

Kolloidchemie und Biologie.

Von H. Freundlich, Berlin-Dahlem.

Gottfried Keller beginnt seinen 1881 erschienenen Novellenkreis „Das Sinngedicht“ mit den leise spöttisch klingenden Worten: „Vor etwa 25 Jahren, als die Naturwissenschaften eben wieder auf einem höchsten Gipfel standen, obgleich das Gesetz der natürlichen Zuchtwahl noch nicht bekannt war . . .“ Und es ist wirklich so; man ist überrascht, wie oft man in den Lebensdarstellungen ausgezeichneter Naturwissenschaftler der letzten 150 Jahre der Wendung begegnet: sie hätten eine Entwicklung dieses Wissensgebietes erlebt, wie es nie einem Früheren beschieden gewesen sei, und wie es so leicht auch keinem Späteren beschieden sein würde. Ich glaube, manchem von uns geht es ähnlich, wenn er auf die letzten 25 Jahre naturwissenschaftlichen Forschens zurückblickt. Man braucht bloß daran zu denken, wie etwa eine Abhandlung über den Bau der Atome im Jahre 1900 nicht gerade gern von der Leitung einer wissenschaftlichen Zeitung angenommen wurde, während heute die physikalischen Zeitschriften fast völlig von derartigen Aufsätzen angefüllt sind, und wie es glücklich ist, auf Grund der Bohrschen Theorie vom Bau der Atome das Spektrum des Wasserstoffes richtig zu berechnen und die Eigenschaften eines neuen Elementes, des Hafniums, richtig voraussagen zu können. Oder man denke an die Relativitätstheorie, und wie durch sie Fragen nach dem Bau des Weltalls mit den Grundfragen der Mathematik verknüpft werden.

Auch die Kolloidchemie hat ihre eigentliche Entwicklung ganz in diesem Jahrhundert erlebt. Ihre Ziele sind bescheidener; sie lehrt uns nichts über den Bau der Atome oder über den des Weltalls. Dafür hat sie einen anderen Reiz. Sie ist eine Grundlage für das Verständnis der Lebenserscheinungen geworden und wird es immer bleiben. Wie weit dies der Fall ist und weshalb es so ist, möchte ich im folgenden kurz auseinandersetzen.

Ehe ich auf diese meine eigentliche Aufgabe eingehe, muß ich vorausschicken, was man unter Kolloiden versteht. Die kolloiden Gebilde, mit denen wir es vor allem zu tun haben, sind die *kolloiden Lösungen* oder *Sole*. Von ihrem Wesen kann man sich eine Vorstellung machen auf Grund von Versuchen, die man etwa mit einer Tasse Tee anstellt. Der Farbstoff, der den Tee braun färbt, ist in kolloider Lösung vorhanden. Der Zucker, mit dem man den Tee gesüßt hat,

ist dagegen nicht kolloid, sondern echt gelöst. Man kann den Unterschied erkennen, wenn man den Tee in ein Säckchen aus Pergamentpapier füllt und dieses in ein Glas mit Wasser hängt. Der Zucker dringt durch das Pergamentpapier hindurch, nach kurzer Zeit schmeckt das Wasser süß, und wenn man es immer wieder erneuert, kann man es dahin bringen, daß der Zucker so gut wie völlig aus dem Tee in das Wasser übertritt. Der braune Farbstoff dagegen geht nicht durch das Pergamentpapier hindurch. Die Flüssigkeit im Pergamentsack bleibt braun, mag man das Wasser im Glase noch so oft erneuern. Dieses verschiedenartige Verhalten des Zuckers und des braunen Teefarbstoffes beruht auf der verschiedenen Größe der Teilchen, aus denen beide bestehen. Der Zucker ist im Tee bis zu so kleinen Teilchen aufgeteilt, daß sie durch die Poren des Pergamentes durchtreten können. Es sind Teilchen von einer Größe, wie sie auch in den Gasen und Flüssigkeiten vorhanden sind, also von der Größe der Moleküle. Sie sind im Durchschnitt kleiner als ein Millionstel Millimeter. Die Teilchen des Teefarbstoffes sind dagegen so viel größer, daß sie nicht durch das Pergamentpapier hindurchtreten können. Ihre Größe bewegt sich etwa in einem Bereich von $\frac{1}{1\,000\,000}$ bis zu einem $\frac{1}{2000}$ mm. Man nennt nun Lösungen, deren Teilchen nicht aus Molekülen bestehen, wie das bei den Zuckerlösungen der Fall ist, sondern etwa 10- bis 1000mal größer sind, kolloide Lösungen oder Sole. Viele durch den täglichen Gebrauch bekannte Flüssigkeiten sind solche kolloide Lösungen, so z. B. eine Lösung von Gelatine, von Stärke, von Seife oder die leichtflüssige Eiweißflüssigkeit des Hühnereis.

Wie außerordentlich klein die Moleküle und Kolloidteilchen sind, dafür ist folgender Vergleich lehrreich, der wohl von *Aston* stammt. Im ganzen Weltmeer sind etwa 1500 Trillionen Liter Wasser enthalten. Die Zahl der Wassermoleküle in einem Liter beträgt aber 33 000 000 Trillionen. Schöpfte man also aus dem Meere ein Liter heraus, bezeichnete dessen Moleküle einzeln mit Nummern, gösse dann das Liter wieder ins Meer zurück und mischte völlig gleichmäßig durch, so fände man, wenn man von neuem ein Liter herausschöpfte, in diesem noch eine große Zahl von Molekülen, die schon im ersten Liter enthalten waren. Teilte man andererseits das Liter Wasser in Teilchen auf von der Größe der Kolloid-

teilchen, etwa in Würfel von $\frac{1}{100000}$ mm Kantenlänge, so wären in dem Liter Wasser 1000 Trillionen solcher Würfel enthalten, also beinahe ebenso viel wie Liter Wasser im Weltmeer.

Man kann die Teilchen einer kolloiden Lösung nicht unmittelbar mit einem gewöhnlichen Mikroskop sehen. Die kleinsten Teilchen, die man mit diesem erkennen kann, sind wenig kleiner als $\frac{1}{1000}$ mm. Wohl aber gelingt dies mit dem sogenannten Ultramikroskop. Dessen Konstruktion beruht auf einer ähnlichen Erscheinung, wie man sie vor sich hat, wenn man in einem sonst dunklen Zimmer durch ein Loch im Fensterladen einen kräftigen Sonnenstrahl eintreten läßt und die sogenannten Sonnenstäubchen sieht. Jedes Stäubchen reflektiert das Licht, das auf es fällt, und da man die Stäubchen gegen einen dunklen Hintergrund erblickt, so sind sie erkennbar, auch wenn das von ihnen reflektierte Licht nur schwach ist. Auch bei dem Ultramikroskop läßt man das Licht der Sonne oder einer Bogenlampe seitlich durch die kolloide Lösung treten und sorgt dafür, daß es nicht unmittelbar ins Mikroskop gelangt. Dann sieht man bei geeigneten Vorsichtsmaßnahmen nur das Licht, das von den in der kolloiden Lösung enthaltenen Teilchen, den Kolloidteilchen, ausgeht, und diese werden sichtbar. Unter günstigen Bedingungen kann man auf diese Weise noch Teilchen sehen, deren Durchmesser $\frac{1}{100000}$ mm beträgt. Die Kolloidteilchen liegen nun keineswegs ruhig in der Flüssigkeit, sondern sie zeigen eine lebhaft wimmelnde Bewegung, man glaubt einen Mückenschwarm vor sich zu haben. Es ist dies die sogenannte Brownsche Molekularbewegung. Sie rührt daher, daß sich die Moleküle, aus denen ja auch die Flüssigkeiten wie die Gase bestehen, in jener steten Bewegung befinden, auf die wir die Wärme zurückführen. Die lebhaft bewegten Moleküle stoßen auf die Kolloidteilchen und versetzen sie in eine ähnliche Bewegung, ganz so wie etwa beim Fußballspiel der Fußball durch die Stöße der Spieler in Bewegung gesetzt wird.

Eine zweite Gruppe kolloider Gebilde, die biologisch wichtig sind, haben wir in den *Gelen*. Auch für diese kann man leicht Beispiele aus dem täglichen Leben heranziehen. Alle Gallerten, etwa eine Gelatinegallerte oder ein Apfelgelee sind derartige Gele — ich bemerke nebenbei, daß ja die Kochkunst nichts anderes ist als eine angewandte Kolloidchemie —, aber zu den Gelen gehören auch die Fasern, wie die der Baumwolle, der Wolle u. a. m. Über ihren Bau wissen wir nicht so genau Bescheid, wie über den der Sole. Wahrscheinlich hat man es wieder mit Kolloidteilchen zu tun, die aber eng aneinandergedrängt sind, so daß sie nur von dünnen Flüssigkeitshäuten voneinander getrennt sind, deren Dicke bloß einige Millionstel Millimeter beträgt. Die Teilchen eines Gels können deshalb keine so lebhafte Bewegung ausführen wie die eines Sols, sie schwingen nur um ihre Ruhelagen herum.

Die Bedeutung der Kolloidchemie für die Biologie wird nun leicht daraus klar, daß man ohne zu übertreiben sagen darf: alle Flüssigkeiten, die in den Lebewesen vorhanden sind, sind kolloide Lösungen, fast alle festen Gebilde sind Gele. So sind im Blut außer den Blutkörperchen, die ja erheblich größer sind als Kolloidteilchen, Eiweißstoffe kolloid gelöst. Das gleiche gilt von der Lymphe, vom Speichel und allen anderen Körpersäften der Tiere wie der Pflanzen. Gele sind die Haut, die Muskel- und Nervenfasern, das Bindegewebe, die Wände der Zellen u. a. m. Immer wieder wird man daher bei biologischen Untersuchungen genötigt, auf die kolloide Beschaffenheit aller lebenden Gebilde Rücksicht zu nehmen.

Man könnte sich fragen, ob es überhaupt berechtigt ist, Gebilde, deren Teilchen eine bestimmte Größe haben, also mit Durchmessern zwischen $\frac{1}{1000000}$ bis $\frac{1}{2000}$ mm, in dieser Weise abzugrenzen und ihr chemisches und physikalisch-chemisches Verhalten in der Kolloidchemie als ein besonderes Wissensgebiet zu behandeln. Weder nach oben noch nach unten gibt es eine scharfe Grenze. Flüssigkeiten, die noch größere, also unter dem Mikroskop sichtbare Teilchen enthalten — man nennt sie Emulsionen oder Suspensionen —, verhalten sich durchaus so wie kolloide Lösungen, sie sind nur weniger haltbar und deshalb im allgemeinen nicht so häufig und nicht so leicht zu untersuchen. Aber die Eigenschaften von Emulsionen oder von Suspensionen gehen ganz allmählich und stetig in die Eigenschaften der kolloiden Lösungen über, und das gleiche gilt von dem Übergang einer echten Lösung in eine kolloide. Und doch scheint es mir zweckmäßig, die Kolloidchemie als ein besonderes Wissensgebiet abzugrenzen: bei den kolloiden Gebilden treten eine Reihe von Eigenschaften besonders auffallend und ausgeprägt hervor, und gerade sie spielen ferner in der Biologie und der Technik eine überaus wichtige Rolle.

Ich möchte jetzt einige jener Eigenschaften, die die kolloiden Gebilde vor allem auszeichnen, einzeln besprechen und will dann bei jeder gleich Beispiele aus der Biologie und Physiologie anknüpfen.

Eine besondere Eigenschaft des kolloiden Zustandes ist es, daß wegen der Kleinheit der Teilchen die Oberfläche, die sie in ihrer Gesamtheit entwickeln, sehr groß ist. Eine einfache bekannte Rechnung macht dies verständlich. Man denke sich einen Würfel von 1 cm Kantenlänge und teile ihn in 1000 kleine Würfel von 1 mm Kantenlänge, so ergibt sich für die gesamte Oberfläche dieser kleinen Würfel eine Fläche von 60 qcm. Wenn man aber den Würfel von 1 cm Kantenlänge in so kleine Würfel aufteilt, wie sie als Teilchen in kolloiden Gebilden vorhanden sind, also etwa in Würfel von einem Millionstel cm Kantenlänge, so erhält man eine Trillion solcher Würfel, und deren Oberfläche beträgt jetzt 6 Millionen qcm

oder 600 qm. Es kann also leicht eine kleine Menge eines kolloid gelösten Stoffs eine Oberfläche von mehreren Hundert qm entwickeln. Eine Folge dieser ungeheuren Oberflächenentwicklung ist es, daß die sogenannten Adsorptionsvorgänge bei den Kolloiden so bedeutsam sind¹⁾.

Unter *Adsorption* versteht man eine lockere Bindung, wie sie Gase und gelöste Stoffe, namentlich an festen Oberflächen, erfahren können. Wenn man ein übelriechendes Wasser dadurch reinigt, daß man es durch Holzkohle filtriert und dabei die Geruchsstoffe an der Kohle festgehalten werden, so beruht dies auf ihrer Adsorption an der Holzkohle. Auch gelöste Farbstoffe können durch Kohle auf diese Weise aus einer Lösung entfernt werden. Im Kriege beruhte die Anwendung der Atemfilter unserer Gasmasken in erster Reihe auf einer Adsorptionswirkung; die Filter enthielten als besonders wirksamen Stoff gepulverte Holzkohle, die die in der Luft enthaltenen Giftgase durch Adsorption zurückhielt. Für die Adsorption gelten eine Reihe charakteristischer Gesetzmäßigkeiten. Die Bindung des Gases oder gelösten Stoffes an der festen Oberfläche erfolgt sehr schnell, sie läßt sich aber auch meist leicht rückgängig machen; man kann also z. B. durch Auswaschen mit Wasser den an der Kohle adsorbierten Farbstoff leicht entfernen. Sehr bezeichnend für die Adsorptionsvorgänge ist ferner, daß gerade Stoffe in sehr kleiner Menge besonders vollständig von der Kohle zurückgehalten werden. Wäre dies nicht der Fall, so hätte man nie von der Adsorption in den Atemfiltern Gebrauch machen können, denn die Giftgase waren stets nur mit einem sehr kleinen Gehalt in der Luft vorhanden.

Die Kolloidteilchen der Sole und Gele sind nun in ganz ausgezeichnetem Maße befähigt, Adsorptionswirkungen auszuüben, und so kommt es, daß man bei physiologischen und biologischen Vorgängen immer wieder Vorgängen begegnet, die man als Adsorptionen ansehen muß. Nur einige Beispiele seien angeführt. Man hat die Aufnahme eines Giftes, des Veratrins, durch den Herzmuskel einer im Meere lebenden Schnecke untersucht und gefunden, daß sie sich in jeder Hinsicht wie eine Adsorption verhält. Ein Gleiches gilt von der Aufnahme vieler anderer giftig wirkender Stoffe, wie des Sublimats, der Karbolsäure u. a., durch die Hefezellen, die Blutkörperchen und ähnliche Gebilde. Es ist somit wahrscheinlich, daß bei der Desinfektion zunächst eine Adsorption der desinfizierenden Stoffe an den

Bakterien statthat; an diese schließen sich erst nachträglich rein chemische Veränderungen an, die sich nicht so leicht rückgängig machen lassen wie die Adsorption.

Nicht anders steht es mit den Gegengiften, die der tierische Körper selbst als Abwehrmittel gegen eine Infektion durch Bakterien erzeugt. Bekanntlich beobachtet man bei vielen Bakterieninfektionen, daß bei der Einwirkung der Bakterien auf den Organismus Stoffe entstehen, die den Bakterien in irgend einer Weise nachteilig sind. So bildet sich z. B. bei der Infektion durch Typhusbakterien ein Stoff, das Typhusagglutinin, das von den Bakterien aufgenommen wird und sie derart verändert, daß sie sich jetzt nicht mehr in den Körperflüssigkeiten schwebend erhalten, sondern sich absetzen müssen. Die Aufnahme des Agglutinins durch die Bakterien folgt wiederum fast durchweg den Gesetzen der Adsorption. Freilich zeigt sich eine Besonderheit. Die Bindung ist stark spezifisch, d. h. von den Typhusbakterien wird nur ein Agglutinin aufgenommen, das von Typhusbakterien erzeugt worden ist, nicht eines, das von anderen Bakterien herrührt. Und bisher ist es noch nicht gelungen, derartig spezifische Adsorptionen im Laboratorium künstlich nachzuahmen. Aber man hat allen Grund, anzunehmen, daß eine charakteristische Gestaltung der Bakterienoberfläche und eine besondere Lagerung der Agglutininmoleküle an ihr die Ursache dieser Spezifität ist. Und da man schon Beispiele kennt, bei denen eine besondere Lagerung der adsorbierten Moleküle an Oberflächen statthat, so ist es nicht undenkbar, daß man auch die spezifische Adsorption wird nachahmen können.

Man hat ferner mit Hilfe der Adsorption nachgewiesen, daß viele der wichtigsten Reaktionen, die sich im pflanzlichen und tierischen Organismus abspielen, an Oberflächen vor sich gehen. Zu diesen Reaktionen gehört die Kohlensäureassimilation, durch die die grünen Pflanzen aus der Kohlensäure der Luft Stärke bilden, dann die Atmung, die Gärung und auch die gärungsähnliche Reaktion, durch die sich nach den neueren Untersuchungen *O. Warburgs* die Zellen einer Krebsgeschwulst von denen des gesunden Organismus unterscheiden. Alle diese Reaktionen lassen sich durch Stoffe hemmen, die stark adsorbierbar sind; es gehören dazu durchweg die Stoffe, die man als Narkotika bezeichnet, also Alkohole u. dgl. Und die Hemmung ist um so stärker, je stärker adsorbierbar diese Stoffe sind. Daraus kann man nur folgern, daß jene Reaktionen an Grenzflächen vor sich gehen und daß sie durch die Anwesenheit der dort adsorbierten Narkotika gestört werden. Man hat sich etwa vorzustellen, daß die reagierenden Stoffe, bei der Kohlensäureassimilation die Kohlensäure, bei der Gärung der Traubenzucker, an Grenzflächen, die in den Zellen vorhanden sind, adsorbiert sind und nur dort reagieren. Wenn dann die Narkotika gleichfalls adsorbiert werden, so

¹⁾ Man könnte fragen: die Moleküle sind noch kleiner als die Kolloidteilchen, ihre Oberfläche also noch größer, weswegen sind bei ihnen die Adsorptionsvorgänge nicht noch ausgesprochener? Hierauf ist zu antworten, daß wegen der viel lebhafteren Bewegung der Moleküle lockere Bindungen, wie sie bei der Adsorption vorliegen, weit unbeständiger sind, und daß ferner die ganze Anordnung der Valenzen an der Oberfläche eines kleinen, an Atomen armen Moleküls eine ganz andere ist als an der Oberfläche der atomreichen Kolloidteilchen.

verdrängen sie diese reagierenden Stoffe von der Grenzfläche und beeinträchtigen dadurch offenbar deren Reaktion.

Hier ist es nun gelungen, sich eine noch verfeinerte Vorstellung vom Verlauf dieser Vorgänge zu bilden. Manche dieser Reaktionen, wie z. B. die Kohlensäureassimilation oder die Atmung, werden auch von der Blausäure stark gehemmt. Deren starke Giftigkeit beruht auf dieser ihrer Einwirkung auf die Atmung. Nun ist die Blausäure gar kein stark adsorbierbarer Stoff; er wird von Kohle viel schwächer adsorbiert als viele Narkotika, die in weit schwächerem Grade diese Reaktionen hemmen. Dieser merkwürdige Widerspruch hat sich folgendermaßen aufklären lassen, wobei wir als Beispiel den Fall der Atmung betrachten wollen. Die Reaktion, um die es sich bei der Atmung handelt, vollzieht sich nicht an der ganzen Oberfläche der festen Zellbestandteile, sondern nur an bestimmten Stellen, an denen gewisse Eisenverbindungen sitzen. Vergleicht man die Oberfläche mit einem Schachbrett, so sind es etwa nur die schwarzen Felder, die von dieser Eisenverbindung bedeckt sind, und an denen die Atmung — sie ist ja eine langsame Verbrennung — vor sich geht. Die Blausäure hat nun eine besondere Verwandtschaft zu diesen Eisenverbindungen und wird von ihnen nach Art einer Adsorption aufgenommen. Dadurch werden diese eisenhaltigen Felder der Oberfläche mit Beschlag belegt, und es kann sich an ihnen die Atmung nicht weiter abspielen. Dies Verhalten hat sich völlig in einem Modell nachahmen lassen. Man hat eine Adsorptionskohle herstellen können, an der solche Stoffe, wie sie bei der Atmung verbrannt werden, z. B. die Aminosäuren, zwar adsorbiert, aber nicht verbrannt werden. Eine solche Kohle war völlig eisenfrei. Brachte man aber in sie geeignete Eisenverbindungen, so wurden die Aminosäuren von diesen eisenhaltigen Kohlen energisch verbrannt, und diese Verbrennung konnte wiederum durch Blausäure völlig gehemmt werden, ganz wie das bei der Atmung der Fall ist.

Es ist leicht einzusehen, weshalb gerade Adsorptionsvorgänge in so bevorzugtem Maße in den Organismen auftreten. Eine Besonderheit der Lebensvorgänge ist ja, daß sie selbstregulierbar sind; tritt also irgendeine Störung auf, so erzeugt sie im Organismus eine Gegenwirkung, die sie rückgängig zu machen sucht. Eine grob chemische Reaktion, bei der gleich Stoffe entstehen, die sich nicht ohne weiteres in die Ausgangsstoffe zurückbilden lassen, sind für eine solche Selbstregulierung weniger geeignet als die lockeren Bindungen der Adsorption, bei denen dies viel leichter möglich ist.

Eng verknüpft mit der Adsorption sind auch die Quellungsvorgänge. Was *Quellung* ist, läßt sich gleichfalls unschwer durch Beispiele aus dem täglichen Leben verständlich machen. Wenn eine harte, trockene Gelatineplatte, die man in Wasser

legt, erweicht und durch Aufnahme von Wasser ihr Volumen um ein Mehrfaches vergrößert, so ist das ein Quellungsvorgang. Im Altertum hat man die Quellung vielfach für technische Zwecke angewendet. Man konnte Felsen sprengen, indem man in ein Loch, das man in den Felsen geschlagen hatte, trockenes Holz eintrieb und dieses mit Wasser zum Quellen brachte. Die quellenden Stoffe sind durchweg Gele. Ob es sich beim Quellen darum handelt, daß das Wasser durch Adsorption an den Kolloidteilchen des Geles gebunden wird, und diese dabei auseinanderdrängt, oder ob man es mehr mit einem echten Lösungsvorgang zu tun hat, steht noch dahin. Sicher ist, daß die Quellung für viele biologische Erscheinungen wichtig ist. So ist bei wasserarmen lebenden Gebilden, wie vielen Bakterien, Samen, Sporen u. dgl., das Wasser als Quellungswasser enthalten. Nun ist bei niedrigem Quellungsgrade der Gefrierpunkt des Wassers im gequollenen Gel stark erniedrigt. Es gefriert bis zu 100 und mehr Grad tiefer als reines Wasser. Dies ist mit die Ursache, daß solche wasserarmen Gebilde, wie Bakterien und Samen, sehr niedrige Temperaturen, bis zu denen der flüssigen Luft, also — 190°, aushalten können, ohne getötet zu werden. Gefriert das Wasser zu Eis, so treten im lebenden Organismus leicht Veränderungen ein, die tödlich sind, während dies nicht der Fall ist, wenn das Wasser flüssig bleibt.

Quellungsvorgänge sind auch bei der Muskelkontraktion zu berücksichtigen, so daß man die Muskeln wohl als Quellungsmotoren bezeichnen darf. Hier drängt sich der Vergleich auf zwischen diesen Motoren der Lebewesen und den ganz andersartigen Maschinen, die wir besitzen. An unseren Dampfmaschinen, Explosions- und Elektromotoren ist alles groß und schwer und besteht aus Metall, und auch unsere kleinsten Motoren, die durch Federn getriebenen der Taschenuhren, sind durchaus metallisch. Die Quellungsmotoren sind dagegen klein und leicht; sie bestehen ja durchaus aus nichtmetallischen Stoffen, und sie sind dabei doch sehr wirksam. Man denke etwa an die Leistungen des Muskels eines Insektenflügels, der bis zu 330 Flügelschläge in der Sekunde vollführt. Wir verstehen noch nicht die Kunst, solche Quellungsmotoren zu bauen. Sie hätten mancherlei Vorteile, sie arbeiten sehr geräuschlos, und die Energieausbeute ist nicht schlecht. Aber wir können jetzt schon erkennen, daß die sogenannte Oberflächenenergie, die bei Oberflächenveränderungen wirksam ist und die in den Solen und Gelen des Muskels immer wieder zur Geltung kommt, große Vorteile bietet, wenn es gilt, in sehr kleinen Räumen zu arbeiten, wie es offenbar der Bau der Lebewesen erfordert. Man braucht sich bloß zu erinnern, wie ungeheuer groß die Oberfläche einer kleinen Stoffmenge auch in einem kleinen Raume sein kann, und wie stark sie sich ändert, wenn sich die Teilchen etwas vergrößern, um einzusehen, daß die Oberflächen-

energie in hohem Grade geeignet ist, wenn es gilt, solche äußerst kleinen Motoren zu bauen.

Bisher habe ich nur Eigenschaften der kolloiden Gebilde berücksichtigt, die irgendwie mit der großen Oberflächenentwicklung der Kolloidteilchen zusammenhängen. Diese sind in der Tat von überragender Bedeutung, und ich müßte eigentlich noch auf die elektrischen Erscheinungen in den Organismen und auf die Frage der Durchlässigkeit von Zellhäuten für gelöste Stoffe eingehen, bei denen Oberflächenwirkungen gleichfalls von entscheidender Bedeutung sind. Aber es verdienen doch noch einige andere Eigenschaften der Sole und Gele kurz gestreift zu werden. Es ist eine bemerkenswerte Eigentümlichkeit vieler kolloider Lösungen, daß sie ausgesprochen *elastisch* sind. Daß die Gele oft sehr elastisch sind, ist eine alltägliche Erfahrung; man denke an die pendelnden Schwingungen, in die man eine Gelatinegallerte leicht versetzen kann. Es ist aber nun nicht bloß die Gelatinegallerte elastisch, sondern auch die leichtflüssige Gelatinelösung, in die man die Gallerte durch Erwärmen oder durch Auflösen in Wasser verwandeln kann. Diese Elastizität läßt sich in der Weise nachweisen, daß man ein winziges Eisen- oder Nickelteilchen, das in der Gelatinelösung schweben bleibt, durch einen Magneten von außen anzieht, es vorwärts bewegt und durch Entfernen des Magneten wieder freigibt. Das Metallteilchen springt dann unter Umständen glatt in seine Ausgangslage zurück. Mit reinem Wasser oder selbst einer so zähen Flüssigkeit wie Glycerin gelingt dieser Versuch nicht. Das Metallteilchen bleibt dort stehen, wohin es durch den Magneten gezogen worden ist. Eine große Reihe kolloider Lösungen zeigen dies elastische Verhalten, so die Lösungen der Gelatine, der Eiweißstoffe, der Seifen u. a. m. Hierin äußert sich der enge Zusammenhang zwischen Gelen und Solen, deren Eigenschaften auch sonst ganz allmählich und stetig ineinander übergehen.

In ähnlicher Weise, wie es eben geschildert wurde, hat man auch vom Protoplasma, dem Inneren der lebenden Zelle, selbst wenn es merklich flüssig ist, nachweisen können, daß es zu den Solen gehört, die elastische Eigenschaften haben. Damit ist eine alte Streitfrage geklärt, der man oft in älteren Lehrbüchern der Physiologie begegnet, nämlich die Frage, ob das Protoplasma fest oder flüssig sei. Die Antwort lautet: Es ist entweder ein Sol oder ein Gel, aber wohl stets elastisch. Im Laufe der Lebensvorgänge ändert sich die Festigkeit des Protoplasmas. Es ist bald mehr gelartig fest oder solartig flüssig, und es sind Fälle genug bekannt, in denen solche Umwandlungen schnell vor sich gehen und man sie durch leichte mechanische Eingriffe, wie Rühren oder Schütteln, beeinflussen kann. Derartige Erscheinungen hat man jetzt auch im Laboratorium verwirklichen können. Es gibt Sole, wie z. B. die konzentrierten Sole des Eisenoxys, die zu einem Gel erstarren und durch bloßes leichtes Schütteln

wieder zu einem Sol verflüssigt werden können, ein Vorgang, der sich beliebig oft wiederholen läßt.

Auch die optischen Eigenschaften der Sole möchte ich kurz berühren. Ich erwähnte schon das Ultramikroskop und wie sein Bau darauf beruht, daß die Kolloidteilchen, wenn sie von kräftigem Licht betroffen werden, nach den Seiten Licht auszustrahlen vermögen. Für dieses Licht, das man als *Tyndall-Licht* bezeichnet, gelten ausgeprägte Gesetzmäßigkeiten. Sind die Kolloidteilchen an sich farblos und werden sie von weißem Licht getroffen, so strahlen sie nach den Seiten wesentlich den blauen und violetten Anteil des Lichtes aus, während die roten und gelben Strahlen durch die kolloide Lösung hindurchgehen. Betrachtet man die Bahn des Lichtes in der kolloiden Lösung von der Seite, so erscheint sie schön blau gefärbt, die kolloide Lösung selbst gegen einen hellen Hintergrund betrachtet ist gelblich rot. Dies sogenannte Tyndallphänomen beobachtet man bei allen kolloiden Gebilden, also nicht nur bei kolloiden Lösungen, sondern auch bei Gelen oder bei Gläsern, wie Milchglas, die kolloide Teilchen enthalten, oder bei einem feinen Rauch oder Nebel. Man kann es oft an einem Rauch beobachten, der etwa von einer Lokomotive aufsteigt: gegen einen hellen Hintergrund, etwa den hellen Himmel, erscheint er rötlich, gegen einen dunklen, etwa einen Waldrand, bläulich. Auch bei den Lebewesen beruhen manche Färbungen auf diesem Tyndallphänomen, so die blaue Farbe vieler Federn, wahrscheinlich auch die Farbe blauer Augen, dann der blaue Duft, den man auf Pflaumen und Schlehen beobachtet, u. a. m. Ich darf noch daran erinnern, daß das Tyndallphänomen nichts anderes ist als das Urphänomen in *Goethes* Farbenlehre: Trübes gegen einen hellen Hintergrund ist rötlichgelb, gegen einen dunklen bläulich. Das „Trübe“ ist nichts anderes als ein kolloides Gebilde. Erst mehrere Jahrzehnte nach *Goethes* Tode gelang es *Rayleigh*, das Tyndallphänomen in die Theorie des Lichtes einzuordnen. Zu *Goethes* Zeit hatte die Physik keine Erklärung für diese Erscheinung, was man wohl berücksichtigen muß, wenn man *Goethes* Mißtrauen gegen die zünftigen Physiker verstehen will.

Das Ultramikroskop gibt keine getreue Abbildung der Kolloidteilchen. Man kann also nicht erkennen, ob sie etwa Kugeln oder Würfel oder Oktaeder sind. Nur starke Abweichungen von der Kugelform, wenn man es etwa mit langgestreckten Stäbchen zu tun hat, machen sich unmittelbar bemerkbar. Man kann jedoch auch verhältnismäßig unbedeutende Abweichungen von der Kugelform dadurch erkennen, daß, während die kugelförmigen Teilchen unter dem Ultramikroskop ein stetiges ruhiges Licht ausstrahlen, die nichtkugelförmigen Teilchen funkeln. Dies Funkeln hat folgende Ursache. Man sieht ein langgestrecktes Teilchen im Ultramikroskop nur dann,

wenn das beleuchtende Licht senkrecht zur Achse der Teilchen auftrifft, und das Teilchen selbst seiner Länge nach in der Ebene liegt, die man mit dem Mikroskop betrachtet. Trifft das Licht in der Längsrichtung der Teilchen auf oder steht das Teilchen senkrecht zur Beobachtungsebene, so sieht man es nicht oder jedenfalls viel schlechter. Da sich nun die Teilchen in lebhafter Brownscher Bewegung befinden, so leuchten sie auf, wenn sie gerade in der richtigen Lage stehen, sie verschwinden in jeder anderen Lage, und dies verursacht das Funkeln. Durch geeignete Blenden hat man diese Funkelwirkung viel deutlicher machen können, nicht minder die unmittelbare Erkennbarkeit der Stäbchen- oder Fadenform der Kolloidteilchen.

Es hat sich so herausgestellt, daß tatsächlich viele Sole und Gele nichtkugelige Teilchen enthalten, Stäbchen oder Blättchen. So finden sich in den Seifenlösungen Kolloidteilchen in der Form feiner biegsamer Fäden. Diese bilden an der Oberfläche der Lösung leicht ein verfilztes dichtes Geflecht, und darauf beruht zum wesentlichen Teil die große Haltbarkeit der Seifenblasen, bei denen dieses Geflecht wie ein zähes Gerüst wirkt. Auch bei vielen biologischen Gebilden hat man Kolloidteilchen nachweisen können, die stark von der Kugelform abweichen. So hat man lange beim Bindegewebe vermutet, daß in ihm Teilchen vorhanden sein müßten, die sich in der einen Richtung anders verhalten als in der anderen; denn die Quellung des Bindegewebes erfolgte unsymmetrisch. Mit Hilfe des Ultramikroskops und unter Verwendung der eben erwähnten Blenden hat man unmittelbar nachweisen können, daß gerichtete Fädchen im Bindegewebe vorhanden sind.

Die nichtkugeligen Teilchen der Sole und Gele bestehen fast immer aus äußerst feinen Kriställchen. Ein Durchleuchten fester Stoffe mit Röntgenstrahlen ist heute der beste Weg, um zu entscheiden, ob feste Teilchen kristallinisch oder amorph fest sind. — Als Beispiel eines kristallinen Stoffes sei das Kochsalz erwähnt, als Beispiel eines amorph-festen das Glas. — Durchstrahlt man einen kristallinen Stoff mit Röntgenstrahlen, so entstehen unter geeigneten Versuchsbedingungen auf einer photographischen Platte charakteristische Linien, während bei einem amorphen Stoff eine gleichmäßige Schwärzung statthat. Es ergab sich, daß die Teilchen vieler Sole und Gele, namentlich auch solche, die man im Ultramikroskop als stäbchen- oder blättchenförmig erkannt hatte, fein kristallinisch sind. Recht überraschend war dies bei einigen Gelen, wie z. B. den Fasern der Zellulose, wie man sie in der Baumwolle, dem Holz usw. vor sich hat. Auch diese erwiesen sich durchweg als kristallinisch. Selbst bei Gebilden, wie den Nerven, den Muskelfasern, hat man auf diesem röntgenographischen Wege Abweichungen vom amorph-festen Zustand gefunden. Man hat demnach allen

Grund, anzunehmen, daß viele der im Organismus vorhandenen Gele fein kristallinisch sind, sich also aus kristallisierten Kolloidteilchen aufbauen. Vielleicht wird man hieran denken müssen, wenn man einmal versuchen wird, den Bau der sog. Chromosomen, der Träger der Erbinheiten, aufzuklären.

Schon aus meiner bisherigen Darstellung ist wohl zutage getreten, daß bei der Anwendung der Kolloidchemie auf die Biologie noch alles im Fluß ist, und daß es Arbeit genug kosten wird, um die Ergebnisse des Laboratoriums für biologische Forschungen nutzbar zu machen. Aber das Neue ist für die Naturwissenschaften so wichtig, daß man sich immer wieder fragt, wie sich die weitere Zukunft gestalten wird. Sie ist hier nicht minder schwer zu durchschauen als sonst auch. Fortschritte in theoretischer Hinsicht sind ja oft dadurch bedingt, daß es gelingt, völlig neue Begriffe zu bilden, und daß man nicht bloß von Ähnlichem auf Ähnliches schließt und allzu stark verallgemeinert, wie unser Denken zunächst zu tun geneigt ist. Und ein neuer Begriff wird meist erst durch völlig neue, unvorhergesehene Tatsachen, die gebieterisch Erklärung fordern, zum Leben erweckt. Eine Überlegung möchte ich aber kurz anführen, die man vielleicht in der Zukunft weitgehend verfolgen wird: Alle Erscheinungen, die ich bisher besprochen habe, rühren daher, daß eine ungeheuer große Zahl von Kolloidteilchen zur Wirkung gelangen, und es kommt immer auf den mittleren Wert der Eigenschaften an, die die Kolloidteilchen haben. Alle diese Vorgänge stehen daher auch im Einklang mit dem zweiten Hauptsatz der Wärmelehre, der stets gilt, wenn ein Vorgang von einer ungeheuren Zahl von Teilchen, seien es Moleküle oder Kolloidteilchen, verursacht wird. Nun erwähnte ich die eigentümliche Brownsche Bewegung, die die Kolloidteilchen der Sole ausführen. Bei dieser treten ausgesprochene Schwankungen in der Zahl der Teilchen auf, die in einem bestimmten kleinen Raum enthalten sind. Im Mittel seien z. B. in einem Raum von 1 Milliardstel cmm zwei Teilchen enthalten. Ihre Anzahl kann auf Null herabsinken, kann aber auch auf viel größere Werte — bis zu sieben hat man schon gefunden — ansteigen. In so kleinen Räumen und bei einer so kleinen Zahl von Teilchen gilt der zweite Hauptsatz der Wärmelehre nicht mehr¹⁾. Für diesen ist ja nur die mittlere Zahl der Teilchen wesentlich. Die Anzahl kann wohl von selbst abnehmen. Es steht aber im Widerspruch mit diesem Satz, wenn die Zahl von

¹⁾ Es ist hier freilich zu bemerken, daß beim Ablauf einer jeden chemischen Reaktion dieser Satz insofern nicht gilt, als es nicht auf einen Mittelwert der Eigenschaften der Moleküle ankommt, sondern nur gewisse Moleküle reagieren, die sich in ihren Eigenschaften von diesem Mittelwert auszeichnen. Immerhin ist hierbei die Abweichung von dem nach dem zweiten Hauptsatz zu erwartenden Verhalten nicht so auffallend wie bei diesen Schwankungserscheinungen.

selbst zunimmt. So ergibt sich die Frage: Spielen nicht etwa bei den Lebensvorgängen derartige Schwankungen eine Rolle, die nicht mehr unter den Rahmen des zweiten Hauptsatzes fallen? Können nicht etwa wichtige Lebenserscheinungen dadurch hervorgerufen werden, daß in den kleinen Räumen, in denen sich die Lebensvorgänge abwickeln, etwa eine den Mittelwert weit übertreffende Zahl von Kolloidteilchen oder von Molekülen zufällig zusammentrifft? Die Frage wird um so berechtigter, als man bei den Vererbungserscheinungen Fälle kennt, in denen ein zufälliger Einzelvorgang, gewissermaßen eine Einzelschwankung, für den weiteren Verlauf der

Dinge entscheidend ist. Dies ist z. B. der Fall, wenn die Chromosomen bei den Befruchtungs- und Teilungsvorgängen sich aneinanderlagern und wieder auseinanderreten. Die Chromosomen sind natürlich keine Kolloidteilchen, sondern viel größere und verwickeltere Gebilde. Immerhin auch hier ist der zufällige Einzelvorgang maßgebend, und es bleibt somit lohnend, zu prüfen, ob der zweite Hauptsatz der Wärmelehre für die Lebensvorgänge durchweg gültig ist oder nicht. Jedenfalls steht man bei der Anwendung physikalisch-chemischer Überlegungen auf biologische Vorgänge nicht an einem Ende, sondern an einem Anfang.

Zur pathologischen Physiologie der Ataxie.

Von Karl Hansen, Heidelberg.

Inhalt:

- I. Einführung.
 - a) Begriff der Ataxie.
 - b) Klinische Klassifizierungsversuche und Notwendigkeit einer physiologischen Analyse.
- II. Die physiologische Analyse.
 - a) Der Drucksinn der Haut.
 - b) Der Kraftsinn.
 - c) Die Eigenreflexe.
 - d) Die reflektorische Selbststeuerung der Bewegungen.
 - e) Die tonischen Reflexe.
 - f) Die Stellreflexe.
- III. Klassifizierung der Ataxieformen nach physiologischen Gesichtspunkten.

Literatur.

I. Einführung.

a) Begriff der „Ataxie“.

Jede normale Bewegung ist gebunden an ein nach bestimmten Gesetzen erfolgendes Zusammenarbeiten ganzer Muskelgruppen; dieser Akt der Zusammenarbeit wird *Koordination* genannt, ein Vorgang, den *Duchenne* sehr plastisch mit „instinktivem Bewußtsein der Muskelkombination“ wiedergegeben hat.

Störungen der zur Ausführung von Bewegungen notwendigen Muskelkoordination nennt die Klinik „*Ataxie*“.

b) Klinische Klassifizierungsversuche und Notwendigkeit einer physiologischen Analyse.

Wenn es auch früheren Beobachtern nicht entgangen ist, daß in der normalen Zusammenordnung von Muskelaktionen zu einer koordinierten Bewegung immer ein ganzer Komplex von Teilvorgängen gegeben ist, so verführte die begriffliche Einheit „*Koordination*“ jedoch lange dazu, durch die Annahme eines „*Koordinationszentrums*“ sich einer klaren Einsicht in die lebendige Vielheit und Komplexität des Bewegungsvorgangs immer wieder zu entziehen. Erst die Analyse der zahlreichen unter den einen

Begriff „*Koordination*“ eingespannten — und dadurch nivellierten — Teilvorgänge hat die bequeme Verständnislosigkeit gebrochen, mit der man dem normalen Bewegungsablauf und infolgedessen ganz besonders seinen Störungen gegenüberstand.

Soll der Zusammenhang pathologischer Vorgänge verständlich werden, so kann er es u. a. nur auf der Grundlage einer analytisch vorgehenden, normalen Physiologie. Für die Physiologie der Bewegungen ist diese Grundlage aber nach den in den bedeutenden Arbeiten *Duchennes* vorliegenden Ansätzen erst in den beiden letzten Jahrzehnten hauptsächlich durch *Sherrington*, *v. Frey*, *Magnus*, *P. Hoffmann* geschaffen worden; sehr viel später als die physiologisch verfrühten, darum unzureichenden, aber gleichwohl auch zurzeit immer noch in Geltung stehenden üblichen klinischen Versuche, die Bewegungsstörungen verständlich zu klassifizieren. Gleichwohl empfiehlt es sich, von diesen kurz zu sprechen, ehe wir in eine Darstellung der physiologischen Analyse normaler Bewegungsabläufe eintreten und aus ihr die Folgerungen für ein Verständnis pathologischer Bewegungsabläufe ziehen wollen.

Daß hier die Klinik, wenn auch verfrüht, zu klassifizieren suchte, hat seinen Grund: gegenüber dem in gewissem Sinn typischen, „einfachen“ Ablauf der Normalbewegungen bieten die Koordinationsstörungen ein recht vielfältiges Bild. Wenn auch der schon darin liegende Hinweis auf eine entsprechende Mannigfaltigkeit normaler Koordinationskomponenten von der Klinik früh verstanden wurde, fruchtbar gemacht wurde er nicht. So sind denn auch alle im Anschluß an die Klinik versuchten Analysen der Koordinationsstörungen, der *Ataxie*, angepaßt den praktischen Aufgaben der Klinik und eine physiologische Dignität kommt ihnen nur sehr begrenzt zu:

Aus rein symptomatischen Gesichtspunkten erfolgte die Trennung in *statische* und *dynamische*

sche Ataxie, je nachdem ob die Störung der Muskelsynergien bei der Erhaltung einer Körperstellung oder bei der Ausführung von Bewegungen manifest wird.

Mehr kausalem Denken entspricht der Versuch, die verschiedenen Formen der Ataxie auf einen verursachenden anatomischen Prozeß zu beziehen und dessen Lokalisation in der Benennung mit anklingen zu lassen: die großen Gruppen der *cerebralen*, *cerebellaren* und *spinalen Ataxie* geben dann dem Bestreben zu weiterer anatomischer Differenzierung genügend Raum, eine Aufgabe, die, soweit sie gelöst, für Diagnose und Therapie bedeutungsvoll geworden ist. Allerdings auch die Möglichkeiten der Lokalisation sind verhältnismäßig recht begrenzt; hier rächt sich die Vernachlässigung der funktionellen Analyse; unmöglich, anatomische Substrate zu kennen für funktionell selbständige Teilvorgänge, die in ihrer Eigenbedeutung noch nicht erforscht waren. Hier wird die physiologische Analyse mehr als Stillung unseres Erkenntnisdranges: Befriedigung eines höchst dringenden praktischen Bedürfnisses. Allerdings — soweit sind wir noch nicht; diesen Ansprüchen gegenüber steht auch die Physiologie noch weit zurück: eben bei der Analyse des Bewegungsablaufs selber, dem Verständnis peripherer Vorgänge.

In einer Betonung *centrifugaler* — kortikaler oder subkortikaler — Einflüsse auf den Ablauf der Bewegungen liegt das Gemeinsame einer ganzen Gruppe von Theorien, die aus einem so gleich verständlich werdenden Grund hier noch Erwähnung finden mögen: *Raymond* z. B. glaubt, daß jede Ataxie beruhe auf einer Störung des Bewußtseins von einer Bewegungsvorstellung. *Jendrassik* schien seine Theorie der kortikalen Entstehung der Tabesataxie sogar durch anatomische Befunde von Faserdegenerationen in den motorischen Rindenzentren stützen zu können, die — an sich zwar richtig — jedoch auf Fälle von Tabesparalyse zu beziehen sind. *Friedreich*, *Erb* und nach ihnen viele Neurologen äußerten die Hypothese von den efferenten koordinierenden Fasern in den Hintersträngen des Rückenmarks, wonach „die hinteren Stränge des Rückenmarks direkt und unmittelbar bei der Koordination der Bewegungen intervenieren“.

Wenn auch die anatomische Beziehung der letzten Theorie falsch ist, so ist doch — wie auch in den andern Theorien — sicher richtig gemeint, daß beim Menschen irgendwie höhere Zentren den Ablauf der Bewegungen regeln. Über die Art, wie ihr Bewegungsplan sich aber zur Durchsetzung bringt, sind wir trotz einer Fülle klinischer und anatomischer Daten physiologisch kaum unterrichtet. Was wir physiologisch darüber einwurfsfrei wissen, beruht fast nur auf den — *Sherrington* fortführenden — genialen und exakten Arbeiten von *Magnus* und seiner Schule, zu denen die Klinik aber noch fast gar keine Beziehungen aufgenommen hat. Die Ergebnisse

dieser Forschungen (auf die noch zurückzukommen ist) ausgenommen, ist die Bedeutung von Kortex, Stammganglien, Zerebellum, extrapyramidalen Bahnen usw. für die Beherrschung von Statik und Motorik viel zu unbefriedigend, als daß eine physiologisch klare, zusammenfassende Darstellung gerechtfertigt wäre, so sehr die Klinik des extrapyramidalen Symptomenkomplexes gerade zur Zeit einer solchen bedürfen möchte.

II. Die physiologische Analyse.

Demgegenüber ist die Bedeutung *centripetaler* Erregungen für Haltung und Bewegung einer sehr ausgedehnten physiologischen Analyse unterworfen worden. Ihre Ergebnisse lassen sich zu einem befriedigenden Bilde zusammenordnen:

Unzweifelhaft ist die Ausführung von sog. Willkür- und Zielbewegungen gebunden an die Vorstellungen, die wir über die jeweilige Haltung der Glieder, das Ausmaß der Bewegungen, die Größe der Widerstände erhalten. Wie die Arbeiten *v. Freys* eindeutig zeigen, werden die für den genannten Zweck zu nutzenden peripheren Erregungen aufgenommen durch den *Drucksinn der Haut* und den *Kraftsinn*.

a) Der Drucksinn der Haut.

Mit jeder aktiv oder passiv ausgeführten Bewegung sind gegeben Spannungsänderungen der *Haut*, soweit sie die bewegten Gelenke umgibt oder der bewegenden Gewalt als Angriffsort dient; die Hautdeformationen sind bei kleinen Bewegungen sogar relativ groß, woraus sich u. a. die hohe Feinheit der Schwellenwerte für geführte Bewegungen erklärt; Veränderungen der Gelenkstellung um $\frac{1}{2}^{\circ}$ — 1° werden bereits wahrgenommen, ebenso wird die Richtung der Bewegung richtig beurteilt. Anästhesiert man die Haut über den bewegten Gelenken, so steigt die Schwelle auf das vier- bis fünffache, spontan ausgeführte Bewegungen werden deutlich ataktisch: Vorbeizeigen bei geschlossenen Augen, Unsicherheit und Schwanken beim Halten von Gegenständen; der Aufgabe, Bewegungen von bestimmtem Umfang auszuführen, kann nicht mehr genügt werden: alle Bewegungen schießen weit über das Ziel hinaus, sind „ataktisch“. Überträgt man durch Aufkleben von Heftpflasterstreifen die Deformation der Haut auch auf benachbarte Bezirke und vergrößert dadurch das rezeptorische Feld, so sinken die Schwellenwerte für passive, „geführte“ Bewegungen; auch die Wahrnehmung der Bewegungsrichtung wird erleichtert.

Die *Gelenke* selbst haben — wie das noch *Duchenne*, *Trousseau* und später auch *Goldscheider* und mit ihm viele Neurologen annehmen — an der Reizaufnahme keinen Teil; Anästhesierung der Gelenke, Resektion derselben verändert weder die Wahrnehmungsschwelle noch die Beurteilung der Bewegungsrichtung.

Diesen Befunden entsprechen zahlreiche Störungen der Hautsensibilität bei Ataktischen.

Aus der Beobachtung, ausgefallene Sensibilität durch Hineinbeziehung benachbarter ganz oder auch nur teilweise intakter Hautgebiete in die Deformation einigermaßen zu ersetzen, jedenfalls durch eine Vergrößerung des rezeptorischen Feldes den Verlust des geschädigten zu decken, leitet sich v. Baeyers Therapie ataktischer Tabiker her, die in manchen Fällen ganz ausgezeichnete Erfolge gibt.

Durch sein Adaptationsvermögen sind dem Drucksinn Grenzen gesetzt bei der Vermittlung der Beurteilung von gleichmäßigen Lagen; Erregungsänderungen nimmt er mit großer Feinheit wahr, länger dauernde gleichförmige Erregungen, wie sie bei der gleichförmigen *Haltung* gegeben sind, blassen jedoch ab.

b) Der Kraftsinn.

Anders der *Kraftsinn*: der adäquate Reiz sind Spannungen der Muskeln, Sehnen, Fascien. Die anatomische Grundlage für die ihm dienenden afferenten Bahnen ist gegeben durch Sherringtons Befund von der unvollständigen Degeneration der Nervenfasern im Muskelnerv nach Durchtrennung aller zugehörigen *vorderen* Wurzeln (Journ. of physiol. 17, S. 211, 1894). — Ein nachweisbares Adaptationsvermögen besitzt dieser Sinn nicht; gleichstarke Reize werden bei beliebig langer Einwirkungsdauer stets gleich beurteilt. Aber insofern mit der für die propriozeptive Erregung des Drucksinnes wirkenden Veränderungen der Gliedstellung auch Spannungsänderungen der Muskeln gegeben sind, hat der Kraftsinn außer seiner Bedeutung für die Beurteilung einer *Haltung* auch an der Beurteilung eines *Bewegungsausmaßes* seinen Teil.

Eine Trennung der Beteiligung beider Sinne (Kraftsinn und Drucksinn) ist möglich durch ihre verschieden großen Unterschiedsschwellen; die Schwelle des Kraftsinns ist von einer Feinheit, wie sie außer dem Lichtsinn kein anderer Sinn aufweist: $\frac{1}{100}$ (nutzbare U. E.) bis $\frac{1}{200}$ (wahre U. E.). Die Beurteilung von *Haltungen*, soweit sie mit Anspannungen der Sehnen und Muskeln einhergehen, ist seine Leistung. Die Schätzung von Bewegungswiderständen, die bei jeder Einleitung einer aktiven Bewegung überwunden werden müssen, geschieht ausschließlich durch ihn. In der Beurteilung des Bewegungserfolgs unterstützt ihn aus den oben genannten Gründen (der gleichzeitig gegebenen Hautdeformation) der Drucksinn der Haut.

Insofern die Schätzung von Bewegungswiderständen für die Ausführung einer Bewegung wichtig ist, ist die Eutaxie gebunden auch an die Intaktheit des Kraftsinns. Methodisch einwandfreie Befunde über die Leistungen des Kraftsinns bei Ataktischen sind noch nicht veröffentlicht. Soweit solche Versuche in der letzten Zeit an der Heidelberger Nervenabteilung von Panzel und v. Weizsäcker angestellt wurden, ist eine starke Beeinträchtigung des Kraftsinns bei ver-

schiedenen ataktischen Zuständen, insbesondere bei der *Tabes dorsalis*, nachweisbar.

Die schwankenden Körper- und Gliederhaltungen des Tabikers, das Umstürzen nach Augenschluß ist teilweise auf den Ausfall der zentripetalen, über die Haltung des Körpers unterrichtenden Erregungen von Druck- und Kraftsinn zu beziehen.

Inwieweit deren Leitungen das *Kleinhirn* berühren, kann nur aus anatomischen Kenntnissen über Absplitterungen der sensibeln Hinterwurzelfasern über die Clarke'sche Säule zu den Kleinhirnseitenstrangbahnen usw. geschlossen werden. Was die Projektion des Kraftsinns im Kleinhirn aber soll, wissen wir nicht. Beziehungen zur „Tonusregulierung“ werden vermutet und sind durch klinische Beobachtungen sowie die Arbeiten von Magnus gestützt (näheres über letztere s. weiter unten). Die einzigen pathologisch-physiologischen Befunde am kranken Menschen sind die gleichzeitigen Störungen der Leistungen des Kraftsinns bei Kleinhirnaffektionen, die Lotmar und neuerdings Goldstein erhoben. Wie ausgedehnt und wie konstant die Beeinträchtigung des Kraftsinns bei Kleinhirnschädigungen ist, welche Teile des Zerebellums eventuell die Beziehungen zum Kraftsinn haben, wissen wir aber noch nicht sicher; nach Goldstein scheint es jetzt ja so zu sein, daß Unterschätzungen von Gewichten auf einen destrukturierenden, Überschätzungen auf einen „reizenden“ Kleinhirnprozeß hinweisen. — Herabsetzung der Unterschiedsempfindlichkeit beim Schätzen von Gewichten weist auf eine Erkrankung der gleichen Seite (Lotmar, Goldstein).

Inwieweit jedesmal die durch die genannten Sinne vermittelten Daten eine bewußte Auswertung erfahren für die Aufrechterhaltung von *Haltungen* und *Bewegungen* unseres Körpers, wissen wir nicht genau; für gewisse *Haltungskorrekturen* hat Magnus jedenfalls *bewiesen*, daß die Erregungen des Drucksinns der Haut auch noch nach Entfernung des Vorder- und Zwischenhirns verwertet werden („Körperstellreflexe auf den Kopf, Körperstellreflexe auf den Körper“¹⁾).

¹⁾ In diesem Zusammenhang bedeutungsvoll sind die Ergebnisse von Sensibilitätsprüfungen an einem Postencephalitiskranken, die an der Heidelberger Nervenambulanz (Prof. v. Weizsäcker) gewonnen wurden: der Patient, bei dem eine völlige Aufhebung der Druck-, Schmerz- und Temperaturempfindungen des Arms bestand, bei dem ferner die Schwelle des Kraftsinns um konstante Werte erhöht war, zeigte keine Störungen bei der Ausführung aktiver Bewegungen, aber auch keine Störung des Lokalisationsvermögens, wies eine gute Beurteilung des Ausmaßes geführter Bewegungen auf, vermochte Gegenstände von feinen und differenzierten Formen wohl zu unterscheiden. — Sollte sich dieser erstaunliche und völlig neue Befund auch bei anderen Kranken bestätigen, so würde er jedoch auch dann noch keineswegs die Berechtigung abgeben zu Folgerungen etwa der Art, daß die letztgenannten komplizierten Funktionen nicht durch eine Synthese der „niederen“ Leistungen des Druck- und Kraftsinns zu Stande kämen, wie wir das bis jetzt nach den v. Freyschen Arbeiten annehmen müssen.

c) Die Eigenreflexe.

Daß afferente Erregungen auch ohne Bindung an ein Bewußtsein für den Bewegungsablauf genutzt werden können, zeigen noch allgemeiner die sog. „Sehnenreflexe“. Ihr Studium setzt ein mit der Entdeckung des Sehnenphänomens durch *Erb* und *Westphal*: auf Beklopfen der Patellarsehne erfolgt eine Kontraktion des Quadrizeps. Analoge Phänomene wurden in der Folge an anderen Sehnen und Muskeln beobachtet und in der Neurologie als diagnostische Hilfen genutzt. Man neigte dazu, jedem einzelnen dieser Phänomene eine Eigenbedeutung zuzumessen und legte dementsprechend jede Neuauffindung eines solchen Reflexes — gewissermaßen unter dem Anspruch einer Entdeckung — in der Literatur nieder. Auch nach Beklopfen von Knochen beobachtete man — wenn auch inkonstant — Muskelkontraktionen, die, auf das Periost als receptorisches Feld bezogen, als „Periostreflexe“ den sog. Sehnenreflexen nebengeordnet wurden. Trotz vierzigjähriger Beobachtung und Beforschung der Sehnenphänomene hat man sich nicht einmal über ihre Reflexnatur, geschweige denn ihre physiologische Bedeutung im Gesamtablauf der Lebensäußerungen einigen können. Erst seit den klaren experimentellen Untersuchungen *P. Hoffmanns* wissen wir mit Sicherheit, daß es sich beim Sehnenphänomen um mehr als ein klinisches Kuriosum handelt: *P. Hoffmann* zeigte, daß jeder Skelettmuskel auf eine Zerrung seiner selbst und eventuell auch der zugehörigen Sehne mit einer Kontraktion antwortet, und zwar konstant immer erst nach Ablauf einer Zeitspanne, die ziemlich genau gleich ist dem doppelten Produkt aus Nervenleitungsgeschwindigkeit mal Nervenlänge des entsprechenden Muskelnerven; mit anderen Worten: die Latenzzeit entspricht der Reflexzeit eines einfachen Reflexbogens. Als afferenter Teil des Reflexbogens anzusehen sind ganz oder nur teilweise die in *Sherringtons* oben erwähnten Versuch nicht degenerierten sensibeln Muskelnerven.

Alle vorliegenden Beobachtungen über Sehnen-, Periost-, Gelenkreflexe, alle Mitteilungen über seltsame, den Beobachtern befremdlich erscheinende Auslösungsorte lassen sich nun einem Prinzip unterordnen: alle genannten Reflexe treten nur auf, wenn die Art ihrer Auslösung verbunden ist mit einer Eigenzerrung des Muskels, der sich dann reflektorisch zusammenzieht. Gelingt es — wie dies *Dumpert* und *Flick* z. B. für die „Periostreflexe“ zeigen konnten — die Zerrung des Muskels zu verhüten oder durch Anästhesierung der Muskel- und Sehnenrezeptoren mit Novocain die Zerrung unwirksam zu machen, so tritt kein Reflex ein. Dem Periost,

Erwiesen wäre nur, daß bei erhaltener „Gestaltungswahrnehmung“ die bewußte Aufnahme von Druck- und Kraftsinnerregungen als solchen gestört sein kann; nicht aber, daß die Erregung der letztgenannten Sinne für den Aufbau der erhaltenen „höheren“ Wahrnehmungen entbehrlich sei.

den Gelenken kommt also in keinem Fall, den Sehnen nur bedingt die Bedeutung eines receptorischen Feldes zu. Alle unter diesen mißdeutenden Namen gehenden Reflexe sind Muskelreflexe oder, wie *Hoffmann* sie nennt: *Eigenreflexe*.

Soweit haben die Hoffmannschen Arbeiten ergeben:

1. das sog. Sehnenphänomen ist in der Tat ein Reflex;
2. Das receptorische Feld des Reflexes liegt nur im Muskel, vielleicht auch in den Sehnen;
3. der adäquate Reiz zur Auslösung des Reflexes ist die Zerrung des Muskels;
4. jeder quergestreifte Skelettmuskel beantwortet eine Zerrung, und zwar nur seine eigene Zerrung mit einer reflektorischen Kontraktion.

Es ist daher ganz folgerichtig, wenn *Hoffmann* diese Reflexe „*Eigenreflexe*“ nennt.

Der Nachweis, daß die Fähigkeit zu Eigenreflexen allen Muskeln zukommt, läßt ihre Bedeutung für die gesamte Motorik ahnen. Eine wichtige Beobachtung *Hoffmanns* wies den Weg zu ihrem Verständnis: Willkürliche Kontraktion einer Muskelgruppe führt — gerade entgegen den bisherigen Annahmen der Neurologie — zu einer Erregbarkeitssteigerung ihrer Eigenreflexe („der Reflexbogen wird gebahnt“); Kontraktion der Antagonisten und damit einsetzende Erschlaffung der Agonisten setzt die Eigenreflexe der letzteren herab („der Reflexbogen wird gehemmt“). Diese gesetzmäßige Abhängigkeit der Reflexerregbarkeit des Muskels von den verschiedenen Phasen seiner Funktion führt dazu, gerade in dieser Zusammenschaltung eine Bedeutung zu suchen: Die Muskelkontraktion, die gewöhnlich nicht maximal ist, sondern immer nur einen Teil der Fasern betrifft, dient im allgemeinen der Ausführung einer Bewegung oder der Aufrechterhaltung einer Körperhaltung bzw. einer bestimmten Gliedstellung. Versucht man die letztere durch eine äußere Gewalt zu stören, etwa indem man den Ellenbogengelenk rechtwinklig gebeugten Unterarm durch Schlag zu strecken versucht, so beantwortet die zur Innehaltung der Gliedstellung innervierte Muskelgruppe die Gewalteinwirkung mit einer heftigen Kontraktion, so, daß die Wirkung des Schlages pariert, die Armstellung aufrechterhalten wird. Diese Kontraktion ist nun, wie die Registrierung von Reizeinbruch und Aktionsstrom im Saitengalvanometer zeigt, eine reflektorische und nicht — wie man anzunehmen geneigt war — ein Willkürakt.

Genau der gleiche eigenreflektorische Mechanismus läßt sich selbst für die feinsten Widerstandsbegegnungen, und zwar bei allen Gelenkstellungen, nachweisen. Damit ist eine Bedeutung der Eigenreflexe dargetan: sie dienen der Aufrechterhaltung von Gliedstellungen, der

Ordnung von Abwehrmechanismen bei der Begegnung mit Widerständen. Wir verstehen, wie so bei eingeübten Bewegungen, längst ehe unser Bewußtsein oder auch nur höhere Zentren beteiligt sind, korrigierende Innervationen sich geltend machen; die Einhaltung bestimmter Stellungen und damit auch die Abstufung von Bewegungen wäre ohne reflektorische Intervention gar nicht möglich, da viel zu spät einsetzend. Man vergegenwärtige sich alle die höchst komplizierten, in kürzester Zeit verlangten Korrekturen, die etwa beim Skilaufen, beim Balancieren über eine Stange oder in einem von Wellen geschaukelten Kahn usw. zu erfolgen haben: durch bewußte Abmessungen sind sie nicht möglich, da sie immer viel zu spät erst einsetzen würden.

Die Beherrschung der jeweils geforderten reflektorischen Korrekturen ist nicht gegeben; sie muß — wie, wissen wir nicht sicher — erlernt und dauernd in Übung erhalten werden. Dort, wo sie fehlt, macht sich jedenfalls ihr Ausfall deutlich bemerkbar, selbst wenn der Reflexapparat an sich intakt ist und klare Zielvorstellungen über die auszuführenden Bewegungen vorhanden sind, wie etwa beim Genesenden, der nach langer Bettruhe wieder Gehversuche macht.

Wie sich zeigen ließ, ist der Reflexcharakter der geschilderten Korrekturen experimentell erwiesen. Er ist auch im Zusammenhang der Lehre von den Eigenreflexen *verständlich*, da ja mit all den geschilderten Abläufen dauernd Muskelzerrungen gegeben sind, die wir als den adäquaten Reiz für die Auslösung der Eigenreflexe kennen gelernt haben.

Schwieriger gestaltet sich die Beantwortung der Frage, inwieweit auch ruhige Haltungen, bei denen keine *Veränderungen* der Muskelspannung, sondern *Dauerspannungen* gegeben sind, reflektorisch aufrechterhalten werden. Die Möglichkeit solcher Fragestellung ist jedenfalls nicht mehr unerhört, seit nachgewiesen wurde, daß Reflexe nicht, wie man annahm, Einzelzuckungen sein müssen, sondern daß sie unter Umständen als tetanische, über lange Zeit ausgedehnte Erregungen auftreten; hierzu kommt *Hoffmanns* Nachweis von der „relativen Unermüdbarkeit der Eigenreflexe“. Einen direkten Hinweis erblicken wir jedoch in der Existenz der sogenannten *Entspannungsreflexe*: wenn man eine durch Belastung gleichmäßig gespannte Muskelgruppe mit geeigneter Methodik plötzlich stoßfrei entlastet, so schwindet die Innervation mit einer so kurzen Latenzzeit, wie sie der Reflexzeit entspricht; danach kann die Denervation nur als eine reflektorisch bedingte gedeutet werden. Entspannung einer Dauerkontraktion bewirkt also einen negativen Eigen- oder Entspannungsreflex; mit anderen Worten: den *reflektorischen Ausfall* einer vorausgegangenen, lange Zeit dauernden Erregungsreihe. Wäre diese, so schließen wir, Ausdruck einer reinen Willküraktion, so würde die Innervation den Moment der Entspannung

jedenfalls um eine, wenn auch nur wenig längere Zeitgröße überdauern, als sie der Reflexzeit entspricht; da die Innervation aber sehr genau nach Ablauf der Reflexzeit unterbrochen wird, so muß die Innervation reflektorisch unterhalten worden sein.

Dafür, daß nicht nur Spannungsänderungen, sondern auch Dauerspannungen als adäquater Reiz für die Reflexrezeptoren wirken können, ist in der physiologischen Ähnlichkeit dieser Organe mit den Rezeptoren des Kraftsinns (*v. Frey*) ein weiterer Hinweis gegeben. *Hoffmann*, der die Größe der Unterschiedsschwelle für die Reflexrezeptoren bestimmte, fand dieselbe von einer unerwarteten Feinheit zu $\frac{1}{100}$ des Grundreizes. Damit ist die Ähnlichkeit, wenn nicht Identität der Reflexrezeptoren mit den Sinnesorganen des Kraftsinns nahegelegt und damit die Eigentümlichkeit der ersteren verständlich gemacht, eine merkliche Adaptation, ebenso wie der Kraftsinn, nicht zu besitzen. Die Fähigkeit, beliebig lang andauernde Haltungen, d. h. gleiche Muskelspannungen gleich intensiv zu perzipieren und zu vermitteln, gehört also zur physiologischen Eigentümlichkeit der Reflexrezeptoren.

In diesem Zusammenhang möge auch erwähnt werden, daß die methodisch einwandfreien Arbeiten über den sogenannten Tonus des quergestreiften Skelettmuskels den tetanischen Erregungscharakter desselben nachweisen konnten und daß nach Unterbrechung der afferenten Bahnen der Tonus schwindet.

Versuchen wir die geschilderten Ergebnisse über die Natur und Bedeutung der Eigenreflexe für das Verständnis der Ataxie zu nutzen, so finden wir eine große Zahl von Einzeldaten, die zum Bild der Ataxie gehören, unserem physiologischen Verständnis viel näher gebracht: Hypotonien der Muskulatur als häufiger Ausdruck der Areflexie; ihre Bedeutung für die Entstehung des Schlottergelenks und der hieraus ableitbaren Gang- und Bewegungsstörungen überhaupt; die Unsicherheit im Gang sowie anderen Bewegungen des Tabikers u. a. als Folge der normalerweise vorhandenen, hier aber fehlenden reflektorischen Korrekturen. Grobe Willkürbewegungen sind — wenn auch in plumper Ausführung — möglich, je nach dem Maß der sonst noch zur Verfügung stehenden zentripetalen, für die Synergien bedeutungsvollen Erregungen: Druck-, Kraft-, Lichtsinn, vestibuläre Erregungen; beseitigt man diese oder läßt nur eine Art Erregung offen, so ist der Kranke völlig ataktisch und stürzt hin (*Rombergs* Phänomen). *Feinste* Bewegungen sind auch trotz dieser Hilfen nicht mehr möglich; ein areflektorischer Tabiker, der auf festem, rauhem Grund leidlich gehen kann, kann es nicht mehr auf frisch gewichstem Parkettboden. Hier sind eben jene differenzierten Korrekturen nötig, wie sie in der verlangten Schnelligkeit nur ein intakter Reflexapparat zu leisten imstande ist.

Daß bei reflexlosen Patienten die Haltung des Körpers wie der Gliedmaßen zwar möglich ist, daß sie aber nicht gleichmäßig und ruhig erfolgt und durch Schwankungen unterbrochen wird,

möchten wir unter anderem zurückführen ebenfalls auf den Ausfall einer der Haltung dienenden reflektorischen Komponente.

(Schluß folgt.)

Bemerkungen zum Bleistiftstrich.

Von Friedrich Rinne, Leipzig.

Im folgenden soll der Bleistiftstrich, jene fast banal anmutende Erscheinung des täglichen Lebens, auf Grund röntgenographischer Erfahrungen des Verfassers, zum Gegenstand einiger Erörterungen gemacht werden, die vielleicht von allgemeinerem naturwissenschaftlichen Interesse sind. Es wird sich dabei um die physikalisch-chemische Natur des Materials handeln und um die Mechanik des Strichführens¹⁾.

I. Das Material des Bleistiftstriches.

Ein jeder ist sich natürlich bewußt, daß man es im Bleistiftstrich durchaus nicht mit dem Abfärben von Blei zu tun hat, daß es sich vielmehr bei ihm um die Spur der gleitenden Bewegung eines mineralischen Gemisches handelt, welches im wesentlichen aus Graphit und Ton hergestellt wird. Die „Mine“, d. i. die schwarze „Seele“ des Bleistiftes, formt man in der Weise, daß die Mischung durch entsprechende Öffnungen im Boden eines Gefäßes gedrückt wird. Die entstehenden Stränge werden auf einer Unterlage mehr oder minder stark gegläht und gewinnen hierbei die für den Gebrauch nötige Festigkeit. Zudem kleidet man sie, wie bekannt, zumeist in eine Holzhülle.

So erhebt sich nun die Frage, was in dem auf diese Art hergestellten Bleistiftmaterial vorliegt.

Was den Graphit anlangt, so spricht der Praktiker zwar gelegentlich von den feinstzerteilten Sorten der Fabrikation als von „amorpher“ Substanz. Die röntgenographische Untersuchung mittels des Debye-Scherrer-Verfahrens oder mit Hilfe der Schieboldschen Schaukelmethode erweist indes die stets kristalline Natur des Graphits. Auch der Ruß, der in der Tat eine ganz außerordentlich feindisperse Materie vorstellt, ist immer kristallin²⁾.

Beim Glühen erfährt der Graphit keine Veränderung, so daß er als solcher einen Bestandteil des Bleistiftstriches ausmacht und an seinem cha-

rakteristischen Spektrogramm röntgenographisch leicht nachgewiesen werden kann.

Der Ton hingegen durchläuft beim Glühen der Mine beträchtliche Wandlungen seiner Natur. Gehen wir vom Kaolin $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ als besonders reiner Art aus, so bekundet die Röntgenstrahlung deutlich seine kristalline Natur, im Einklang mit der Untersuchung größerer Blättchen im polarisierten Lichte, das den Kaolin als optisch zweiachsig und monoklin erweist. Ein Erhitzen auf etwa 550° , also bis zum Anfang der Rotglut amorphisiert den Kaolin unter Abgabe von $2\text{H}_2\text{O}$. Röntgenogramme an solchem Metakaolin ließen die für kristalline Stoffe kennzeichnenden Interferenzkurven vermissen. Im Gemisch mit Graphit treten nur die Spektrallinien der letztgenannten Komponente heraus. Zunächst überraschend ist es, daß der in Rede stehende durch Glühen von Kaolin entstandene Metakaolin im Polarisationsmikroskop trotz seiner amorphen Art die Wirkung eines optisch einachsigen Kristalls mit negativer Doppelbrechung und einer Orientierung der optischen Achse senkrecht zur Ebene der Blättchen zeigt. Man wird den Effekt als O. Wienersehe Sekundärdoppelbrechung ansehen können, d. h. als Wirkung einer blattförmigen Mizellarstruktur eines an sich isotropen Materials.

Nach stärkerem Glühen, beispielsweise auf 1000°C , zeigt sich in der Masse des Metakaolins deutlich das leise Erwachen neuer, echter Kristallinität; es erscheinen im Röntgenogramm je nach der Glühdauer erst zart, dann kräftiger wieder Kristallinterferenzen. Sie würden in ihrer Mannigfaltigkeit der Linien einer Materialdeutung wohl sehr schwer zugänglich sein, hätte man nicht einen sicheren Anhalt an der vorliegenden chemischen Zusammensetzung $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ des Materials und am zugehörigen Zustandsdiagramm. Durch thermoanalytische Untersuchungen von Shepherd und Rankin ist ja bekannt, daß die Erstarrung einer Schmelze von SiO_2 und Al_2O_3 , in deren Konzentrationsreihe der Metakaolin mit 33% Molekelprozent Al_2O_3 und 66% SiO_2 gehört, im letztgenannten Falle Cristobalit bzw. Tridymit (beide SiO_2) und Sillimanit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) liefert. Hier handelt es sich um den Vorgang der Temperatursteigerung, also um den besonders interessanten Fall einer feinaubaulichen kristallinen Differenzierung fester Körper beim Erhitzen ohne Substanzverlust. In der Tat ließen sich die am stark geglähten Meta-

¹⁾ Dem Elektrophysikausschuß der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft bin ich für Mittel zu Dank verpflichtet, die auch der vorliegenden kleinen Studie zugute kamen; der Firma A. W. Faber in Stein bei Nürnberg danke ich für Materialproben.

²⁾ Nach Debye-Scherrer enthalten feinste Rußstäubchen nur etwa 30 Kohlenstoffatome. Das wären also weniger, als sich z. B. in einem einzelnen Molekül des Tribiphenylbenzols mit dem Wasserstoff und Sauerstoff vergesellschaftet haben, denn diese Substanz führt in jeder molekularen Einheit 42 Kohlenstoffatome.

kaolin erzielten Drehspektrogramme auf die Wirkung eines mechanischen Gemenges von Tridymit und Sillimanit zurückführen. Man überzeugt sich davon durch röntgenographische Einzelaufnahmen dieser Kristallarten; beide Spektren fanden sich im Diagramm vor.

Es hängt mithin davon ab, wie hoch das Gemenge Graphit und Kaolin erhitzt wird, welche Stoffe in der Bleistiftmine und damit im Bleistiftstrich vorliegen. Es sind möglich die Variationen Graphit—Kaolin; Graphit—Metakaolin; Graphit—Tridymit—Sillimanit; Graphit—Cristobalit—Sillimanit; Graphit—Kieselglas—Sillimanit und Übergangsglieder davon, gewiß eine bunte theoretische Mannigfaltigkeit von Vergesellschaftungen, aus denen sich die Praxis der Fabrikation die jeweils geeignetsten aussuchen kann. Noch bunter vermag sich der Wechsel im Material des Bleistiftstriches hinsichtlich Mengenverhältnis und auch Art der Bestandteile zu gestalten, wenn mit dem Graphit nicht Kaolin vermischt wird, sondern sog. Allophantone als Zusatz zum Graphit benutzt werden. Diese Tonarten sind nach Untersuchungen von *H. Stremme* und anderen Forschern Gemenge von wässrigen Gelen der Kieselsäure und des Aluminohydroxides. Bei Überschuß von Al_2O_3 über SiO_2 , der im übrigen auch durch Zusatz von Bauxit oder durch künstliche Mischungen von Kieselgel und Aluminohydroxyhydrat erzielt werden könnte, ist die Möglichkeit gegeben, daß sich bei starkem Brennen außer Sillimanit die kristalline Form des Aluminohydroxides bildet. In kräftig geglühten Proben ist sie als Korund im Röntgenogramm deutlich zu erkennen.

II. Härte, Farbe, Gefüge und das Haften des Bleistiftstriches.

1. Die allgemeine Mechanik des Bleistiftstriches ist natürlich von seiner oben erörterten physikalischen und chemischen Art abhängig. Graphit und Ton sind beide sehr weiche Stoffe, was auch in leptographischer Hinsicht von besonderem Interesse ist. Nach *Debye* und *Scherrer* bildet der Graphit Kohlenstoff-Sechseckringe in ebener Entwicklung von Netzebenen, die in paralleler Lagerung zueinander einen Abstand von $3,41 \cdot 10^{-8}$ cm haben, in sich indes sehr dicht gebaut sind, denn das Maß von C zu C in einem Sechseck beträgt nur $1,45 \cdot 10^{-8}$ cm.

Solch ein Gefüge erklärt recht gut die sehr ausgeprägte Zergliederungsmöglichkeit des Graphits in feinste Schuppen und seine große Weichheit. In entsprechender Weise sind nach meinen röntgenographischen Erfahrungen die Spaltebenen der Kaolinblättchen im feinbaulichen Sinne im Vergleich mit der Entfernung der Teilchen in dieser Netzebene weit voneinander entfernt. Die dem Abstände der Spaltebenen zugehörige „Röntgenperiode“ wurde zu $7,2 \cdot 10^{-8}$ cm gefunden, während es sich in der Ebene selber um weit kleinere Abstände von 1,2 bis $4,4 \cdot 10^{-8}$ Zentimeter handelt.

Im Gemisch von Graphit mit Kaolin hat sich also weich zu weich gesellt. Der für sich auf etwa 550° geglühte, zu Metakaolin gewordene Ton erfährt bei dieser Umwandlung eine wesentliche Härtung und inneren Zusammenhalt, was sich natürlich auch auf das vorher weiche und lockere Bleistiftgemenge überträgt. Im besonderen hart sind die bei etwaigem stärkeren Brennen entstehenden Mineralkörper Tridymit bzw. Cristobalit, Sillimanit oder gar Korund. Ihnen kommen in der Mohsschen Skala die Härten 7 bzw. 6—7 und 9 zu. Die Strichfarbe des Gemenges hängt naturgemäß vom Mengenverhältnis des schwarzen Graphits zu Ton, bzw. dessen Umwandlungsprodukten, die wie Kaolin selber hell sind, gleichwie von etwaigen färbenden Beimischungen ab.

2. Beim Gebrauch des Bleistiftes kommt es zunächst auf ein Abscheren von Teilchen am Stifteende an, was bekanntermaßen und leicht erklärlicherweise nicht auf völlig ebenen Flächen, wie Spiegelglas und Glanzpapier, wohl aber z. B. auf Mattglas und gewöhnlichem Papier zufolge der mikroskopischen Rauigkeiten ihrer Flächen vor sich geht. Bei der Strichführung wird auf das abgesprengte Material ein Druck ausgeübt, der in Ansehung der kleinen Druckfläche eine sehr beträchtliche Stärke, auf die Flächeneinheit bezogen, erreichen kann. Solch ein „Streß“ kann in Ansehung der Blättchengestalt des geschmeidigen Graphits nicht ohne Wirkung auf das feinere Gefüge des Striches sein; der einschlägige Effekt hebt sich, wie bekannt, beim Hin- und Herführen des Bleistiftes auf demselben Strichwege durch immer stärkeren Glanz heraus. Man wird von vornherein darin ein Parallelisieren der Graphitblättchen sehen; die röntgenographische Untersuchung am gepreßten oder gewalzten Graphit bestätigte mir das durchaus. Man erhält im Drehphotogramm ein ausgezeichnetes Hauptspektrum der Blättchenebene des Graphits zum Zeichen ihrer Zwangsstellung parallel zur Unterlage. Eine ausgeprägte mechanische Parallelisierung der Teilchen in gepreßtem Ton macht sich bei den röntgenographischen Aufnahmen nicht merklich.

Somit liegt im glänzenden Bleistiftstrich ein Parallelgefüge in sehr feinem Ausmaß vor, wie man es bei weitverbreiteten Gesteinen, den kristallinen Schiefern Gneis, Glimmerschiefer, Phyllit und anderen makroskopisch findet; sie standen gleichfalls unter dem Einfluß von Streß.

3. Schließlich sei noch ein Umstand des Bleistiftstriches berührt, der außer der stofflichen Art für seine Dauerhaftigkeit wesentlich ist: das innige Haften auf der Papierunterlage. Ein Wegblasen des Striches ist bekanntermaßen nicht möglich, und auch dem Abspülen mit reinem Wasser widersteht er in verhältnismäßig starkem Maße. Die geschmeidige Gefügeart des Graphits, der sich beim Drücken allen feinen Unebenheiten anpaßt und somit auch durch den Luftdruck angepreßt wird, muß dem günstig sein. Dazu mag

sehr wohl ein Adsorptionsverband kommen nach Art des Haftens von Gasen oder Flüssigkeitshäutchen auf Glas und anderen Stoffen, wie es von *Spring* für die Verknüpfung von Schmutz-

teilchen auf fester Unterlage erwiesen ist; ihr Zusammenhalt wird erst beim Eingehen der adsorbierten Teilchen in eine andere Verknüpfung, beim Waschen mit Seife, schnell gelöst.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Eine Elektrodynamik der Vorgänge in unserer Atmosphäre.

So manche Vorgänge in dem Luftozon sind bisher ohne eine ausreichende Erklärung geblieben und manche Zweifel können auftauchen, ob dynamische oder thermodynamische Vorgänge wirklich ihre letzte Ursache darstellen. Gerade Gewittererscheinungen lenken die Blicke aller Menschen auf elektrische Vorgänge in unseren Luftschichten. Gewisse Wolkenbildungen und ihre Auflösung, das Eintreten plötzlicher Niederschläge muß vor allem den Chemiker an bestimmte Erscheinungen erinnern, wie er sie bei kolloidalen Lösungen beobachten kann, wo die Elektrizität eine Hauptrolle spielt, indem von der Aufladung der kleinsten Teilchen die Beständigkeit der kolloidalen Lösungen abhängt. Die luftelektrischen Untersuchungen haben ergeben, daß die Elektrizität an das Vorhandensein von Gasionen und anderer Elektrizitätsträger gebunden ist, und daß ein Potentialgefälle im Normalfalle von etwa 100 V/m besteht; der Erde schreibt man eine negative Ladung zu. Der normale positive Leitungsstrom zur Erde und vor allem die sogenannten Störungen lassen darauf schließen, daß gewaltige Elektrizitätsmengen dauernd in der Luft vorhanden sein müssen, die bei bestimmter Lagerung zu einander, entweder in der Luft oder zur Erde bei Gewittern sichtbar in Erscheinung treten. Ungelöst ist die Frage, ob die in der Luft vorhandenen Elektrizitätsträger insgesamt allein irdischen Ursprungs sind, oder ob auch eine Zustrahlung oder Zuwanderung von negativen Elektrizitätsträgern in Frage kommt, wie es die letzten Forschungsarbeiten immer wahrscheinlicher machen. Eine Trennung von positiven und negativen Elektrizitätsträgern ist unter der Einwirkung des normalen luftelektrischen Feldes in einer aufwärtsgerichteten Luftbewegung möglich, so daß die Annahme nicht zu widerlegen ist, daß vor allem in äquatorialen Breiten diese Trennung in weitgehendem Maße erfolgt, so daß der Teil des Antipassates, der in Höhe des 30. Breitengrades den Passat bildet, zu einem überwiegenden Teil aus positiven Elektrizitätsträgern gebildet wird. Hingegen werden die vorwiegend negativen Luftströme durch die negative Erdladung abgestoßen werden und zu den Polen weiter wandern und dort als polare Luftmassen in den Polarbecken sich sammeln.

Die Tatsache, daß bei Störungen des normalen Potentialgefälles auch ein sehr häufiger Vorzeichenwechsel zu bemerken, und diese Störungen mit besonderen Witterungserscheinungen zusammen erfolgen, läßt die wohl berechtigte Frage auftauchen, ob nicht letzten Endes Einbrüche negativer Luftströme in die sonst normal positiv geladenen Luftschichten auch die Witterungserscheinungen verschiedenster Art verursachen. Und in der Tat lassen sich in weitgehendstem Maße bisher rätselhafte Witterungserscheinungen durch elektrodynamische Vorgänge leicht erklären, wie in ausführlicher Abhandlung gezeigt werden wird, sobald genügendes Zahlenmaterial zur Verfügung steht.

Die bisherigen luftelektrischen Messungen im Polar-

gebiet haben nicht mit voller Sicherheit normale luftelektrische Verhältnisse feststellen können, vielmehr in vielen Fällen ein Überwiegen der negativen Elektrizitätsträger; eine Erscheinung, die bisher allein auf lokale Ursachen zurückgeführt worden ist. Ich bin aber der Ansicht, daß die hier sich sammelnden Luftmassen als solche aus überwiegend negativen Elektrizitätsträgern bestehen. Bei einem Vorbrechen der polaren negativen Luftströme treffen diese auf die positiven Luftströme, die aus der äquatorialen Front stammen. Die entgegengesetzte Aufladung beider Luftströme führt zur Ausbildung der typischen Zyklonen, so daß die Bjerknesssche Zyklonentheorie in ein ganz anderes Licht rückt, indem das Entstehen nicht an das Vorhandensein verschieden temperierter Luftströme gebunden ist, sondern an das verschiedene Elektrizitätsträgerströme. Die sogenannte polare Front ist daher in erster Linie als eine „neutrale Zone“ zu betrachten. Auch andere „Kälteeinbrüche“ stellen jedesmal ein Eindringen negativer Luftströme dar, die zur Ausbildung z. B. von Gewittern oder der tropischen Wirbelstürme mit allen Folgeerscheinungen führen. Alle einzelnen beobachteten Witterungserscheinungen finden durch eine Elektrodynamik eine bessere Erklärung, da die Erscheinungen ihrem Wesen nach besser erläutert werden. Thermische Einflüsse spielen bei den elektrodynamischen Vorgängen unzweifelhaft eine gewisse Rolle, allerdings bei weitem nicht die bisher ihnen zugesprochene dominierende.

Es scheint mir unabweisbar, daß die Barometerschwankungen in erster Linie elektrodynamisch bedingt sind. Bei normalem Potentialgefälle besteht eine gewisse Elektrostriktion zwischen Luft und Erde, die eine Druckerhöhung bei erhöhtem Potentialgefälle vortäuschen kann. Bei dem Nahen der negativen Luftmassen einer Zyklone usw. findet eine Schwächung der Elektrostriktion statt, was in einem Nachlassen des Luftdruckes (und verringertem Potentialgefälle mit oft vollkommen gleichartigen Kurven der Registrierinstrumente) sich anzeigt. Vor allem findet auch die Gewitternase der Barographen so eine gute Erklärung. Auch die tägliche doppelte Barometerschwankung kann auf elektrodynamische Vorgänge ähnlicher Art zurückgeführt werden.

Es wäre sehr zu wünschen, wenn die Ergebnisse luftelektrischer Messungen in die Wetterkarten aufgenommen und die Orte gleichen Potentialgefälles durch „Isopotentialen“ verbunden würden. Auch den magnetischen Observatorien drängt sich erneut die Frage auf, ob nicht dennoch aus bestimmten Störungen in der Aufzeichnung der Variometer auf einen ersten Einbruch der negativen Luftmassen geschlossen werden kann, so daß die Wetterstationen möglichst rechtzeitig von der Bildung einer Zyklone unterrichtet sind. Auch auf die Sonnenatmosphäre wird sich eine Elektrodynamik leicht anwenden lassen und so zur Aufklärung der Vorgänge in ihr bei bestimmter Planetenkonstellation führen.

Berlin, den 18. Dezember 1923.

Fr. Kaftan.

Über polarisierte Resonanzfluoreszenz.

In dieser Zeitschrift sind bereits in zwei kurzen Mitteilungen (von W. Hanle, Bd. 11 S. 690 und von F. Weigert, Bd. 12, S. 38) die interessanten Woodschen Versuche über polarisierte Resonanzfluoreszenz unter Einwirkung magnetischer Felder behandelt und etwa mögliche Erklärungen für sie vorgeschlagen worden. Hanle ist dabei von der Voraussetzung ausgegangen, daß es sich im Grunde um einen bloßen Zeemaneffekt handelt, und konnte vom Standpunkt der klassischen Theorie prinzipiell Woods Beobachtungsergebnisse deuten; die Übertragung seiner Überlegungen auf die quantentheoretischen Methoden, nach dem bekannten Verfahren auszuführen, unterblieb aus Bequemlichkeitsgründen. Den quantitativ außerordentlich großen Unterschied zwischen dem Verhalten des Na- und Hg-Dampfes glaubte er durch die vermutlich größere Verunreinigung des ersteren erklären zu können. Andererseits haben kürzlich im Journ. of the Opt. Soc. of Am. (7, 4/5, 1923) die Herren Foote, Ruark und Mohler, anscheinend ohne Kenntnis der Woodschen Experi-

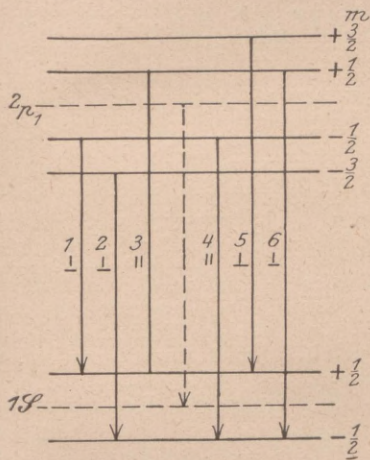


Fig. 1. Zeeman-Schema der D_2 -Linie.

mente oder doch ohne jede Bezugnahme darauf rein theoretisch aus der Sommerfeld-Landéschen Darstellung des Zeemaneffektes für die D_2 -Linie den zu erwartenden Polarisationszustand der D_2 -Resonanzstrahlung des Na-Dampfes in einem Magnetfeld bei Erregung durch polarisierte Primärstrahlung hergeleitet. Die Absorption bzw. Emission der D_2 -Linie entspricht bekanntlich dem Elektronenbahnübergang $1S-2p_1$; in einem (beliebig schwachen) Magnetfeld zerfällt die Grundbahn $1S$ in zwei Bahnen mit den „magnetischen Quantenzahlen“ $m = \pm \frac{1}{2}$, und analog die erregte Bahn $2p_1$ in vier Bahnen, für welche $m = \pm \frac{1}{2}$ und $\pm \frac{3}{2}$ wird; die Auswahlregel gestattet nur Übergänge, bei denen m unverändert bleibt (in der schematischen Zeichnung Fig. 1 also 3 und 4) oder um ± 1 springt (1, 2 und 5, 6 in der Figur); im ersten Fall ist die absorbierte bzw. emittierte Strahlung \parallel , im zweiten \perp zum Magnetfeld polarisiert, falls die Beobachtungsrichtung auf \mathcal{H} senkrecht steht. Bei ungeordneter Erregung erscheint in einem schwachen Magnetfeld, das nicht ausreicht, um für spektrale Beobachtung die Komponenten merklich zu trennen, die Gesamtstrahlung unpolarisiert, es sind also die Übergänge 3 und 4 im Mittel so häufig wie die anderen vier zusammen-

Ist in einem rechtwinkligen Koordinatensystem x die Richtung des erregenden Strahles, z die Richtung seines elektrischen Vektors und des Magnetfeldes und y die Beobachtungsrichtung, so werden die Atome, deren Leuchtelektronen sich entweder auf Bahnen $S(+\frac{1}{2})$ oder $S(-\frac{1}{2})$ befinden, nach der angegebenen Regel bei einem Absorptionsakt, da $E \parallel H$ ist, die Übergänge 3 und 4 ausführen können. Die erregten Atome werden sich also teils im Zustand $2p_1(+\frac{1}{2})$, teils in $2p_1(-\frac{1}{2})$ befinden; aus diesem können sie in die unerregten Bahnen auf den Wegen 1, 3, 4 und 6 zurückkehren, und da sie ihre Vor-

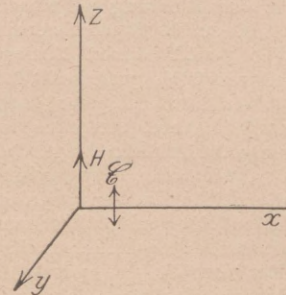


Fig. 2.

geschichte nicht unterscheiden, werden sie sich auf diese Wege in demselben Verhältnis verteilen, wie nach irgend einer anderen Art von Erregung, d. h. im reemittierten Licht wird neben der ursprünglichen Polarisationsrichtung $\parallel \mathcal{H}$ auch eine Komponente $\perp \mathcal{H}$ vorkommen; doch wird das Fluoreszenzlicht nicht vollkommen depolarisiert sein, weil die hierzu nötigen Übergänge 2 und 5 (ebenso wie die zugehörigen erregten Bahnen $2p_1(+\frac{3}{2})$ und $2p_1(-\frac{3}{2})$ fehlen. Legt man — in erster Annäherung — den vier Übergangsmöglichkeiten 1, 2, 5, 6 gleiches Gewicht bei (im unpolarisierten Licht je $\frac{1}{4}$ der Gesamtintensität entsprechend), so steht in dem hier betrachteten Falle die Intensität der Komponente $\parallel \mathcal{H}$ zu derjenigen der Komponente $\perp \mathcal{H}$ im Verhältnis 2 : 1, der Polarisationsgrad übersteigt nicht 33 %, was gut dem von Wood

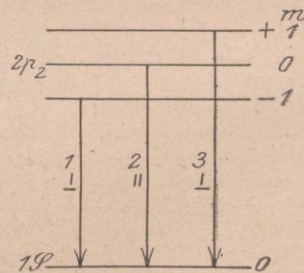


Fig. 3. Zeeman-Schema der Hg-Resonanzlinie.

am Na gemessenen maximalen Polarisationsgrad von 30 % entspricht. Auch alle anderen Beobachtungen Woods am Na-Dampf lassen sich so wiedergeben, worauf an anderer Stelle ausführlicher eingegangen werden soll. Ebenso sei der Einfluß der D_1 -Linie hier übergegangen¹⁾.

Sehr wichtig erscheint mir nun aber, daß man auf Grund dieser Auffassung das ganz andere Meßresultat am Hg-Dampf als notwendige Folgerung erhält. Das

1) Diese Linie dürfte nur 20 % der Gesamtintensität ausmachen und muß immer ganz unpolarisiert erscheinen.

Zeemanschema der Hg-Resonanzlinie $1S-2p_2$ ist nämlich von denjenigen der D-Linie sehr verschieden, wie aus Fig. 3 erschen werden kann. Die Grundbahn bleibt auch im Magnetfeld einfach ($m=0$), die erregte Bahn $2p_2$ ist dreifach ($m=0, \pm 1$), die möglichen Übergänge mit den zugehörigen Polarisationsrichtungen für den transversalen Zeemaneffekt sind in der Zeichnung eingetragen. Liegen hier wieder der elektrische Vektor \mathcal{E} und $\mathcal{H} \parallel z$, so kann bei der Absorption nur der Übergang 2 stattfinden, und aus der so erreichten erregten Bahn $2p_2(0)$ führt nach $1S$ wieder nur der gleiche Weg zurück; die Fluoreszenzstrahlung, in der Richtung y beobachtet, muß im ursprünglichen Sinne zu 100 % polarisiert bleiben. Tatsächlich hat Wood unter diesen Bedingungen einen Polarisationsgrad von 90 % gemessen (d. h. $\mathcal{E} \parallel 95\%$ und $\mathcal{E} \perp 5\%$), ein Resultat, das zunächst überraschend erscheinen konnte, besonders in Anbetracht der sehr geringen erforderlichen Magnetfelder.

Man sieht also, wie, wenn man den Grundgedanken Hanles beibehaltend ihn in der angedeuteten Weise weiterführt, man zu einer sehr vollkommenen Übereinstimmung mit den experimentellen Ergebnissen gelangen kann. Der von Weigert vorgeschlagene Erklärungsversuch dagegen dürfte — abgesehen von sonstigen Einwänden — schon darum zurückzuweisen sein, weil durchaus nicht zu verstehen ist, wie in einem verdünnten nicht ionisierten Gase die große Zahl freier Elektronen vorhanden sein soll, die seine Hypothese erfordert.

Berlin, den 21. Februar 1924.

Peter Pringsheim.

Der Normalzustand der Atome mit unvollständigen Untergruppen.

Die Herren v. Angerer und Joos (vgl. S. 140 dieser Zeitschrift) und unabhängig von ihnen Herr Grottrian (Sitzung des Gauvereins Niedersachsen der D. phys. Ges. in Braunschweig am 9. Februar 1924) haben durch neue Absorptionsmessungen im Anschluß an Multipletteinordnungen festgestellt, daß dem Grundzustand

des Eisenatoms ein d-Term entspricht, daß also das lockerste Elektron des Fe eine $3d$ -Bahn beschreibt (und nicht etwa eine $4s$ -Bahn). Dies auf den ersten Blick überraschende Resultat stimmt mit den Schlüssen überein, die Bohr und Coster aus den Röntgenspektren gezogen haben. Denn aus ihrer Fig. 3 (Zs. f. Physik 12, 362, 1923) geht deutlich hervor, daß vom Atom N 21 (Sc) bis zu N 28 (Ni) die $3d$ -Terme ein wenig kleiner als die $4s$ -Terme zu erwarten sind. Eine entsprechende Anomalie, nur wesentlich krasser, tritt bei den seltenen Erden auf, wo von N 58—68 die $4d$ -Terme etwas kleiner als die $5s$ -Terme sind und wesentlich kleiner als die $5p$ - und $5d$ -Terme. Für N 73—75 folgt das letztere unmittelbar aus der Größe der gemessenen N_{VII} - und O_I bzw. O_{II} -Niveaus, während Bohr-Coster diese Erscheinungen bei den niedrigeren Atomen aus den gemessenen Werten extrapoliert haben.

Man darf nun nicht etwa schließen, daß im normalen Fe-Atom nur $3d$ -Bahnen, und die $4s$ -Bahnen gar nicht vorhanden sind. Denn bei den Atomen 58—74 ist die Existenz der entsprechenden $5s$ - und $5p$ -Bahnen durch die Röntgenterme — O-Niveaus — zweifellos erwiesen. Ferner weiß man durch Bohr aus der quantenmäßigen Deutung der Spektren, daß das 19. Elektron in Sc^{++} (N 21) in einer $3d$ -Bahn gebunden wird, daß diese also fester als eine $4s$ -Bahn ist, während sie noch im Ca^+ (N 20) ein wenig lockerer als die $4s$ -Bahn ist; daher muß zwar im Fe^{++} bei der viel höheren Kernladung 26 die $4s$ -Bahn erst recht lockerer als die $3d$ -Bahn sein, im Fe-Atom jedoch können wohl $4s$ -Bahnen vorkommen, die durch ihr Eintauchen in den Atomrest die Bindungsfestigkeit der $3d$ -Bahnen verringern und selber fester als die $3d$ -Bahnen gebunden sein können (hierauf wies übrigens in der Diskussion in Braunschweig auch Herr W. Pauli jr. hin). Da das Fe höchstens dreifach geladene Ionen bildet, muß man ferner schließen, daß nach Abtrennung der zwei $4s$ - und eines $3d$ -Elektrons die übrigen 13 dreiquantigen Elektronen relativ fest gebunden sind.

Breslau, Februar 1924.

R. Ladenburg.

Botanische Mitteilungen.

Formen mit abweichender Chromosomenzahl bei Oenothera. Seitdem A. M. Lutz 1907 den Nachweis erbracht hat, daß *Oenothera gigas* sich von ihrer Ausgangsform *O. Lamarckiana* durch verdoppelten Chromosomensatz unterscheidet (28 statt 14), hat man der Frage nach den Chromosomenzahlen bei den *Oenotheren* immer steigende Aufmerksamkeit gewidmet. Lutz selbst und Stomps wiesen nach, daß es neben den Gigas auch Semigigasformen gibt, die morphologisch zwischen *O. Lamarckiana* und *O. Gigas* stehen; und tatsächlich treffen wir hier nun die mittlere Chromosomenzahl 21 an; darnach wäre *O. Lamarckiana* als diploid, *O. semigigas* als triploid und *O. gigas* als tetraploid zu bezeichnen. Man kann sich nun Gigas und semigigas derart entstanden denken, daß einzelne Keimzellen infolge einer Mutation keine Reduktionsteilung vollzogen und somit den doppelten Chromosomensatz der somatischen Zellen beibehielten. Traf eine derartige Keimzelle auf eine normale haploide (mit 7 Chr.), dann mußte eine triploide Semigigas zustandekommen, trafen dagegen zwei mutierte Gameten aufeinander, dann entstand eine tetraploide Gigas. Während nun die Gigasformen ihre vierfache Chromosomengarnitur

bei der Reduktionsteilung einfach in eine zweifache auseinanderlegen und infolgedessen wiederum diploide Keimzellen bilden, sind die Verhältnisse bei den Semigigasformen insofern erschwert, als hier eine ungerade Anzahl von Chromosomengarnituren (nämlich drei) vorhanden und infolgedessen eine Halbierung nach ganzen Sätzen unmöglich ist. Es war infolgedessen von besonderem Interesse, zu untersuchen, wie die Reduktion hier erfolgt und wie die Kreuzungen von Triploidformen mit Diploidformen auf der einen und Tetraploidformen auf der anderen Seite verlaufen. Versuche dieser Art sind von C. van Overeem angestellt worden (Beih. z. bot. Centralbl. 28, 1921). Die Ergebnisse waren folgende: Allenthalben machten sich in der F_1 -Generation sehr starke Schwankungen hinsichtlich der Chromosomenzahl bemerkbar, und zwar variierte sie bei der Kreuzung triploid \times diploid zwischen 14 und 21, bei triploid \times tetraploid zwischen 21 und 28 und bei triploid \times triploid zwischen 14 und 28. Diese Verhältnisse finden nun ihre Erklärung darin, daß bei der triploiden Semigigas eine unregelmäßige Reduktionsteilung stattfindet derart, daß zwei von den drei Chromosomensätzen paarweise ausein-

andertreten und sich die partnerlosen Chromosomen des dritten Satzes unregelmäßig auf die beiden Tochterkerne verteilen. So kommen Gameten mit den Chromosomenzahlen 7:14 (wenn der ganze dritte Satz nach dem einen Kern wandert), 8:13, 9:12 und 10:11 zustande. Beachtung verdient indessen, daß bloß bei den weiblichen Gameten die ganze Skala von 7—14 Chromosomen aufzutreten scheint, während bei den männlichen alle, die nicht 7 oder 14 Chromosomen enthalten, absterben. Es bleiben somit nur zwei Sorten von lebensfähigen Pollenkörnern übrig, die sich dadurch unterscheiden, daß die einen (die haploiden) dreieckig, die andern (die diploiden) viereckig sind. Prinzipiell wichtig ist nun, daß die Nachkommenschaft der geschilderten Kreuzungen auch morphologisch äußerst vielgestaltig ist, und daß den Schwankungen der Chromosomenzahlen offenbar auch solche des Habitus parallel gehen. Es traten eine Menge besonderer Typen auf, die mit schon früher von *de Vries* und anderen Forschern beschriebenen nicht nur morphologisch, sondern immer auch der Chromosomenzahl nach übereinstimmen (z. B. *O. lata* mit 15 Chromosomen u. a.). Das berechtigt zu dem Schluß, daß die ganze Formenmannigfaltigkeit bei den *Oenotheren* mit durch die verschiedenartige Zusammenwürflung der Chromosomensätze bedingt ist.

Heteroploide Varietäten bei *Hyacinthus orientalis*.

Wie Untersuchungen von *W. E. de Mol* (Arch. Néerl. Sc. exactes et nat. 1921) ergeben haben, unterscheiden sich die verschiedenen in Kultur befindlichen *Hyacinthensorten* in weitgehendem Maß durch die Chromosomenzahlen, und es ist sehr naheliegend, die große Variabilität von *Hyacinthus* auf die in der wechselnden Chromosomenzahl zum Ausdruck gelangenden genotypischen Differenzen zurückzuführen. Das Gros der Sorten (19 von 33) verfügt über 16 Chromosomen, 4 über 24 und bei je 5 liegt die Chromosomenzahl zwischen 16 und 24 bzw. zwischen 24 und 32. Die Tatsache, daß die Typen mit überzähligem Chromosomensatz fast ausschließlich jenen Sorten angehören, die nach 1850 in den Handel gekommen sind, deutet darauf hin, daß wir es hier mit Neubildungen zu tun haben. Danach wäre als normale diploide Chromosomenzahl 16 zu betrachten und die Sorten mit 24 Chromosomen als triploid. Diese Triploidie kann man sich in der Weise zustande gekommen denken, daß bei irgend einer Rasse einmal Individuen aufgetreten sind mit Gameten, bei denen durch Ausfall der Reduktionsteilung der diploide Zustand beibehalten wurde. Solche Gameten, gekreuzt mit normalen haploiden, müssen triploiden Formen das Leben geben. Daß dem tatsächlich so ist, findet in folgender Beobachtung eine kräftige Stütze. Die diploiden Chromosomensätze der 16zähligen Rassen weisen 4 kurze, 4 mittlere und 8 lange Chromosomen auf, die haploiden Chromosomensätze der Keimzellen entsprechend 2 kurze, 2 mittlere und 4 lange. Der Chromosomensatz der 24zähligen Rassen nun zeigt 6 kurze, 6 mittlere und 12 lange Chromosomen, entspricht also auch morphologisch der Summe von 3 haploiden Sätzen. Auffällig ist nun, daß diese triploiden Rassen mit konstanter Chromosomenzahl weiterzüchten. Bei der Reduktionsteilung wandern also offenbar je 12 Chromosomen dem einen, je 12 dem anderen Tochterkern zu, so daß alle Gameten die haploide Chromosomenzahl 12 erhalten. Das verdient deswegen Beachtung, weil unter normalen Verhältnissen bei der Reduktion stets nur die koordinierten Paarlänge des väterlichen und mütterlichen Chromosomensatzes auseinandertreten; bei triploiden Kernen nun

hat einer der 3 haploiden Chromosomenteilsätze keinen entsprechenden Partner; alle 8 Chromosomen müßten also ungepaart bleiben und sich dann eventuell unregelmäßig nach der einen oder der anderen Seite schlagen, so daß die regelmäßige Chromosomenzahl verloren ginge und wir Nachkommen mit sehr wechselnden Sätzen erhalten würden. Solche Verhältnisse sind bei anderen Gattungen (z. B. *Oenothera*) bekannt, und sie können auch zur Ableitung der Rassen, deren Chromosomenzahl zwischen 16 und 24 und zwischen 24 und 32 liegt, herangezogen werden. Die Norm ist aber bei den 24zähligen *Hyacinthenrassen* die Verteilung 12 a 12. Dies führt nun *de Mol* zu folgender Deutung: die Formen mit 16 Chromosomen sind gar nicht diploid, sondern tetraploid. Wir müssen uns am Ausgangspunkt Formen denken, die in ihren Geschlechtszellen 1 kurzes, 1 mittleres und 2 lange, in ihren vegetativen Zellen 2 kurze, 2 mittlere und 4 lange Chromosomen hatten. Nun traten, vielleicht infolge von Bastardierung, die ja bei *Hyacinthus* schon seit alter Zeit erfolgt und die häufig die Reduktion zum Ausfall bringt, Individuen mit diploiden Keimzellen auf. Trafen 2 solche aufeinander, dann resultierten tetraploide Individuen mit 16 Chromosomen (4 kurze, 4 mittlere und 8 lange), und von diesen leiten sich die 24zähligen, die also als hexaploid zu bezeichnen wären, durch weitere Verdopplung bei einer der beiden Keimzellen ab. Nun bereitet die Tatsache, daß die Verteilung der 24 Chromosomen regelmäßig erfolgt, keine Schwierigkeit mehr, denn es handelt sich ja nicht um 3, sondern um 6 Teilsätze, die sich leicht paarweise gruppieren können. Daß die hypothetisch geforderten Rassen mit 8 Chromosomen in den vegetativen Zellen nicht mehr existieren, bereitet für die Erklärung insofern keine Schwierigkeit, als auch gegenwärtig die 16chromosomigen Rassen von den 24chromosomigen verdrängt zu werden scheinen, eine Tatsache, die darauf zurückgeführt werden kann, daß mit der Chromosomenzahl die Kräftigkeit zunimmt und infolgedessen selektive Prozesse eingreifen. Man darf von derartigen Untersuchungen über die „Geschichte“ der Chromosomenzahl für die Zukunft wohl wichtige Aufschlüsse für das Verständnis der Rassenbildung erwarten.

Polyploidie und Geschlechterverteilung bei *Splachnum sphaericum*.

Die Moose weisen bekanntlich einen regelmäßigen Generationswechsel zwischen einem Geschlechtsorgane tragenden Gametophyten und einem sporentragenden Sporophyten auf, der auf dem Gametophyten aufsitzt. Der Gametophyt besitzt haploide, der Sporophyt diploide Chromosomenzahl, die Reduktion findet bei der Sporenbildung statt. Wie nun schon Versuche der Gebr. *Marchal* gezeigt haben, kann man experimentell diploide Gametophyten erhalten, wenn man den Sporophyten durch Zerstückelung unter Umgehung der Sporenbildung zur Produktion von jungen Moospflänzchen veranlaßt. Es entsteht zunächst diploides Protonema und aus diesem erheben sich diploide Moosräschen mit Geschlechtsorganen. Handelt es sich hierbei um diöcische Arten, dann schlägt dieser Charakter bei den erzwungenen diploiden Gametophyten in Monöcie um, da die Aufspaltung in männliches und weibliches Geschlecht normalerweise bei der Reduktionsteilung stattfindet. So verhält sich nach neueren Untersuchungen auch *Splachnum sphaericum*, ein dankbares Versuchsobjekt, mit dem *J. Schweizer* (Flora 116, 1922) die Marchalschen Befunde nach verschiedener Richtung hin bestätigen und erweitern konnte. Die diploiden Gametophyten zeichnen sich den haploiden

gegenüber durch erheblichere Größenmaße (Länge der Archegonien, Länge der Antheidien, Breite der Paraphysen usw.) aus, Verhältnisse, die mit der Kernplasmarelation in Beziehung stehen und in den „Gigasformen“ bei den Blütenpflanzen ihre Analoga finden. Neben diesen „normaldiploiden“ Formen treten in großer Anzahl „monströs-diploide“ auf, die sich durch eine Reihe qualitativer Merkmale von den haploiden unterscheiden (Doppelbildungen, Zerschlitzen des Blattrandes, Häufung der Archegonien usw.). Nach Ernst freilich (Viertelj. nat. Ges. Zür. 57, 1922) könnte es sich hier möglicherweise um Individuen handeln, bei denen die Chromosomenverhältnisse sekundär gestört sind, indem einige Chromosomen der doppelten Garnitur ausgefallen sind. Diese monströsen Formen sind vegetativ vermehrbar. Kreuzt man diploide Gametophyten mit haploiden, dann entstehen triploide Sporophyten, während diploide Gametophyten untereinander befruchtet tetraploide Sporophyten ergeben, ein Resultat, das den Gebr. Marchal bloß bei ursprünglich monöischen Moosarten geglikt ist. Von solchen tetraploiden Gametophyten gelangt man durch erneute Zerstückelung und Regeneration zu tetraploiden Gametophyten mit normalen Geschlechtsorganen. Es besteht also Aussicht, daß man, von ihnen ausgehend, oktoploide Sporophyten wird herstellen können. Bedeutungsvoll können diese Versuche werden, wenn es gelingt, durch Rückkreuzung mit den Ausgangsformen die Chromosomensätze mehr und mehr in Durcheinander zu bringen und gleichlaufend damit eine neue Formenmannigfaltigkeit zu erzielen.

Biologische Möglichkeiten zur Hebung des Ernteertrags. Unter dieser Überschrift berichtet M. Popoff (Biol. Centralbl. 43, 1923) über recht auffällige Versuche, bei denen es gelang, bei verschiedenen Cerealien (Hirse, Gerste, Roggen und Weizen) durch zwei- bis zehnstündige Behandlung der Früchte mit verdünnten Mg- und Mn-Lösungen verdoppelte Ernteerträge zu erzielen. Die Pflanzen zeichneten sich im Vergleich zu nichtbehandeltem Material durch üppig entwickeltes Wurzelsystem, Vergrößerung der assimilierenden Gesamtblattoberfläche und auch durch raschere Frucht reife aus. Überraschend sind diese Ergebnisse angesichts der schon längst bekannten stimulierenden Wirkung speziell von Magnesium nicht. So konnte ja schon Loeb durch Mg-Salze künstliche Entwicklung unbefruchteter Echinodermeneier erzielen. Zahlreiche weitere Daten verdanken wir Popoff selbst: Beschleunigung der Wundheilung beim Menschen, erzwungenes Frühtreiben bei Flieder und Roßkastanie (entsprechend den Versuchen von F. Weber), Förderung der Zellteilung beim Pantoffeltierchen, verfrühtes Ausschlüpfen enzystrierter Euglenen usw. Alle diese Erscheinungen können z. T. auch durch andere Stoffe (Äther, Superoxyd, Tannin usw.) ausgelöst werden, die bei großer Verschiedenheit der chemischen Konstitution das Gemeinsame haben, daß sie fördernd in den oxydativen Stoffwechsel eingreifen und somit wohl dahin wirken, daß die durch die toxische Wirkung der angereicherten Eiweißzerfallsstoffe gelähmten Zellen aus dem Depressionszustand erweckt werden. Popoff weist darauf hin, daß seine Versuche möglicherweise von größter Bedeutung für die landwirtschaftliche Praxis sein können.

Vorstufen und Ursachen der Adventivembryonie. In früheren Untersuchungen hat Haberlandt über Erfahrungen berichtet, die darauf hindeuten, daß die Bildung von Adventivembryonen im Embryosack bestimmter Blütenpflanzen durch „Nekrohormone“ aus-

gelöst wird, d. h. durch Hormone, die von absterbenden Zellen gebildet werden und sich durch Diffusion weiter verbreiten. Indessen wird nicht allenthalben das Endstadium des Embryo erreicht, vielmehr lassen sich, wie Haberlandt in einer andern Mitteilung zeigt (Sitzb. pr. Ak. Wiss. 1922), folgende Etappen aufstellen: 1. an den Embryosack grenzende Zellen teilen sich, ohne in den Embryosack vorzudringen (*Syringa vulgaris*); 2. die sich teilenden Zellen wuchern kallusartig in den Embryosack hinein (*Scopolia*); 3. es entstehen Kalluswucherungen und Adventivembryonen nebeneinander (*Nothoscordon*), und schließlich 4. alle Wucherungen können den Charakter von Adventivembryonen annehmen (*Funkia*). Wichtig ist nun, daß anatomisch überall in der Nachbarschaft der Gewebewucherungen absterbende Zellen nachgewiesen werden und alle die geschilderten Stadien auch durch künstliche Verletzungen erzeugt werden konnten. Auslösung von Kalluswucherungen durch Wundhormone ist auch außerhalb der Fruchtknotenregion eine verbreitete Erscheinung; daß diese Wucherungen im Embryosack im weiteren Verlauf häufig die Gestalt von Embryonen annehmen, führt Haberlandt auf den Einfluß von besonderen „embryobildenden“ Reizstoffen zurück. Während an der Wirksamkeit der Wundhormone nach allen bisherigen Erfahrungen kaum mehr gezweifelt werden kann, stellen die embryobildenden Reizstoffe vorläufig bloß eine Arbeitshypothese dar, deren Brauchbarkeit noch im einzelnen geprüft werden muß.

Zur Ätiologie der Thyllen. Es ist eine alte Beobachtungstatsache, daß die Gefäßröhren von Holzgewächsen in den inneren Jahresringen, die sich nicht mehr am Saftsteigen beteiligen, häufig durch Thyllen verstopft werden. Es sind dies sackartige Einstülpungen, die von den lebenden Parenchymzellen der Nachbarschaft ausgehen, durch die Tüpfel der Gefäßwände eindringen und zu einem so soliden Abschluß der Gefäße führen können, daß Wasser auch mit größerer Gewalt nicht mehr durchgepreßt werden kann. Solche Gefäßthyllen treten auch an den zurückbleibenden Blattstummeln beim herbstlichen Laubfall auf, ferner bei künstlichen Verwundungen des Holzkörpers, und die biologische Bedeutung der Einrichtung ist ohne weiteres klar: es wird ein solider Abschluß gebildet, der schädliche Wasserverluste verhindert. Ziemlich ungeklärt ist aber bisher die Ätiologie dieser Thyllen, man hat noch nicht die Entstehungsbedingungen so sehr einengen können, daß bis jetzt ein klares Bild über die wirksamen Momente hätte gezeichnet werden können. Nach neueren Versuchen von Klein (Zeitschr. f. Bot. 15, 1923) scheint einer der wesentlichsten Faktoren für das Zustandekommen zu sein, daß Luft in die Gefäße eindringt und somit die an die Gefäße angrenzenden Zellen mit Luft statt mit Flüssigkeit in Berührung stehen. Das geht aus Versuchen hervor, bei denen das Gefäßbindelsystem von Pflanzen (*Robinia*, Weinrebe, Epheu, Luftwurzeln von *Monstera*) verletzt, die Wundfläche aber sorgfältig abgedichtet wurde. Hier blieben Thyllen aus, entstanden aber, sobald der Verschuß gesprengt wurde, und zwar immer genau an den Stellen, die mit Luft in Berührung standen. Wurde bei Sprossen durch einen Teil des Querschnitts Luft, durch einen andern Wasser durchgesaugt, so entstanden Thyllen bloß auf dem Sektor der Schnittfläche, der mit dem Luftstrom in Berührung stand. Der Wundreiz als solcher genügt also noch nicht, um Thyllenbildung ins Leben zu rufen. Bei den Normalthyllen der unverletzten Stämme wäre anzunehmen, daß die gegen die inneren Jahresringe zu

fortschreitende Füllung der Gefäße mit Luft als auflösendes Agens wirkt, was dann zur Folge hat, daß die an der Wasserleitung nicht mehr beteiligten Gefäße von dem äußeren Gefäßnetz abgeriegelt werden.

Über experimentelle Erzielung von Verbänderung. Über die Entstehungsursache der so augenfälligen Verbänderungserscheinungen von Pflanzen (Fasziationen) ist noch wenig bekannt. Zum Teil ist diese Monstrosität wohl durch innere Faktoren bedingt, so in jenen Fällen, für die *de Vries* Erbllichkeit nachgewiesen hat. Für einen Fall gelang es nun *Rippel* (Angew. Bot. 4, 1922), Verbänderung experimentell hervorzurufen und zwar beim Löwenzahn. Er ging von der Beobachtungsfatsache aus, daß häufig solche Sprosse des Löwenzahns verbändert erscheinen, die aus Ritzen hervorstechen; das wies auf mechanische Druckverhältnisse hin. Tatsächlich ließ sich auch Verbänderung erzwingen dadurch, daß man die Versuchspflanzen nötigte, mit der Sproßspitze einen engen Spalt zu passieren. *Rippel* vermutet, daß es sich hier wohl nicht um einen Einzelfall handelt, sondern daß auch anderweitig Fasziationen durch Druckverhältnisse im Boden (beim Passieren von Trockenrissen u. dgl.) bedingt sind. Eine Erbllichkeit ist in solchen Fällen natürlich nicht zu erwarten, konnte auch beim Löwenzahn nicht festgestellt werden.

Die rheinischen Hieracien. In 2 vorhergehenden Mitteilungen (1921 und 1922) hat *K. Touton* die Gruppe der Piloselloiden aus dem Genus *Hieracium* (Habichtskraut) behandelt. Die nunmehr vorliegende dritte Mitteilung (Jahrb. d. Nassauisch. Ver. f. Naturk. 75, 1923) ist den *Enhieracien* gewidmet, und zwar den Formenkreisen *Hieracium pallidum*, *Hieracium praecox* und *H. murorum*. Wie Verf. einleitend bemerkt, wurde das Manuskript mit Rücksicht auf die inzwischen erschienene Monographie der Hieracien von *Zahn* (in *Englers Pflanzenreich*) der Einheitlichkeit halber gänzlich umgearbeitet. Nur hinsichtlich der Abgrenzung von *H. praecox* und *H. murorum* besteht eine größere Meinungsverschiedenheit zwischen den beiden Autoren, die auch zur Diskussion gelangt. Wie früher, so sind auch diesmal eine Reihe von neuen Formen aufgeführt.

Rassen- und Bakteroidenbildung bei Hemipterensymbionten. Fälle einer mehrfachen Symbiose, an der 3 oder gar 4 Partner teilnehmen, sind schon für verschiedene Tiergruppen festgestellt worden. So treten in gewissen Cölenteraten neben Zooxanthellen, die zu den Algen zählen, gleichzeitig Leuchtbakterien auf und bei Homopteren wurde eine Vergesellschaftung von Hefepilzen und Bakterien beobachtet. Manchmal gehören die Inquilinen derselben systematischen Gruppe an, wie dies bei den Leuchtorganen von Cephalopoden ermittelt wurde, wo drei deutlich gegeneinander ab-

grenzbare Bakteriensorten auftreten, von denen bloß die eine Leuchtvermögen aufweist. Dieser Art sind auch zahlreiche Bakteriensymbiosen, die bei Hemipteren (Schnabelkerfen) auftreten und besonders von *Buchner* (Biol. Centralbl. 42, 1922) näher untersucht wurden. So finden sich im Abdomen von *Ptyelus*, einer Cicadarie, zwei Sorten von Organismen, die an die Bakteroiden der Wurzelknöllchen der Leguminosen erinnern und daher ebenfalls als Involutionsformen von Bakterien betrachtet werden. Sie lassen sich nach bestimmten Charakteren (Färbbarkeit, Größe, Inhaltsstoffe) deutlich voneinander unterscheiden, wohnen in getrennten Bezirken und werden beide gesondert auf die Eier übertragen. Es handelt sich also um zwei unabhängige, in sich geschlossene Lebenszyklen. *Buchner* nimmt an, daß sie sich erst im tierischen Organismus von einer gemeinsamen Wurzel, einem typischen Bakterium, ausgehend gegeneinander differenziert haben. Dafür spricht die Tatsache, daß bei manchen Hemipteren nicht zweierlei Bakteroiden, sondern Bakterien und Bakteroiden auftreten, Fälle, an die sich solche anreihen, wo bloß ein Bakterium oder ein Bakteroid vorhanden ist. Das sind offenbar verschiedene Entwicklungsstadien. Durch eingehende Vergleichung sämtlicher beobachteten Hemipterensymbiosen gelangt *Buchner* zur Aufstellung folgender Entwicklungsreihe: „1. ein einheitlicher Bacillus, teils in einzelnen Mycotocyten (Orthezia), teils in einem Mycotom¹⁾ (Pseudococcus adonidum); 2. eine einheitliche Bakteroidenform in einem Mycotom (Coccinen, Menophlebium); 3. ein Bacillus + eine α -Bakteroidenform in gesonderten Mycotomen (*Tettigonia viridis*); 4. eine α - + eine β -Bakterienform in getrennten Mycotomen (*Ptyelus*, *Thomaspis*); 5. eine α - + eine β -Bakteroidenform in locker oder innig vereinigten Mycotomen (*Aphrophora*, *Psylliden*, *Cicaden*).“ Damit ist aber die Formenmannigfaltigkeit noch nicht erschöpft, vielmehr treten weitere Fälle hinzu, wo neben den Bakterien noch andersartige Organismen vorhanden sind, so führt *Buchner* noch an: „6. eine einheitliche Bakteroidenform in einem Mycotom + ein akzessorischer hefe-pilzartiger Symbiont im Fettgewebe (*Cicada orni*, *Macropsis*); 7. eine α - und β -Bakteroidmasse + ein akzessorischer azotobakterähnlicher Symbiont (*Aphalara*?).“ Welcher Art die gegenseitigen Leistungen der symbiotischen Partner sind, ist noch völlig ungeklärt. Hier liegt ein weites Feld für ernährungsphysiologische Untersuchungen offen, die zunächst mit der Einzelkultur beginnen müssen. Stark.

¹⁾ Mycotom (Pilzgewebe, richtiger wäre Bakterien-gewebe) ist die vom Wirt für den Symbionten bereitete Wohnstätte.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Aus *Nature* vom 2. Februar 1924. Den scheinbaren Zusammenhang von „Bradsot“ (braxy) und Schilddrüsenentzündung sucht *R. Bamber* theoretisch nachzuweisen. Bradsot rafft besonders in Schottland in den Wintermonaten zahlreiche Schafe hin. Bei der Obduktion findet man als einzigen Befund eine Bakterieneinwanderung ins Körperinnere einschließlich der Lungen. Die Verfasserin weist in Einzelheiten die Wahrscheinlichkeit nach, daß die Krankheit auf ein durch Jodmangel verursachtes Versagen der Schilddrüse zurückgeführt werden kann, hat diese Ansicht aber noch nicht experimentell zu stützen vermocht, weil im vergangenen Jahr auch

in den Kontrollherden die Krankheit nicht aufgetreten ist.

Das Gedeihen der Fischbrut hängt, wie *Allen* für Makrelen an der Südküste von England zeigte, von der Menge der als Nahrung dienenden Meeresalgen ab, und diese finden sich besonders reichlich nach einem sonnigen Frühjahr und, nach *Gran*, in solchen Jahren, in denen besonders große Süßwassermengen ins Meer geflossen sind. *Oskar Sund* hat in Bergen in Norwegen gefunden, daß dieser Zusammenhang für die Brut des Kabeljaus nicht besteht, sondern daß diese gerade nach den besonders schneearmen Wintern reichlich aufgetreten sind.

Zur Frage der **Maul- und Klauenseuche** meint *H. M. Woodcock*, daß die Ursache ein abnormes Ferment sei in der Art des d'Hérèlleschen lytischen Prinzips. Eine Übertragung des Virus sei nicht notwendig, es könne sich durch Stoffwechseländerungen im Boden und auf Weidepflanzen spontan entwickeln.

Über den **Stofftransport in der Pflanze**. Nach dem Vorbild von *Stephan Hales* läßt sich *Dixon* auch durch die modernen Ringelungsversuche nicht davon überzeugen, daß die Assimilate nur im Phloem des Stammes wandern. Aus der Bildungsgeschwindigkeit und der Größe einer Kartoffel und dem Querschnitt des Phloems am unterirdischen Stamm berechnet er, daß eine 10prozentige Zuckerlösung dauernd mit 50 cm Geschwindigkeit pro Stunde fließen muß. Diese Geschwindigkeit ist nie beobachtet worden, scheint auch nach dem Bau der Siebröhren nicht wahrscheinlich. *Dixons* Ansicht ist, daß der Transport in den weiteren Xylem-Gefäßen in verdünnten Lösungen sich vollzieht. (Phloem = Siebteil; Xylem = Holzteil.)

Gegen diese Ansicht sprechen Befunde von *Curtis* und von *Murphy*. *Curtis* hat in der Blutungsperiode unter anderem Stamnteile des Zuckerahorns über einer Ringelungsstelle entlaubt, und nur dann neues Wachstum beobachtet, wenn noch kleine Phloemteile erhalten geblieben waren. Auch zeigte er, daß aus dem Stamnteil zwischen zwei Ringelungsstellen die Stärke nicht verschwindet. — Während bisher die Blattrollkrankheit der Kartoffel als Virus-erregt angesehen wurde, findet *Murphy*, daß es eine direkte Folge allzureicher Stärkespeicherung im Blatt ist, und daß diese Erscheinung mit einer Zerstörung des Phloems Hand in Hand geht. Dadurch ist die Frage nach dem Stofftransport dahin beantwortet, daß der Weg nur durch das Xylem geht.

Aus *Nature* vom 26. Januar 1924. *Vegard* hat durch seine Röntgenaufnahmen von Mischkristallen die Theorie bestätigt, daß in den Alkalihalogeniden gleichartige Atome sich in einem gemeinsamen Gitter gegenseitig ersetzen können. In einem Brief, der von fünf Figuren begleitet ist, berichten *A. Westgren* und *G. Pagmén* über die **Struktur fester Lösungen**. Der von *Vegard* behandelte Fall gilt für viele feste Lösungen, aber nicht für alle vorkommenden Fälle, denn die Verf. geben Beispiele von zwei deutlichen Ausnahmen. Mit Hilfe einer Präzisionskamera fanden sie, daß Austenit mit einem größeren Kohlegehalt eine größere Gitterkonstante zeigte, als solcher mit weniger Kohle, obgleich Kohle ein kleineres Atomvolumen besitzt als Eisen. Ferner ließ sich die Dichte eines Manganstahles nur dann mit der gefundenen Gitterkonstanten in Einklang bringen, wenn man annahm, daß nur Eisen- und Manganatome das gemeinsame Gitter bilden, die Kohleatome dagegen irgendwie in diesem Gitter zerstreut sind. Beide Tatsachen lassen sich erklären, wenn man annimmt, daß einige Eisenatome durch Komplexe aus Eisen mit einem oder zwei Kohleatomen ersetzt sind.

Einen andern Fall stellen die Cu-Al-Legierungen zwischen 16 und 25 % Aluminiumgehalt vor. Hier hat man es zwar mit kubischen Kristallen zu tun, die aber ein sehr großes Elementarvolumen haben (49 bis 52 Atome im Elementarvolumen). Den richtigen Gang der Dichtewerte erhält man nur dann, wenn man annimmt, daß je drei Cu-Atome durch zwei Al-Atome ersetzbar

sind. Wie freilich bei dieser Art der Substitution die kubische Symmetrie erhalten bleiben kann, wissen die Verf. selbst nicht anzugeben.

Ein Beispiel für den *Vegardschen* Fall dagegen bildet die zwischen 61 und 70 % Zn-Gehalt stabile Phase der Zn-Cu-Legierungen; hier ist wiederum ein ungeheures Elementarvolumen vorhanden; da aber für die 62proz. Legierung die gleiche Atomanzahl im Elementarvolumen (52) gefunden wurde, wie für die 65proz., handelt es sich hier um eine Substitution von einem Atom Cu durch ein Atom Zn.

Eine **kontinuierliche Strahlung des Wasserstoffs** vom Blauvioletten bis ins Ultraviolette ist wohl bekannt. *Harvey B. Lemon* berichtet, daß er sie mit besonders großer Intensität in Entladungsröhren mit Oxydkathoden anregen und bis ins Gelbgrüne verfolgen konnte. Er beobachtete dicht vor dem als Kathode dienenden Heizdraht bei verhältnismäßig niederem Heizstrom die Balmerreihe; bei steigender Stromstärke trat das Viellinienspektrum auf, um bei noch höherer Heizung allmählich von der kontinuierlichen Strahlung völlig überdeckt zu werden. Diese kontinuierliche Strahlung scheint weder scharfe Grenzen zu haben, noch irgendeine Spur von Serien- oder Bandeneinteilung; auch scheint kein Zusammenhang mit dem Serienspektrum zu bestehen, wie etwa kontinuierliche Röntgenspektren ihn aufweisen.

Aus *Nature* vom 9. Februar 1924. In einem kurzen Brief berichtet *F. W. Aston*, daß er in letzter Zeit beim Arbeiten mit seinem Massenspektrographen viele Enttäuschungen erlebt hat. Das kommt nicht zum wenigsten daher, daß die zuerst untersuchten Elemente naturgemäß die einfacher zu handhabenden waren. Er hat daher seit seinem letzten Bericht an *Nature* (22. September 1923) nur das **Massenspektrum des Indiums** untersuchen können (Atomnummer 49, Atomgewicht 114,8). Er fand eine einzige Linie, die der ganzen Zahl 115 entspricht, und keinen Anhalt für das Vorhandensein eines leichteren Isotopen. Daher hält er Indium für ein einfaches Element mit dem Atomgewicht 115.

Aus *Nature* vom 16. Februar 1924. In *Nature* vom 8. September 1923 berichtet *Frank W. Bubb*, daß von geradlinig polarisiertem Röntgenlicht ausgelöste Photoelektronen in der Hauptsache in Richtung des elektrischen Vektors fortgeschleudert werden. Da nun durch die **Comptonschen Versuche** über Zerstreuung von Röntgenstrahlen die Nadelstrahltheorie sehr an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat, stellt Verf. sich die Frage, wie in diesem Falle der erwähnte Richtungseffekt zu deuten sei, da doch der elektrische Vektor ein spezifisch klassischer Begriff ist. Er kommt zu dem Schluß, daß ein solches korpuskulares Lichtenergiequant nicht einfach eine skalare Energiegröße darstellt, sondern eine Vektoreigenschaft besitzt, derart, daß beim Übertragen der Energie auf ein Elektron das Quant sozusagen senkrecht zu seiner Bahn und in einer bestimmten Ebene explodiert. Auf den Fall, daß ein zweites Elektron den Rückstoß empfängt, scheinen Nebelaufnahmen von *C. T. R. Wilson* zu deuten, auf denen Bahnen ähnlicher Reichweite und entgegengesetzter Richtung fast am gleichen Punkt beginnen, und zwar so, daß die Verbindung ihrer Anfangspunkte fast senkrecht auf dem primären Röntgenstrahl steht.

v. Ranke. v. Simson.