z. B. Tieren ein Auge entfernt und danach den Endpunkt jedes aus der Retina entspringenden Faserchens im Gehirne festgelegt, oder man hat an Neugeborenen solche Ausrottungen ausgeführt und dann untersucht, welche Hirnteile danach in der Entwicklung zurückbleiben. Alle derartigen Arbeiten verlangen vollkommenste Beherrschung einer nicht leichten Technik, und viele verursachen, schon weil die Tiere lange und in großer Zahl zu halten sind, auch große Kosten. Als vor einigen Jahren der Preis der Überosmiumsäure auf das Dreifache stieg, hat das niemand so lebhaft empfunden wie die neurologischen Laboratorien, die sehr viel davon für das Degenerationsverfahren verbrauchen müssen.

Auch die Entwicklung des Nervensystems hat man vielfach studiert. Zunächst die der äußeren Formen, viel später und mit besonderem Gewinne diejenige der Nervenbahnen. Diese umgeben ihre Leitbahnen zumeist mit einer isolierenden fettartigen Masse, ganz wie es für Hochspannungskabel durch Öl geschieht, und diese „Markscheiden“ entwickeln sich keineswegs alle gleichzeitig. In dem Rückenmarke eines menschlichen Embryos aus dem 6. Monate sind z. B. nur die eintretenden Wurzeln wohl sichtbar, weil ihre Fasern mit Mark bereits umgeben sind, alles andere bedarf, um analysiert zu werden, weil es fast wie eine gleichartige Masse aussieht, ganz besonderer Methodik. Den Verlauf jener Wurzeln aber kann man leicht verfolgen, besonders wenn man auf ihren Markscheiden die

tiefdunklen Hämatoxylinlacke färberisch abgelagert. Hieraus hat sich eine Methodik entwickelt. Menschen der allerverschiedensten Altersperioden wurden untersucht, und es gelang, der Entwicklung ihrer einzelnen Bahnen folgend, viele dieser Bahnen neu aufzufinden und andere erst zu sichern. Ja, im letzten Jahrzehnt ist mit dieser Methodik das allerschwierigste Problem in Angriff genommen worden, die Unterschiede, welche innerhalb der weiten Oberfläche der vielgefalteten Hirnrinde des Großhirnes vorhanden sind, und bereits sind höchst wichtige Resultate erzielt. Das wichtigste vielleicht, daß vor allen anderen diejenigen Teile der Hirnoberfläche sich fertig ausbilden, welche aus den ersten Enden der Sinnesnerven Rezeptionen erhalten und daß die ca. 40 anderen „Felder“ der Rinde sich nur sehr allmählich im Leben entwickeln, wahrscheinlich durch die Gebrauchnahme selbst. Denn man kann — etwa durch Zubinden der Augen — die Ausbildung der Sehfunktion tragenden Teile des Großhirnes sehr verzögern. Es ist — auch aus Beobachtungen der Klinik her — sehr wahrscheinlich, daß die nicht direkt der Sinnesperzeption dienenden Hirnteile die zahllosen inneren Verbindungen herstellen, welche uns als Assoziationen bekannt wurden. Die Hirnrinde reichert sich übrigens bis in die 50 er Lebensjahre immer mehr mit Fasern an und speziell auf diese feinen intrakortikalen Fasern gerichtete Arbeiten lehren, daß eine überaus große Verschiedenheit des Baues an den verschiedensten Teilen der Oberfläche besteht, daß vielleicht 100 und mehr different gebaute „Felder“ da anzunehmen sind. Solche Untersuchungen sind überaus mühsam, langwierig und auch kostspielig. Ein einziges reifes Menschenhirn ergibt ca. 1800 Scheiben, deren Herstellung fast ein Jahr bedarf und ca. 800 Mark kostet. Um aber Schlüsse ziehen zu können, muß man möglichst viele solcher kostbaren Serien zur Verfügung haben. Hier sei noch erwähnt, daß wir auch viele Arbeiten besitzen, die untersuchen, wie vielerlei verschieden gebaute Rindenfelder existieren, wenn man nicht die Nervenfasern, sondern — auch hierzu mußte eine spezielle Methodik ausgebildet werden — die Anordnung und den Reichtum an Ganglienzellen berücksichtigt. Die Resultate der verschiedenen Methoden stehen noch nicht in völliger Übereinstimmung, aber in leidlicher, und werden im allgemeinen auch durch die Ergebnisse des Tierversuches und der Klinik gut gestützt.

Alles, was diese und einige andere Methoden erreichten, war im wesentlichen in den Dienst der Klinik gestellt, die gezwungen, die verschiedenartigsten Krankheitsbilder zu verstehen, in dem, was ihr die Anatomie zu bieten hatte, so Ungenügendes nur fand, daß die Ärzte selbst an die Arbeit gehen und sich selbst erst die theoretischen Unterlagen ihrer Tätigkeit schaffen mußten. Die Fachanatomie hat sie, wie übrigens auch die Fachphysiologie, in solcher Arbeit so wenig unterstützt, daß mit ganz wenig Ausnahmen alle auf dem Gebiete der Hirnanatomie Arbeitenden Kliniker und praktische Ärzte waren. Dieser Umstand hat es im wesentlichen veranlaßt, daß gerade das komplizierteste

Nervensystem, das des Menschen am besten untersucht ist, daß vielfach die Arbeiten an Tiergehirnen nur zur Aufklärung noch unklarer Verhältnisse am Menschen angestellt wurden.

Allmählich aber hat man erkannt, daß eine allgemeinere Auffassung des Zentralnervensystems unmöglich ist, wenn man sie wesentlich auf den Menschen und vielleicht einige Säuger beschränkt. Gewiß hatten schon Gelehrte des siebzehnten Jahrhunderts die Gehirne von Fischen usw. untersucht, und allmählich waren, besonders als die Querschnittstechnik aufkam, auch Gehirne von Amphibien, Reptilien und Vögeln wenigstens der äußeren Form nach bekannt geworden. Über das Fischgehirn gar hatte man förmliche Atlanten voll Abbildungen geschaffen. Aber aus all dem war wenig auf das Allgemeingültige zu schließen, es fehlte eben die Erkenntnis der Bedeutung und des Zusammenhanges der einzelnen Hirnteile. Zur Verzierung des Textes in vielen Lehrbüchern der Psychologie, sonst eigentlich zu nichts, war das damals Bekannte zu brauchen. Wenn es aber Aufgabe der Hirnanatomie ist, das Nervensystem so zu verstehen, daß schon aus seinem Bau gewisse Schlüsse auf die Funktion möglich werden, und das ist die Aufgabe, welche jetzt mit Recht vielfach gestellt wird, dann kommt es vor allem darauf an, die Apparate bei solchen Tieren kennen zu lernen, deren Gesamtverhalten noch so ist, daß man auf ein sehr einfaches psychisches Verhalten schließen kann, denn da darf man auch die einfachsten und deshalb übersichtlichsten Verhältnisse erwarten. Bei einem Fische zum Beispiel kann man voraussagen, wie er auf einen bestimmten Reiz hin handeln wird, seine Bewegungen sind immer die gleichen, wenn der Reiz und die Umstände, unter denen er eintritt, die gleichen sind. Nichts von dem, was wie freie Willenshandlung erscheint, mischt sich ihnen bei, sie verlaufen im wesentlichen gesetzmäßig und bestimmbar. Als man sich aber, etwa um die Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, an die Aufgabe machte, den inneren Bau des Gehirnes der niederen Vertebraten zu studieren, da zeigte es sich, daß auch hier schon die Verhältnisse gar nicht so einfach, sondern viel zu kompliziert waren, als daß man sie auf gefärbten Schnitten übersehen konnte. Alle die oben erwähnten anderen Methoden mußten herangezogen werden. Außerdem mußte man, das wurde bald klar, Vertreter sehr vieler Arten kennen lernen. Das Gehirn der sit venia verbo intelligenten Gans ist von dem eines Finken kaum weniger verschieden als das Hundegehirn von dem des Menschen. Und das Chamäleon, eine Eidechse, die ihre Nahrung erspät und mit der Zunge erfaßt, hat viele Hirnteile ganz anders als andere Eidechsen, die am Boden ihre Beute suchen. Auch sonst fanden sich bald so viele auf die Funktion hinweisende Apparaturverschiedenheiten, daß sich bald gerade aus den durch die vergleichende Anatomie vielfach aufgedeckten Tatsachen viel mehr Rückschlüsse auf die Funktion machen ließen, als durch das, was die Anatomie des Menschenhirnes bereits gelehrt hatte. Immer deutlicher wurde es nun, daß

die Aufgabe, das Gehirn des Menschen in Beziehung zu den psychischen Funktionen zu bringen, allzu verfrüht gestellt, eine viel zu schwer zu lösende war. Gerade auf dem Gebiete der vergleichenden Anatomie setzte deshalb in den letzten Jahrzehnten ein besonders eifriges Studium ein, zahlreiche Monographien über einzelne Tiergehirne erschienen, große Schnittsammlungen wurden angelegt und 1908 konnte zum erstenmal eine Übersicht über das Gehirn der niederen Vertebraten gegeben werden. Das Allermerkwürdigste, was sich bei diesen Studien herausstellte, war, daß das Gehirn aller Tiere, der Haifische so gut wie der Menschen, in einem großen Teil seiner Organe — es sind die, welche den einfachsten Verrichtungen, die sich überall wiederholen, dienen — fast gleich gebaut ist. Dieses älteste Hirngewebe, das Urhirn, ist also allen Wirbeltieren gemeinsam. Einzelabschnitte sind natürlich dem Schwimmen, Fliegen usw. entsprechend verschieden ausgebildet. Aus einer bei den Fischen noch minimalen Anlage entwickelt sich dazu allmählich ein anderes Hirngewebe, das Großhirn, das beim Menschen so enorme Entwicklung erfährt. Man erkannte dann, daß die Hirnrinde, das Hauptorgan des Großhirnes, sich nur ganz allmählich entwickelt hat. Es wurden dann auch die Bahnen gefunden, die aus dem Urhirn kommend dessen Rezeptionen dem Neuhirn vermitteln. Dabei zeigte sich, daß zu allererst, schon bei den Eidechsen, der Riechapparat, ein uralter Teil des Urhirnes, Anschluß an den bald so stark sich entwickelnden Rindenapparat findet. Man lernte immer mehr unterscheiden zwischen Urhirn und Neuhirn und sah allmählich, daß das erstere alle Rezeptionen aufzunehmen und Motus dagegen zu leisten geeignet ist, während das Neuhirn je nach seiner Entwicklung die größere oder geringere Fähigkeit zum Erkennen und zu Handlungen durch seine Bauart schaffen könnte. Das kann hier natürlich nicht ausführlicher dargelegt werden¹⁾, aber man wird leicht erkennen, daß hier ein fruchtbarer Ausgangspunkt für vergleichend psychologische Fragestellungen gegeben war, daß endlich wirklich die Frage aufgeworfen werden kann, was vermag ein Tier mit dem und jenem Apparat zu leisten und was gewinnt es, wenn ein neuer hinzukommt. Endlich war die Möglichkeit gegeben, Anatomie und psychisches Verhalten parallel zu studieren.

Aus dem Vorstehenden erhellt, wie überaus wichtig, aber auch wie überaus schwierig und ausgedehnt die Erforschung des Zentralnervensystems geworden ist, wie sich aber immer klarer gewisse Ziele und Wege zu ihnen zeigen. Man sieht auch leicht ein, daß die Kraft des Einzelnen so großen Aufgaben gegenüber nicht ausreichen kann und daß der Zeitpunkt herannaht, wo die wenigen bisher dem großen Werke dienenden Arbeitsstätten zu größerem gemeinsamen

¹⁾ Für das Nähere vergl. *Edinger*, Einführung in die Lehre vom Bauen des Zentralnervensystems. 2. Aufl. Leipzig 1912, oder des gleichen Verfassers zweibändiges: Vorlesungen über den Bau der nerv. Zentralorgane. 1908 und 1912. 8. Auflage.

Werke sich zusammenschließen müssen. Ein solches Werk bereitet sich eben vor.

Als im April 1901 die großen Akademien der Welt Delegierte an die Pariser Akademie schickten, um eine gemeinsame internationale Assoziation der Akademien zu gründen und in dieser spezielle Themata gemeinsam und großzügig zu bearbeiten, beantragte auf Rat von Prof. His die Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften, man möge eine Fachkommission einsetzen zur Beratung der Mittel und Wege, wie auf den Gebieten eines-teils der Entwicklungsgeschichte, anderenteils der Hirnanatomie eine nach einheitlichen Grundsätzen erfolgende Sammlung, Verarbeitung und allgemeine Nutzbarmachung von sicherem Beobachtungsmaterial erreicht werden kann. Bei der Diskussion dieses Antrags stellte sich heraus, daß zunächst nur der auf das Gehirn bezügliche Teil weiter zu verfolgen sei, und das war ganz natürlich, denn auf der Tätigkeit dieses Organs beruht ja die ganze Tätigkeit der Akademien, es zu erforschen durfte schon eine erste Aufgabe der neu gegründeten Vereinigung sein. Im Mai 1904 konnte von dieser Kommission der Generalversammlung der Assoziation, die in London gehalten wurde, der Antrag eingereicht werden, die einzelnen Gesellschaften möchten bei ihren Regierungen usw. dahin arbeiten, daß Spezialinstitute für die Erforschung des Zentralnervensystems gegründet oder, soweit bereits vorhanden, gefördert würden. Dieser Antrag war durch Prof. His sehr ausführlich motiviert worden. Es war für die verschiedenen Abteilungen, anatomische, physiologische, pathologische usw. der Hirnforschung eine lange Reihe von wünschenswerten Aufgaben besprochen, und es wurden schließlich zur Diskussion derselben von der Royal Society auch eine Anzahl den Akademien nicht angehöriger Hirnforscher als Sachverständige geladen. Im allgemeinen wurde nach diesen Anträgen entschieden. His sollte aber ihre Verwirklichung nicht mehr erleben. Es dauerte noch Jahre, bis wesentlich durch W. Waldeyers Arbeit in mannigfachen Tagungen die Akademische Zentralkommission für Hirnforschung, die BC., „Brain-Commission“, zusammengesetzt aus Gelehrten der verschiedenen Länder, in Tätigkeit treten konnte. Sie ernannte zu ihren Organen die meisten der bestehenden Hirnforschungsinstitute und bald auch das 1909 von der holländischen Akademie der Wissenschaften begründete Hirnforschungsinstitut in Amsterdam. Dabei stellte sich heraus, daß bis dahin weitaus die Mehrzahl der hierher gehörigen Forschungsstätten rein private und oft mit großen Opfern aufrechterhaltene Unternehmungen einzelner für diese Studien begeisterter Ärzte waren. Inzwischen sind auch diese zum Teil in den Kreis der Universitätsinstitute einbezogen worden. Es gibt jetzt in der BC. Hirnerforschungsinstitute in Madrid, St. Petersburg, Amsterdam, Wien, Zürich, Leipzig, Philadelphia, Budapest und Frankfurt a. M. Sie treten einstweilen durch Austausch ihrer Jahresberichte und der bei ihnen erscheinenden Arbeiten, gelegentlich auch durch Materialaustausch unter-

einander in Beziehungen. Erst neuerdings hat man sich auch an die gemeinsame Lösung einer größeren Aufgabe herangewagt. Im Mai 1912 beschloß die BC. auf einer Tagung in Frankfurt a. Main die Herausgabe eines großen Atlases von Querschnitten durch das Menschenhirn, der alles heute Beobachtbare in sehr großem Maßstabe gezeichnet enthalten und als Unterlage für weitere Originalarbeit, aber auch als Vorlage für die Abbildungen der Lehrbücher dienen soll. Die sehr großen Tafeln dieses Atlases werden in durch Buchstaben und Zahlen genau definierte ganz kleine Quadrate zerlegt; dadurch ist es möglich, jedes Faserbündelchen sofort zu finden und nach der Lage zu definieren. Einstweilen sind die Mittel bewilligt, vier Probetafeln herzustellen, an denen bereits gearbeitet wird.

Auch die einzelnen Institute vergrößerten ihren Wirkungskreis. So hat z. B. das Frankfurter Institut eigene Abteilungen für die normale und für die pathologische Anatomie mit speziellen Abteilungs-vorstehern, es steht in innigen Beziehungen zu der in gleichem Gebäude liegenden pathologischen Anatomie und in ebensolchen zu der ganz nahen Nervenabteilung der inneren Klinik. Ein psychologischer Diskussionsabend verbindet es mit dem psychologischen Institute. In Petersburg bereitet man gar ein Rieseninstitut vor, das alle diese sonst getrennten Zweige in sich selbst vereint.

Biologie und Phylogenese.

Von Privatdozent Dr. L. Freund, Prag.

Die verwandtschaftlichen Verhältnisse im Tierreich stellen nach den geltenden Anschauungen der Abstammungslehre die Grundlagen des Systems dar, nach welchen dasselbe aufgebaut werden soll. Die Zusammenfassung unserer Kenntnisse von den verwandtschaftlichen Beziehungen führt zur Stammesgeschichte, die uns gestattet, je nach dem Umfange derselben die Abstammungslinien (Ahnenreihen im Gegensatz zu Evolutionsstufen) festzulegen, die die einzelnen Ordnungen im Laufe ihrer Entwicklung durchlaufen haben. Die einzelnen Tatsachen, die ihre Verknüpfung in der Stammesgeschichte finden, wurden bisher von den morphologischen Wissenschaften, nämlich der vergleichenden Anatomie und Paläozoologie geliefert, die den gröberen und feineren Bau der lebenden und fossilen Tiere erforschen und miteinander vergleichen, ferner von der Entwicklungsgeschichte, die die Ausbildung der Organe und Organismen im einzelnen erforscht. Geringere Verwertung hat für die Kenntnis der verwandtschaftlichen Beziehungen und der Phylogenese die biologische Forschung gefunden. Da handelte es sich vornehmlich um das Studium der Beziehungen zwischen Lebensweise und Umgestaltung der Organe, bei der die „konvergente Züchtung“ gelehrt hat, infolge gleicher Lebensweise gleich oder ähnlich gestaltete Formen nicht immer als verwandt aufzufassen und so indirekt phylogenetische Erkenntnis vermittelte. Auch die Lehre von den rudimentären Organen hat da wertvolle Dienste geleistet. Nicht unerwähnt seien auch die Ergebnisse der von Dollo und Abel erfolgreich vertretenen Paläobiologie, die aus der Lebensweise und ihrem Einfluß bei den rezenten Formen auf die gleichen Vorgänge bei fossilen schließend deren Bau besser verstehen lehrt und dadurch phylogenetische Vor-

arbeit leistet. Aber die eigentliche Physiologie der einzelnen Organe, die Funktion an sich, abgesehen von der dadurch bedingten Formänderung, ist bisher nur sehr wenig berücksichtigt worden, trotzdem man meinen sollte, daß neben dem Bau und der Entwicklung eines Organs auch dessen Funktion vielleicht phylogenetisch und verwandtschaftlich verwertbare Tatsachen liefern könnte.

Solche Tatsachen existieren, ohne daß die Zoologen und Paläontologen ihrer prinzipiellen Bedeutung Rechnung zu tragen und als Eröffnung eines neuen aussichtsreichen Forschungsgebietes zu würdigen geneigt scheinen.

Da kommen vor allem die bahnbrechenden Untersuchungen *Uhlenhuths* über die biologische Blutdifferenzierung bei den Wirbeltieren in Betracht. Es handelt sich da bekanntlich um die Erscheinung, daß das Blutserum eines Kaninchens, in das man das Blutserum irgendeines Wirbeltieres eingebracht hatte, dann im Glas nur zu dem Blutserum desselben Tieres hinzugefügt, einen Niederschlag erzeugt. Diese Erscheinung wird auf spezifische Reaktionsstoffe des Serums zurückgeführt, die Eiweißpräzipitine genannt werden; sie ist so empfindlich, daß selbst bei Verdünnung von 1:100 000 die Reaktion noch wahrnehmbar ist. Die Reaktion gelingt nicht nur bei derselben Spezies, sondern auch bei den nach unserer bisherigen Erfahrung nahe verwandten Arten, doch mit veränderlicher Intensität, die annähernd quantitativ proportional dem Verwandtschaftsgrade der betreffenden Arten ist. Größere Untersuchungsreihen wurden in dieser Richtung an verschiedenen Primaten gewonnen und gaben sehr interessante Befunde (*Uhlenhuth*, *Wassermann*, *Stern*, *Nuttal*, *v. Dungern*, *Friedenthal*).

Aus neuester Zeit stammen nun Untersuchungen von *Wichowski*¹⁾, ebenfalls auf physiologisch-chemischem Gebiete, nämlich über die Produkte der Harnausscheidung. Zwei davon, Harnsäure und Allantoin, beanspruchen darunter besonderes Interesse. Schon früher konnte er nachweisen, daß bei den Säugetieren ganz allgemein bis zu den Affen das hauptsächlichste Endprodukt des Purinstoffwechsels das Allantoin ist, welches 90 % und darüber ausmacht, dem gegenüber die Harnsäure und die Purinbasen gelegentlich nicht einmal nachweisbar sind. Beim Menschen überwiegt ganz abweichend davon die Harnsäure, die 90 % der gesamten Purinausscheidung ausmacht, wogegen Basen und Allantoin sehr spärlich vorhanden sind. Diese ganz unvermittelt auftretende Differenz führte auf die Suche nach Übergängen, wobei Anthropoiden- (Schimpansen-) Harn untersucht werden konnte. Da zeigte sich denn niemals Allantoin, dagegen stets reichlich Harnsäure, so daß hier hinsichtlich des Purinbestandes dieselben Verhältnisse herrschen wie beim Menschen. Dieser Befund ist um so wichtiger, als 6 *Macacus rhesus*, 1 *Cynocephalus* sp. und 1 *Cercopithecus callithrichus* untersucht viel Allantoin und wenig oder gar keine Harnsäure, entsprechend anderen Säugetieren (Ungulaten, Carnivoren, Rodentia) aufwiesen. *Wichowski* sieht darin im Anschlusse an die Untersuchungen *Uhlenhuths* einen weiteren Beweis für die nahe Verwandtschaft zwischen Menschen und Anthropoiden. Anhangsweise sei hier als längst bekannt erwähnt, daß die Stickstoffausscheidung im Harn der Säuropsiden hauptsächlich in Form der Harnsäure, bei Säugern in der des Harnstoffes erfolgt. Spätere Untersuchungen an menschlichen Embryonen verschiedenen Alters (*Starkenstein*) ergaben keine Spur von Allantoin, demnach ein den Erwachsenen analoges Verhalten, wogegen bei anderen chemischen Vorgängen im Organismus

während der Ontogenese Veränderungen beobachtet wurden.

Ohne auf die Diskussion dieser Nachweise einzugehen, geht daraus hervor, daß wir hier eine besondere Art von Belegmaterial haben, das bei der Verwandtschafts- und der darauf aufgebauten phylogenetischen Forschung verwendet werden muß. Es scheint damit eine Forschungsrichtung begonnen, die weiter gepflegt noch wertvolle Ergebnisse zeitigen dürfte, was insbesondere von denen *Wichowski*s gesagt werden kann. Jedenfalls sei ihre Berücksichtigung für die Phylogenese den Zoologen und manchen Paläontologen empfohlen.

Richtlinien in der Entwicklung, Erkenntnis und Wertung der optischen Instrumente.

Von Prof. Dr. M. v. Rohr, Jena.

(Schluß.)

Ein Anstoß von hoher prinzipieller Wichtigkeit ging von dem schwedischen Ophthalmologen *Allvar Gullstrand* aus, der der technischen Optik neue Bahnen gewiesen hat. Es soll hier nicht über sein neues System gesprochen werden, durch das er die geometrische Optik auf flächentheoretische Grundlagen stellte und so das Werk *William Hamiltons* in fruchtbarster Weise weiterführte, sondern hier soll in erster Linie des Erkenntniszuwachses gedacht werden, der seiner Betonung des direkten Sehens zu verdanken ist. Er machte bereits in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts darauf aufmerksam, daß alle Instrumente, die im unbehinderten direkten Sehen benutzt werden sollten, auf das Vorhandensein des Augendrehpunkts Rücksicht nehmen müßten. Da man auch für die Wimpern Raum lassen müsse, so würde es sich empfehlen, den Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen des Instruments mindestens 25 mm hinter der dem Augennächsten Fläche der Kombination anzunehmen und für diesen Ort als Blendenpunkt jedenfalls die hauptsächlichsten Fehler schiefer Büschel wie chromatische Differenz der Hauptstrahlneigung, Verzeichnung und Astigmatismus schiefer Büschel zu heben. Soweit die hier behandelten optischen Instrumente in Frage kommen, ist *Gullstrand* als der erste anzusehen, der einen solchen Vorschlag machte, und er zeigte in dem Falle einer schwachen Lupe auch die Möglichkeit, ein solches System zu berechnen. Er beabsichtigte, eine Betrachtungslinse für Photogramme zu schaffen, die mit Objektiven verhältnismäßig kurzer Brennweite (von 12 cm und darunter) aufgenommen waren. Da normalsichtige Erwachsene auf eine so kurze Entfernung nicht akkomodieren können, so würden sie derartige Photogramme aus einem zu weiten Abstände betrachten und damit eine Tiefensteigerung wie bei einem verkleinernden Fernrohre erhalten. Durch eine für das direkte Sehen korrigierte schwache Lupe von der Brennweite des Aufnahmeobjektivs betrachtet, würde das Photogramm dem beobachtenden Auge in weiter Entfernung also so erscheinen, daß es von normalsichtigen Erwachsenen ohne Ak-

¹⁾ Prager Medizinische Wochenschrift, Nr. 22, 30. Mai 1912.

kommodationschwierigkeiten aufgenommen werden könnte. Tatsächlich sind derartige schwache Lupen als *Verantlinsen* von der Firma *Zeiss* angeboten worden, und man erkennt leicht, daß hier die alte dem Guckkasten und dem Graphoskop unklar zu grundliegende Idee in klarer Erkenntnis und mit entsprechender Durcharbeitung des Linsensystems wiederkehrt. *Gullstrand* hat dann später auch noch darauf hingewiesen, daß nicht nur schwache Lupen, sondern auch *schwache Fernrohre vom holländischen Typus* in dieser Weise für den Drehpunkt des Auges als Kreuzungspunkt der Hauptstrahlen zu korrigieren seien.

Man muß es deutlich hervorheben, daß hiermit eine Erweiterung der Abbeschen Theorie der Strahlenbegrenzung eingeführt wurde, die zur Vervollständigung dieses Systems notwendig war. Was *Abbe* im Anfang der 70er Jahre klar und knapp abgeleitet hatte, das war eine vollständige Theorie für alle die technischen Instrumente gewesen, die während des Gebrauchs ungeändert und in Ruhe blieben, aber es war von ihm und seiner ganzen Schule übersehen worden, daß diese grundsätzlichen Voraussetzungen bei dem akkommodationsfähigen, in seiner Höhle bewegten Auge nicht zuträfen; hier trat der Ophthalmologe mit seiner Erkenntnis der physiologischen Sachlage dem Physiker ergänzend zur Seite und wies auf den *Müllerschen Drehpunkt* hin, dessen Existenz eine verhältnismäßig bequeme und doch genügend strenge Berücksichtigung der Augendrehung ermöglicht. Betrachtet man im Lichte dieser Erkenntnis die alten Instrumente zu subjektivem Gebrauch, so erkennt man leicht, daß diese so gut wie ohne Ausnahme eine durch ihren Bau von vornherein bestimmte, meistens ziemlich enge Austrittspupille haben, deren Mitte, wie *Abbe* stets betont hat, als Zentrum der augenseitigen Perspektive dient. Beim Gebrauch bringt man das Auge möglichst nahe an die Austrittspupille und beobachtet durch sie wie durch ein Schlüsselloch mit bewegtem Auge und bewegtem Kopfe die seitlichen Teile des von dem Instrument gelieferten Bildes. Wie immer, wenn es sich um eine deutliche Wahrnehmung handelt, muß man sich auch hier durch das Sehen mit bewegtem Auge, das Blicken, orientieren, aber es kommt hier kein freies, ungehindertes Blicken zustande, sondern man ist genötigt, wie oben erwähnt, Kopfbewegungen zu Hilfe zu nehmen, um durch das „Schlüsselloch“ hindurchzusehen.

Immerhin blieb auch jetzt noch eine Erweiterung des Begriffes der optischen Instrumente durch einen Typus übrig, der aber nicht eher die Aufmerksamkeit der Theoretiker erregte, als bis er ihnen zur Erhöhung seiner Leistungen dargeboten wurde. Da es sich hier um eines der ersten eigentlich medizinischen Instrumente handelt, so wird eine etwas eingehendere Darstellung am Platze sein.

Um die Zeit, da die Abbeschen Mikroskope die ersten großen Erfolge ernteten, in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre, veröffentlichte ein junger Mediziner, *Maximilian Nitze*, der zuerst in Dresden, dann in Wien tätig war, unter dem Na-

men *Kystoskop* ein Instrument, das zur Erforschung des Blaseninnern bestimmt war. Dieses Instrument hatte gleich von Anfang an eine andere Aufgabe als die älteren zusammengesetzten Instrumente. Hier kam es nicht im wesentlichen darauf an, die Objekte deutlicher vorzuführen, sondern sie überhaupt dem Auge darzubieten, denn unter den gewöhnlichen Umständen ist das Blaseninnere eines Patienten ohne blutige Operation nicht sichtbar. Wie gesagt, ging die wissenschaftlich geleitete Optik zunächst an diesem Instrument vorüber, dessen Entwicklung trotz der liebevollen Anteilnahme seines Erfinders einen etwas mühseligen Weg zur Vervollkommnung zurücklegen mußte, doch wurde es schließlich durch die energischen Bemühungen *Otto Ringlebs*, eines jungen Berliner Urologen, in der allerneuesten Zeit auf eine recht beachtenswerte Höhe der wissenschaftlichen Durcharbeitung gehoben. Außer anderen medizinischen Instrumenten wie dem *Gastroskop* und dem *Laryngoskop* gehört unter diese Klasse der nur vorführenden Einrichtungen noch ein militärischen Zwecken dienendes Instrument, das in viel größerem Maßstabe ausgeführte *Schrohr (Periskop)* für Unterseeboote.

Das Vorhandensein von Vorkehrungen dieser Art, von denen die *Kystoskope* immerhin in Tausenden von Stücken verbreitet sind, macht es notwendig, ihnen eine Stelle in dem System der optischen Instrumente anzuweisen, und es wird sich zeigen, daß gerade durch die Berücksichtigung dieser Einrichtungen das gesamte Material vorteilhaft gruppiert werden kann.

Weist man ganz im allgemeinen darauf hin, daß das objektseitige Gesichtsfeld den Inhalt alles dessen umfaßt, was das Instrument von dem gerade einginommenen Standorte (dem einmal gewählten Projektionszentrum) aus dem Beobachter vorführen kann, so besteht die Funktion der alten Instrumente darin, diesen Inhalt dem beobachtenden Auge unter einem größeren Bildwinkel vorzuführen, als er dem unbewaffneten Auge möglich wäre. Mit steigender Vergrößerung wurde die (angulare oder lineare) Ausdehnung des objektseitigen Gesichtsfeldes verständlicherweise immer kleiner. Es ist ganz plausibel, daß man mit der Vergrößerung stärker heruntergehen muß, wenn man auf die bloße Vorführung des sonst nicht sichtbaren Objektraumes den Hauptwert legt, und daß man sich also von den alten verdeutlichenden (weil vergrößern den) Instrumenten entfernen muß, wenn man die Übersicht besonders steigern will; es treten also den verdeutlichenden die nur wiederholenden Instrumente gegenüber. Bei den Schrohren für Tauchboote bleibt man bei wirklichen, wenn auch geringen, Vergrößerungen der objektseitigen Bildwinkel, weil man bei diesen teuren Instrumenten große optische Mittel aufwenden kann; bei den medizinischen Konstruktionen dieser Art, die im Aufbau einfach, häufig dennoch geradezu gewaltige Gesichtswinkel im Objektraum zulassen, verkleinert man in der Regel die objektseitigen Hauptstrahlneigungen sehr merklich.

Auf diese Weise erhält man eine zweckmäßige Haupteinteilung aller optischen Instrumente, die

danach in zwei Klassen zerfallen, je nachdem der Umfang des abgebildeten Objektbereichs oder die Vergrößerung der Objekteinzelheiten bei der Konstruktion im Vordergrund stand. Man wird sie, wie schon gesagt, zweckmäßig in *wiederholende* und *verdeutlichende* einteilen. Wo die Grenze beginnt, ist, wie bei jeder Abgrenzung, willkürlich. Nimmt man, wenn w' den augenseitigen Bildwinkel, w'' den Gesichtswinkel beim Sehen mit unbewaffnetem Auge bezeichnet, ein Tangentenverhältnis

$$\frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w''} = 2$$

als Grenzwert an, so seien alle geringeren Vergrößerungen (und alle Verkleinerungen) den wiederholenden, alle höheren Vergrößerungen den verdeutlichenden Instrumenten zugerechnet.

Die Änderung der Hauptstrahlneigung, die beim Fernrohr unmittelbar aus der Vergrößerung anzugeben ist, hat nun eine wichtige Folge für die durch die Instrumente vermittelte Raumwiedergabe. Gewiß kann man bei den hier behandelten, für die einäugige Beobachtung bestimmten Instrumenten nicht von einer Tiefenwahrnehmung reden, die dem Einzelauge so gut wie völlig verschlossen ist, aber bei bekannten, insonderheit bei regelmäßig gestalteten Objekten kann man mit Hilfe der Erfahrung aus der Perspektive, den Überschneidungen, den Schlagschatten, der Luftperspektive und der Deutlichkeitsabnahme mit der Entfernung sehr wohl zu einer Tiefenvorstellung kommen, die unter günstigen Umständen sogar von außerordentlicher Lebhaftigkeit sein kann. Nimmt man den Fall solcher Objekte an, die eine gute Tiefenvorstellung zu bilden gestatten, so zeigt sich, daß mit der Änderung der Hauptstrahlneigung eine Änderung der Tiefe verbunden ist, und zwar erscheinen bei verdeutlichenden Instrumenten die Tiefenwerte abgeflacht, bei einer (ziemlich seltenen) Verkleinerung der Hauptstrahlneigung aber vergrößert. Mit andern Worten ist die größere Deutlichkeit im einen, das größere Gesichtsfeld im anderen Falle durch den Verzicht auf die treue Wiedergabe zu bezahlen.

Da nun darüber kein Zweifel besteht, daß das Photogramm den Eindruck des aufgenommenen Objekts im Beschauer hervorrufen soll, so folgt ohne weiteres, daß das photographische Objektiv zu den rein wiederholenden Instrumenten zu rechnen ist. Dabei wird allerdings stillschweigend angenommen, es solle das Photogramm mit einem Auge vom richtigen Orte aus, d. h. so betrachtet werden, daß es sich Punkt für Punkt mit dem dargestellten Objekt deckt, eine Forderung, die übrigens in der glänzenden englischen Periode von einzelnen ihrer vornehmsten Vertreter gestellt worden war. Wurde der Abstand unrichtig gewählt, so ergibt sich eine Tiefenfälschung ganz entsprechend dem oben Gesagten. Da es sich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle, nämlich bei Landschafts-, Gebäude- und Straßenaufnahmen um weit entfernte Gegenstände handelt, so ist der richtige Betrachtungsabstand von dem Photogramm durch die Brennweite des Aufnahmeobjektivs gegeben, und dieser Abstand

kann leicht eingenommen werden, wenn er nicht kleiner ist als der Nahpunktsabstand des Beobachters. Schon ganz im Anfang der Photographie ist in England die Schwierigkeit bemerkt worden, die sich aus dem abnehmenden Akkommodationsvermögen alterssichtig gewordener Normalsichtiger dann darbot, wenn die Aufnahmebrennweite mit Rücksicht auf die Ausmaße und die Kosten der Platten verhältnismäßig kurz gewählt war. Betrachtete man unter diesen Umständen eine Aufnahme aus einem zu großen Abstände, so erhielt man verkleinerte Bildwinkel und infolgedessen eine übertriebene Tiefenausdehnung bekannter Objekte, während in den (seltenen) Fällen von sehr langbrennweitigen Aufnahmeobjektiven ohne weiteres eine Fernrohrwirkung mit ihrer Abflachung der Tiefenwerte zustande kam. Heutzutage ist man in der Herabsetzung der Aufnahmebrennweiten noch viel weiter gegangen und auf Längen gekommen, die sehr häufig auch von den Nahpunktsentfernungen Kurzsichtiger übertroffen werden. Hier stellte sich der Gullstrandsche Gedanke der Verantkonstruktion hilfreich ein. Die Verantlinse (theoretisch von der Brennweite des Aufnahmeobjektivs) entwirft von dem Photogramm in ihrer vorderen Brennebene ein verzeichnungsfreies deutliches Bild in weiter Ferne und unter den richtigen Bildwinkeln, so daß es nun im freien direkten Sehen und sogar ohne wesentliche Akkommodationsanstrengung von Normalsichtigen selbst höheren Alters betrachtet werden kann. Die Verantlinse wirkt hier ganz wie das Okular eines Fernrohrs, und zwar theoretisch eines solchen von der Vergrößerung = 1. So groß nun auch beim photographischen Objektiv und der nachträglichen Betrachtung des Photogramms die Ähnlichkeit mit einem schwach oder gar nicht verkleinernden Fernrohr ist, so handelt es sich doch insofern um ein Instrument sui generis, als hier eine „unterbrochene“ Abbildung vorliegt. In dieser Unterbrechung der Abbildung scheint wenigstens dem Autor das eigentliche Unterscheidungsmerkmal für die beiden Möglichkeiten zu liegen, die man meistens als objektive und subjektive Beobachtung auseinander zu halten wünscht, obwohl man dabei kaum immer das trifft, was man im Sinne hat. Denn wenn man das Photogramm sicherlich als einen Verwirklichungsfall der objektiven Betrachtung ansehen muß, so stimmt die Bezeichnung der objektiven Betrachtung eines solchen durch eine Lupe um so weniger, je mehr man Wert darauf legt, den Eindruck im Bildraum der Lupe mit dem Eindruck bei der Betrachtung der Objekte selbst gleich zu machen. Dann kommt es auf das Photogramm als ein physisches Objekt gar nicht an, und es macht für diese Betrachtungsweise gar keinen Unterschied, wenn es etwa grobe Verzeichnungsfehler enthält, die durch die Lupe eben aufgehoben werden. Dagegen deckt der Begriff der unterbrochenen Abbildung den Tatbestand durchaus und läßt sofort diese Abbildung jener anderen gegenüberstellen, die etwa durch ein Sehrohr für Tauchboote erhalten wird, bei dem die Vergrößerung gerade den Wert = 1 hat. Ähnlich wie die Leistung

II. Wiederholende Instrumente

f. ununt. Beobacht.	für ferne Objekte			f. ununt. Beobacht.	für nahe Objekte		
	für unterbrochene Beobachtung				für unterbrochene Beobachtung		
	einf. Einricht.	zusammengesetzte Einricht. mit zeitlicher Trennung in			einf. Einr.	zusammengesetzte Einricht. mit zeitlicher Trennung in	
Landschafts- spiegel in Gärten, Zerstreu- ungslinsen als Zeichen- hilfen, Sehrohre für Tauchboote	Camera obscura an Aussichts- punkten	Objektiv- funkt.	Okularfunkt.	Kystoskop Gastroskop Laryngoskop	Epidiaskop	Objektivfkt.	Okularfunkt.
		Camera obscura als Zeichen- apparat, Photo- graphisches Objektiv	Guckkasten, Verant. Projektions- apparat für Diapositive von Land- schaften und für Kinemato- gramme			Kysto- photo- graphischer Apparat	Projektion von Diaposi- tiven naher Objekte, schwächere Verantlinsen u. Lesegläser angewandt auf Photo- gramme naher Objekte
<p>↓</p> <p>zu den Presbyopen- und Lupe Brillen</p>							

heit erklärt. Den andern optischen Instrumenten trat man zunächst nicht so wohl gestimmt gegenüber, sondern hat sie lange Zeit als müßige Spielerei angesehen. Man kann dafür auf die Entwicklung des Guckkastens, der Camera obscura, der Laterna magica verweisen; es sind das alles Instrumente, die wir heute namentlich für Lehrzwecke in ihrer vervollkommenen und verbesserten Form sehr hoch schätzen, während wir die etwas ungeduldige Mißachtung früherer Zeiten ansehen als einen gewissen Mangel an Voraussicht.

Ganz langsam hob sich die Wertschätzung der Instrumente für die große Menge, während es für einen beschränkten Kreis von Kennern leichter ging. Diese Kenner — man nennt sie heute häufig Liebhaber oder Amateure — sind für die Entwicklung der optischen Instrumente von ganz hervorragender Bedeutung, da sie neue Anregungen geben, mögen sie auch nicht besonders durchgearbeitet sein. Das erste Auftreten dieser Kenner kann man wohl in der recht ausgebreiteten Mönchsliteratur des späten 17. Jahrhunderts sehen, eine sehr beachtenswerte Zahl von Namen, die in lateinischer Sprache das Gebiet behandeln, Jesuiten in erster Linie, aber auch Klosterbrüder anderer Orden finden sich, die in großen Foliobänden mit zahlreichen Tafeln Herstellung, Theorie und Gebrauch der verschiedenen Instrumente beschreiben. Sie stehen an exakter Begründung weit hinter der strengen, namentlich in England und Frankreich geübten Wissenschaft zurück, sind aber außerordentlich vielseitiger, wie sie beispielsweise Aufgaben wie die Bildaufrichtung im Fernrohr durch Spiegelung, die Theorie und Verwendung der heute als Teleobjektiv bekannten Konstruktion, das Zielfernrohr, die Camera obscura und den Guckkasten in den Kreis ihrer Betrachtung zogen. Als sich die Zeiten änderten, verschwand diese Betätigung in den Klöstern, aber der ausgestreute Same, der in zahlreichen kompilatorischen Schriften gleichsam

ruhte, keimte nach langen Jahren doch hier und da auf, namentlich sobald die Wissenschaft ein Interesse an diesen Instrumenten nahm.

Als mit der Entdeckung der chromatischen Korrektoren in dioptrischen Instrumenten die Schranke niederbrach, die die Verbesserung der Leistungen gehemmt hatte, waren auch für die Fabrikanten günstigere Zeiten gekommen, wovon die beiden *Dollonds*, *Ramsden*, *Adams* und andere technische Optiker ein gutes Zeugnis ablegen, Männer, deren Schriften in den großen wissenschaftlichen Journalen des 18. Jahrhunderts zu finden sind. Aber die Nachfrage richtete sich wieder und immer wieder auf das vornehme Fernrohr, das jetzt auch als terrestrischer Tubus, ja auch als achromatisches Theaterglas hoffähig wurde. Das Mikroskop aber nahm an der Verbesserung der Farbenfehler sobald noch nicht teil, und die mikroskopischen Unterhaltungen wurden im 18. Jahrhundert wohl nur mit schwachen weil unachromatischen Systemen angestellt. Dagegen entwickelte sich aus der Laterna magica das Sonnen- und das Lampenmikroskop. Als nun im Anfang des 19. Jahrhunderts die Ideen *Fraunhofers* ihren Siegeszug ausführten, da erkannte man, daß die höchste Vollendung nur durch eine Verbindung von Theorie und Praxis gesichert werden konnte, und diese Verbindung, die hier in *Fraunhofer* persönlich bestand, lieferte gleichsam einen glänzenden Ausblick auf die Arbeit, die in Deutschland auf diesem Gebiete geleistet werden sollte. Sie kam aber wiederum fast ausschließlich dem Fernrohr und den terrestrischen Tuben zugute. Erst durch die Bemühungen zunächst englischer, dann französischer Gelehrten und Künstler wurde eine empirische Lehre vom Mikroskop geschaffen, und seine Leistungen hoben es bald in den Rang der edlen Instrumente. Viel länger hatte das theoretisch schon eher bearbeitete photographische Objektiv auf eine Anerkennung zu warten, und es er-

rang sie sich zuerst in England in dem Kreise begeisteter Amateure. Es ist schon darauf hingewiesen worden, welche Förderungen durch die gemeinsame Arbeit auch in theoretischer Hinsicht erwachsen, aber es bedeutete doch einen entscheidenden Fortschritt, als die Steinheilsche Firma die Münchener Traditionen für die Fernrohre aufnahm und sie durch die photographischen Objektive erweiterte. Als nun die Abbeschen Erfolge für das Mikroskop, das photographische Objektiv und die Handfernrohre bekannt wurden, da änderte sich allmählich in der ganzen Welt der Charakter der optisch-technischen Betriebe. Es wurde die Arbeitsteilung in theoretische Forschung und praktische Ausführung akzeptiert, und es reichte meistens die Aufnahme eines Instruments in das Fabrikationsgebiet einer anerkannten Firma aus, um das Instrument auf die Höhe eines edlen zu heben. So wurden Projektionssysteme, Guckkästen, die medizinisch-optischen Instrumente allmählich in immer weiterem Grade verbessert.

Man erkennt, wie langsam aber sicher die persönliche Kunstfertigkeit im Zusammenbau eines optischen Instruments ausgeschaltet wird zugunsten einer gründlichen theoretischen Durcharbeitung und der Verwendung gesteigerter technischer Fertigkeit, wie sie durch die Arbeitsteilung in großen Fabriken ermöglicht wird. Das optische Instrument verläßt den Standpunkt eines in wenigen Exemplaren hergestellten und wenigen zugänglichen Kunstprodukts und wird zu einem Massenartikel von höherer Vollendung und im Verhältnis niedrigerem Preis. Die aus der wissenschaftlichen Durcharbeitung folgende Steigerung des inneren Wertes wird aber nicht im vollen Maße anerkannt, weil der vergrößerte Kreis der Benutzer das neue Hilfsmittel nicht mehr in alter Art teilnehmend behandelt, sondern entweder nur gewisse Leistungen von ihm fordert oder es der Mode folgend mehr oder minder unvollkommen benutzt. Die Aufnahme der Abbeschen Theorie des Mikroskops wird auf der einen und die Verwendung des photographischen Objektivs wird auf der andern Seite als ein Beleg angeführt werden können. Diese Massenfabrikation solcher auf das beste durchgearbeiteter Instrumente erfährt in unseren Tagen durch die Anforderungen des Kriegswesens eine weitere mächtige Erweiterung.

Und da stellte sich denn ganz von selbst das Bedürfnis ein, mehr das Interesse für das Instrument bei den Benutzern zu erwecken, und die verschiedenen optischen Firmen haben durch ihre Mitarbeiter oder durch befreundete Gelehrte den Versuch machen lassen, durch Wort und Schrift ein tieferes Interesse für ihre Erzeugnisse zu erwecken. Diese Bestrebungen werden aller Wahrscheinlichkeit nach noch erweitert werden müssen, und es ist zu hoffen, daß allmählich eine Instrumentenoptik zustande kommt, die, auf ein genügendes technisches, physiologisches und psychologisches Fundament gegründet, dem Benutzer die Möglichkeit gibt, eine Einsicht in das Wesen seines Instruments zu erhalten und es auch in schwierigeren Fällen vorteilhaft zu verwenden. Es ist nicht ausge-

schlossen, daß sich in dieser Weise ein gemeinsames Sachverständigen-Interesse der ausführenden Firmen entwickelt, das man auch trotz der weiter bestehenden wirtschaftlichen Konkurrenz im Auge behalten wird. Es ist nicht wahrscheinlich, daß dadurch den einzelnen Firmen Eintrag geschähe, vielmehr würde sich auf Grund der besseren Sachkenntnis der Benutzer ein etwa erreichter Fortschritt deutlicher und würdiger hervorheben lassen als bei dem heute beliebten Einzelvorgehen, das in geradezu grotesker Weise den Anschein zu erwecken sucht, vom Vorhandensein seiner Wettbewerber nichts zu wissen.

Über die optische Aktivität asymmetrischer Moleküle.

Von Privatdozent Dr. Werner Mecklenburg,
Clausthal i. H.

1. Das asymmetrische Kohlenstoffatom; die Waldensche Umkehrung.

Unter optischer Aktivität versteht man bekanntlich die Erscheinung, bei der die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes unter bestimmten Bedingungen eine Drehung erleidet. Und zwar kann die Drehung, wenn der polarisierte Lichtstrahl gerade auf den Beobachter zukommt, von diesem aus gesehen im Sinne des Uhrzeigers, „nach rechts“, oder im entgegengesetzten Sinne, „nach links“, erfolgen. An Ursachen für das Phänomen sind bisher drei erkannt worden: Die Schwingungsebene eines polarisierten Lichtstrahles wird gedreht, erstens wenn der Lichtstrahl durch ein magnetisches Feld, zweitens wenn er durch bestimmte Kristalle und drittens wenn er durch eine Schar von Molekülen eines gewissen chemischen Charakters hindurchgeht. Im ersten Falle hat der materielle Stoff, der sich in dem vom Lichtstrahl durchlaufenen Magnetfelde befindet, auf die Erscheinung nur einen quantitativen Einfluß; die verschiedenen Stoffe unterscheiden sich nur durch den Grad und die Richtung ihrer spezifischen Wirkung: in demselben magnetischen Felde drehen die einen Stoffe die Schwingungsebene des Lichtstrahles nach rechts, die anderen nach links, die einen stark, die anderen schwach. Im zweiten Fall ist die Drehung an die Struktur des Kristalles gebunden; mit der Zerstörung des Kristalles etwa durch Auflösung geht das Drehungsvermögen verloren. Im dritten Falle endlich ist die Ursache im Molekül des betreffenden Stoffes zu suchen, denn die Erscheinung tritt unabhängig vom Aggregatzustand des Stoffes auf. Im übrigen erweist sich der Vorgang der Drehung in allen drei Fällen als durchaus symmetrisch. Im ersten Falle hängt die Richtung der Drehung von der Richtung der magnetischen Kraftlinien ab; kehrt man deren Richtung um, ohne sonst irgend etwas an der Versuchsanordnung zu ändern, so wechselt die Drehung ihre Richtung, während ihr absoluter Betrag seinen Wert behält. Im zweiten und dritten Falle existiert für jeden „aktiven“ Kristall und jedes „aktive“

Molekül, das nach rechts dreht, ein dem ersten kristallographisch und chemisch vollkommen entsprechendes Gegenstück, das unter denselben Versuchsbedingungen im selben Maße nach links dreht, und umgekehrt.

Von den drei verschiedenen Fällen, in denen optische Aktivität auftreten kann, soll uns hier nur der dritte Fall beschäftigen, also der Fall, bei dem die Ursache für die Drehung im Bau des Moleküls liegt.

Ihren Ausgangspunkt hat die Lehre von dem optischen Drehungsvermögen der Moleküle in den klassischen Untersuchungen Pasteurs über die Weinsäure. Pasteur zeigte im Jahre 1848, daß die Traubensäure — ihre Ähnlichkeit mit der gewöhnlichen rechtsdrehenden Weinsäure war der Wissenschaft seit den wichtigen Arbeiten von J. J. Berzelius über die Isomerie (d. h. über die Erscheinung, bei der Stoffe von gleicher chemischer Zusammensetzung verschiedene Eigenschaften haben können) wohl bekannt — in zwei verschiedenen, im Verhältnis von Gegenstand zu Spiegelbild stehenden „enantiomorphen“ Kristallen vorkommt, die bei der Kristallisation der Traubensäure unter bestimmten Bedingungen nebeneinander und dann immer in gleicher Menge entstehen. Als Pasteur die einzelnen Kristalle aussuchte, fand er, daß die einen in jeder Beziehung vollständig identisch mit der rechtsdrehenden Weinsäure waren und auch wie diese sowohl im kristallisierten Zustande wie in Lösungen die Ebene des polarisierten Lichtes nach rechts drehten, während die anderen, die kristallographischen Spiegelbilder der ersten, sich zwar chemisch von der rechtsdrehenden Weinsäure in keiner Weise unterschieden, aber im Gegensatz zu ihr sowohl als Kristalle wie in gelöster Form die Ebene des polarisierten Lichtes in demselben Maße wie jene nach rechts nach links drehten: Pasteur hatte die Linksweinsäure aufgefunden.

Außer den Weinsäuren drehen, wie im Laufe der Jahre festgestellt worden ist, noch viele andere Kohlenstoffverbindungen die Ebene des polarisierten Lichtes; insbesondere finden sich optisch aktive Stoffe in sehr großer Zahl unter den in der Natur vorkommenden Verbindungen der organischen Chemie, eine sehr interessante und wichtige Tatsache. Alle diese Verbindungen haben nun, wie von J. H. van't Hoff und gleichzeitig und unabhängig von ihm von Le Bel nachgewiesen worden ist, eine gemeinschaftliche Eigenschaft: ihre im Sinne der herrschenden Lehre von der Konstitution der Kohlenstoffverbindungen geschriebenen Strukturformeln haben ein asymmetrisches Kohlenstoffatom. D. h. ein Kohlenstoffatom in ihrem Molekül ist dadurch gekennzeichnet, daß seine vier Wertigkeiten durch vier verschiedene Atome oder Atomgruppen abgesättigt sind. Eine räumliche Vorstellung der Verhältnisse erhält man, wenn man sich das Kohlenstoffatom im Mittelpunkt eines regulären Tetraeders liegend und seine vier Wertigkeiten als gerichtete Einzelkräfte nach den Ecken des Tetraeders gerichtet denkt. Das folgende Schema (vgl. Fig. 1 und 2) läßt ohne weiteres erkennen, daß von einem Gebilde dieser Art zwei

verschiedene Formen möglich sind, die sich allein durch die relative Lage der Substituenten unterscheiden. Die beiden Formen stehen zueinander im Verhältnis eines Gegenstandes zu seinem Spiegelbilde, sind aber nicht identisch. Die Dinge liegen hier demnach ebenso wie bei den enantiomorphen Kristallen; es handelt sich in beiden Fällen um dasselbe Prinzip. Dieses Prinzip läßt sich, da ein räumliches Gebilde mit seinem — natürlich ebenfalls räumlich gedachten — Spiegelbilde nur dann nicht identisch ist, wenn es unsymmetrisch ist, d. h. nicht durch eine Symmetrieebene in zwei ihrerseits im Verhältnis von Gegenstand zu Spiegelbild stehende Teile zerlegt werden kann, auch in anderer, allgemeinerer Weise ausdrücken: Optische Aktivität zeigen solche Moleküle (oder Kristalle), durch die sich keine Symmetrieebene legen läßt. Die Moleküle (oder Kristalle) dieser Art kommen stets in zwei verschiedenen, zueinander im Verhältnis von Gegenstand zu Spiegelbild stehenden Formen vor, die, sonst in ihrem Verhalten vollkommen identisch, sich nur dadurch unterscheiden, daß die eine Form



Fig. 1.

Fig. 2.

Schematische Darstellung der beiden Verbindungen, zu denen ein asymmetrisches Kohlenstoffatom Veranlassung gibt.

die Schwingungsebene des polarisierten Lichtes nach rechts, die andere sie, um denselben Betrag, nach links dreht.

Nun ist die organische Chemie zwar imstande, Moleküle von vorgeschriebener Struktur aufzubauen, es gibt bis jetzt aber kein Mittel, auf rein synthetischem Wege und unter Benutzung von ausschließlich inaktivem Ausgangsmaterial von einem asymmetrischen Molekül nur die eine oder die andere Form darzustellen. Da das Entstehen beider Formen, wie eine genauere Betrachtung des Tetraederschemas lehrt, gleich wahrscheinlich ist, so entstehen bei der Synthese immer beide Formen, die Rechts- wie die Links-Form in gleicher Menge, d. h. das entstehende Gebilde ist, als Ganzes betrachtet, optisch inaktiv. Ein derartiges, aus einem Gemisch gleicher Mengen zweier optischer Antipoden bestehendes System heißt, wenn die beiden Antipoden frei nebeneinander existieren, ein *razemisches Gemisch*, oder wenn sie, was nicht selten vorkommt, zu einer Verbindung zusammentreten, eine *razemische Verbindung* oder ein *Razemat*. Zur Gewinnung der einzelnen aktiven Formen können direkt natürlich nur *razemische Gemische* Verwendung finden, und zwar gibt es, wenn man von der Benutzung bereits vorhandener aktiver Stoffe absehen will, hierzu nur einen einzigen Weg: die schon von Pasteur angewendete Methode der mechanischen Auslese der enantiomor-

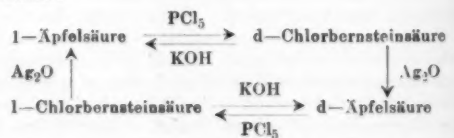
phen Formen. Ist man aber einmal im Besitz optisch aktiver Stoffe, so bietet die Gewinnung weiterer aktiver Stoffe in ihren Einzelformen keine prinzipiellen Schwierigkeiten mehr: Entweder kann man mit ihrer Hilfe ein nach den üblichen Methoden der synthetischen Chemie erhaltenes racemisches Gemisch in seine Komponenten zerlegen. Oder man benutzt die interessante Erfahrung, daß die Synthese — die, wie bereits gesagt wurde, bei Abwesenheit optisch aktiver Stoffe stets zur Bildung von racemischen Gemischen oder von Razematen führt — dann, wenn Einzelformen optisch aktiver Stoffe in dem Reaktionsgemisch bereits vorhanden sind, asymmetrisch verläuft, d. h. derart, daß nicht beide Antipoden in gleicher, sondern die eine von ihnen in überwiegender Menge entsteht — eine Erfahrung, deren Erklärung wohl in der Bildung asymmetrischer Zwischenprodukte zu suchen ist. Das interessante und in Anbetracht des sehr häufigen Vorkommens optisch aktiver Stoffe in der Natur wichtige Problem der Gewinnung optisch aktiver Stoffe auf rein chemischem Wege ohne Zuhilfenahme bereits vorhandener aktiver Stoffe und ohne Anwendung der Methode der mechanischen Auslese der enantiomorphen Formen ist noch nicht gelöst.

Ein weiteres Fundamentalproblem der Lehre von der optischen Aktivität, dessen Lösung trotz vieler darauf gerichteter Bemühungen noch nicht gelungen ist, betrifft den Grad des Drehungsvermögens in seiner Abhängigkeit von der chemischen Konstitution der optisch aktiven Stoffe. Wir sind heute noch nicht imstande, bei Kenntnis der Strukturformel eines Stoffes mit asymmetrischem Kohlenstoffatom über den Betrag der von ihm verursachten Drehung irgend etwas auszusagen, und wir vermögen auch nicht zu sagen, welche der beiden Formen nach rechts, welche nach links dreht. Mit der rein qualitativen Aussage, daß die eine der beiden Formen (welche, wissen wir nicht) nach rechts und die andere im gleichem Maße (wieviel, wissen wir ebenfalls nicht) nach links dreht, ist unsere Kenntnis erschöpft.

Die Ursache für diese Schwierigkeiten liegt wohl in erster Linie darin, daß die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes kein einfacher Vorgang ist. Größe, ja sogar Richtung der Drehung hängen erstens von der Wellenlänge des Lichtes ab und zweitens von den Versuchsbedingungen, z. B. wenn es sich um Lösungen aktiver Stoffe in inaktiven Lösungsmitteln handelt — ein praktisch sehr wichtiger Fall — von der chemischen Natur des Lösungsmittels, von der Konzentration des gelösten Stoffes, von der Temperatur usw. Auch allgemeingültige Beziehungen zwischen der Drehung, die die einzelnen Spektralgebiete durch die Wirkung desselben aktiven Stoffes und bei denselben Versuchsbedingungen erfahren, haben sich noch nicht ermitteln lassen. Kurz, über dem ganzen Gebiete schwebt noch tiefes Dunkel.

Eine gegenseitige Umwandlung optischer Antipoden ist wohl möglich, ja, sie tritt sogar spontan ein, wenn auch die Geschwindigkeit der Umwandlung meist nur gering ist. Früher hatte man ge-

meint, daß diese Umwandlung immer in der Weise geschehe, daß sich aus dem bei Beginn des Versuches allein vorhandenen einen Antipoden der andere Antipode bilde — eine räumliche Vorstellung dieses Vorganges läßt sich nach Werner leicht gewinnen, wenn man annimmt, daß die an dem asymmetrischen Kohlenstoffatom haftenden Substituenten nicht vollständig fest an ihrer Tetraederecke haften, sondern um diese als Mittellage Schwingungen ausführen —, daß aber unter denselben Bedingungen auch wieder Rückbildung des ersten Antipoden stattfindet, und daß infolgedessen, da beide Antipoden sich chemisch vollkommen gleich verhielten, das Ende des Vorganges ein dynamisches Gleichgewicht sein müsse, das dadurch charakterisiert sei, daß in ihm beide Antipoden in gleicher Menge vorhanden seien. Das Ziel aller gegenseitigen Umwandlung optischer Antipoden sei also die Bildung eines racemischen Gemisches, sei *Razemisation*. Mit dieser Ansicht stimmte die Tatsache überein, daß ein racemisches Gemisch niemals spontan optisch aktiv wird. Die Anschauung, daß die gegenseitige Umwandlung optischer Antipoden immer zum racemischen Gemische oder zum Razemat führen müsse, entspricht der Wirklichkeit indessen nicht. Paul Walden hat vielmehr gezeigt, daß die vollständige Umwandlung eines Antipoden in den anderen möglich ist. Die eigentümlichen, als *Waldensche Umkehrung* bezeichneten Erscheinungen werden durch das folgende Beispiel verständlich gemacht: Substituiert man in der rechtsdrehenden Chlorbernsteinsäure das Chloratom mit Hilfe von Kalilauge durch die Hydroxylgruppe, so erhält man die linksdrehende Äpfelsäure, und in derselben Weise erhält man aus der linksdrehenden Chlorbernsteinsäure die rechtsdrehende Äpfelsäure. Ersetzt man nun in den Äpfelsäuren die Hydroxylgruppe rückwärts wieder mit Hilfe von Phosphorpentachlorid durch Chlor, so gelangt man zu den ursprünglichen Chlorbernsteinsäuren zurück. Aus diesen Versuchen würde man schließen, daß die Rechtsäpfelsäure nach ihrer Konfiguration der Linkschlorbernsteinsäure und die Linksäpfelsäure der Rechtschlorbernsteinsäure entsprechen muß. Dieser Schluß besteht indessen nicht zu Recht, denn ersetzt man in der Chlorbernsteinsäure das Chloratom anstatt mit Hilfe von Kalilauge mit Hilfe von Silberoxyd durch die Hydroxylgruppe, so gelangt man zu einem ganz anderen Ergebnis: Aus der Rechtschlorbernsteinsäure bildet sich unter diesen Versuchsbedingungen die Rechtsäpfelsäure, aus der Linkschlorbernsteinsäure die Linksäpfelsäure. Die Verhältnisse, wie sie ähnlich auch bei anderen Systemen gefunden worden sind, sind in dem folgenden Schema¹⁾ übersichtlich zusammengestellt:



¹⁾ Es bedeutet: *l* = linksdrehend, *d* = rechtsdrehend.

Wie die Übersicht zeigt, kann man also z. B. die Linksäpfelsäure in die Rechtsäpfelsäure verwandeln, indem man sie zunächst durch Phosphorpentachlorid in die Rechtschlörbersteinsäure und diese unter Benutzung von Silberoxyd in die Rechtsäpfelsäure überführt. Razemisierung tritt bei Anwendung der beiden genannten Hydroxylierungsmittel nur in sehr geringem Maße, bei Anwendung anderer Hydroxylierungsmittel meist in höherem Grade ein.

Eine Deutung dieser merkwürdigen und lange Zeit ganz unverständlichen Erscheinungen scheint neuerdings durch Überlegungen gefunden zu sein, die etwa gleichzeitig und unabhängig voneinander A. Werner in Zürich und Emil Fischer in Berlin angestellt haben. Die beiden genannten Autoren machen die sehr plausible und in anderen Fällen auch schon als richtig erwiesene Annahme, daß der eigentlichen Substitution eine Addition vorangehe; die eigentliche Substitution würde also erst beim Zerfall des primär gebildeten Additionsproduktes erfolgen. Bei diesem Zerfall braucht nun, das ist das Wesentliche, der neu in das Molekül eintretende Substituent keineswegs die Stelle zu besetzen, die der ausgetretene Substituent innegehabt hat, es können vielmehr bei dem Vorgange konfigurative Verschiebungen eintreten, die im einzelnen von Fall zu Fall verschieden sein und sicherlich in erheblichem Maße auch von der Struktur des sich zersetzenden Additionsproduktes abhängen werden. So erscheint das anfangs so rätselhafte Phänomen der Waldenschen Umkehrung wenigstens im Prinzip verständlich, aber es wird noch mancher Arbeit bedürfen, um zu zeigen, daß diese mögliche Erklärung tatsächlich auch die richtige ist.

Der heutige Stand der Wasserreinigung und Abwässerbeseitigung.

Von Dr. Hartwig Klut, Berlin,

Mitglied der Königl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung.

Auf dem für die allgemeine Gesundheitspflege so wichtigen Gebiete der Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung der Gemeinden sind in den letzten Jahren nicht unerhebliche Fortschritte zu verzeichnen. Um auch weitere Kreise in den heutigen Stand der Wasserreinigungs- und Abwässerbeseitigungsfrage einzuführen, soll im nachstehenden ein kurzer orientierender Überblick über diese beiden Kapitel der modernen Hygiene gegeben werden. Als Unterlage diene mir neben anderen Werken das kürzlich aus berufener Feder erschienene, sehr empfehlenswerte Buch von Dr. J. Tillmans: *Wasserreinigung und Abwässerbeseitigung*, Verlag von Wilhelm Knapp, Halle a. S., 1912.

Wasserreinigung.

Es sei zuerst die *Reinigung des Wassers für Trinkzwecke* besprochen.

Durch die klassischen Arbeiten von Robert Koch wissen wir jetzt, daß durch Wasser in erster Linie Typhus und Cholera übertragen

werden können. Es muß daher von einem zu Trink- und Wirtschaftszwecken dienenden Wasser gefordert werden, daß dieses vor allen Dingen keine Krankheitserreger¹⁾ aufweist. Des weiteren muß verlangt werden, daß das Wasser keine für Menschen und Tiere schädliche Bestandteile, z. B. Bleiverbindungen, enthält, und ferner muß es von solcher Beschaffenheit sein, daß es auch zum Genuß²⁾ anregt.

Zur Entfernung der Bakterien und der Krankheitserreger im Wasser benutzt man im großen die verschiedenen Verfahren der *Filtration*³⁾. Als solche dienen:

a) Die *langsame oder englische Sandfiltration*, wie sie z. B. in *Hamburg* und *Altona* angewandt wird. Die Filter stellen im allgemeinen große, meist viereckige, von einer Mauer umgebene Flächen dar, welche mit Kies und Sand gefüllt sind. Zu unterst liegt eine Schicht von Steinen von 60 bis 150 mm Korngröße. Darauf folgt eine Kiesschicht, welche bezweckt, den darüber liegenden Sand zu schützen und die von oben nach unten allmählich größer wird. Die Kiesschicht setzt sich in der Regel zusammen aus einer Lage von etwa Nußstärke, einer von Bohnengröße, einer von Erbsengröße und einer Lage von Hirsekorngröße (3—5 mm). Darauf ruht die Sandschicht, auf welcher das Rohwasser in einer gewissen Höhe aufgebracht wird. Sand- und Kiesschicht werden häufig in verschiedener Größe zusammengestellt. Mittlere Stärken sind: 60 cm Wasserhöhe, 60 cm Sand und 60 cm Kies. Das filtrierte Wasser fließt unten ab und gelangt von dort in den Reinwasserbehälter. Für die Versorgung einer Stadt mit filtriertem Wasser gebraucht man eine ganze Reihe solcher Sandfilter. Die Filtrationsgeschwindigkeit soll im allgemeinen 0,1 m in der Stunde nicht überschreiten, eine Geschwindigkeit, bei der also jedes Quadratmeter Filterfläche in der Stunde 100 Liter liefert. Wenn auch durch die Sandfiltration kein absoluter Schutz gegen etwaige im Rohwasser vorhandene Krankheitserreger erreicht wird, so hält man doch allgemein den relativen Schutz bei regeltem Betrieb der Filter für ziemlich hoch. Zur weitergehenden Reinigung des Wassers wendet man auch, wie z. B. in *Bremen*, nach *E. Götz* die *Doppelfiltration* an. In *Magdeburg* benutzt man als Vorfiltration die Puëch-Chabal-Filter, sog. Stufenfilter, wodurch die Feinfilter entlastet werden.

b) *Schnellfilter*. Die Filtrationsgeschwindigkeit kann bei Anwendung von Schnellfiltern⁴⁾ bis zu

¹⁾ C. Günther, Einführung in das Studium der Bakteriologie. 6. Aufl. Leipzig 1906.

²⁾ R. Abel, Die Vorschriften zur Sicherung gesundheitsgemäßer Trink- und Nutzwasserversorgung. Berlin 1911.

³⁾ O. Spitta, Die Wasserversorgung im *Handbuch der Hygiene* von M. Rubner, M. v. Gruber u. M. Ficker. II. Band. 2. Abteilung. „Wasser und Abwasser“. Leipzig 1911.

⁴⁾ E. Friedberger, Versuche über die Verwendbarkeit der amerikanischen Schnellfiltration für die Königsberger Wasserversorgung, *Zeitschr. f. Hygiene* 1908, Bd. 61, S. 355.

5 m und mehr in der Stunde gesteigert werden. Als Material benutzt man meist Kies mit einer Korngröße von 1 bis 3 mm. Zur Erzeugung einer künstlichen Filterdecke dient fast ausschließlich schwefelsaure Tonerde.

Bei Mangel an Trinkwasser greift man zur künstlichen Herstellung von Grundwasser aus Oberflächenwasser (*Infiltration*). Praktische Anwendung macht man hiervon z. B. bei den Wasserwerken an der Ruhr. Die sogenannte *Uferfiltration* besteht darin, daß man am Ufer eines Sees oder Flußlaufes Brunnen absenkt. Aus diesem Brunnen wird dann das Wasser abgepumpt, wodurch der Wasserstand in dem Brunnen erheblich abgesenkt wird. Die Folge davon ist, daß das Wasser aus dem See oder Fluß durch die filtrierenden Sand- oder Kiesschichten des Ufers hindurch in den Brunnen eintritt. Bei diesem Durchgang durch den Boden wird das Wasser in ähnlicher Weise von den Keimen befreit, wie das Grundwasser (z. B. in Offenbach am Main). Für die Gewinnung künstlichen Grundwassers hat C. Reichle¹⁾ folgende Grundsätze aufgestellt:

1. Fehlt für ein Versorgungsgebiet die Möglichkeit einer ausreichenden Versorgung mit Grundwasser, so empfiehlt es sich, bei der Verwendung von Oberflächenwasser in jedem Fall auch die Möglichkeit einer eventuellen künstlichen Grundwassererzeugung zu prüfen.
2. Die letztere kann bei sachgemäßer Anlage eine größere Betriebssicherheit und einen günstigeren bakteriologischen Effekt als gewöhnliche Sandfilter gewähren; ein wesentlicher Vorteil den letzteren gegenüber bietet aber die Möglichkeit der Erzielung einer gleichmäßigen Temperatur des Wassers.
3. Der Wahl bestimmter Schichten für Anreicherungs Zwecke hat eine sorgfältige Untersuchung derselben, ihres Aufbaues, ihrer Zusammensetzung und ihres Gehaltes an auslaugbaren Stoffen voranzugehen.
4. Es ist notwendig, daß die Bemessung und Anordnung natürlicher Bodenfilter auf Grund sorgfältiger Vorversuche erfolgt, die dabei gewählten Geschwindigkeiten und Wasserspiegelhöhenlagen dürfen im Betrieb nicht ohne weiteres überschritten werden. Bei der Feststellung des Filtrationseffektes ist mit einer zeitweiligen Störung der Filterhaut bzw. der Eintrittsfilterzone überhaupt zu rechnen. Die Aufenthaltsdauer bzw. der Weg des infiltrierten Wassers von der Versickerungsstelle bis zur Fassungsanlage ist so groß zu bemessen, daß auch bei nicht oder unvollständig eingearbeiteten Filterzonen jederzeit eine gesicherte bakteriologische Reinigung erfolgt.
5. Für die Vorreinigung des zu verwendenden Oberflächenwassers von den ihm etwa anhaftenden Verschmutzungen dürften sich insbesondere große Aufstaubecken oder Schnellfilteranlagen empfehlen.
6. Die Anreicherung braucht nicht nur auf Grundwasserträger aus Sand und Kiesschichten beschränkt zu werden; in bestimmten Fällen dürfen auch geeignete Gesteinsschichten eine künstliche Anreicherung zu lassen (künstliches Quellwasser).
7. Anreicherungsanlagen bedürfen wie alle Verfahren zur Reinigung von Oberflächenwasser einer fortlaufenden wissenschaftlichen Kontrolle.

Verfahren der Wassersterilisation. Von den neueren Verfahren zur sicheren Abtötung etwaiger Krankheitserreger im Wasser haben sich im großen bislang bewährt die *Ozonisierung*¹⁾ des Wassers, wie sie z. B. in Paderborn geübt wird. Ferner das *Ferrochlor-Verfahren Duyk*²⁾, *System Howatson*, das mit Erfolg in *Middelkerke* in Belgien angewandt wird. Das *Chlorkalkverfahren*, das namentlich in Nordamerika³⁾ viel angewandt und auch ganz neuerdings mit Erfolg von einigen Wasserwerken an der Ruhr⁴⁾ benutzt wird. Auch mit Hilfe *ultravioletter Strahlen*⁵⁾ gelingt es, pathogene Keime zu vernichten. Das Verfahren ist jedoch ziemlich teuer.

Zur *Desinfektion* von Wasserleitungen usw. benutzt man mit Erfolg Schwefelsäure (wie z. B. in Beuthen); um Bohrlöcher zu desinfizieren, dient vielfach *Karbol-Schwefelsäure*⁶⁾.

Beschaffenheit des Wassers für eine Zentralversorgung in chemischer Hinsicht. Ein für die Zentralversorgung eines Ortes dienendes Wasser muß auch vom chemischen Standpunkt so beschaffen sein, daß es einmal zum Genuß anregt, und zweitens im Leitungsnetz keine Störungen, wie Zerfressungen oder Verschlämmungen des Rohrmaterials, hervorruft. In erster Linie wirkt ein hoher Eisengehalt des Wassers störend. Die meisten Grundwässer der norddeutschen Tiefebene sind mehr oder weniger eisenhaltig. Frisch entnommen sehen solche Wässer in der Regel farblos aus. Durch den Luftzutritt wird das in ihnen enthaltene Eisen oxydiert und ausgeschieden. Hierbei spaltet sich oft Schwefelwasserstoff ab. Das Wasser wird trübe und unansehnlich und

¹⁾ O. Dasko, Die Reinigung des Trinkwassers durch Ozon, Deutsche Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege 1909, Bd. 41, S. 385.

²⁾ K. Thunau u. A. Schiele, Mitteilungen aus der Königl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorg. u. Abwässerbeseitigung, Heft 8, Berlin 1907, S. 1.

³⁾ K. Imhoff u. Ch. Saville, Die Desinfektion von Trinkwasser mit Chlorkalk in Nordamerika, Journal f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1910, Bd. 53, S. 1119.

⁴⁾ H. Bruns-Gelsenkirchen, Über die Desinfektion des Trinkwassers in Wasserleitungen durch Chlorkalk, Journal f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1912, Bd. 55, S. 649.

⁵⁾ Grimm und R. Weldert, Sterilisation von Wasser mittels ultravioletter Strahlen, Mitteilungen a. d. Königl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorg. u. Abwässerbeseitigung, Berlin 1911, Heft 14, S. 85.

⁶⁾ A. Gärtner, Leitfaden der Hygiene, 5. Aufl. Berlin 1909.

¹⁾ C. Reichle, Über künstliches Grundwasser. Journal f. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1910, Bd. 53, S. 699.