

Theorie der Meristembildung.

Von Friedl Weber, Graz.

Der Organismus der höheren Pflanze ist ausgezeichnet durch den dauernden Besitz embryonaler Gewebe; manche von ihnen sind ständig in Tätigkeit und gestalten so das Individuum zu einem nie ausgewachsenen, offenen System. Am Scheitel jedes Sprosses, an der Spitze jeder Wurzel befinden sich solche embryonale Herde; im Stamm sind Zellzüge in zwei Hohlzylindern angeordnet, die im Querschnitt als Verdickungsring und Korkkambiumring erscheinen; ihre Funktion besteht darin, fortwährend neue Zellen zu bilden. Alle diese Gewebe, deren Elemente immer wieder in Teilung angetroffen werden, bezeichnet die Pflanzenanatomie als Teilungsgewebe oder *Meristeme*.

Die Tätigkeit solcher meristematischer Zonen birgt vor allem das bisher wenig beachtete eine Rätsel in sich: Warum hören diese „Bildungsgewebe“ nie auf, neue Gewebe zu bilden, warum verlassen sie selbst nie den embryonalen Zustand?

Das ist die eine Seite des Problems, die andere liegt noch offener zutage. Im Aufbau der Pflanze und seinen Veränderungen kommt es nicht selten vor, daß typische Meristeme sekundär entstehen, sich Neubilden aus bereits völlig differenziertem Dauergewebe. Im normalen Entwicklungsverlaufe entsteht ein solches Folge-meristem z. B. bei der Bildung des oben genannten Korkkambiums; im abnormen Entwicklungsgeschehen wird Meristemneubildung ausgelöst bei Verletzungen, wo es zur Erzeugung von Wundkork kommt, oder bei regenerativen Prozessen¹⁾. Auch das Problem der Ätiologie der Tumoren, überhaupt alle Fälle der Erregung von Zellteilungen und des durch Zellproliferation bedingten Wachstums sind dem hier sich aufrollenden Fragenkomplex zuzurechnen. Alle diese Erscheinungen kausal befriedigend zu erklären, ist bisher nicht gelungen.

Pearsall und *Priestley* (1923) haben in einer jüngst erschienenen Arbeit eine für obige Fragen bedeutsame Hypothese entwickelt; bevor wir darauf eingehen, ist zunächst über bisherige Erklärungsversuche zu berichten.

Der kausalen Erklärung am ehesten zugänglich schien von jeher das Phänomen der *Wundkorkbildung* zu sein. *Wiesner* (1892) dürfte der

¹⁾ Wie bei dem oft erwähnten Falle des abgeschnittenen Begoniablattes, wo aus vollkommen ausgebildeten Epidermiszellen durch „Furchungsteilung“ ein embryonaler Herd sich entwickelt oder bei dem analogen Falle der Blattstecklinge von *Foenia asiatica* (*Winkler* 1903, Ber. D. botan. Ges. 21).

erste gewesen sein, der klar die Frage aufwarf: „Welche Umstände bewirken die Umwandlung der Vegetationszellen in Vermehrungszellen?“ „Durchschneidet man ein Organ, so sieht man nach einiger Zeit die angeschnittenen Zellen verschwinden, noch bevor die Neubildung begonnen hat... Es tritt eine Resorption der verletzten Zellen ein, und es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Produkte dieser Zellen in den Stoffwechsel der überlebenden Gewebe eintreten... Diese Tatsache erweckt den Gedanken, die aus den verletzten Zellen hervorgehenden, in die benachbarten überlebenden Gewebe übertretenden Stoffe als die Ursache der Umwandlung der Dauerzellen in die Folgerestemzellen zu betrachten.“ Erst nach fast 30 Jahren ist es *Haberlandt* geglückt, dafür den experimentellen Nachweis zu erbringen.

Haberlandt (1922) ging bei seinen Experimenten von folgender Voraussetzung aus: „Wenn auf Wundflächen gewisse Zersetzungsprodukte der getöteten und verletzten Zellen als teilungsauslösende „Wundhormone“ fungieren, so muß es gelingen, durch ausgiebiges Abspülen frisch hergestellter Schnittflächen die Plasmareste der verletzten Zellen mehr oder minder vollständig zu entfernen und so durch Einschränkung oder Verhinderung der Hormonbildung die Zellteilungen unter der Wundfläche der Zahl nach zu verringern.“ Versuche mit Scheiben von Kohlrabiknollen haben diese Annahme bestätigt. „Unter den abgespülten Wundflächen traten die Zellteilungen bedeutend spärlicher auf als unter den nicht abgespülten. Wurden aber die abgespülten Wundflächen mit einer dünnen Schicht von Gewebepulver überzogen, so fanden darunter meist ebenso zahlreiche, zuweilen sogar noch reichlichere Zellteilungen statt als unter den nicht abgespülten Flächen.“

Haberlandts Lehre von den Wundhormonen als Erreger von Zellteilungen hat besonders deshalb ziemlich allgemein Anerkennung gefunden, weil sie es ermöglicht, ganz heterogene Fälle von Entwicklungsanregung von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus kausalem Verständnis zuzuführen. *Haberlandt* selbst (1921/22) hat Beispiele für die Reichweite seiner Hypothese zusammengestellt. Er will außer der Wundkorkbildung als Wund- bzw. Nekrohormonwirkung u. a. verstanden wissen; künstliche und natürliche Parthenogenese, Nucellarembryonie, ja, die normale Befruchtung selbst, und glaubt, daß auch

das Problem der Geschwulstbildung und der Gallenbildung durch seine Theorie gefördert werden wird. Auf ein anderes mögliches Wirkungsfeld der Wundhormone hat *Weber* (1922) hingewiesen; er nimmt an, die Abkürzung der Ruheperiode der Winterknospen beruhe darauf, daß durch viele der mannigfaltigen Frühtreibmethoden, wie Anstechen, Quetschen, Warmbad, chemische Bäder, Röntgenbestrahlung usw., innerhalb der Knospen (physiologische) Wunden entstehen und so auf dem Wege der daraufhin erfolgenden Wundhormonbildung die Entwicklung angeregt werde²⁾. Auch das enorme Wachstum pflanzlicher „Crown-gall“-Tumoren nach Infektion mit *Bacterium tumefaciens* läßt sich vielleicht als Nekrohormonwirkung verstehen, da *Smith* (1922, Journ. Cancer Res. 7) auf die Möglichkeit hinweist, „that the bacteria act only after they are dead“. Selbst Tierphysiologen und Chirurgen stehen der Lehre von den Wundhormonen vielfach sympathisch gegenüber, doch warnt *Bier* (1923), dem neuen Prinzip allzu weite Berechtigung zuzuschreiben, und ebenso weist *Weber* (1924) darauf hin, daß die Wachstumsanregung nicht aller Frühtreibmethoden in diesem Sinne verstanden werden kann.

Manche Autoren lehnen die Beteiligung der Wundhormone bei Entwicklungsanregung und Auslösung von Zellteilung und Restitution überhaupt mehr oder weniger schroff ab. Hier wäre vor allem *Alex. Gurwitsch* (1923) zu nennen. In seiner das „kapitale Problem spezifischer biologischer Strahlungen zum erstenmal berührenden Arbeit“ sucht er den Nachweis zu erbringen, daß Induktion von Mitosen durch die Ausstrahlung eines Teilungsfaktors möglich ist. Es würde z. B. von der Spitze einer Zwiebelwurzel ein Strahlenbündel ausgehen, das dort, wo es auf einen anderen, in unmittelbarer Nähe herangebrachten Wurzelkörper trifft, Mitosen induziert. Tatsächlich ist der Versuch, Mitosen in einer Wurzelzone durch Ausstrahlung von einer anderen Wurzelspitze aus zu induzieren, im positiven Sinne ausgefallen. Die induzierende Spitze war der zu induzierenden Wurzel auf 1,5 bis 2 mm genähert. Die Versuchsreihen haben überzeugenden Charakter; doch ist das Ergebnis so absolut neuartig, daß es sich in den Rahmen unserer bisherigen Erkenntnis heute noch kaum einfügen läßt. Auch bliebe ja weiter zu erklären, warum einzelne Zellen auf diesen „oscillatorischen“ Teilungsreiz ansprechen, andere aber nicht.

Voß (1923) sieht in der Tatsache, daß sich die Eier des Frosches (*Rana fusca*) nicht nur durch Einstich (traumatische Parthenogenese *Bataillons*), sondern ebenso ohne irgendeine Verletzung lediglich durch mechanische Einwirkung

(Schläge) zur Entwicklung anregen lassen, einen Beweis gegen die Haberlandsche Auffassung, denn von einem Trauma mit Entstehung von Wundhormonen könne hier nicht die Rede sein. (Vgl. die Diskussion: *Haberlandt, Levy, Voß* in dieser Frage. Klinische Wochenschrift 1923, 2, 547.)

Zimmermann (1923) weist darauf hin, daß bei der Meeresalge *Sphaerularia fusca* nach Verwundung zunächst eine Verzögerung der Kernteilung — ganz entgegen der Haberlandschen Vorstellung — sich einstellt und meint, eine Störung des Stofftransportes von Zelle zu Zelle löse den Restitutionsprozeß aus. Zu ähnlicher Auffassung ist *Schilling* (1923) gekommen. Er experimentierte mit *Linum*- und *Cannabis*-Pflanzen. Stengel derselben wurden mit der Hand umgknickt, so daß der obere Teil erdwärts herunterhängt. Darauf reagieren die Pflanzen damit, daß an den Knickstellen starke Verdickungen auftreten, die den Stengeldurchmesser auf das Doppelte anschwellen lassen. Diese Gewebewucherungen sind zum Teil hyperplastischer Art, entstanden durch neu sich einstellende Zellteilung; selbst verholzte, also hochgradig differenzierte Zellen gehen neue Teilungen ein, nachdem sie zunächst einen „Entholzungsprozeß“ durchmachen. Welche Faktoren lösen hier die Zellteilung aus? *Schilling* ist der Ansicht, daß Wundhormone keine wesentliche Rolle spielen. Dazu führt er u. a. an: Bei Flachsstengeln, die geknickt und dann sofort künstlich wieder in Normallage zurückgebracht werden, treten nur schwache oder gar keine Wucherungen auf; und doch müssen hier dieselben mechanischen Verletzungen erfolgt und Wundstoffe in gleicher Weise gebildet worden sein. Auch konnte *Schilling* früher zeigen, daß einfaches Bestreichen oder Überziehen von Stengeln mit Paraffin, ohne Zellen zu verletzen, genügt, um sehr lebhaftes Wachstum und Zellteilungen hervorzurufen. *Schilling* hat sich folgende Vorstellung gebildet: Die Verwundung ist von gesteigerter Atmung gefolgt, die vielleicht auch in abnormer Weise, intramolekular verläuft und zur Bildung und Häufung von organischen Säuren führt. Gleichzeitig wird infolge der Stengelknickung der Zufluß der Mineralsalze gehemmt, deren basische Bestandteile sonst die freien Säuren binden. Es ließe sich also leicht vorstellen, daß eine durch Korrelationsstörung erfolgende, lediglich quantitativ veränderte Bildung eines an sich normalen Stoffwechselproduktes als Wachstums- und Teilungsreiz wirken könnte.

Auch auf die mögliche Wirksamkeit *anomaler Nährstoffanhäufung* wurde verwiesen. Dagegen vertritt *Bier* (1923) folgende Auffassung: „Zellen, Gewebe, Organe fressen nicht, wenn sie nicht fressen wollen.“ Für die Ernährung ist genügendes Angebot von Nährstoffen nicht ausreichend; das Wichtigste ist der Anstoß zum Wachstum, der „nutritive Reiz“. Natürlich ist

²⁾ *Richter* (1922, Ber. D. botan. Ges. 40) hat sich auf Grund eigener Frühtreibversuche dieser Ansicht angeschlossen.

erhöhte Energie- und Nahrungszufuhr ein unerläßlicher „Unterhaltungsfaktor“ für gesteigerte Wachstumstätigkeit; nach Untersuchungen von *Simon* (1920) über die Beziehungen zwischen Stoffstauung und Neubildungsvorgängen scheint jedoch die Erreichung einer bestimmten Zuckerkonzentration direkt als Auslöschungsfaktor die abnorme Zellteilungstätigkeit einzuleiten. Dazu ist aber zu bemerken, daß hier eben der Zucker vielleicht nicht nur als Nährstoff wirkt, sondern gleichzeitig auch als Faktor, der im Sinne von *Handovsky* (1922, Kolloidzeitschr. 30) den Zustand des Plasmas ändert; auch *Giersberg* (1922) findet eine stark Protoplasma ent quellende Wirkung des Zuckers.

Besonders schwerwiegend ist es, daß auf der Basis der Wundhormontheorie die im natürlichen Entwicklungsverlaufe der Pflanze erfolgende Bildung von sekundären Meristemen nicht zu verstehen ist.

Eine befriedigende Theorie der Entstehung des Phellogens, dem die normale Bildung des Korkmantels mehrjähriger Stämme obliegt, ist bisher überhaupt nicht gegeben. Erst jetzt haben sich *Priestley* und *Woffenden* (1922) eine durch Experiment und Beobachtung gut gestützte Vorstellung über die „causal factors in cork formation“ gebildet. Auch die beiden Autoren gehen bei ihren Betrachtungen zunächst aus von der Bildung des Wundkorkees. Schon *Kny*, *Olufsen*, *Appel* haben beobachtet, wie an den Wundflächen, z. B. bei angeschnittenen Kartoffeln, eine braune lückenlose Schicht entsteht, indem die obersten, an der Schnittfläche gelegenen Zellen „verkorken“, d. h. in ihre Membran Suberin einlagern. Durch diese fettartige Substanz wird die Oberflächenschicht in hohem Grade wasserundurchlässig. Wichtig ist dabei folgendes: Diese Suberineinlagerung in die bereits vorhandenen Zellwände ist bei der Kartoffel schon 12 Stunden nach der Verletzung durchgeführt, und erst wesentlich später stellt sich in Zellagen unter dieser Suberinschicht die erste Teilung des Wundperiderms, also der Beginn der eigentlichen Wundkork-Meristembildung, ein. *Priestley* nimmt nun an: Zwischen dem Abschluß der Schnittfläche nach außen durch die primäre Suberineinlagerung und der darauffolgenden Meristemeubildung in den darunterliegenden Zellschichten besteht ein kausaler Zusammenhang. „In every case the essential antecedent to meristem formation is the blocking of the cut surface.“ Was kann zugunsten dieser Ansicht angeführt werden? Wird die primäre Verkorkung unter Wasser oder auf andere Weise verhindert, so unterbleibt auch die Meristembildung und andererseits kann durch Überziehen der Oberfläche mit Paraffin, wodurch man ohne Verkorkung einen Abschluß der Schnittfläche erzielt, Meristembildung ausgelöst werden. Der Verschuß der Oberfläche ist aber nicht der einzige kausale Faktor der Meristembildung; es muß nach *Priestley* noch ein weiterer hinzukommen:

„the accumulation of sap at the surface thus blocked“. Erst die Saftanhäufung im Gewebe unter der vor Wasserabgabe geschützten Oberfläche gibt den Anstoß zum Meristementstehen. Ist dies richtig, so müßten die Zellteilungen unterbleiben, wenn eine solche Saftanhäufung verhindert ist. Ein derartiger Fall findet sich realisiert in Stämmen mit Gefäßbündelscheiden (Endodermis), deren verkorkte Wände einen Saftdurchtritt aus dem Zentralzylinder heraus unterbinden. Auffallend ist ferner das Nichtvermögen zur Wundkorkbildung bei den Rindenzellen an Wurzeln; auch hier ist es naheliegend, anzunehmen, die „endodermal barrier“ verhindere die zur Meristembildung nötige Anhäufung des Saftes. Die beiden Kausalfaktoren sind nun — und dies ist gerade das Wertvolle dieser Theorie — Prinzipien, die sich zur Erklärung heranziehen lassen auch der normalen Bildung des Korkmeristems, wie sie sich im natürlichen Entwicklungsverlaufe gesetzmäßig einstellt. Im Wurzelkörper entsteht das Phellogen entweder tief innen innerhalb der Endodermis oder weit außen innerhalb der Exodermis; das ist bei verschiedenen Pflanzen verschieden für jede, aber charakteristisch bestimmt. Der erstere Fall ist nun gerade dann realisiert, wenn die Endodermis durchaus mit Suberinwänden versehen ist und so die Diffusion des Saftstromes aus dem von ihr umschlossenen Zentralzylinder heraus versperrt. Der zweite Fall tritt dann ein, wenn die Endodermis mit sogen. „Durchlaßzellen“ versehen ist, die dem Austritt des Saftstromes in die Rinde kein Hindernis bereiten. Auch die noch viel mannigfaltigeren Fälle der Phellogenbildung im Stamm finden in anscheinend recht ungewohnter Weise von denselben Gesichtspunkten aus ihre Erklärung.

Es fragt sich nun das: Ist und bleibt diese gut fundierte Theorie eine interne Angelegenheit eines engumschriebenen speziellen Kapitels der Pflanzenanatomie oder enthält sie Elemente, die eine weiterreichende Gültigkeit verbürgen? Zunächst ist von Interesse, daß *J. Loeb* (1923) bei seinen Studien über „Regenerationserscheinungen“ an *Bryophyllum* — also von einem ganz anderen Problem herkommend — über die Ursachen der Wachstumsanregung zu verwandten Vorstellungen kommt, denen er sogar wortgleichen Ausdruck verleiht; die Beschleunigung des Wachstums an den Sproßenden „coincides with a collection of sap on the extreme ends of the piece of stem“, die Saftansammlung aber ist „caused by the block of the sap“ an den Enden des Stengelstückes.

Priestley (1923) selbst hat seine Theorie der Meristembildung auf einer allgemein gültigen Basis aufgebaut: Wie ist die Umwandlung einer stark vakuolisierten plasmaarmen Dauerzelle in eine nicht oder nur schwach vakuolisierte plasmareiche Meristemzelle zu verstehen? Wie kommt es, daß dieser eigenartige Meristemzustand in der

Cambiumzone, im Phellogen dauernd erhalten bleibt, während in unmittelbarer Nachbarschaft der Prozeß der Umwandlung der Meristem- in die Dauerzelle unauffhaltsam fortschreitet. Das erste Anzeichen meristematischer Aktivität ist *Anhäufung von Protoplasma* in den vorher plasmaarmen Zellen. Dieses Phänomen erinnert an „the precipitation of a protein gel with loss of water“, es ist ein *kolloidchemisches Phänomen*. Es stellt sich dann ein, wenn pflanzliche Protoplasmaproteine sich dem *isoelektrischen Punkt* nähern oder ihn erreichen. Das Entstehen von Meristemen in bestimmten Zellzügen wird in Beziehung gebracht zum Bestehen eines *Gefälles der Wasserstoffionenkonzentration* in den betreffenden Gewebepartien. Der Holzteil des Stammes reagiert relativ stark sauer, $p_H = 3,4$ bis 5 , der Rindenteil ist das am stärksten alkalische Gewebe, $p_H = 7,8$; zwischen beiden befindet sich der meristematische Verdickungsring. Die Korkzellen außerhalb des Phellogens reagieren extrem sauer, $p_H = 3$, die Grundgewebszellen innerhalb dieser Meristemzone weisen eine Reaktion von $p_H = 5,5$ bis $6,5$ auf. Beide Züge von embryonalen sich teilenden Zellen liegen also in der Mitte eines nicht unbeträchtlich steilen Gefälles der H-Ionenkonzentration. Auf dem Wege dieses Gefälles, also wohl in einer ganz bestimmten Zellenzone, muß der isoelektrische Punkt der wichtigsten Eiweißkomponenten des Protoplasmas realisiert sein; er wurde tatsächlich für spezielle Fälle mit $p_H =$ ungefähr $4,4$ gefunden.

Die *Bedeutung des isoelektrischen Punktes* für das Verhalten der Kolloide ist erst neustens wieder durch die Arbeiten *J. Loeb's* (1922) in den Vordergrund des Interesses gerückt worden. Im isoelektrischen Punkt sind verschiedene physikalische Eigenschaften der Proteine im Minimum, andere im Maximum; so ist die Quellbarkeit im Minimum, die Fällbarkeit im Maximum. „Wenn irgendwo längs des Gefälles der isoelektrische Punkt eines oder der hauptsächlichsten Zellproteine liegt, dann wird an dieser Stelle das Cytoplasma in bestimmtem Maße die Tendenz aufweisen, Wasser abzugeben an benachbarte Zellen zu beiden Seiten, die eine andere Wasserstoffionenkonzentration und daher größere Affinität für Wasser besitzen. Auf diese Weise ist die allmähliche Anhäufung einer dichten, nicht vakuolisierten Cytoplasmamasse in diesen Zellen zumindest denkbar. Weiterhin wird dann eine solche Tendenz zur Wasserabgabe Anstoß geben, eher zu synthetischen als zu hydrolytischen Prozessen. Die wichtigsten Stoffwechselforgänge in den Pflanzen sind in der einen Richtung Kondensationen, die mit Wasserabgabe verknüpft sind, und Hydrolysen in der anderen Richtung unter Wasseraufnahme... Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint die Ausscheidung von Wasser als wesentliche Bedingung der Synthese in pflanzlichen Meristemen. Das *Protoplasma*

der Meristeme muß stets relativ wasserarm bleiben, um dauernd synthetischen Stoffwechsel aufrechterhalten zu können; das ist möglich, wenn in der Meristemzone der Bestand des isoelektrischen Punktes gewährleistet bleibt.“

Diese Hypothese von *Pearsall* und *Priestley* ist in ihren Grundgedanken wertvoll, wenn sie auch in ihren Einzelheiten noch keineswegs gut fundiert erscheint. Es ist beachtenswert, daß in einer eben erschienenen Arbeit *Robbins* (1923), von ganz anderen Versuchsreihen ausgehend, ebenfalls zu der Überzeugung von der *eminenten Bedeutung des isoelektrischen Punktes der pflanzlichen Gewebe für Wasseraufnahme und Wachstum* gekommen ist. *Robbins* hat für die Kartoffelknolle die Lage des isoelektrischen Punktes in der Nähe von $p_H = 6,0$ festgestellt und gezeigt, daß tatsächlich die Wasseraufnahme des Kartoffelgewebes in diesem Bereiche am geringsten ist, dagegen zunimmt, je mehr man sich davon entfernt, sei es gegen die saure, sei es gegen die alkalische Seite.

Die weitreichende Bedeutung der Hypothese *Priestley's* wird deutlicher zutage treten, wenn seine Vorstellung eine noch *allgemeinere Fassung* erhält; sie läßt sich etwa in dieser Weise ausdrücken: *Für den meristematischen, teilungsfähigen Zustand einer Zelle ist eine bestimmte Wasserstoffionenkonzentration nötig*. Ob es sich dabei wirklich um den isoelektrischen Punkt eines Zellproteins handelt, und das damit verbundene Maximum der Entzettelung muß noch als recht fraglich bezeichnet werden; möglicherweise spielt gerade das *komplizierte Zusammenspiel der verschiedenen Proteine, von denen jedem ein eigener isoelektrischer Punkt zukommt*, die ausschlaggebende Rolle; alle Abstufungen des Quellungsgrades und der verschiedenen anderen physikalischen Eigenschaften können dadurch bei einer einzigen H-Ionenkonzentration an den verschiedenen Zellbausteinen gleichzeitig zur Auswirkung gelangen. Es hat ja insbesondere *Mac Dougal* (1919, *Science* 49) betont, daß die Hauptbestandteile pflanzlichen Protoplasmas, die Eiweiß- und die Kohlehydratkomponente „is affected in an opposite manner by hydrogen ions“.

Das aktiv embryonale Stadium einer Zelle ist gewiß an einen bestimmten Protoplasmazustand und dessen gesetzmäßige Veränderungen gebunden; demnach würden sich Stützen für die oben formulierte Hypothese ergeben, wenn der Nachweis erbracht ist: 1. daß *bei der Zellteilung kolloidchemische Zustandsänderungen des Protoplasmas erfolgen* und 2. daß *Änderungen in der H-Ionenkonzentration solche Zustandsänderungen bewirken können*. Der Kolloidzustand des lebenden Protoplasmas und seine Veränderungen ist heute noch keineswegs restlos faßbar; zahlreiche physikalische Konstanten sind *in vivo* noch gar nicht messender Bestimmung zugänglich. Eine glückliche Ausnahme bietet die *Viskosität* dar; verschiedene Methoden sind schon genügend

weit ausgearbeitet, um die Viskosität des lebenden Protoplasma zu schätzen, ja zu messen (Weber, 1924); und gerade die Viskosimetrie ist am besten geeignet, um inneren kolloiden Zustandsänderungen nachzuspüren. Viskositätsänderungen sind in den letzten Jahren als stete Begleiter der Zell- und Kernteilung bekannt geworden³⁾; verschiedene Forscher haben sie an ganz verschiedenen Objekten und mit verschiedenen Methoden festgestellt, und so ist heute keine andere Erscheinung der Zellteilungsphysik besser erforscht. Viskositätsunterschiede zwischen alten, von ihrem letzten Teilungsschritt weit entfernten Zellen einerseits und jungen, eben erst entstandenen embryonalen Zellen andererseits kommen oft auch im cytologischen Bilde zum Ausdruck. Es sei z. B. auf ein in dieser Hinsicht instruktives Bild verwiesen, das *Haberlandt* (1921, S. 35) von einer Pelargonium-Epidermis darstellt, in der nach mechanischer Reizung einzelne Dauerzellen erneut zur Teilung geschritten sind. Die normalen Epidermiszellen besitzen spindelförmige Zellkerne, diejenigen Zellen aber, welche eben erst ihre neue Teilung beendet haben, kugelförmig abgerundete. Überhaupt besitzen die Kerne in jungen embryonalen Zellen meist Kugelgestalt, in älteren Dauerzellen weichen sie nicht selten davon ab. Nach *Schwarz* (1892) hat auch *Němec* (1910) die Frage erörtert, ob die Kerne der meristematischen Zellen deshalb kugelige Gestalt annehmen, weil sie „mehr flüssig“ sind und so der Oberflächenspannung wenig Widerstand entgegenzusetzen. Von Interesse ist ferner in diesem Zusammenhang die Abkuglung der Amöben zur Zeit der Kernteilung. *Kühn* (1920) hat gefunden: Stets dann, wenn der Kern in das Anaphasenstadium tritt, kugelt sich die Zelle ab. Es handelt sich jedenfalls um eine physikochemische Wirkung des Kernes auf das Plasma im Sinne einer Viskositätsverminderung und Erhöhung der Oberflächenspannung. Erst diese Herabsetzung der inneren Reibung ermöglicht die „Stemmwirkung“ der Kernfigur, die ihrerseits wieder nur durch Versteifung, also Viskositätszunahme der Spindel, verständlich wird; überhaupt spielen hier, wie *Kühn* für *Valkampfia* in klassischer Weise gezeigt hat, bei der Kern- und Zellteilung komplizierte Beziehungen zwischen den verschiedenen Zellbestandteilen statt, die in einer wechselnden Quellung und Entquellung, Wasseraufnahme und -abgabe, Volumzunahme und -abnahme cytologischen Ausdruck finden.

Es steht also jedenfalls fest: *Viskositätsänderungen und durch diese verratene intime Zustandsänderungen der lebenden Substanz sind für das aktiv embryonale Stadium der Zelle ganz all-*

gemein charakteristisch. Es handelt sich dabei wohl keineswegs um zufällige Begleiterscheinungen. Wie wichtig der richtige, im Detail allerdings noch keineswegs erkannte Viskositätsgrad und dessen Wechsel für Einleitung und normalen Ablauf des Teilungsprozesses ist, scheint uns auch daraus hervorzugehen, daß wir heute fast für jeden *abnormen* Verlauf des Teilungsprozesses oder dessen Verhinderung *Viskositätsstörungen* zumindest wahrscheinlich machen können. *Abnormer Mitosenverlauf*⁴⁾ wird z. B. unter dem Einfluß extremer Temperaturen beobachtet; auch die Geschwindigkeit des Ablaufes wird von der Temperatur weitgehend beeinflusst (*Stalfelt*, 1921). Teilungsanomalien stellen sich auch bei narkotisierten Zellen ein. Da wir durch die Arbeiten von *Heilbrunn*, *Heilbrunn*, *Weber* (1922) wissen, daß Narkotika die Plasmaviskosität in reversibler Weise beeinflussen, so liegt es auch hier wieder nahe, anzunehmen, daß Störungen des normalen Viskositätswechsels durch die Narkose beim Zustandekommen der Anomalien beteiligt sind; in diesem Sinne sprechen besonders Versuche von *Němec* (1915) mit Pflanzenzellen und von *Heilbrunn* mit tierischen Eiern. *Heilbrunn* zeigte an Seeigeleiern, daß diejenige Anästhetikakonzentration, die Zellteilung verhindern, gerade die sind, welche eine deutliche Viskositätserniedrigung des Cytoplasmas bedingen. (Vgl. auch *Polowzow*, 1923.) Ebenso paßt die Hemmung der Zellteilung durch Röntgenstrahlen, die wenigstens *in vitro* auf Eiweißsole viskositätsverändernd wirken, gut in den Rahmen dieser Betrachtung⁵⁾. Hier ist von besonderer Bedeutung, daß sogar — nach *Koernicke* — der embryonale Charakter der Wurzelspitzenmeristeme gänzlich verlorengehen kann, indem die Zellen die Eigenschaften erwachsener Dauerzellen annehmen. Eine genaue Analyse dieses ziemlich singulären Falles⁶⁾ einer künstlichen Umwandlung embryonaler Zellen in Dauerzellen wäre auch in Hinsicht auf das Problem der Tumorenbekämpfung von Bedeutung. Schließlich sei noch die Auffassung *Levys* (1923) erwähnt, der die Entstehung mehrkerniger Zellen darauf zurückführt, daß die Verflüssigung des Cytoplasmas im Verhältnis zur durchgeführten Kernteilung verspätet eintritt.

Der zweite im obigen geforderte Nachweis, daß nämlich gerade *Änderungen der Wasserstoff-*

⁴⁾ Botanische Literatur darüber bei *Tischler* 1921/22, S. 254; vgl. auch *Hovasse*, Influence du froid sur les processus intimes de la Mitose. C. R. Soc. Biol. 1923, 88.

⁵⁾ Literatur bei *Alberti* und *Politzer*, über den Einfluß der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung. Arch. mikrosk. Anat. u. Entw. 1923, 100, und *Weber* 1923, Röntgenstrahlenwirkung und Protoplasma-viskosität. Pflügers Arch. 198.

⁶⁾ Eine ähnliche vorzeitige Umwandlung von Zellen der Meristemzone in vakuolenreiche der Streckungszone hat *Hartmann* (1919) durch hohe Temperaturen erzielt, doch können nach *Wassermann* (1921) Mitosen auch in „ad maximum vakuolisierten Zellen“ ablaufen.

³⁾ Literatur speziell über die Arbeiten von *Heilbrunn*, *Chambers*, *Seifriz* bei *Weber*: Die Viskosität des Protoplasmas. Naturwissenschaftl. Wochenschr. 1922, 21; siehe darüber ferner *Ödquist* 1922, Arch. Entw. Mech. 51 und *Hyman* 1923, Biolog. Bull. 45 und *Němec* 1889, Bot. Ctrbl. 77.

ionenkonzentration des Mediums Änderungen des Kolloidzustandes des Protoplasmas bedingen, kann heute ebenso unschwer erbracht werden. Von den zahlreichen Arbeiten, die da zu erwähnen wären, sollen nur einige der neuesten angeführt werden. *Addoms* (1923) hat an einem sehr günstigen Objekt, den Wurzelhaaren von Weizenkeimlingen, den Einfluß der Wasserstoffionen auf das Protoplasma verfolgt. Die Keimlinge wurden in verschiedenen Nährlösungen kultiviert und das Protoplasma bild der Haare bei Dunkelfeldbeleuchtung studiert. In einer Lösung von $p_H = 3,94$ ist das Protoplasma gleichmäßig über die Zelle verteilt und weist keinerlei Anzeichen von Gelbildung oder lokalen Zusammenballungen auf; bei $p_H = 3,85$ bis $3,68$ treten reichlicher Vakuolen auf, aber noch keinerlei Koagulationserscheinungen sind bemerkbar; in stärker saueren Lösungen stellen sich dann beträchtliche Änderungen ein; es beginnt die Gelbildung zunächst lokal, dann aber rasch über die ganze Zelle sich ausbreitend. An einem ebenfalls sehr günstigen Studienobjekt, an Pollenschläuchen, hatte schon früher *Lloyd* (1917) gesehen, wie das Protoplasma von Säuren und Alkalien in derselben Weise beeinflusst wird wie Gelatine und daß die bei gewissen Konzentrationen erfolgende Quellungszunahme offenbar beim Wachstum eine Rolle spielt. An Amöben, Paramäcien, Colpidien, Arbacia-Eiern, Spirogyren hat *Jacobs* 1922 den Einfluß der Kohlensäure auf die Konsistenz des Cytoplasmas geprüft. Kurze Einwirkung verursacht Abnahme, längere Zunahme der Viskosität; beide Wirkungen sind reversibel. Ebenso findet *Giersberg* (1922), daß Säuren und Alkalien vor allem HCl und NaOH auch noch in sehr geringen Mengen außerordentlich stark quellend auf das Plasma von Amöben wirken.

Es erübrigt sich nunmehr nur noch der Hinweis, wie nahe es liegt, auch gerade in Fällen, wo Zellteilung und Anregung dazu erfolgt, eine Änderung der Wasserstoffionenkonzentration des Milieus anzunehmen. Beginnen wir wieder mit der durch Verwundung ausgelösten Meristembildung. *Schilling* hat an die dabei modifizierte Atmung als auslösenden Faktor gedacht, und zwar sollen Säuren das vermittelnde Agens sein. Es steht überhaupt kaum etwas im Wege, in den „Wundhormonen“ einfach eine veränderte Konzentration der Wasserstoffionen zu erblicken; der Brei zerriebener Gewebe, vermischten sauren Zellsaftes mit alkalischem Plasma, den *Haberlandt* auf die Wundfläche aufträgt und der sich als besonders zellteilungsfördernd erweist, stellt gewiß für die mit ihm in Berührung kommenden intakten Zellen ein Milieu mit recht abnormaler p_H dar. Die Wundhormone sind im allgemeinen unspezifisch und das einzige Argument, das zu Gunsten ihrer komplexen eventuell enzymatischen Natur angeführt worden ist, nämlich der Verlust ihrer Wirksamkeit durch Erhitzen des Gewebestreifes, ist kein Beweis gegen obige Auffassung. Durch Kochen gehen nicht nur spezifische Wirkungsfähigkeiten von Enzymcharakter verloren,

sondern auch rein physikalische Eigenschaften, wie Oberflächenaktivität, und *Bauer* (1923) verspricht den Nachweis, daß die Wirkung der Wundhormone tatsächlich auf Oberflächenaktivität beruhe. *Haberlandt* hat bekanntlich, abgesehen von den eigentlichen Wundhormonen, auch Teilungshormone angenommen, die vom Rindenteil (Leptom) der Gefäßbündel gebildet werden. Es liegt eigentlich kein Grund vor anzunehmen, daß diese beiden in gleicher Weise wirkenden „Hormone“ verschiedener Natur seien. Wenn kleine Kartoffelfragmente nur dann Zellteilungen aufweisen, wenn sie Teile des Leptoms enthalten, so kann das im Sinne der Hypothese *Priestleys* seinen Grund darin haben, daß nur durch das alkalisch reagierende Leptom das nötige Gefälle der H-Ionenkonzentration gewährleistet wird.

Auf die zahlreichen Beobachtungen, die dafür sprechen, daß Säuren oder Basen als künstliche Parthenogenetica eine Rolle spielen, soll nicht näher eingegangen werden. Viele einschlägige Literatur hat *Spek* (1920) in seinen experimentellen Beiträgen zur Kolloidchemie der Zellteilung verarbeitet. Hier findet sich auch die wichtige Frage erörtert, wieso einerseits jede Zellteilung anscheinend automatisch eine weitere Zellteilung einleitet, andererseits aber doch wieder mit der Zeit der embryonale, teilungsfähige Zustand verlorengeht. Die erstere Tatsache hat *Haberlandt* zu der Annahme geführt, alle primären embryonalen Gewebe vermögen die Teilungshormone offenbar selbst zu erzeugen; *Spek* deutet sie in folgender Weise: Die Zellteilung wird eingeleitet durch eine Verquellung der Plasmakolloide; diese selbst ist wieder verursacht durch eine als Nebenprodukt der Nucleinsynthese entstehende, aus dem Kern in das Plasma übertretende Base; die besonderen dabei sich ereignenden Zustandsänderungen der Zelle steigern aber die Nucleinsynthese immer weiter, so daß die Wirkung wieder zur Ursache der ersten Ursache wird. Diese Darstellung wird durch den experimentellen Nachweis des „allelocatalytic effect“ bei der Kultur von Mikroorganismen nicht unwesentlich gestützt; auch *Robertson* (1922) nimmt nämlich an, daß während der Zellteilung bei der Auflösung der Kernmembran eine Substanz aus dem Kerne in das umgebende Medium übertritt, die den Anstoß zur nächsten Zellteilung gibt. Die andere Tatsache, nämlich daß dann doch einmal die Zellteilungen zum Stillstand kommen, der embryonale Charakter verlorengeht, stellt sich *Spek* in folgender Weise vor: die von vielen Autoren für die Zeit der Zellteilung nachgewiesene Permeabilitätssteigerung bringt eine Zunahme des Salzgehaltes der Zelle mit sich; die eindringenden Salze kompensieren die Wirkung der gebildeten Base, eine Erhöhung des Salzgehaltes über einen gewissen Grad sistiert so die Zellteilungen.

Tatsächlich ist die H-Ionenkonzentration für den Ablauf der Furchungsteilungen tierischer

Eier von besonderer Bedeutung⁷⁾. Bei p_H etwas unter 6 beginnen beim Seeigeli die Teilungen verlangsamt zu werden und bei weiterem Fallen von p_H nimmt die Teilungsgeschwindigkeit rasch ab und steht bei $p_H = 4$ ganz still. Der Wasserstoffexponent des Eiinneren dürfte 5 bis 6 betragen, und so nehmen Vlès und seine Mitarbeiter (1923) an, die Teilungen werden immer dann sistiert, wenn die Potentialdifferenz zwischen innerem und äußerem Medium bis zu einem bestimmten Wert herabgesetzt wird. Vielleicht ist die *in der Zelle selbst gebildete Kohlensäure* wichtig für das Zustandekommen des für den Ablauf der Mitose erforderlichen Plasmazustandes. Lyon hat schon 1904 an Echinodermen-Eiern gezeigt, wie die CO_2 -Produktion im Ei während der morphologischen Veränderungen der Mitose nicht gleichmäßig erfolgt, sondern ein Maximum erreicht zur Zeit, wenn das Cytoplasma sich aktiv teilt; und Jacobs (l. c.) sieht sich versucht, diese „auffallenden Änderungen der CO_2 -Produktion mit den ebenso auffallenden der Plasmaviskosität“ in Beziehung zu setzen. Auch Clowes (1923, Journ. biol. Chem. 55) findet die „velocity of segmentation is an inverse linear function of the concentration of CO_2 “, gibt aber an, es bestehe dabei keine direkte Abhängigkeit von der Wasserstoffionenkonzentration.

Es spricht manches dafür, daß auch der *Rhythmus der Zellteilung und seine Regelung* (Kornfeld 1922) in gewisser Abhängigkeit von der Kohlensäurebildung steht. Bei vielen niederen grünen Pflanzen, z. B. bei Spirogyra, gehen Zellteilungen nur in der Nacht, niemals bei Tageslicht vor sich; man hat sich bisher eigentlich damit begnügt, diese Tatsache final zu erklären. Nun wurde 1922 von Lapique berichtet, wie starke Schwankungen die Wasserstoffionenkonzentration des Kulturwassers, in dem sich Spirogyren befinden, im Licht und im Dunkeln aufweist einfach als Folge des Antagonismus von säurebildender Atmung und säurebindender Assimilation. Solche Schwankungen gehen vor sich „dans des conditions, qui sont souvent celles de la nature“.

„Das Vermögen, das Zellwachstum zu kontrollieren, beinhaltet das Problem des Krebses“ (Starling 1923). Man geht in neuester Zeit endlich daran, auch Entstehung und *Geheimnis der Tumorzelle* mit physikalisch-chemischen Methoden zu studieren. Rhoda Erdmann (1923) ist die wichtige Feststellung gelungen: die Tumorzelle bleibt Tumorzelle nur, solange sie in Tumorphasma gezüchtet ist, geschieht dies nicht, so wird sie eine Zelle, die sich der normalen Metazoenzelle nähert. Das beweist die Bedeutung des Milieus. Es ist bekannt, daß das Blut von

Krebskranken abnormale Wasserstoffionenkonzentration besitzt. Waterman (1923) hat dies jüngst wieder festgestellt und sich eine Vorstellung über die Bedeutung der Alkalinitätserhöhung gebildet. Da gerade die Krebszelle durch verschiedene Ionenwirkung in ihrer Konsistenz stark verändert wird (Roussy und Wolf 1922), so liegt es nahe, an abnormale Viskositätsverhältnisse des Protoplasmas zu denken. Natürlich ändert sich stets in abnormalem Medium neben der Viskosität noch eine ganze Reihe physikalischer Eigenschaften der Plasmakolloide. Jeder p_H -Umstellung entspricht ein bestimmtes Maß des osmotischen Druckes, der Leitfähigkeit, der Potentialdifferenz, der Quellungsfähigkeit, Viskosität, Oberflächenspannung. Es ist nicht berechtigt, die Abänderung einer Konstante, wie der Viskosität oder Oberflächenspannung, die wir gerade in der glücklichen Lage sind zu verfolgen, als den allein maßgebenden Faktor zu betrachten. In diesem Sinne sind auch die Ansichten von Bauer (1923) und Mainx (1923) zu verstehen, daß gerade Änderungen der Oberflächenspannung das wesentliche Agens bei der Zellteilung seien. Alle Faktoren wirken zusammen; gerade diese Komplexität der Erscheinung bedingt es, daß wir in der Analyse nur so langsam vorwärts schreiten und vielfach noch auf ganz unsicherem Boden stehen.

Diese Unsicherheit wird ganz besonders grell beleuchtet durch die Tatsache, daß der „Koagulationstheorie der Entwicklung“ eine „Quellungstheorie der Entwicklung“ entgegengestellt werden konnte⁸⁾. Spek (1920) hat schon Argumente dafür angeführt, daß die Vorstellung falsch wäre, „als schließe eine Theorie die andere absolut aus“. Wenn wir das spezielle Problem betrachten, von dem wir ausgegangen sind, das Problem der Meristembildung, so erscheint uns diese Zweiseitigkeit der Erklärungsrichtungen erst besonders verständlich: Meristemneubildung, Entdifferenzierung, *Rückkehr zum embryonalen Zustand kommt* — wenigstens im pflanzlichen Organismus — unbestreitbar vor. Allerdings eine direkte, plötzliche, unmittelbare Rückverwandlung einer differenzierten Dauerzelle in eine undifferenzierte omnipotente, embryonale Zelle scheint nicht möglich zu sein; immer ist zwischen dem alten differenzierten Ausgangsstadium und dem jüngsten Endstadium ein reichlicher Zellteilungsprozeß eingeschaltet, der mit Winkler (l. c.) als Furchungsprozeß bezeichnet werden kann; denn so wie bei der Furchung des tierischen Eies findet in allen solchen Fällen eine rasche Zellvermehrung, Zellfächerung ohne wesentliche Volumenzunahme oder erkennbares Wachstum statt. Linsbauer (1916) sieht das Wesen der *regressiven Entwicklung*, die zum Wiederembryonalwerden führt, in zunehmender Teilungsfähigkeit und gleichzeitiger Hemmung der Wachstumsprozesse, während

⁷⁾ Auch bei Gewebekulturen spielt die Wasserstoffzahl des Mediums eine nicht zu unterschätzende Rolle (Levi 1923, Riv. di Biol. 5) und die „Comparsa tumultuaria di divisioni mitotiche ed arresto delle medesime in coltura di tessuti“, die Levi (1922, R. Ac. Lincei 31) beschreibt, steht vielleicht damit in Zusammenhang.

⁸⁾ In Hinsicht auf die letztere vgl. neuestens auch Rubner 1923; Sitzb. preuß. Ak. Wiss. 24.

progressive Entwicklung, die zur Differenzierung führt, mit Zunahme des Wachstums, aber Abnahme der Teilungsgeschwindigkeit verknüpft ist. Pfeiffer (1923) hat sich dieser Ansicht vollkommen angeschlossen. *Zur Charakteristik des Urmeristems, des typisch embryonalen Gewebes gehört demnach, daß sich hier Wachstum und Teilung das Gleichgewicht halten (Rothert)*. Wachstum und Teilung stehen jedenfalls nicht in unmittelbarem Zusammenhange; diesen Schluß hat auch Jollos (1913, *Biolog. Ctrbl.* 33) gezogen und er meint, daß „Wachstumsfaktor“ und „Teilungsfaktor“ von der Umwelt in verschiedenem Maße beeinflusst werden. Gewiß wird auch der kolloide Zustand des Protoplasmas, der zum Wachstum führt, ein anderer sein als der, bei dem sich die Zellteilung abspielt. Der meristematische Zustand, der Zustand des Gleichgewichtes zwischen beiden Tendenzen wird nur dann sich einstellen, wenn auch die Außenbedingungen, welche diese beiden vielleicht antagonistischen Tendenzen begünstigen, sich irgendwie entsprechend ineinander arbeiten. Untersuchungen, wie diejenige von Freund (1923, *Ber. D. botan. Ges.*), dem es gelang, die Bedingungen des embryonalen meristischen und Streckungswachstums zu analysieren, sind für diese Frage von großer Wichtigkeit. Bei der Alge *Oedogonium* bringt das Fehlen der Nährsalze das meristische Wachstum zum Stillstand, eine höhere Konzentration derselben fördert dieses, verhindert dagegen das Streckungswachstum.

Wir haben die Hypothese von Priestley erörtert, welche annimmt, die Bedingungen für den aktiv embryonalen Zustand seien dann gegeben, wenn die Plasmaproteine sich im isoelektrischen Punkt befinden. Diese Hypothese könnte heute schon experimentell geprüft werden. Heilbrunn (1923) hat mit Hilfe der Präzipitationsmethode die elektrische Ladung des Protoplasmas bestimmt, Meier (1921) mit Hilfe der Migrationsmethode. Es hat sich gezeigt, daß die kataphoretische Verlagerung des Cytoplasmas gerade im Urmeristem am geringsten ist; dies würde mit der Hypothese von Priestley in guter Übereinstimmung stehen. Endler hat bereits 1912 „über eine Methode zur Bestimmung des isoelektrischen Punktes des Protoplasmas auf Grund der Beeinflussung des Durchtrittes von Farbstoffen durch

OH- und H-Ionen“ berichtet. Schließlich hat Robbins (1923) den isoelektrischen Punkt pflanzlicher Gewebe ermittelt, einerseits durch Feststellung des Minimumpunktes der Wasseraufnahme, andererseits durch Färbungsmethoden mit sauren Farbstoffen. Wenn diese Methoden zur Prüfung der Hypothese Priestleys über die Ursache der Meristembildung und Meristemtätigkeit herangezogen werden, so darf man hoffen, in diesen wichtigen Problemen bald klarer zu sehen.

Graz, 2. Januar 1924.

Literatur.

- Addoms, 1923, *Amer. Journ. Botany* 10.
 Bauer, 1923, *Ztschr. Krebsforsch.* 20.
 Bier, 1923, *Münch. med. Wochenschr.* 70.
 Endler, 1912, *Biochem. Ztschr.* 45.
 Erdmann, 1923, *Ztschr. Krebsforsch.* 20.
 Giersberg, 1922, *Arch. Entw. Mech.* 51.
 Gurwitsch, 1923, *Arch. mikrosk. Anat.* 100.
 Haberlandt, 1921, *Beitr. allg. Botanik* 2.
 —, 1922, *Biolog. Ctrbl.* 42.
 Hartmann, 1919, *Arch. Zellforsch.* 15.
 Heilbrunn, 1923, *Amer. Journ. Physiol.* 64.
 Jacobs, 1922, *Biol. Bull.* 41.
 Kornfeld, 1922, *Arch. Entw. Mech.* 50.
 Kühn, 1920, *Arch. Entw. Mech.* 46.
 Lapicque, 1923, *C. R. Soc. Biol.* 87.
 Levy, 1923, *Ztschr. Anat. u. Entw.* 68.
 Linsbauer, 1916, *Biol. Ctrbl.* 36.
 Lloyd, 1917, *Transact. R. Soc. Canada* 11.
 Loeb, 1922, *Proteins and the theory of colloidal behavior*, New York.
 — 1923, *Journ. Gen. Physiol.* 6.
 Maina, 1923, *Ber. Deutsch. botan. Ges.* 41.
 Meier, 1921, *Botanic. Gaz.* 72.
 Pearsall and Priestley, 1923, *New Phytologist* 22.
 Pfeiffer, 1923, *Biolog. Ctrbl.* 43.
 Polowzow, 1923, *Arch. Entw. Mech.* 98.
 Priestley and Woffenden, 1922, *New Phytologist* 21.
 Robbins, 1923, *Amer. Journ. Botany* 10.
 Robertson, 1922, *Journ. Physiol.* 56.
 Roussy et Wolf, 1922, *Arch. néerl. Physiol.* 7.
 Schilling, 1923, *Jahrb. wiss. Botanik* 62.
 Simon, 1923, *Ztschr. Botanik* 12.
 Spek, 1920, *Kolloidchem. Beihefte* 12.
 Stalfelt, 1921, *K. Svenska Vetensk. H.* 62.
 Tischler, 1921/22, *Allgem. Pflanzenkaryologie*, Berlin.
 Vlès, *Dragoju et Rose*, 1923, *C. R. Ac. Paris* 176.
 Voss, 1923, *Arch. Entw. Mech.* 52.
 Wassermann, 1921, *Anat. Anzeiger* 54.
 Waterman, 1923, *Bull. du Cancer* 12.
 Weber, 1924, *Methoden der Viskositätsbestimmung des lebenden Protoplasmas*. Abderhaldens Handb. biolog. Arbeitsmeth. XI, 2.
 — 1924, *Umschau* 28.
 Wiesner, 1892, *Elementarstruktur*, Wien.
 Zimmermann, 1923, *Ztschr. Botanik* 15.

Über den Feinbau tierischer Fibrillen¹⁾.

Von W. J. Schmidt, Bonn.

(Schluß)²⁾

d) Optische Unterlagen für den Feinbau der Fibrillen.

Bereits die linienartige Form der Fibrille kündigt als Ausdruck ihres anisodiametrischen Wachstums Ungleichwertigkeit ihrer verschiede-

nen Richtungen — Anisotropie — an; das gleiche bezeugen Spaltbarkeit und Quellung, und ähnliches

²⁾ 1. Allgemeines über den Feinbau des Tierkörpers.
 2. Über den Feinbau tierischer Fibrillen im besonderen.

a) Vorbemerkungen.

b) Genetische Unterlagen für den Feinbau der Fibrillen.

c) Morphologische Unterlagen für den Feinbau der Fibrillen.

¹⁾ Nach einem in der Niederrhein. Ges. f. Natur- und Heilkunde (Naturw. Abt.) Bonn am 12. Dez. 1923 gehaltenen Vortrag.

läßt sich, was hier nicht weiter ausgeführt, aus dem verschiedenen Widerstand gegen Druck und Zug in der Länge und Quere entnehmen. Diese Anisotropie, welche die beiden extremen Werte für alle Eigenschaften in der Längs- bzw. der Querrichtung der Fibrille darbietet, wird uns aus dem Feinbau der Fibrille verständlich. Er läßt es auch als nicht überraschend erscheinen, daß alle tierischen Fasern mit echt fibrillärem Bau sich gleichfalls gegenüber dem Licht anisotrop⁴⁾ verhalten, und zwar *positiv einachsig doppelbrechend* sind (wobei die optische Achse mit der Faserachse zusammenfällt), so daß also, wie nicht anders zu erwarten, das Verhalten der optischen Anisotropie mit jener der anderen Eigenschaften in innigem Zusammenhang steht.

Von den sehr verschiedenen Anschauungen über die Doppelbrechung der organisierten Substanzen haben sich nur zwei längere Zeit behaupten können: *Nägeli* sah in der Doppelbrechung eine unmittelbare Folge der Kristallinität der Micelle, die, gleichmäßig ausgerichtet, ihre Einzelwirkungen summierten; *v. Ebner* dagegen lehnte eine Eigendoppelbrechung der kleinsten Teilchen ab, nahm vielmehr an, daß in den Fasern gemäß ihrer Entstehung durch Zugkräfte (s. S. 273) die (an sich isotropen) Teilchen in verschiedenen Richtungen ungleiche Abstände einhielten, in der Faserlänge am weitesten voneinander entfernt seien, in der Quere sich am meisten näherten, so daß die Doppelbrechung nur durch eine *räumliche* Anisotropie des Feinbaues bedingt wäre.

Erst die neueren Untersuchungen von *H. Ambronn* haben in dieser Streitfrage die Entscheidung gebracht und gezeigt, daß in beiden Theorien ein wahrer Kern steckt: die Doppelbrechung der organisierten Substanzen setzt sich aus einer *Eigendoppelbrechung* der kristallinen Micelle (im folgenden kurz *Micellardoppelbrechung* genannt) und einer durch die räumliche Anisotropie des Micellargefüges bedingten sog. *Stäbchendoppelbrechung* zusammen.

O. Wiener hatte theoretisch gezeigt, daß ein System aus *isotropen*, im Vergleich zur Lichtwellenlänge kleinen, parallel gestellten Stäbchen sich wie ein *positiv* einachsiger Kristall (optische Achse parallel der Stäbchenachse) verhält, wenn die Zwischenmasse einen anderen (größeren oder kleineren) Brechungsindex wie die Stäbchen besitzt. *Ceteris paribus* geht die Stärke der Doppelbrechung der Differenz der Brechungsindices der beiden Anteile eines solchen Mischkörpers parallel; haben Stäbchen und Zwischenmasse gleiche Brechkraft, so wird das System *isotrop*. Durchtränkt man ein solches System aus isotropen Stäbchen mit Flüssigkeiten von steigendem Brechungsindex (wobei man mit solchen beginnt, deren Index kleiner ist als jener der Stäbchen), so läßt sich der Verlauf der Stäbchendoppelbrechung bequem an einer Kurve (*S*) überblicken, die man in folgender Weise erhält (Fig. 3): man mar-

kiert auf der Horizontalen, nach rechts steigend, die Brechungsindices (*n*) der benutzten Imbibitionsflüssigkeiten als Abszissen, trägt die Stärke der Doppelbrechung des Systems bei der jeweiligen Flüssigkeit auf der ihrem Index zugehörigen Ordinate ab und verbindet dann die Endpunkte der Ordinaten; auf den Charakter der Doppelbrechung wird in der Weise Rücksicht genommen, daß positive Doppelbrechung oberhalb (+*d*), negative

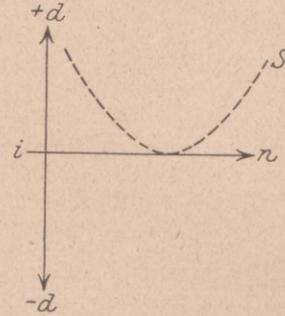


Fig. 3. Schema für den Verlauf reiner Stäbchendoppelbrechung (*S*) bei Durchtränkung des Stäbchensystems mit Flüssigkeiten von steigendem Brechungsindex *n*; *i* Linie der Isotropie, +*d* positive, -*d* negative Doppelbrechung.

(-*d*) unterhalb der Linie *i* verzeichnet wird, die also die Grenzlinie der Isotropie (*i*) zwischen dem Gebiet der positiven und negativen Doppelbrechung darstellt. Man sieht, daß unter steigendem Brechungsindex des Imbibitionsmittels die Stärke der Stäbchendoppelbrechung zunächst sinkt, den Wert 0 erreicht und dann wieder ansteigt, wobei der optische Charakter stets positiv bleibt. Dort, wo die Kurve die Horizontale berührt, also das System isotrop ist, haben Stäbchen und Imbibitionsflüssigkeit gleichen Brechungsindex (s. o.).

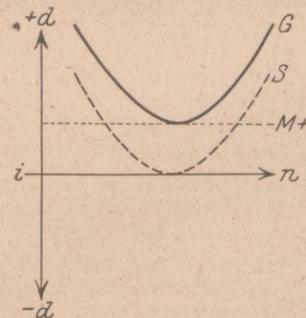


Fig. 4. Schema für das Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung (*S*) mit *positiver* Micellardoppelbrechung (*M+*) zur Gesamtdoppelbrechung *G* (im übrigen vgl. Fig. 3).

Ganz anders aber wird der Verlauf der Doppelbrechung bei solchen Imbibitionsversuchen, wenn die *Stäbchen selbst doppelbrechend* sind. Ist der optische Charakter der *Stäbchen positiv* (Fig. 4) (bezogen auf ihre Länge), so addiert sich zu jedem Punkt der Kurve *S* noch der konstante (von der Imbibitionsflüssigkeit unabhängige) Betrag

⁴⁾ Vgl. Anmerkung S. 273.

der positiven Micellardoppelbrechung $M+$, so daß sich als *Gesamtdoppelbrechung* die Kurve G ergibt: d. h. es kann durch Imbibition nicht mehr Isotropie des Systems erzielt werden, vielmehr *nur eine Senkung der positiven Doppelbrechung*; sie erreicht ihr Höchstmaß, wenn Stäbchen und Flüssigkeit gleichen Index haben; dann ist die *Stäbchendoppelbrechung beseitigt* und die *positive Micellardoppelbrechung tritt rein zutage*.

Ist der optische Charakter der Stäbchen aber *negativ* (Fig. 5), so ist an jedem Punkt der Kurve S der konstante Wert der negativen Micellardoppelbrechung M^- in Abzug zu bringen; für den Verlauf der Gesamtdoppelbrechung erhalten wir die Kurve G . Sie zeichnet sich dadurch aus, daß sie zweimal die Linie der Isotropie durchschneidet, d. h. *im Verlauf des Imbibitionsversuches kehrt sich der optische Charakter zweimal um*. An den Schnittpunkten der Kurve G mit i sind Stäbchen- und Micellardoppelbrechung gleich stark, kompensieren sich aber kraft ihres entgegengesetzten optischen Charakters. Am tiefsten Punkt der Kurve G stimmen die Brechungsindices von Flüssigkeit und Stäbchen überein: die Stäbchendoppelbrechung ist aufgehoben, die *negative Micellardoppelbrechung allein wirksam*.

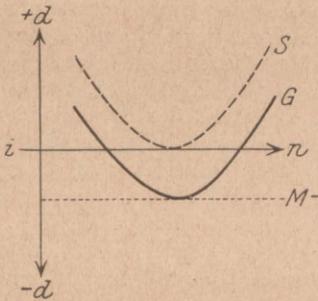


Fig. 5. Schema für das Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung (S) mit *negativer* Micellardoppelbrechung (M^-) zur Gesamtdoppelbrechung G (im übrigen vgl. Fig. 3).

Die geschilderten Erscheinungen werden noch dadurch kompliziert, daß im Falle reiner Stäbchendoppelbrechung (vgl. Fig. 3) und des Zusammenwirkens von negativer Micellardoppelbrechung mit Stäbchendoppelbrechung (vgl. Fig. 5) *in der Umgebung des einen bzw. der beiden Isotropiepunkte anomale Interferenzfarben* bei Untersuchung im weißen polarisierten Licht auftreten müssen. Bekanntlich ändert sich der Brechungsindex einer Substanz mit der Farbe des Lichtes. Der Gang dieser Änderung, die Dispersion, ist aber im allgemeinen für Flüssigkeiten und feste Körper verschieden; d. h. wenn auch zwei derartige Substanzen für eine bestimmte Farbe gleichen Brechungsindex haben, so trifft dies für die anderen Farben nur mehr annähernd zu. Daher ist es nicht möglich, die Stäbchendoppelbrechung für alle Farben (also weißes Licht) gleichzeitig durch Imbibition vollkommen zu beseitigen, sondern wenn sie für eine Farbe

aufgehoben ist, bleiben für die anderen Farben Unterschiede im Brechungsindex von Stäbchen und Imbibitionsflüssigkeit und also schwache Doppelbrechung bestehen. Der Anteil des weißen Lichtes, für den das System isotrop geworden ist, entfällt für die Entstehung der Interferenzfarbe; diese muß also anomal werden; an Stelle der matten grau-weißen Farben der I. O., welche schwach doppelbrechenden Objekten in der für mikroskopische Untersuchung üblichen Dicke zukommen, erscheinen unter solchen Umständen lebhaftere farbige Töne.

Besonders auffallend werden die anomalen Interferenzfarben beim Zusammenwirken von negativer Micellardoppelbrechung mit Stäbchendoppelbrechung sein (Fig. 6). Stellt man nämlich in der oben angegebenen Weise den Verlauf der Gesamtdoppelbrechung für verschiedenfarbiges, etwa blaues, grünes und rotes Licht gesondert dar, so erhält man die Kurven bl , gr , r . Diese Kurven werden also beim Gebrauch weißen

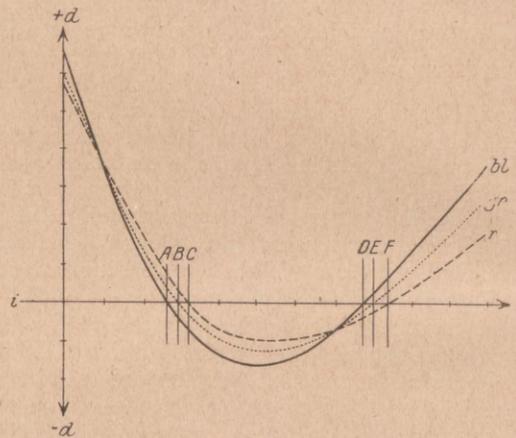


Fig. 6. Schema für das Auftreten anomaler Interferenzfarben bei Imbibitionsversuchen an Objekten, bei denen Stäbchendoppelbrechung und negative Micellardoppelbrechung zusammenwirken. Die Kurven geben den Verlauf der Gesamtdoppelbrechung für blaues (bl), grünes (gr) und rotes (r) Licht wieder (in Anlehnung an die von *H. Ambronn* am Zelloidin beobachteten Verhältnisse).

Lichtes zugleich Geltung haben. Man ersieht nun, daß im letzten Falle für den Brechungsindex A des Imbibitionsmittels die Doppelbrechung für Rot und Grün noch positiv ist, während für Blau Isotropie herrscht; bei B dagegen ist die Doppelbrechung für Rot positiv, für Blau negativ, während für Grün Isotropie besteht; bei C schließlich ist die Doppelbrechung für Blau und Grün negativ, für Rot dagegen ist das System isotrop. D. h. in der Reihenfolge von Blau nach Rot geht für die einzelnen Farben bei der ersten Umkehr des optischen Charakters die positive Doppelbrechung des Systems über Isotropie in negative über, und in der gleichen Reihenfolge der Farben kehrt sie am zweiten Umkehrpunkt (D , E , F) wieder zur positiven Doppelbrechung zurück. Während so das System für

eine Farbe nach der anderen isotrop wird, müssen immer andere anomale Farben aufeinander folgen.

Ambronn stellte nun für verschiedene imbibierte *kolloidale Substanzen, die durch Dehnung doppelbrechend geworden waren*, fest, daß die Stärke und der Charakter ihrer Doppelbrechung vom Brechungsindex des Imbibitionsmittels abhängen und sich im einzelnen ganz so verhalten, wie es für das Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung mit positiver (Gelatine, Zellulose) oder negativer (Zelloidin) Micellardoppelbrechung gemäß den vorausgegangenen Darlegungen zu erwarten ist. Daraus schloß er, daß der Feinbau dieser Substanzen einen Mischkörper im Sinne O. Wieners darstellen müsse, dessen Teilchen Eigendoppelbrechung besäßen. Damit erbrachte er einen von unseren bisherigen Betrachtungen ganz unabhängigen Beweis für die Stäbchenform der Micelle; ihre Ausrichtung durch die Dehnung und schließlich für ihre Kristallinität. Da bei der Umkehr des optischen Charakters die Einachsigkeit und die Lage der optischen Achse erhalten bleibt, müssen die Micelle als einachsige doppelbrechend gelten, wobei die optische Achse der Stäbchenachse entspricht.

Auch für tierische Fibrillen ist das Zusammenwirken von Stäbchen- und Micellardoppelbrechung nachgewiesen. A. Möhring zeigte, daß das Chitin (des Hummerpanzers — den gleichen Befund kann man an allen fibrillär gebauten Chitinteilen, z. B. Sehnen von Insekten, erheben) beim Durchtränken mit Thouletscher Lösung die zweimalige Umkehr des Charakters der Doppelbrechung unter Auftreten anomaler Interferenzfarben darbietet, wie sie für das Zusammengehen von Stäbchendoppelbrechung mit negativer Micellardoppelbrechung charakteristisch ist, während er bei Durchtränken von Seide mit Flüssigkeiten gleichen Brechungsindex' nur eine geringfügige Senkung der Doppelbrechung erzielen konnte, hier also die Micelle positiv doppelbrechend sind. Die Fasern (Prismen) des jungen Zahnschmelzes zeigen zweimalige Umkehr des optischen Charakters, begleitet von anomalen Farben beim Durchtränken mit Methylenjodid und nachfolgendem schrittweise Verdünnen derselben (mit Xylol, dann Alkohol) aufs schönste, woraus sich Anwesenheit negativ doppelbrechender Micelle ergibt, deren optische Wirkung im natürlichen Zustand durch Stäbchendoppelbrechung überlagert wird. Vielfach ist nur einmalige Umkehr der Doppelbrechung zu erzielen, weil imbibierende Flüssigkeiten von dem zur Erreichung der zweiten Umkehr nötigen sehr hohen Brechungsindex, welche zugleich die Struktur intakt lassen, nicht zur Verfügung stehen. Myo-, Tonofibrillen der Epidermis und Tunicefasern besitzen positiv doppelbrechende Micelle, da bei ihnen durch Imbibition nur eine geringfügige Senkung des positiven Charakters der Doppelbrechung erzielt werden kann.

Ein sehr geeignetes Objekt, um sich die Um-

kehr des Charakters der Doppelbrechung unter Auftreten anomaler Farben vorzuführen, sind die Elastoidinfäden aus den Flossen der Haie (Alkoholmaterial konnte ich bisher nur untersuchen): in Wasser (oder Alkohol) zeigen sie positive Doppelbrechung (Fig. 7a); beläßt man sie einige Zeit in konzentrierter Karbolsäure- oder Pikrinsäurelösung, so sind sie negativ doppelbrechend geworden. Kurze Zeit nach der Überführung in die letztgenannten Flüssigkeiten erscheinen die äußeren Teile eines solchen Fadens negativ, das Innere noch positiv, beide gegensätzlichen Gebiete durch dunkle Kompensationsstreifen getrennt, in denen (fast) Isotropie herrscht (Fig. 7 b).

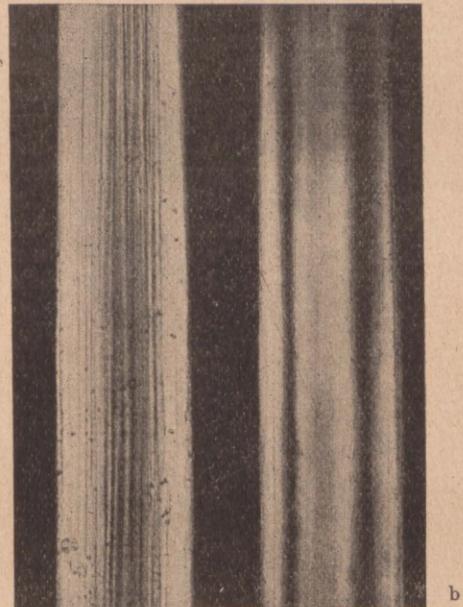


Fig. 7. Elastoidinfäden aus der Flosse eines Hai-fisches (*Acanthias*) zwischen gekreuzten Nicols. Vergr. 70 : 1. a) in Alkohol, b) kurze Zeit nach dem Überführen in konzentrierte Pikrinsäure; die äußeren Abschnitte der Faser negativ doppelbrechend geworden; das Innere noch positiv; die beiden Zonen von gegensätzlichem optischen Charakter durch ein isotropes Gebiet (dunkle Kompensationsstreifen) getrennt.

Bereits v. Ebner hatte beobachtet, daß Chitin, Kollagen, Elastin, Spongine unter Einwirkung bestimmter Flüssigkeiten, insbesondere einwertiger Phenole, den optischen Charakter umkehren, wollte das aber auf eine mit dem chemischen Bau der betreffenden Substanzen in gewissem Zusammenhang stehende Änderung der Spannungsverhältnisse im Objekt zurückführen. Nach den Befunden von Ambronn und Möhring wird es sich aber auch hier zum Teil um Beseitigung von Stäbchendoppelbrechung bei Substanzen mit negativ doppelbrechenden Micellen handeln⁵). Es

⁵) Bei einzelnen der Flüssigkeiten, die v. Ebner benutzte, scheinen aber noch andere Momente an der Umkehr des optischen Charakters beteiligt zu sein, so auch

verdient in diesem Zusammenhang hervorgehoben zu werden, daß bei Chitin und Zahnschmelz der *chemische* Charakter der benutzten Flüssigkeiten gleichgültig ist (sofern sie das Micellargefüge unversehrt lassen), sondern nur ihr Brechungsindex den Ausschlag gibt. So läßt sich z. B. der optische Charakter des Chitins durch chemisch so verschiedene Substanzen wie Kanadabalsam, Thouletsche Lösung (Kaliumquecksilberjodid), Anilin umkehren.

Daß solche imbibierenden Flüssigkeiten auch nicht Spannungsänderungen in den Objekten hervorrufen, läßt sich in folgender Weise dartun. *Ambrohn* hat gezeigt, daß man tierischen (und pflanzlichen) Fasern durch Behandeln mit pleochroitischen Farbstoffen (auch mit Chlorzinkjodlösung, Gold- und Silbersalzen) *künstlichen Pleochroismus* erteilen kann. Färbt man z. B. eine Chitinsehne eines Käfers mit Kongorot und prüft ihr Verhalten über dem Polarisator allein, so erscheint sie parallel seiner Schwingungsrichtung orientiert dunkelrot, senkrecht dazu hellrot, fast farblos. Der genannte Forscher erklärt diese Erscheinung so, daß die Micelle auf die kristallinen, pleochroitischen Farbstoffteilchen richtend wirken — was übrigens ein weiterer Hinweis auf die Kristallinität der Micelle selbst



Fig. 8. Schema einer künstlich pleochroitisch gemachten Fibrille durch orientierte Einlagerung pleochroitischer Farbstoffteilchen. Micelle hell, Farbstoff dunkel.

ist —, so daß sie dem Micellargefüge *geordnet* eingelagert werden (Fig. 8). Sind die Micelle negativ doppelbrechend, wie beim Chitin, so kann man durch Imbibition der pleochroitischen Faser mit einer Flüssigkeit von geeignetem Brechungsindex ihren optischen Charakter *umkehren*; der *Pleochroismus bleibt aber hierbei unverändert*. Würde die Umkehr des Charakters der Doppelbrechung mit grundlegenden Änderungen in der Lage der Micelle einhergehen, wie man sie für die Erklärung dieses Vorgangs durch Spannungen u. dgl. voraussetzen müßte, so würde das auf den Pleochroismus nicht ohne Einfluß bleiben

bei der für den Versuch in Fig. 7 verwendeten Pikrinsäure. Wenn ich trotzdem mich dieser Flüssigkeit bediente, so geschah es, weil sich der Ablauf des Vorganges bei ihr sehr bequem für eine photographische Aufnahme regeln läßt.

können. Da nun die Umkehr des optischen Charakters den Pleochroismus unberührt läßt, so muß man eben annehmen, daß das Micellargefüge bei der Imbibition ungestört bleibt.

Fig. 9 gibt eine pleochroitische, mit Goldchlorid behandelte, in Balsam eingeschlossene Chitinsehne eines Käfers zwischen gekreuzten Nicols wieder. Sie erschien über dem Polarisator allein untersucht ziemlich gleichartig gefärbt, und zwar in Parallelstellung blau, in Orthogonalstellung rot. Bei Betrachtung im dunklen Sehfeld machten sich aber scharf begrenzte Flecken in der Sehne auffallend bemerkbar, und Prüfung mit einer Gipsplatte Rot I. O. ergab, daß in ihrem



Fig. 9. Mit Goldchlorid behandelte in Balsam befindliche Chitinsehne eines Käfers zwischen gekreuzten Nicols. An den hellen Stellen ist der Charakter der Doppelbrechung umgekehrt (negativ). Vergr. 47 : 1.

Bereich der optische Charakter umgekehrt (negativ) war, während sonst die positive Doppelbrechung der Faser gegenüber der Untersuchung in Alkohol nur erheblich gesenkt erschien.

Daß die Doppelbrechung tierischer Fasern durch *Dehnen* und *Trocknen* (im allgemeinen) erhöht wird, erklärt sich aus der dadurch beförderten Parallelrichtung der Micelle, die sowohl der Stäbchen- wie Micellardoppelbrechung zugute kommt, wie umgekehrt die mit der Quellung einhergehende Desorientierung der Micelle (s. S. 297) die Stärke der Doppelbrechung vermindern wird. Die *elastischen Fasern* zeichnen sich vor anderen dadurch aus, daß sie im natürlichen Zustand fast isotrop sind, durch Dehnung (oder Trocknen) aber kräftige Doppelbrechung annehmen. Daraus wird man wohl schließen dürfen, daß ihre Micelle in natürlichem Zustand

kaum geordnet sind und erst durch die mechanische Wirkung eine regelmäßige Orientierung wie in anderen fibrillären Bildungen erhalten. Mit einer solchen Deutung steht in Übereinklang, daß selbst dicke elastische Fasern nie eine feinfibrilläre Zusammensetzung erkennen lassen, wie denn Elastin im Gegensatz zum Kollagen nicht einzig in fädiger Gestalt, sondern auch in Platten u. dgl. auftritt. Auch die eigentümlichen mechanischen Eigenschaften der elastischen Fasern, ihre gummiartige Dehnbarkeit, die mit dem beträchtlichen Widerstand anderer Fibrillen gegen Dehnung seltsam kontrastiert, würden auf dem Boden obiger Erklärung dem Verständnis näher gerückt: elastische Fasern zeigen erst dann ähnliche Eigenschaften wie die übrigen, wenn sie, gedehnt, einen der wahren Faserstruktur verwandten Feinbau erlangt haben, wie die nun vorhandene Doppelbrechung lehrt.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß manche tierischen Fasern bei konoskopischer Untersuchung des Querschnitts Andeutungen positiv *zweiachsigen* Verhaltens darbieten, indem das Achsenkreuz sich beim Drehen des Objektischen mehr oder minder in zwei Hyperbeln öffnet. Entsprechend kann man mit Objektiven höchster Apertur in der Längsansicht der Fasern im konvergenten Licht Anzeichen von negativ *zweiachsiger* Beschaffenheit wahrnehmen. Diese Erscheinungen werden wohl durch gewisse regelmäßige Abweichungen der Micelle von der zur Faserachse parallelen Stellung bedingt.

e) Röntgenspektrographische Unterlagen für den Feinbau der Fibrillen.

Auch die Prüfung der Röntgendiagramme tierischer Fasern hat zu Vorstellungen über ihren Feinbau geführt, die mit den bisher vertretenen in erfreulicher Übereinstimmung stehen.

Durchstrahlt man nach *v. Laues* Verfahren ein Kristallindividuum mit (polychromatischem) Röntgenlicht, so erhält man auf der photographischen Platte als Schwärzung zahlreiche *Punkte*, die den Einstich des Primärstrahls umgeben; jeder dieser Punkte ist der Einstich eines Sekundärstrahles, der durch Beugung von Röntgenlicht bestimmter Wellenlänge an bestimmt gelagerten und beschaffenen Raumgitterebenen des Kristalls zustande kommt. Wiederholen sich gleichwertige Strukturebenen rhythmisch um die Durchstrahlungsrichtung herum, so prägt sich das im Lauediagramm durch entsprechende Wiederholung gleichwertiger, auf einem Kreis gelegener Punkte aus (vgl. Fig. 10a). Verschiedene Durchstrahlungsrichtungen geben also verschiedene Diagramme.

Durchleuchtet man nach dem Verfahren von *Debye* und *Scherrer* ein *ungeordnetes* Aggregat kleinster, ja submikroskopischer Kriställchen mit (einfarbigem) Röntgenstrahlen, so werden sich *rings* um den Primärstrahl herum Kriställchen finden, welche den Bedingungen zur Abbeugung von Sekundärstrahlen genügen. Da so die rhyth-

mische Wiederholung einer bestimmten Strukturebene gleichsam unendlich oft geschieht, erhält man auf der photographischen Platte keine getrennten Punkte mehr, sondern die zahllosen, zu einer bestimmten Strukturebene gehörigen Punkte fließen zu einem Kreis zusammen, gleichsam als ob man ein Laue-Diagramm um den Primärstrahl hätte rotieren lassen (vgl. Fig. 10 b). Der erzielte Effekt ist natürlich bei einem ungeordneten Aggregat für alle Durchstrahlungsrichtungen derselbe.

Würde man aber eine gewisse Ordnung in einem solchen Kristallmehl herstellen, d. h. die bisher uneingeschränkte Mannigfaltigkeit der Netzebenenlagen vermindern, so kann es von vornherein wahrscheinlich gelten, daß nunmehr die Diagramme eine gewisse Mittelstellung zwischen den Laue- und Debye-Scherrerschen einhalten, und für bestimmte Durchstrahlungsrichtungen verschieden ausfallen werden. Das bestätigt der Versuch. Unbearbeitetes Kupfer z. B. gibt nach *Polanyi* als ein regelloses Aggregat von Kriställchen ein Debye-Scherrer-Diagramm. Zieht man es kalt zu Drähten aus, so erfahren die Kriställchen eine gewisse regelmäßige Ausrichtung in bezug auf die Faserachse (vgl. S. 273), was sich eben darin ausprägt, daß bei Durchstrahlung

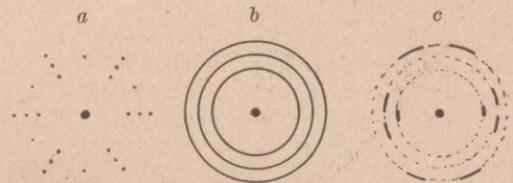


Fig. 10. Schema eines Laue-Diagramms (a), eines Debye-Scherrer-Diagramms (b) und eines Faserdiagramms (c).

senkrecht zur Faserachse ein aus *Punkten* und *Streifen* bestehendes Diagramm erscheint; man kann es aus den Debye-Scherrer-Kreisen durch Ausfall kleinerer und größerer Abschnitte infolge der Verminderung der Netzebenenlagen entstanden denken. Ein solches *Polanyi-* oder „*Faser-*“diagramm (vgl. Fig. 10c) ist *doppelt symmetrisch* ausgebildet, und zwar gehen seine Symmetrieebenen der Länge und Quere der Faser parallel. Charakteristisch ist hierbei das Auftreten von *Vierpunktgruppen*, ferner ein *Punktpaar*, dessen Verbindungslinie quer zur Faserachse geht, was nach *Polanyi* anzeigt, daß eine besonders flächenreiche Zonenachse⁶⁾ in der Faserrichtung liegt.

Durchstrahlungsversuche *tierischer Fasern* mit Röntgenstrahlen nach *Debye-Scherrers* Verfahren, wie sie vor allem von *R. O. Herzog* und *W. Jancke* vorgenommen wurden, ergaben ebenfalls solche Faserdiagramme, woraus zunächst folgt, daß den Elementarteilen der Fasern Raumgitterbau, d. h. *Kristallinität*, zu-

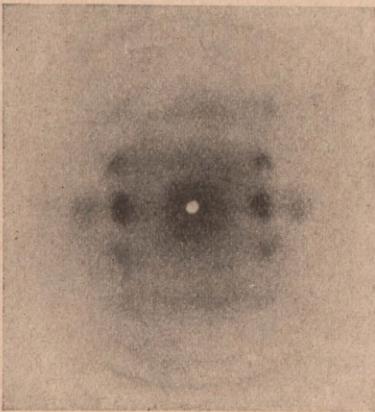
⁶⁾ Unter einer Zone versteht man die Gesamtheit der Flächen eines Kristalls, die miteinander lauter parallele Kanten bilden, also auch ein und derselben Linie im Raum, der Zonenachse, parallel gehen.

kommt, ferner aber, daß dieselben in *bestimmter Weise* geordnet sind. So lieferte z. B. ein Bündel parallel gestreckter Seidenfäden, senkrecht zur Faserachse durchleuchtet, das in Fig. 11a wieder-gegebene Diagramm, dessen bisymmetrische Ausbildung augenfällig ist und das in seinem inneren Teil eine charakteristische Vierpunktgruppe, ferner der Faserquerachse entsprechende Punktpaare erkennen läßt. Nach außen werden die Vierpunktgruppen undeutlicher und gehen in Kreisabschnitte über. Wurde das Faserbündel dagegen der Länge nach durchstrahlt, so erhielt man ein Debye-Scherrer-Diagramm (Fig. 11b), wie es auch zerknüllte Seidenfäden geben. Es herrscht also in bezug auf den Querschnitt der Faser völlige Regellosigkeit der Micelle, in bezug auf die Länge dagegen eine bestimmte Anordnung. Da wir nach den polarisationsoptischen Befunden die Micelle als *einachsige* Kristalle betrachten müssen, bei solchen aber die der optischen Achse parallel gehende kristallographische Hauptachse

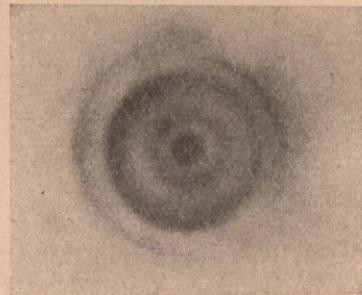
durchleuchtet und ähnliche Diagramme erhalten und sie stimmen auf Grund derselben *Nägels* Micellartheorie zu.

Aus ihren Befunden scheint hervorzugehen, daß *Quellen* (Achillessehne) die Deutlichkeit der Diagramme vermindert, *Trocknen* (Schließmuskel der Teichmuschel) aber erhöht, was mit unseren, aus den optischen Erfahrungen gewonnenen Vorstellungen über die Einwirkung von Trocknen und Quellen auf das Micellargefüge (s. S. 300) in Einklang stehen würde.

K. Weissenberg zieht neuestens aus der geometrischen Analyse der Diagramme von *Herzog* und *Jancke* den Schluß, daß die Anordnung der Micelle in den Fasern wesentlich verwickelter ist, als wir bisher mit guten Gründen annahmen, nämlich daß es sich um *spiralartige* Anordnung („mehrfach reale Spiral- und Ringfasern“) handle. Eine solche Deutung ist mit den sonstigen Befunden an tierischen Fibrillen nicht gut vereinbar; vor allem die Spaltbarkeit nach der Länge scheint ihr direkt zu widersprechen. Auch dürfte man bei solchem Feinbau wohl Zirkularpolarisation der Fasern erwarten, die bisher nicht beobachtet ist, wofern es sich um Ag-



a



b

Fig. 11. Röntgendiagramme von Seidenfäden. a) bei Durchleuchtung eines Bündels paralleler Fasern *senkrecht* zur Faserachse. b) bei Durchleuchtung *parallel* der Fasernachse. Nach *R. O. Herzog* und *W. Jancke*.

(also die Längsachse der Micelle!) eine besonders flächenreiche Zonenachse darstellt, so läßt sich aus dem Diagramm vielleicht (im Sinne der oben- genannten Erwägungen *Polanyis*) die achsen- parallele Ausrichtung der Micelle unmittelbar entnehmen. Jedenfalls aber kann man die Symmetrie des Diagramms leicht zu der Anisotropie der Fibrille in Beziehung setzen, die sich in Gestalt, Spaltbarkeit, Quellung, optischem und mechanischem Verhalten ausprägt, und die so gewonnenen Befunde stützen sich gegenseitig, da sie nur verschiedene Offenbarungen desselben Feinbaues sind.

Herzog und *Jancke* haben noch weitere tierische, fibrillär gebaute Objekte wie Spinnenseide, menschliche Haare, Schweinsborsten, Byssusfäden von *Pinna*, das getrocknete Nackenband des Rindes (also elastische Substanz), die Achillessehne (also kollagene Fibrillen), die platte Chitinsehne aus der Krebssehne, den Schließmuskel der Teichmuschel mit Röntgenstrahlen

gregat parallel gerichteter Fibrillen handelt. —

Wenn so noch Probleme über den Feinbau der tierischen Fibrillen in Zukunft zu lösen bleiben, so kann man doch wohl behaupten, daß die im vorstehenden vertretenen Anschauungen von ihrem submikroskopischen Gefüge, gemäß der übereinstimmenden Bekundung sehr verschiedener Untersuchungsverfahren, einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit besitzen und eine wertvolle Arbeitshypothese abgeben.

Wichtigste Literatur.

- H. Ambrohn*, Über die akzidentelle Doppelbrechung im Zelloidin und in der Zellulose. Nachr. Ges. Wiss. Göttingen, Math. phys. Kl. 1919 (zusammenfassende Übersicht bereits früher veröffentlichter Arbeiten, die dort im einzelnen zitiert sind).
W. Biedermann, Sekretion und Sekrete. Pflügers Arch. Bd. 167 (1917), S. 1.
H. Disselhorst u. *H. Freundlich*, Über die Doppelbrechung des Vanadinpentoxyduls. Physik. Zeitschr. Bd. 16 (1915), S. 419.
E. Doflein, Studien zur Naturgeschichte der Protozoen VII, Zool. Jahrb. Abt. f. Anat. Bd. 39 (1916), S. 334.

- v. Ebner*, Untersuchungen über die Anisotropie organisierter Substanzen, Leipzig 1882. Über die Entwicklung der leimgebenden Fibrillen, insbesondere im Zahnbein. Sitzber. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl. Bd. 115 (1906), Abt. 3, S. 281.
- H. Giersberg*, Untersuchungen über Physiologie und Histologie des Eileiters der Reptilien und Vögel nebst einem Beitrag zur Fasergenese. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 120 (1922), S. 1.
- R. Goldschmidt*, Versuche zur Spermatogenese in vitro. Arch. f. Zellforschung Bd. 14 (1917), S. 421.
- F. Haber*, Über amorphe Niederschläge und kristallinische Sole. Ber. D. Chem. Ges. Jahrg. 55 (1922), S. 1717.
- R. Haller*, Die Micellartheorie Nägeli's als Arbeitshypothese bei der Erforschung chemischer und physikalischer Veränderungen der Baumwollfaser, insbes. bei der Färbung. Kolloidzeitschr. Bd. 20 (1917), S. 127.
- M. Heidenhain*, Plasma und Zelle, Bd. I, 2, Jena 1911.
- E. Hekma*, Das Fibrin und seine Beziehungen zu einigen Problemen der Biologie und Kolloidchemie VI, Biochem. Zeitschr. Bd. 73 (1916), S. 370, VII ebendort Bd. 73 (1916), S. 428, XII ebendort Bd. 77 (1916), S. 273.
- R. O. Herzog*, Über einige Fragen der Faserstoffchemie. Die Naturw. Bd. 8 (1920), S. 673.
- und *W. Jancke*, Verwendung der Röntgenstrahlen zur Untersuchung ultramikroskopischer biologischer Strukturen. Festschr. d. K. W. Gesellsch., Berlin 1921, S. 118.
- , *W. Jancke*, *M. Polanyi*, Röntgenspektrographische Beobachtungen an Zellulose. Zeitschr. f. Physik. Bd. 3, (1920), S. 43.
- O. Lehmann*, Die Lehre von den flüssigen Kristallen und ihre Beziehungen zu den Problemen der Biologie. Ergebn. d. Physiol. Bd. 16 (1918).
- A. Möhring*, Beiträge zur Frage nach dem Wesen der Doppelbrechung organisierter Substanzen. Zeitschr. f. Wiss. u. Industrie, 1. Jahrg. (1922), S. 51.
- W. Möller*, Ultramikroskopische Untersuchungen über Gerbvorgänge in Gallerten. Kolloidzeitschr. Bd. 19 (1916), S. 205.
- C. Nägeli*, Die Stärkekörner, Zürich 1858; Die Anwendung des Polarisationsapparates auf die vegetabilischen Elementarteile. Sitzber. Bayer. Akad. Wiss. München 1867, S. 290. Theorie der Gärung, München 1879; Mechanisch-physiologische Theorie der Abstammungslehre, München u. Leipzig 1884.
- M. Polanyi*, Röntgenographische Bestimmungen von Kristallanordnungen. Die Naturw. Bd. 11 (1922), S. 411; Faserstruktur im Röntgenlicht, ebendort Bd. 10 (1921), S. 320.
- W. Petersen*, Histologie u. mikroskop. Anatomie, 1. Lfg., München u. Wiesbaden, 1922.
- W. Reinders*, Anisotrope kolloidale Lösungen. Kolloidzeitschr. Bd. 21 (1917), S. 161.
- F. Rinne*, Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle. 2. u. 3. Aufl., Berlin 1923.
- H. Stübel*, Ultramikroskopische Studien über Blutgerinnung und Thrombocyten. Pflügers Arch. Bd. 156 (1914), S. 361.
- P. v. Weimarn*, Zur Lehre von den Zuständen der Materie, Dresden u. Leipzig 1914.
- K. Weißenberg*, Spiralfaser und Ringfaser im Röntgenogramm. Zeitschr. f. Physik, Bd. 8 (1922), S. 20.
- G. Weißenberger*, Über die Strukturen in dispersen Systemen. Kolloidzeitschr. Bd. 29 (1921), S. 113.
- H. Zocher*, Über Sole mit nichtkugelligen Teilchen. Zeitschr. f. physik. Chemie Bd. 98, 1921, S. 293.
- R. Zsigmondy*, Über einige Fundamentalbegriffe der Kolloidchemie. Z. f. physik. Chemie Bd. 98 (1921), S. 14. Vergl. auch des Verfassers Buch: Die Bausteine des Tierkörpers in polarisiertem Lichte, Bonn 1924.

Besprechungen.

Grimsehl, E., Lehrbuch der Physik. 2. Band: Magnetismus und Elektrizität. 5. vermehrte und verbesserte Auflage. Herausgegeben von W. Hillers und H. Starke. Leipzig, B. G. Teubner, 1923. X, 780 S. und 580 Abb. Preis geh. 7,5; geb. 10 Goldmark.

Die fünfte Auflage dieses beliebten Lehrbuches, deren erster Band bereits in dieser Zeitschrift 10, 258, 1922 besprochen wurde, ist nun durch das Erscheinen des 2. Bandes vervollständigt worden. Die kurzen Zeitabschnitte, in denen sich die neuen Auflagen des Werkes folgen, zeigen, wie sehr diese allgemein faßliche und dabei möglichst vollständige Darstellung der Gesamtphysik einem wirklichen Bedürfnis entspricht. In der Hauptsache ist Inhalt und Einteilung der vierten Auflage — besprochen in Naturwissenschaft 10, 258, 1922 — in die neue Ausgabe übernommen, jedoch mit ganz beträchtlichen Erweiterungen und Modernisierungen. Vor allem ist ein sehr ausführlicher Abschnitt über Atomtheorie (Isotopen, Röntgenstrahlspektren, Rutherford-Bohrsches Atommodell, Ionisierungsspannung usw.) neu aufgenommen worden — es könnte scheinen, als wäre hier des Guten fast etwas zu viel getan. Denn wenn fraglos der Herausgeber mit seiner Erklärung im Recht ist, die Bedeutung dieser Untersuchungen könne nicht hoch genug eingeschätzt werden, so fallen doch die das Thema behandelnden 70 Seiten, eingesparrt zwischen den Paragraphen über Anodenstrahlen am einen und dem über Leitfähigkeit der Luft am anderen Ende, ein wenig aus dem Rahmen der übrigen mehr der älteren Auffassung angepaßten Dar-

stellungenweise heraus. Findet sich doch sogar in einem früheren Kapitel (§ 42) ein Satz wie: „aus spektralanalytischen Untersuchungen ergibt sich, daß der (elektrische) Funke aus Luftteilchen besteht, die bis auf Glühtemperatur erhitzt worden sind.“ Es dürfte dem Studierenden schwer fallen, zwischen solchen der Mitte des 19. Jahrhunderts entstammenden Vorstellungen die Brücke zu finden zu der Bohrschen Theorie über die optische Erregung der Atome. Und es bleibt zudem das Bedenken, ob in derart populärer Form dieses schwierige Gebiet überhaupt so bis in alle Einzelheiten abzuhandeln ist — es sei hier nur auf den Versuch hingewiesen, die Bildung neuer Schalen („Stabilitätsflächen“) beim successiven Einfangen der Elektronen durch den Atomkern so darzustellen, als würden nach vollständiger Besetzung einer solchen Fläche neu hinzutretende Elektronen an dieser „elastisch reflektiert“ und so auf die nächste noch unbesetzte Fläche zurückgeworfen. Ähnliche Einwände können wohl gegen die gleichfalls einen ziemlich breiten Raum einnehmenden Kapitel über Relativitätstheorie geltend gemacht werden. Natürlich läßt sich aber auch der Standpunkt vertreten, daß diese Fragen heute in der physikalischen Forschung absolut im Vordergrund stehen, daß sie hier ebenfalls noch nicht organisch mit der klassischen Physik verschmolzen sind, und daß es ungerecht ist, eine solche vollständig organische Einordnung von einem Lehrbuch zu verlangen, das nur die Aufgabe hat, den Lesern ein möglichst vollständiges Bild vom heutigen Stand der Wissenschaft zu geben. Übrigens sei zum Schluß darauf hingewiesen, daß auch in anderen

Abschnitten — so z. B. über die Technik der drahtlosen Telephonie — den neuen Entwicklungen Rechnung getragen wurde.

Peter Pringsheim, Berlin.

Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Band 3, Lieferung 4. Leipzig, Joh. Ambr. Barth, 1923. XII, S. 725—1074 und 217 Abbildungen. 16 × 24 cm.

Die vorliegende Lieferung 4 des 3. Bandes enthält zunächst einen kurzen Abschnitt von *L. Holborn* über elektrolytische Leitung. In Band 2 war bereits von *G. v. Hevesy* eine Darstellung der Elektrolyse und elektrolytischen Polarisation enthalten, welche in ausführlicher Weise „Entstehung, Entladung und Ladungsänderung der Ionen an den vom Strom durchflossenen Elektroden“ brachte. Hier werden nur die Meßmethoden für das Leitvermögen, die Überführungszahlen, Beweglichkeiten usw. gegeben sowie die Einflüsse allgemeiner Natur, wie Konzentration, Temperatur, Druck usw. auf das Leitvermögen behandelt; Tabellen der Zahlenwerte für die wichtigeren Stoffe bilden dabei eine Ergänzung.

Das nächste Kapitel, die Leitung und Ionisierung in verdünnten Gasen (die Glimmentladung) ist von *G. Gehloff* bearbeitet. Eine Darstellung dieses schwierigen Gebiets, die der experimentellen wie der theoretischen Seite in gleicher Weise von einem überlegenen modernen Standpunkt aus gerecht würde, fehlt bisher.

Auch die vorliegende Darstellung wird nicht alle Wünsche befriedigen, bringt aber vieles, was den auf dem Gebiet arbeitenden Forscher interessiert und ihm nützlich sein wird. Sie geht vom Experimentellen aus, bringt kaum eine systematische Vollständigkeit, jedoch vieles von interessanten Gesichtspunkten aus und eine Reihe von wichtigen Einzelheiten. Die spezielle theoretische Darstellung ist etwas summarisch abgefaßt und lehnt sich eng an die von *R. Holm* in seinen Arbeiten gegebene Behandlung an. An manchen Stellen könnte die Darstellung wohl noch etwas geglättet werden.

Im letzten Kapitel des Heftes haben schließlich die Röntgenstrahlen von *P. Cermak* eine Bearbeitung gefunden, die vielen Physikern willkommen sein dürfte. Auf dem kurzen Raum von 120 Seiten wird eine Übersicht über das große Gebiet gegeben, die, soweit der Referent sehen kann, alles Wichtige enthält. Die Darstellung lehnt sich eng an das Experimentelle an, geht z. B. von den verschiedenen Konstruktionen der Röntgenröhren aus, ist aber von einer modernen theoretischen Einstellung durchdrungen, so daß gerade der, der vom rein physikalischen, nicht vom technischen Standpunkt aus an das Gebiet herantritt, befriedigt sein wird. Eine gute Darstellung und sehr viele instruktive Figuren erleichtern in angenehmer Weise die Lektüre.

E. Regener, Stuttgart.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Über den Schmelzpunkt des Graphits.

Das ursprüngliche Ziel der zu beschreibenden Versuche war die Bestimmung der ein erhebliches theoretisches Interesse¹⁾ bietenden Sublimationswärme des Kohlenstoffs. Von den bisherigen dieses Ziel anstrebenden Methoden gründete sich die wichtigste auf die Annahme, daß die bei bestimmtem Druck des umgebenden Gases sich unabhängig²⁾ von der Stromstärke einstellende konstante Temperatur des positiven Kraters des Kohlelichtbogens als die Sublimationstemperatur des festen Kohlenstoffs anzusehen ist. Da danach der eindeutige Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur die Dampfdruckkurve³⁾ vorstellt, ist es auf Grund der Clausius-Clapeyronschen Gleichung bzw. des Nernstschen Theorems möglich, die Sublimationswärme zu berechnen. *H. Kohn* und *M. Guckel*⁴⁾ haben kürzlich über ihre neuen diesbezüglichen sehr sorgfältigen Messungen berichtet.

Gegen die Bogenmethode sind in der letzten Zeit verschiedene Einwände erhoben worden, unter anderem wurde⁵⁾ die Meinung vertreten, daß die Einstellung der konstanten Temperatur nicht einem thermodynamischen Gleichgewichtszustand fest-gasförmig entspricht, sondern auf elektrische Faktoren im Bogen zurückzuführen ist.

Wir beabsichtigten deshalb zu prüfen, ob sich auch bei *Widerstandsheizung*⁶⁾ eines Kohlestabes eine nur

vom Druck abhängige Temperatur einstellt. Zu diesem Zweck wurden 4 mm starke, in der Mitte verjüngte Stäbe aus reinstem Graphit in Argonatmosphäre durch Wechselstrom erhitzt, wobei sich an der dünnsten Stelle (Durchmesser 2,5 bis 3,5 mm) die höchste Temperatur ausbildet. Der Stab befand sich innerhalb einer großen Glaskugel, die mit einem durch ein Fenster verschlossenen Seitenrohr versehen war. Zum Wärmeschutz der Glaskugel war der Stab von einem Graphitzylinder umgeben. Ein Loch in dem Zylinder ermöglichte die Beobachtung der verjüngten Stelle durch das Fensterrohr. Führt man nun einen Versuch z. B. unter Atmosphärendruck aus und steigert die Stromstärke allmählich, so beobachtet man — wir benutzten ein optisches Pyrometer nach *Holborn-Kurlbaum* — eine allmähliche Erhöhung der Temperatur — bis bei einer Temperatur von ungefähr 3750° abs. ein Phänomen eintritt, das schon früher⁷⁾ bei einer ähnlichen Versuchsanordnung festgestellt wurde. Da damals der Kohlestab sich in einem undurchsichtigen Gefäß befand, konnte nur die Stromstärke gemessen werden; es zeigte sich, daß beim Erreichen einer bestimmten Stromdichte der Strom sehr schnell auf Null fiel. Nach Öffnung des Gefäßes ergab sich in den damaligen Versuchen, daß der Stab an der verjüngten Stelle in zwei Hälften geteilt war. Das Auftreten von kugelförmigen Gebilden an den Trennungsf lächen, die kaum für etwas anderes als für erstarrte Flüssigkeitstropfen⁸⁾ angesehen werden konnten, führte zu dem Schluß, daß die plötzliche Stromunterbrechung auf das Durchschmelzen des Stabes an der verjüngten heißesten Stelle zurückzuführen ist.

Bei der jetzigen Form des Apparates war eine direkte Beobachtung der Erscheinung möglich, und es ließen sich zwei aufeinanderfolgende Phasen des Phänomens feststellen. Nach Erreichen einer genügend

¹⁾ *K. Fajans*, Ber. 53, 643 (1920); 55, 2826 (1922).
²⁾ *J. Violle*, C. R. 115, 1273 (1892); *O. Lummer*, Verflüssigung der Kohle (1914); *H. Kohn*, Z. f. Phys. 3, 143 (1920).

³⁾ *K. Fajans*, Z. f. Phys. 1, 101 (1920).

⁴⁾ Naturwissenschaften 12, 139 (1924).

⁵⁾ *Wertenstein* und *Jedrzejewski*, C. R. 177, 316 (1923).

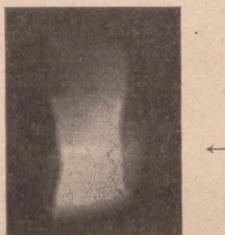
⁶⁾ Über Versuche unter Benutzung der Widerstandsheizung vgl. auch *A. Thiel* und *F. Ritter*, Z. anorg. Chemie 132, 125, 153 (1923).

⁷⁾ *E. Ryschkevitch*, Z. f. Elektroch. 27, 445 (1921).

⁸⁾ Vgl. dazu auch *A. Thiel* und *F. Ritter*, l. c.

hohen Temperatur sieht man durch ein Rauchglas oder durch Projizieren auf einen Schirm, wie plötzlich an der verjüngten Stelle der Zusammenhang des Stabes gelöst wird und wie zwischen den zwei getrennten Stabenden ein Lichtbogen erscheint, der ca. eine halbe Minute lang brennt, um dann, infolge der starken Verdampfung und der dadurch bedingten Vergrößerung des Abstandes zwischen den Stabenden, zu erlöschen. Während der Entstehung des Lichtbogens sinkt die Stromstärke auf etwa zwei Drittel des vorherigen maximalen Wertes.

Die Teilung des Stabes könnte von vornherein entweder auf eine Verdampfungserscheinung oder auf das Durchschmelzen des Stabes zurückgeführt werden. Durch Verdampfen könnte der Stab nur auf die Weise in zwei Teile geteilt werden, daß er an der verjüngten Stelle von der Oberfläche aus nach innen immer dünner wird. Das Schmelzen jedoch sollte bei Erreichen der Schmelztemperatur gleichzeitig im ganzen verjüngten Querschnitt erfolgen. Photographische und zwei kinematographische Aufnahmen (16 bzw. 25 Aufnahmen in der Sekunde) zeigten nun, daß, während zunächst in der kurzen Zeit des Anheizens überhaupt keine merkbare Abnahme des Querschnitts des festen Stabes festzustellen war, dann plötzlich der ganze verjüngte Querschnitt wesentlich heller erscheint als die



Verjüngter Querschnitt (←) im Moment der Durchschmelzung.

benachbarten Partien, und zwischen den nun getrennten Stabhälften der Lichtbogen entsteht. Läßt schon diese Feststellung eine andere Deutung als Schmelzung nicht zu, so spricht im gleichen Sinne Folgendes: Die Innenfläche des den Kohlestab umgebenden Zylinders wies neben einem Belage von feinstem Ruß in der Zone der verjüngten Stelle mitunter auch Kügelchen von einem Durchmesser bis zu 1 mm auf, die so homogen waren, daß die Werte der Dichte von sechs solchen Kügelchen innerhalb 0,1 % übereinstimmten⁹⁾. Es kann sich dabei wohl nur um am Zylinder erstarrte *verspritzte Flüssigkeitstropfen* handeln.

Das Problem des Schmelzens des Kohlenstoffs kann vom physikalisch-chemischen Standpunkte nicht als befriedigend gelöst betrachtet werden, solange man nicht wenigstens angenähert eine Angabe über die Lage des Schmelzpunktes und des Tripelpunktes machen kann. Die bekannten Beobachtungen des Schmelzphänomens von O. Lummer waren hauptsächlich aus dem Grunde nicht ganz überzeugend, weil sie nicht nur keine Schlußfolgerung über die Lage des Schmelzpunktes zuließen, sondern diesbezüglich sogar gewisse, wenn auch nur scheinbare¹⁰⁾ Widersprüche enthielten. Das Auf-

treten des von Lummer beschriebenen Schmelzphänomens war nämlich bei bestimmtem Druck, also auch bei bestimmter Temperatur an einen gewissen Grenzwert der Stromstärke gebunden. Lummer sagt: „Unterhalb eines gewissen Grenzwertes wird der Krater flüssig und die *Flüssigkeitsoberfläche* verdampft, oberhalb dieses Grenzwertes bleibt der Krater fest und die *feste Oberfläche* verdampft“ (l. c. S. 84/85). So kam es, daß das Phänomen bei manchen Versuchen schon bei einer Temperatur von etwa 4000° zu beobachten war, bei anderen aber bei 4400° nicht auftrat. Das war schwer in Einklang zu bringen mit der sonst allgemeinen Erfahrung, daß der Schmelzpunkt eine vom Druck nur sehr wenig abhängige Temperatur vorstellt, die nicht überschritten werden kann, ohne daß der feste Körper schmilzt.

Dieser Bedingung entspricht nun die oben beschriebene Erscheinung der Teilung des Kohlestabes durchaus. Sie trat qualitativ in völlig gleicher Weise bei allen (über 100) ausgeführten Versuchen bei einer Stromdichte von etwa 20 Amp/mm² auf, und zwar bei Variation des Druckes zwischen 0,005 und 1,5 at. Eine genaue Bestimmung der Temperatur, bei der das Schmelzen des Stabes erfolgt, ist natürlich recht schwierig, denn einerseits ist die Zone der höchsten Temperatur sehr schmal, so daß die Einstellung des Pyrometerfadens auf diese Zone nicht ganz sicher ist, andererseits dauert die Erscheinung nur einen Bruchteil einer Sekunde, da nach dem Durchschmelzen die Temperatur, aus gleich zu ersiehenden Gründen, sich sofort ändert. Die bei den verschiedenen Versuchen bestimmten Temperaturen streuen deshalb nicht unerheblich. Der aus den besten Messungen sich ergebende Mittelwert beträgt 3750° abs. ± 75°. Da nun die bei verschiedenen Versuchen beobachteten Temperaturen keine systematische Abhängigkeit vom Druck erkennen lassen, betrachten wir diese innerhalb der Messungsfehler resultierende Konstanz der Temperatur als eine wesentliche Stütze dafür, daß man es hier mit einem Schmelzphänomen zu tun hat.

Die eben angegebene Temperatur möchten wir aber nicht als den wahren Schmelzpunkt ansehen, sondern nur als dessen *untere Grenze*¹¹⁾, und zwar aus folgenden Gründen: Erstens ist es, wie eben erwähnt wurde, nicht sicher, ob der Pyrometerfaden immer genau auf die heißeste Stelle der Oberfläche eingestellt war; zweitens muß die Temperatur der Oberfläche des Stabes, die mit dem äußeren Gas in Kontakt steht, infolge der Wärmeableitung und Strahlung stets etwas tiefer sein, als die der mehr nach innen liegenden Partien. Eine *obere Grenze* für den Schmelzpunkt ergibt sich aus folgenden Beobachtungen: Nachdem der Kohlestab durchgeschmolzen ist, bildet sich der Lichtbogen aus, und es stellt sich dann, wie es ja nach den Versuchen der früher genannten Forscher zu erwarten war, eine bestimmte Temperatur ein, die eindeutig vom Druck abhängt und mit steigendem Druck steigt. Nun beobachtet man im Pyrometer, daß bei sehr kleinen Drucken diese Temperatur deutlich tiefer, bei hohen Drucken wesentlich höher liegt als die Temperatur, bei der das Schmelzphänomen beobachtet wurde. Bei dem Druck von 0,4 at, dem in unseren Versuchen eine Temperatur der Bogenelektrode von etwa 3900° entsprach, und erst recht bei höheren Drucken, war beim Ein-

¹¹⁾ Der Schmelzpunkt des Wolframs (3660° abs., nach A. G. Worthing, Z. f. Phys. 22, 9 [1924]) bildet einen anderen Anhaltspunkt für die untere Grenze der Schmelztemperatur des Graphits, da man Wolfram in Gefäßen aus reinem Graphit schmelzen kann.

⁹⁾ E. Ryschkewitsch und E. Köstermann, Zeitsch. f. Elektrochem. 30, 86 (1924).

¹⁰⁾ Eine nähere Diskussion wird in der ausführlichen Publikation erfolgen.

setzen des Bogens mit Sicherheit eine Steigerung der Temperatur zu beobachten, so daß wir diese Temperatur als die obere Grenze des Schmelzpunktes ansehen möchten. Der *Schmelzpunkt des Graphits* dürfte somit bei etwa 3800° abs. $\pm 100^\circ$ liegen und dem Tripelpunkt ein Dampfdruck von etwa $\frac{1}{4}$ at entsprechen, was in einer ausführlicheren Mitteilung noch näher begründet wird.

Infolge der Durchschmelzung des Stabes und der Ausbildung des Lichtbogens ließ sich unser Ziel, die Dampfdruckkurve der Kohle bei Widerstandsheizung zu erhalten, nicht erreichen. Unsere, wenn auch nicht sehr genauen, bei verschiedenen Drucken ausgeführten Messungen der Temperatur der Elektrodenenden des nur kurze Zeit brennenden Bogens ergänzen aber in gewisser Hinsicht die Resultate von *Kohn* und *Guckel*. In dem Bereich 1,5—0,8 at stimmt die von uns festgestellte Abhängigkeit der Temperatur vom Druck annähernd mit der von den genannten Forscherinnen bestimmten überein. Darin, daß letztere mit Gleichstrom, wir mit Wechselstrom gearbeitet haben und daß die von uns angewandte Stromdichte etwa zehnmal größer war als die maximale von *Kohn* und *Guckel* benutzte, sehen wir eine weitere Stütze für die Auffassung, daß die sich einstellende Temperatur einem thermodynamischen Gleichgewicht entspricht.

Auf jeden Fall müssen wir aber schließen, daß bei Drucken oberhalb etwa $\frac{1}{4}$ at der Bogenkrater von einer dünnen Schicht der Flüssigkeit bedeckt ist. Daraus folgt, daß die aus dem Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur im Gebiet 0,8—3,2 at kürzlich von *Kohn* und *Guckel* berechnete Wärmetönung 136,4 kcal nicht als Sublimationswärme des festen, sondern als Verdampfungswärme des flüssigen Kohlenstoffs anzusehen ist. Da aber die Schmelzwärmen selbst hochschmelzender Elemente von der Größenordnung von nur wenigen kcal sind, wird dadurch die gesuchte Sublimationswärme nicht stark geändert.

Der relativ kleine Unterschied zwischen der Verdampfungswärme und Sublimationswärme erklärt auch, im Verein mit den erheblichen Messungsfehlern, weshalb der Tripelpunkt sich nicht durch das Auftreten einer Richtungsänderung der Geraden bemerkbar macht, die die Abhängigkeit des Logarithmus des Druckes von der reziproken Temperatur darstellt. Die systematische Abweichung von der Geradlinigkeit, die *Kohn* und *Guckel* bei Drucken unterhalb 0,8 at (4160°) beobachtet haben, kann nicht in diesem Sinne gedeutet werden, da sie einerseits bei einem zu hohen Druck einsetzt und viel zu stark ist, andererseits in unseren Versuchen erst unterhalb etwa 0,15 at (3600°) auftrat. Es dürfte sich dabei vielmehr, wie es auch *Kohn* und *Guckel* annehmen, um einen sekundären Faktor (Überhitzungserscheinung) handeln, der je nach den sonstigen Versuchsbedingungen bei verschiedenen Temperaturen auftritt.

Der Hoshi-Stiftung (Japanausschuß der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft) sowie dem Graphitwerk Kropfmühl A.-G. sind wir für Überlassung von Mitteln zu großem Dank verpflichtet.

München, den 28. März 1924.

Chem. Lab. d. Bayer. Akad. d. Wiss.

Physik.-Chem. Abtlg.

K. Fajans, E. Ryschkewitsch.

Der Farbensinn in der modernen Malerei.

Die ungewöhnlichen Farbenzusammenstellungen, die in der Malerei so oft das Erstaunen der Zeitgenossen erregen, sind in der Kunst unserer Tage besonders auffällig. Man hat schon öfters dieses Farbensehen

der Maler, das sich von dem des Publikums so stark unterscheidet, auf krankhafte Veränderungen des Auges zurückgeführt und z. B. für *Turners* Farbengebung seine Kurzsichtigkeit verantwortlich gemacht. Diese Frage erörtert in bezug auf die moderne Malerei Prof. *Heine* in seinem Aufsatz in den Naturwissenschaften, der sich mit „erworbenen Anomalien des Farbensinns“ beschäftigt.

Da ich mich als Maler seit langen Jahren durch eigene trübe Erfahrungen in der modernen Malerei sehr eingehend mit dieser Frage beschäftigt habe, so möchte ich mir gestatten, mit gütiger Genehmigung des Herrn Prof. *Heine*, hierzu kurz folgendes zu sagen.

Wenn man sich als Maler beim Studium der Natur, wohlausgerüstet mit Farben der schönsten Art, nur auf seine Augen verlassen muß, auf's instinktmäßige Empfinden und Sehen, so ist es nicht möglich, die Natur in ihrer unsichtbaren Technik zu durchschauen. Man sieht die Farben und macht sie nach, so gut man kann. Da uns aber keine wissenschaftliche Begründung ihrer Probleme und ihrer optischen Entstehungsart angewiesen wird, so sind die modernen Maler nicht in der Lage, ihre Technik der vorbildlichen Technik der Natur anzupassen und dem entsprechend die Farben so entstehen zu lassen, daß es dem Farbensehen des unbefangenen Publikums verständlich sein könnte. Einem kritischen Vergleich mit der Natur hält die moderne Malerei nicht stand, denn das menschliche Auge reicht nicht aus, Unsichtbares zu erkennen.

Wenn wir es als Kunstverehrer und Liebhaber also unternehmen wollen, die Maler zum besseren Farbensehen hinzuleiten, so gäbe es kein besseres Mittel, als die Verbreitung wissenschaftlicher Lehren für das der Natur entsprechende sinngemäße Sehen und Anschauen der Farben, wonach sich die Anleitung zum Malen zu richten hätte.

Seit dem Verlust der alten Tradition im Dreißigjährigen Krieg ist die Malerei auf den Irrweg geraten.

Die Natur ist die größte Meisterin der Kunst. Der Maler soll sie nicht als Modell betrachten und abmalen, sondern er soll von ihr lernen. Sie zeigt es uns deutlich genug, wie sie es macht, zeigt uns die herrlichsten Farben, durch nichts anderes erzeugt als aus Licht und Schattendunkel und trübenden Dunstschichten, eines so durchsichtig wie das andere, immer eines vor oder hinter dem anderen. — Weißlicher Dunst auf der inneren Dunkelheit des unermeßlichen Himmelsraumes macht den Himmel blau und ebenso die Ferne: Wälder und Berge. Also ergeben helle Farben auf dunklen kalte Farben: Blau, Blaugrau und Grau, der optischen Lehre von der Entstehung der „kalten Farben“ entsprechend. Dunkelheiten und Dunst vor der untergehenden Sonne aber sind die Ursache, daß die Sonne gelb, orangegelb, rot oder purpurrot erscheint, was der Beweis ist, daß durch dunkle Farben auf helleren warme Farben entstehen, nach der optischen Lehre von der Entstehung „warmer Farben“. Und da man mit der Ölfarbe, eine Farbe, zart und durchsichtig wie ein Dunst, nachdem die erste trocken genug ist, auf die andere malen kann, um denselben Effekt zu erzielen, so ist nichts im Wege, sich diese unsichtbare Technik der Natur anzueignen.

Die Optik und Physiologie der Farben ist eine Naturwissenschaft, die uns das richtige Sehen und Anschauen der Farben lehrt. Auch das schärfste Auge ist nicht scharfblickend genug, um es ohne sie sehen und erkennen zu können. *Aristoteles* (300 vor Christi) schon baute den Malern die goldene Brücke von der Wissenschaft zur Kunst mit seinem unsterblichen Lehrsatz:

„Jeder Körper wird seiner Eigenfarbe teilhaftig durch das Durchsichtige, das in ihm ist, denn jeder Körper ist tatsächlich mehr oder weniger durchsichtig. Deswegen lieben es die Maler, alles so durchsichtig zu malen, als sei es unter dem Wasser oder hinter der Luft.“ — Aber nicht allein für die Entstehung des Kolorites ist diese Lehre beherzigungswert, sondern eben so sehr, wenn nicht noch mehr für die Hervorbringung der Illusion der Raumvertiefung auf der ebenen Fläche des Bildes und für die lebensvoll plastische Wirkung der Figuren.

Leone Battista Alberti sagt in seinem Tractat della Pictura: „Wenn man die Bildfläche innerhalb der Umrisse einer Figur mit einer ganz gleichmäßig durchsichtigen Farblasur bemalt, so erhält man den Eindruck, als könne man, wie durch ein einfarbiges Glasfenster, in einen unbestimmt vertieften Raum hineinschauen. Malt man dann die Lichtflächen des Körpers mit Weiß, fein abgeschattiert, wie es sich gehört, darauf und die Schattenflächen mit Schwarz, so ergibt dieses die Bestätigung der Oberfläche oder der Epidermis des Körpers.“ Und es tritt durch diese wechselseitige Behandlung des Farbauftrages allein schon eine so überraschende plastische Wirkung ein, wie man sie mit mehr und nicht so naturgemäßen Mitteln niemals erzielen kann. Dieses ist das handwerkliche und technische Prinzip nach der Lehre des *Aristoteles*, aller Meister der Renaissance, gewesen. So verstanden sie es, die Natur durch ihren Geist zur Wiederauferstehung auf ihren Werken kommen zu lassen.

„Kunst kommt vom Wissen, studieren heißt lernen,

und wer es gelernt hat, der kann es. Das Talent ist trotz allem Können von Hause aus noch kein geistiger Befähigungsnachweis für den Künstler, Malerei ist an und für sich noch keine Kunst!“ „Ein Maler ohne die Wissenschaft ist wie ein Seemann auf dem Meere, ohne Kompaß und Steuer, er weiß nie wohin er kommt,“ sagt *Leonardo da Vinci*. Und *Albrecht Dürer* schrieb als Widmung an *Willibald Pirckheimer* in sein Buch von der Meßkunst: „Wir haben die Kunst aus den Büchern der Griechen und Römer gelernt. Sie geht sehr leicht verloren, aber es ist sehr schwer, sie wieder zu finden. 2000 Jahre war sie verloren, als die Welschen sie vor 200 Jahren wiederfanden.“

Dann ist sie im 30jährigen Krieg abermals verlorengegangen und vor 20 Jahren von mir wiedergefunden worden, wie ich es damals in meiner Broschüre: „Die Geheimnisse der alten Meister, eine wissenschaftliche Behandlung der Malerei“, ausführlich geschildert habe. Daß aber nicht ich allein es durch meine Werke zu beweisen vermag, daß die Kunst aus der Literatur frei und unabhängig zu erlernen möglich ist, was von allen Zeitgenossen bestritten wird, zeigen uns deutlich in neuester Zeit einige russische Maler, deren Gemälde kürzlich im Novemberheft 1923 von Velhagen und Klasing abgebildet waren. Der Verfasser des Begleitartikels, *Pawel Barchan*, nennt als Quellenschrift ihrer Literaturkenntnisse die alte Ikonographie der Byzantiner, das heißt „Ikonen“ oder Heiligenbildmaler. Wenn ich nicht irre, ein Malerbuch der Mönche vom Berge Athos, welches sich auch in meinem Besitz befindet.

Berlin, den 21. Februar 1924.

Hugo Struck.

Physikalische Mitteilungen.

Der Einfluß eines magnetischen und elektrischen Feldes auf das Quecksilberspektrum. Die Spektrallinien einatomiger Gase oder Dämpfe, die bei normalen Anregungsbedingungen z. B. im Geißlerrohr oder im Lichtbogen erscheinen, lassen sich vom Standpunkt der Bohrschen Theorie deuten als Übergänge zwischen stationären, durch zwei Quantenzahlen n und k festgelegten Zuständen des Atoms. Dabei kommen aber normalerweise nicht alle möglichen Übergänge vor, sondern es gelten bestimmte Auswahlregeln, die aus dem Korrespondenzprinzip von *Bohr* abgeleitet werden, und nach denen nur solche Übergänge häufig genug vorkommen, um eine merkbare Intensität der Spektrallinien zu ergeben, bei denen sich die azimutale Quantenzahl k um ± 1 ändert. Handelt es sich um Spektren, in denen nicht nur Einfachlinien, sondern auch Mehrfachlinien, d. h. Dubletts, Triplets usw. vorkommen, so ist zur Festlegung der stationären Zustände der Atome noch eine dritte sogen. innere Quantenzahl j erforderlich, und aus dem Korrespondenzprinzip läßt sich ableiten, daß auch von den nach dem Auswahlprinzip für k erlaubten Übergängen nur solche auftreten können, bei denen j entweder unverändert bleibt oder sich um ± 1 ändert. Während das Auswahlprinzip für k das bevorzugte Auftreten der Haupt- und Nebenserien gegenüber anderen sonst noch möglichen Serien erklärt, finden nach dem Auswahlprinzip für j , wie *Sommerfeld* und *Landé* gezeigt haben, die Liniengruppen eine einfache Deutung, die durch Kombination der mehrfachen Terme in Dublett- und Triplett-, allgemein in Multiplettspektren auftreten. Läßt man nun auf die Atome äußere Kräfte, z. B. elektrische oder magnetische Felder wirken, so werden durch diese die Bahnen der Elektronen gestört und nach dem Korre-

spondenzprinzip ist zu erwarten, daß dann auch solche Übergänge zwischen stationären Zuständen vorkommen, die nach den obigen Auswahlregeln normalerweise nicht auftreten. Unter dem Einfluß elektrischer und magnetischer Felder haben wir also, abgesehen von der Aufspaltung der Linien im Stark- bzw. Zeemaneffekt, auch das Auftreten neuer Linien zu erwarten, und zwar mit um so größerer Intensität, je stärker die wirksamen Felder sind.

Das Auftreten solcher Linien ist nun auch tatsächlich schon beobachtet worden, und zwar erstens von *Stark* und seinen Schülern, die im Heliumspektrum bei Wirkung elektrischer Felder Linien fanden, die zu deuten sind als Übergänge zwischen stationären Zuständen, bei denen sich die azimutale Quantenzahl k gar nicht oder um 2 Einheiten ändert. Andererseits haben *Paschen* und *Back* zeigen können, daß magnetische Felder Spektrallinien herauskommen lassen, die einer Änderung der Quantenzahl j um 2 Einheiten entsprechen. Bei der großen prinzipiellen Bedeutung, die solchen Beobachtungen vom Standpunkte der Bohrschen Theorie zukommt, sind auch in *Bohrs* Institut von *H. M. Hansen*, *T. Takamine* und *Sven Werner* Untersuchungen in dieser Richtung angestellt worden, über die dieselben in den mathem.-physikal. Mitteilungen V, 3 der königl. dän. Gesellschaft der Wissenschaften berichten. Ein besonders interessanter Fall der Wirkung des Auswahlprinzips kommt im Hg-Spektrum und übrigens auch in den ganz analogen Spektren der übrigen Erdalkalinen vor. Im Hg-Spektrum haben wir neben Einfachlinien auch Triplets, und es gibt Kombinationslinien, die einem Übergang des Atoms von einem stationären Zustand des Triplettensystems zu einem Zustand des Einfachliniensystems entsprechen. Es han-

delt sich hier vor allem, wenn wir die Paschensche Terminologie benutzen, um Übergänge zwischen den p -Bahnen des Tripletsystems $2p_1$, $2p_2$, $2p_3$ und der Bahn $1S$ des Einfachliniensystems. Der Bahn $1S$ ist nach Landé die Quantenzahl $j = 0$ zuzuordnen, den Termen $2p_1$, $2p_2$ u. $2p_3$ dagegen die Zahlen $j = 2, 1, 0$. Nach dem Auswahlprinzip für j wären also erlaubt die Übergänge $1S-2p_2$ und $1S-2p_3$. Tatsächlich beobachtet wird unter normalen Anregungsbedingungen nur $1S-2p_2$ entsprechend $\lambda = 2536,7$. Es ist dies die bekannte Absorptions- und Resonanzlinie des Hg-Spektrums. Das Fehlen von $1S-2p_1$ ist nach dem Auswahlprinzip ($\Delta j = 2$) verständlich; daß auch $1S-2p_3$ ($\Delta j = 0$) fehlt, wird nach Landé durch ein Zusatzverbot erklärt, demzufolge zwar im allgemeinen Übergänge für die $\Delta j = 0$ ist, erlaubt sind, daß aber der spezielle Übergang $0 \leftarrow 0$ verboten sei. Wir wollen auf die theoretische Bedeutung dieses Zusatzverbotes hier nicht eingehen, sondern uns dem Ergebnis der Experimente von Hansen, Takamine und Werner zuwenden. Sie haben in der erwähnten Arbeit gerade nach dem Auftreten der beiden Linien $1S-2p_3$ und $1S-2p_2$ unter dem Einfluß äußerer Felder gesucht. Zunächst wurden magnetische Felder angewandt, und die Kapillare eines mit Hg-Dampf gefüllten Entladungsrohres wurde zwischen die Pole eines starken Magneten gebracht. Bei einer Feldstärke von 15 000 Gauß konnte die Linie $1S-2p_1$ ($\lambda = 2270$) tatsächlich mit merklicher Intensität zweifelsfrei beobachtet werden. Für die Linie $1S-2p_3$ ($\lambda = 2656$) liegen die Beobachtungsmöglichkeiten insofern ungünstig, als sie dicht neben einer anderen starken Hg-Linie liegt, doch ließ sich feststellen, daß $\lambda = 2656$ unter den gleichen Verhältnissen, wenn überhaupt, so sicher nur ganz schwach vorhanden war. Die Beobachtung mit transversalem Magnetfeld ist nun insofern nicht einwandfrei, als durch das Magnetfeld die Entladungsbahn eingeschnürt und an die Wand der Kapillare gedrückt wird. Dadurch ändert sich aber auch die elektrische Feldstärke in der Entladungsbahn, und das Auftreten der Linien kann ebenso gut auf die Wirkung des elektrischen Feldes zurückzuführen sein. Um diesem Einwand zu entgehen, wurde ein neues Entladungsrohr so zwischen den Polen des Magneten angeordnet, daß die Entladungsbahn den Kraftlinien parallel verlief. Bei 19 000 Gauß war das schwache Auftreten der Linie $1S-2p_1$ ($\lambda = 2270$) nachzuweisen, wenn auch nicht mit großer Sicherheit, weil dieselbe nahezu zusammenfällt mit einer höheren Serienlinie, die unter diesen Versuchsbedingungen stärker ist als die gesuchte Linie. Es wurden weiter Versuche angestellt über das Auftreten dieser Linien in einer kondensierten Entladung, also ohne besonderes äußeres Feld. Dabei wurde das Auftreten der Linie $1S-2p_1$ in großer Intensität beobachtet, während die Linie $1S-2p_3$ nicht gefunden werden konnte. Das Auftreten der Linie $1S-2p_1$ ist hier zu erklären durch die Wirkung der atomaren elektrischen Felder, die von den in der Nachbarschaft des leuchtenden Atomes befindlichen Ionen herrühren. Dieser Befund legt es nahe, auch den Einfluß homogener elektrischer Felder zu untersuchen in einer Anordnung, wie man sie zur Untersuchung des Starkeffektes benutzt. Die Verfasser verwandten dazu die Methode von Lo Surdo¹⁾, bei der die Emission im Kathodendunkelraum einer Geißlerschen Entladung beobachtet wird, in dem bekanntlich bei passender Wahl des Druckes ein sehr starkes, nach der Kathode zu wach-

sendes elektrisches Feld vorhanden ist. Das Entladungsgefäß bestand aus einem vertikalen Quarzrohr. Als untere Elektrode, und zwar als Kathode, diente die obere Kuppe der Hg-Säule eines Barometerverschlusses, die durch Heben oder Senken des unteren Teiles auf stets gleichbleibender Höhe gehalten werden konnte. Als Anode diente wieder Quecksilber in einem umgebogenen Ansatzrohr. Um den Druck im Entladungsrohr richtig einzustellen, konnte Helium durch ein seitliches Ansatzrohr eingelassen werden. Die mit dieser Anordnung angestellten Versuche ergaben hinsichtlich der Linien $1S-2p_3$ und $1S-2p_1$ das Resultat, daß erstere überhaupt nicht, die letztere nur ganz schwach auftrat. Aus dem Verhalten der Linie $1S-2p_1$ schließen die Verf., daß ihr Auftreten auch in diesem Falle durch die auch hier nicht ganz zu vermeidende kondensierte Entladung, also durch die atomaren elektrischen Felder, und nicht durch die Wirkung des homogenen elektrischen Feldes hervorgerufen sei.

Die Versuche mit der zuletzt beschriebenen Anordnung führten nun aber zu weiteren interessanten Ergebnissen, über die wir noch berichten möchten. Der störende Einfluß eines elektrischen Feldes auf die Bahn eines Atomelektrons wird, wie man ohne weiteres einsieht, um so stärker sein, je weiter sich das Elektron von dem Kern entfernt und je länger es in solchen Entfernungen bleibt, in denen die vom Kern und von den übrigen Atomelektronen ausgeübten Kräfte vergleichbar sind mit denen des äußeren elektrischen Feldes. Da mit wachsender Hauptquantenzahl die Dimensionen der Bahnen wachsen, werden wir also Wirkungen des elektrischen Feldes um so mehr zu erwarten haben, zu je höheren Gliedern einer Serie wir übergehen. Andererseits zerfallen die Elektronenbahnen nach Schrödinger und Bohr je nach ihrer azimutalen Quantenzahl in zwei verschiedene Gruppen, dergestalt, daß bei der einen das Elektron in das Innere der den Kern umgebenden Elektronenhülle eindringt, und sich nur in einem Teil seiner Bahn außerhalb des Atomrestes befindet, während bei der anderen Gruppe das Elektron dauernd außerhalb des Atomrestes bleibt. Zu der ersten Gruppe, den Tauchbahnen, gehören vor allem die Bahnen, deren azimutale Quantenzahl 1 und deren Energie also durch s -Terme charakterisiert ist. Bei den azimutal zweiquantigen Bahnen ist es bei den verschiedenen Atomen verschieden, die azimutal drei- oder noch mehrquantigen Bahnen verlaufen im allgemeinen außerhalb des Atomrestes¹⁾. Es ist klar, daß die letzteren Bahnen viel stärker von einem elektrischen Felde beeinflusst werden müssen als die ersteren. Wenn wir also höhere Serienlinien beobachten, deren Anfangsbahnen in Emission höheren d -Termen entsprechen, so haben wir starke Wirkungen des elektrischen Feldes zu erwarten und werden im allgemeinen auch annehmen können, daß die beobachteten Wirkungen im wesentlichen herrühren von der Störung dieser Anfangsbahnen der Emission, während die dem Atomkern viel näher liegenden Endbahnen nur wenig zu dem Effekt beitragen werden. Die experimentellen Ergebnisse entsprechen vollkommen diesen Erwartungen. Ohne auf die vielen interessanten Einzelheiten der Resultate einzugehen, wollen wir an Hand der Figur 1, die der Arbeit der Verfasser entnommen ist, die wichtigsten Punkte darlegen. Die Figur zeigt, wie sich einige höhere Glieder der Serie $2p_1 - md$ in dem elektrischen Felde des Kathodendunkelraumes verhalten. Das elektrische Feld

¹⁾ Siehe Naturwissenschaften 9, 205, 1921.

¹⁾ Vgl. hierzu die Figuren im Bohr-Heft der Naturwissenschaften, Jhrg. 11, 556, 1923.

wächst also längs einer Spektrallinie von oben nach unten und fällt ganz unten dicht über der Kathode plötzlich wieder ab. Der obere mit \perp bezeichnete Teil der Figur entspricht Polarisation senkrecht zum elektrischen Felde, der mit \parallel bezeichnete Teil paralleler Polarisation. Auf den ersten Blick scheinen diese Bilder ganz ähnlich den Aufnahmen des Stark-effektes der Wasserstofflinien, wie sie auch in dieser Zeitschrift 9, 205, 1921, wiedergegeben sind. Während es sich aber dort um die Aufspaltung einer Linie in verschiedene Komponenten handelt, bemerkt man hier bei genauerem Zusehen, daß der Einfluß des elektrischen Feldes darin besteht, daß die im oberen, feldlosen Teil vorhandene Linie sich mit wachsendem Felde nach rechts, d. h. nach längeren Wellen verschiebt, und daß bei wachsendem Felde zu beiden Seiten dieser Linie neue Linien heraus-

der Bahn $2p_1$ führen und die also Übergängen entsprechen, bei denen sich die azimutale Quantenzahl k nicht ändert. In der Figur sind dies die Linien, die rechts neben der feldlosen Linie, also auf der Seite der längeren Wellen herauskommen. Außerdem sind Linien zu erwarten, die von solchen Anfangsbahnen ausgehen, für die azimutale Quantenzahl $k > 3$, also $k = 4, 5, 6, \dots$ ist. Tatsächlich sind die Linien, die links auf der kurzwelligen Seite der feldlosen Linie herauskommen, so zu deuten, und zwar entspricht die erste Linie links dem Übergang von der Bahn $k = 4$ (in Paschens Bezeichnung $2p_1 - mf$), die nächste dem Übergang von der Bahn $k = 5$ usw. Da die azimutale Quantenzahl k stets kleiner oder gleich der Hauptquantenzahl n ist, so ist die Zahl dieser Komponenten beschränkt. Für die Linie $2p_1 - 7d$ kann es also nur $7 - 3 = 4$ neue Linien auf der linken Seite der feld-

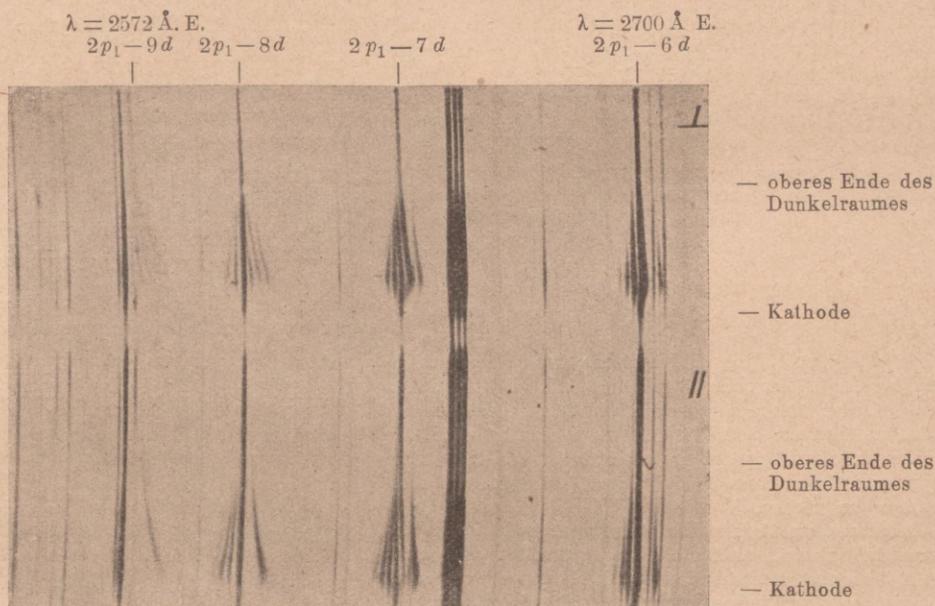


Fig. 1. Das Spektrogramm zeigt die Beeinflussung der höheren Glieder der Serie $2p_1 - md$ des Quecksilberspektrums im elektrischen Felde des Kathodendunkelraumes (Methode von Lo Surdo). Die ohne Feld vorhandene Linie wird in dem vom oberen Ende des Dunkelraumes nach der Kathode zu wachsendem elektrischen Felde nach längeren Wellen (in der Figur nach rechts) verschoben, außerdem kommen zu beiden Seiten der ursprünglich vorhandenen Linie neue Linien heraus. Die obere Hälfte der Figur entspricht einer Polarisation senkrecht, die untere Hälfte parallel zum elektrischen Felde.

kommen, die sich ihrerseits wieder mit wachsendem Felde nach längeren oder kürzeren Wellen verschieben. Dies Verhalten sieht man wohl am deutlichsten bei der Linie $2p_1 - 7d$, bei $2p_1 - 8d$ sieht es so aus, als ob die ursprünglich vorhandene Linie unbeeinflusst bliebe durch das Feld, das liegt aber nur daran, daß hier zufällig eine elektrisch unempfindliche Funkenlinie mit der Serienlinie zusammenfällt. Die Deutung dieser neuen Linien, die im elektrischen Felde herauskommen, ist nun relativ einfach. Es handelt sich um Linien, deren Auftreten normalerweise durch das Auswahlprinzip für die azimutale Quantenzahl verboten ist. Da die Endbahn des Emissionsprozesses als p -Bahn die azimutale Quantenzahl $k = 2$ hat, so kommt ohne Feld außer der Linie, die von der einquantigen s -Bahn nach der p -Bahn führt (sie liegt ungefähr in der Mitte zwischen zwei Linien der Serie $2p_1 - md$), nur der Übergang von den d -Bahnen ($k = 3$) nach den p -Bahnen vor. Im elektrischen Felde erscheinen nun aber erstens die Linien, die von höheren p -Bahnen zu

losen Linie geben und wie die Figur (vor allem in dem \parallel polarisierten Teil) zeigt, sind gerade diese und keine anderen Linien vorhanden. Gehen wir nun zu höheren Seriengliedern (entsprechend höherer Hauptquantenzahl n) über, so wächst die Zahl der auf der linken Seite der feldlosen Linie im Felde herauskommenden neuen Linien beim Übergang von einem Serienglied zum nächsten um je eine Einheit. Bei der Linie $2p_1 - 8d$ haben wir also $8 - 3 = 5$, bei $2p_1 - 9d$ $9 - 3 = 6$ derartige Linien. Die genauere Analyse der Spektrogramme (aus der wiedergegebenen Figur ist das nicht so deutlich ersichtlich) ergibt nun gerade dies Resultat, das eine ausgezeichnete Bestätigung der Bohrschen Vorstellungen über die Bahnen der Elektronen, die Zuordnung der Quantenzahlen und die Beeinflussung der Bahnen durch elektrische Felder darstellt. Die Verfasser geben noch eine Reihe von weiteren interessanten Einzelheiten, deren Darstellung hier aber zu weit führen würde.

W. Grotrian.

Eine Braunsche Röhre mit photographischer Registriereinrichtung. Ein wichtiges Hilfsmittel zur Untersuchung der Kurvenform von Wechselströmen ist der als Braunsche Röhre allgemein bekannte Kathodenstrahl-Oszillograph.

Das Prinzip desselben besteht bekanntlich darin, daß ein durch ein Diaphragma verjüngter und auf einen Fluoreszenzschirm sich punktförmig abzeichnender Elektronenstrahl durch das zu untersuchende elektrische

Einrichtung in das Innere der Röhre, also in das Vakuum hineinverlegt, so daß der Kathodenstrahl unmittelbar auf die photographische Schicht einwirken kann und ein einmaliges Durchlaufen der Kurve genügt, um sie photographisch festzuhalten.

Fig. 2 stellt den evakuierten Teil der Anordnung schematisch dar. Die eigentliche Braunsche Röhre *d* läuft unten in eine Metallglocke *a* aus, die zur Unterbringung eines rotierenden photographischen Films *g*

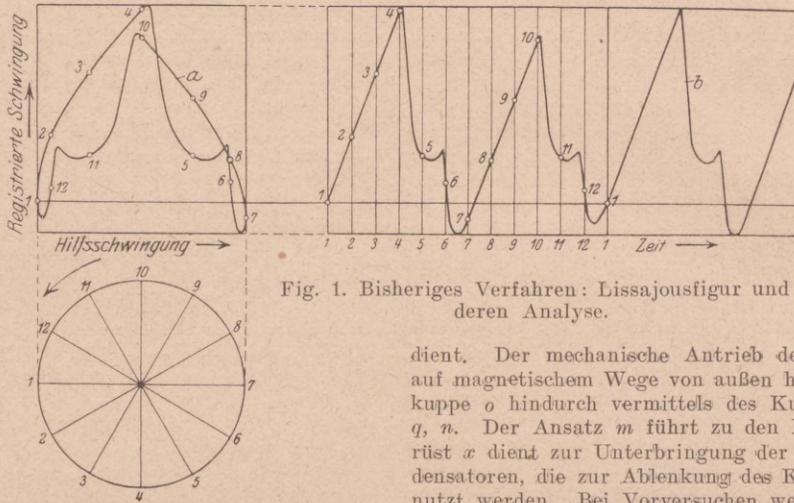


Fig. 1. Bisheriges Verfahren: Lissajousfigur und deren Analyse.

oder magnetische Wechselfeld senkrecht zur Bewegungsrichtung der Elektronen abgelenkt wird. Die Spur des Strahles wird dann als gerade Linie auf dem Schirm sichtbar. Um ein Bild der Feldkurve als Funktion der Zeit zu erhalten, genügt es, diese Lichtspur mit Hilfe irgendeiner bekannten Hilfsbewegung transversal auseinander zu ziehen.

Das kann man bekanntlich erreichen, indem man das Kurvenbild im rotierenden Spiegel betrachtet oder auch mit Hilfe eines feststehenden Objektivs auf einen photographischen Film bringt, der mit großer Geschwindigkeit senkrecht zur Lichtspur bewegt wird. Bei hohen Frequenzen, also hohen Geschwindigkeiten des Fleckes, erreicht man aber bald eine Grenze wegen der geringen Helligkeit der Lichtspur auf dem Fluoreszenzschirm. Zur Behebung dieser Schwierigkeit pflegt man den Fleck durch eine Hilfsspule, in der ein reiner Sinusstrom von gleicher oder vielfacher Frequenz fließt, seitlich abzulenken, so daß er jetzt in rascher Aufeinanderfolge eine Lissajoussche Figur durchläuft (Fig. 1a), die genügend lichtstark ist, um sich zur photographischen Aufnahme zu eignen. Allerdings muß man, um den zeitlichen Verlauf des zu untersuchenden Stromes deutlich zu erkennen, derartige Kurven in ein rechtwinkliges Koordinatensystem mit der Zeit als Abszisse umzeichnen (Fig. 1b). Es leuchtet ein, daß beim Umzeichnen, je nach der Geschicklichkeit des Zeichners, manche Feinheiten der Kurve verlorengehen können.

Daher ist es zu begrüßen, daß neuerdings von A. Dufour¹⁾ eine Braunsche Röhre beschrieben wird, die die zu untersuchenden Kurven direkt in rechtwinkligen Koordinaten zu photographieren gestattet und für alle praktisch vorkommenden Frequenzen verwendbar ist. Der Kunstgriff, mit dem Dufour dies erreicht, besteht darin, daß er die photographische

Einrichtung in das Innere der Röhre, also in das Vakuum hineinverlegt, so daß der Kathodenstrahl unmittelbar auf die photographische Schicht einwirken kann und ein einmaliges Durchlaufen der Kurve genügt, um sie photographisch festzuhalten.

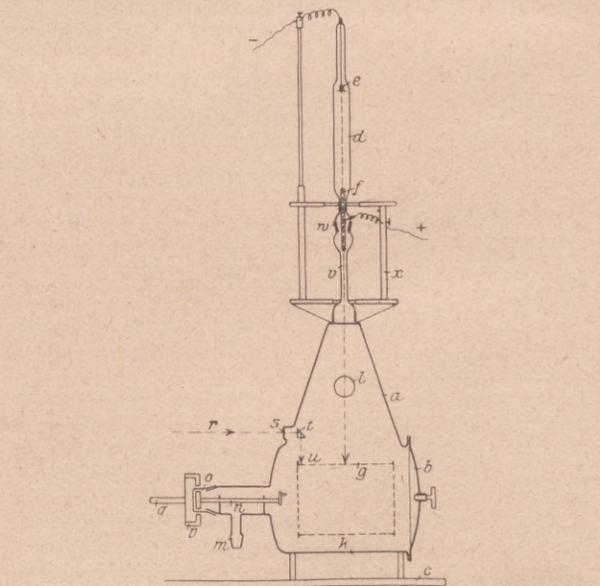


Fig. 2. Braunsche Röhre, rotierenden, photograph. Film enthaltend.

Achse *g* angebrachter Spezialschalter sorgt dafür, daß der Film nur während einer einzigen Umdrehung beleuchtet wird.

Langsame Phänomene bis zu maximal 10 000 \sim /sec werden lediglich mit Hilfe des rotierenden Films auseinandergebreitet, bei einer solchen Orientierung der Ablenkungsmittel, daß die Bewegung des Fleckes parallel

¹⁾ A. Dufour, Oscillographe Cathodique, Paris 1923.

zur Achse des rotierenden Zylinders erfolgt. So zeigt Fig. 3 den Stromverlauf in einem Wehneltunterbrecher, der im Primärkreis einer gewöhnlichen unbelasteten Induktionsspule liegt. Die Anzahl der Unterbrechungen pro sec beträgt etwa 190. Jede Unterbrechung (R) ist, wie man erkennt, von einem gedämpften Wellenzug begleitet, dessen Frequenz von den Konstanten des Kreises abhängt und im vorliegenden Beispiel 2200 beträgt.

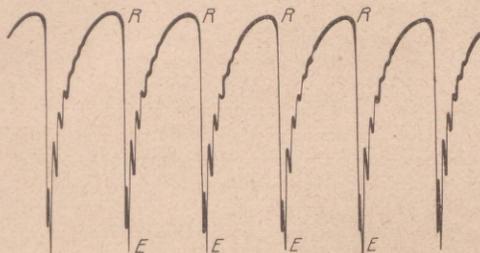


Fig. 3. Stromverlauf in einer Induktionsspule mit Wehneltunterbrecher.

Zum Studium von Frequenzen, die oberhalb einiger Tausend pro sec liegen, genügt die Rotationsgeschwindigkeit des Zylinders allein nicht mehr. In diesen Falle wird der Strahl durch eine langsame Hilfsfrequenz von sehr großer Amplitude parallel der Rotationsachse des Zylinders hin- und hergeworfen, während die zu untersuchenden Schwingungen senkrecht dazu — also in Richtung der Vorwärtsbewegung des Films — zur Wirkung gebracht werden. Es erwies sich als

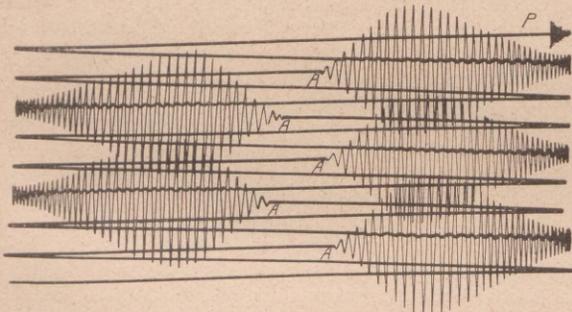


Fig. 4. Strom in einer Antenne beim Empfang der gedämpften Wellenzüge des Eiffelturms.

zweckmäßig, die Frequenz der Hilfsschwingung etwa 50- bis 150mal kleiner zu wählen als die zu untersuchende. Als Beispiel diene die Fig. 4. Sie zeigt den Strom (200 Milliampère) in einer Empfangsantenne in der Nähe des Eiffelturmes ($\lambda = 2600$ m) während der Zeit von fünf Funkenübergängen. Die Lichtspur läßt an den mit A bezeichneten Stellen deutlich das fast lineare Anwachsen der Schwingungen während der Dauer der äußeren Einwirkung erkennen, während der abklingende Teil die Eigendämpfung der Empfangsantenne augenscheinlich macht. Im Punkte P sieht man ferner die zufällige, allerdings etwas unklare Aufzeichnung einer atmosphärischen Störung. Man erkennt ihre stoßartige Natur und hohe Frequenz sowie die in ihrer Gefolgschaft auftretenden gedämpften Eigenschwingungen der Antenne.

Das Verfahren läßt sich, allerdings in etwas abgeänderter Form, bis zu Frequenzen von 200 000 000/sec anwenden und dürfte sich besonders in der Hochfrequenztechnik für manche Zwecke sehr nützlich erweisen.

O. Schriever.

Der physikalische Vorgang beim elektrischen Durchschlag von festen Isolatoren. (Karl Willy Wagner, Mitteilung aus dem Telegraphentechnischen Reichsamte, Preuß. Akademie der Wissenschaften, phys.-math. Klasse, Stück XXIX, S. 438, 1922.)

Mit dieser Arbeit, die der Abschluß mehrjähriger Untersuchungen ist, die durch den Krieg verzögert wurden, hat *K. W. Wagner* einen neuen sehr bedeutsamen Gedanken in die Diskussion über die Natur des Durchschlags fester Isoliermittel geworfen, der eine große Reihe von Tatsachen zwanglos erklärt und sowohl der Forschung als auch der Fabrikation und technischen Anwendung von Isoliermaterialien neue verheißungsvolle Wege weist. *K. W. Wagner* stellt die Hypothese auf, daß der Durchschlagsvorgang bei festen Körpern wesentlich ein Wärmevergange ist, und belegt sie mit einer großen Reihe von Versuchen. Die Wirkung der Wärme vollzieht sich so, daß zunächst an einer Stelle des plattenförmig gedachten Dielektrikums, die zufällig eine etwas größere Leitfähigkeit besitzt als die andern, ein etwas stärkerer Strom fließt, der eine etwas größere Erwärmung dort erzeugt. Infolge des negativen Temperaturkoeffizienten nimmt der Widerstand dort stärker ab als an den anderen Stellen, wodurch der Strom dort wächst und damit auch die Wärmeverzeugung usw. So steigern sich Erwärmung und Strom gegenseitig, bis schließlich eine Art Kurzschlußzustand, der Durchschlag, eintritt. Für den stationären Zustand gilt bei Wärmeabgabe durch Leitung:

$$UJ = \beta \tau \dots \dots \dots (1)$$

wo UJ die erzeugte Wärme (Spannung mal Strom), β die Ableitungskonstante und τ die Übertemperatur der schwachen Stelle gegen die Umgebung bedeutet. Für den Widerstand R kann man z. B. empirisch setzen:

$$R = \frac{U}{J} = R_0 e^{-\alpha \tau} \dots \dots \dots (2)$$

Wird aus (1) und (2) τ eliminiert, so ergibt sich die Gleichung der Strom-Spannungs-Charakteristik, aus der durch Differenzieren die maximale mögliche Spannung U_m bestimmbar ist, die beim Strom J_m auftritt. Es ergibt sich so:

$$U_m = \sqrt{\frac{\beta R_0}{\alpha e}}, J_m = \sqrt{\frac{\beta e}{\alpha R_0}} \dots \dots \dots (3)$$

β und R_0 sind proportional der Dicke der dielektrischen Platte, die andern Größen sind unabhängig davon. U_m ist also proportional der Plattendicke, J_m dagegen unabhängig davon, was durch den Versuch bestätigt wurde. Auch andere Annahmen über den Temperaturverlauf von R , Gl. (2), ergeben das gleiche Resultat. Die Versuche zur Aufnahme der Charakteristik auch über den Durchschlagspunkt U_m hinaus, wo die Verhältnisse labil werden, erfolgte in der Art, daß die zu untersuchende Platte zwischen zwei Holzelektroden gebracht wurde, mit der Faserung in der Stromrichtung, also mit sehr geringer Querleitfähigkeit. Es waren so die Stromspannungsverhältnisse der einzelnen Fäden fast unabhängig voneinander, und der große Widerstand des Holzes wirkte auch jenseits des Durchschlagspunktes stabilisierend auf den Strom des betreffenden Fadens. Aus der Differenz der U - J -Kurven mit und ohne eingelegte Versuchsplatte ergab sich die gewünschte Charakteristik, die im Prinzip den von den Gasentladungen her bekannten Verlauf zeigte.

Besitzt das Material mehrere schwache Stellen, so ergibt das Experiment die mittlere Kennlinie all dieser Stellen. Wird das Material beim Wachsen des Stromes durch die übermäßige Wärme zerstört, so liegt die

Kennlinie bei Rückgang des Stromes viel tiefer als beim Wachsen. Bei vielen Materialien, z. B. Glas, ist es hingegen möglich, die Kennlinie mehrmals in gleicher Weise vorwärts und rückwärts zu durchlaufen, ohne daß das Material beschädigt wird. Bei ungleichförmigen elektrischen Feldern kann das Material der schwächer beanspruchten Stellen, in gleicher Weise wie die Holzelektroden, stabilisierend auf stärker beanspruchte Teile in starken Feldregionen wirken, so daß hier die Feldstärke über dem Durchschlagwert liegen kann, ohne daß das ganze Material durchschlägt wird.

Hat das Material dielektrische Verluste, so ist die Wärmeezeugung bei Wechselspannung größer als bei Gleichspannung, und entsprechend ist die Durchschlagsspannung geringer.

Auch die Zeit, die verfließt, bis nach dem plötzlichen Anlegen einer Spannung U der Durchschlag erfolgt, läßt sich berechnen. Während dieser Zeit der Erwärmung findet auch Wärmeeinspeicherung in dem betrachteten Faden selbst statt, so daß statt Gl. (1) nunmehr:

$$UJ = \beta \tau + k \frac{d\tau}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

als Energiebilanz gilt. Wird J mit Gl. (2) eliminiert, so läßt sich τ abhängig von t für ein bestimmtes U berechnen. Aus der Temperatur τ ergibt sich der Widerstand R und daraus dann der Strom J als Funktion der Zeit. Zunächst ergibt sich, daß für $t = 0$, also auch

$\tau = 0$, $\frac{dJ}{dt}$ proportional U^3 ist, was durch zahlreiche Ver-

suche bestätigt wurde. Die Zeit t , die bis zum Eintreten des Durchschlags verfließt, ist um so geringer, je mehr die plötzlich angelegte Spannung U über dem stationären Durchschlagswert U_m liegt. Eine besonders interessante Folgerung aus Gl. (4) ist die, daß bei Wechselspannungen, deren Schwingungsdauer klein ist

gegen die thermische Zeitkonstante $\frac{k}{\beta}$, der Durchschlag

von der effektiven Spannung abhängig wird, statt von der maximalen, wie es bei Gasen überall der Fall ist. Auch diese Tatsache wurde durch Versuche mit besonders erzeugten spitzen Spannungskurven bestätigt, indem der Durchschlag erst dann eintrat, wenn der Effektivwert dieser Spannung den Wert U_m erreichte, während der Maximalwert hoch darüber lag.

Der Verfasser gibt an, die Theorie an Hunderten von Experimenten geprüft zu haben. In der Publikation sind einige der charakteristischsten Kurven wiedergegeben.

Wir besitzen in der neuen Theorie von K. W. Wagner eine phänomenologische Beschreibung des Durchschlagsvorgangs, die das ganze Gebiet in einem neuen Licht erscheinen läßt, und die in der Aufklärung der bisher noch sehr unklaren Vorgänge ganz Erstaunliches geleistet hat. In weiterer Forschung und technischer Anwendung wird sich ihre ganze Fruchtbarkeit noch auswirken.

Andererseits schließen sich an diese Theorie noch eine große Reihe völlig ungelöster Fragen an. Um nur einige der wichtigsten hervorzuheben, z. B. die nach dem Beginn des ganzen thermischen Prozesses. Wie kommt der negative Temperaturkoeffizient zustande? Was ist als „schwache Stelle“ im Sinne dieser Theorie zu verstehen? Welche Rolle spielt dabei die Konstitution des Isoliermittels mit allen seinen sonstigen Konstanten, welche Rolle die Elektroden? Im Grunde genommen ist der Entladungsprozeß im festen

Körper genau solch ein Ionen- und Elektronenprozeß wie in den Gasen, nur daß er durch die Konstitution des Materials in anderer Weise verläuft. Zur Aufklärung dieser Fragen, die bis in die intimsten Strukturgesetze der Materie eindringen, wird noch viel weitere Arbeit notwendig sein. Die Theorie von Wagner wird dabei als erster Wegweiser durch das unbekannte Gebiet der weiteren Forschung unentbehrlich sein.

W. O. Schumann.

Bestimmung der Schwere auf dem Ozean. Das Problem der Bestimmung der Schwere auf dem Ozean beschäftigt die Geophysiker schon seit langer Zeit. (Vening Meinesz: Slingerwaarnemingen op zee: De Ingenieur 38. Jaargang, Nr. 18 u. 40; J. J. Muller, De slingerwaarnemingen aan bord von Hr. Ms. Onderzeeboot K II: De Ingenieur 38 Nr. 44; siehe auch: J. J. Muller, Dutch Pendulum observations in Submarines: Nature vol. 112, Nr. 2811, 2822.) Das Problem ist um so wichtiger, als bekanntlich zwei Drittel der Erde von Wasser bedeckt sind. Es galt, Apparate zu finden, welche keine Pendel verlangten, da die Bewegung des Schiffes sie als unbrauchbar erscheinen ließ. Man versuchte es mit Apparaten, welche auf den Gesetzen der Elastizität beruhen, sei es von Federn oder von Gasen; jedoch mit geringerem Glück. Erst als es gelang, die Methode der Schwerebestimmung mit Siedethermometern auszubilden, war ein großer Schritt nach vorwärts getan. Nun wird aber doch wieder der Versuch gemacht, das Pendel auch auf Schiffen zu verwenden. Der Vorschlag wurde von Dr. Ir. Vening Meinesz auf dem 19. Kongreß niederländischer Naturforscher und Ärzte in Maastricht (April 1923) gemacht; er zeigte, daß man aus den Beobachtungen von zwei Paaren auf demselben Stativ in zwei aufeinander senkrechten Ebenen schwingenden Pendeln den Einfluß der Schiffsbewegung eliminieren kann. In greifbare Nähe erschien die Sache gerückt, als Prof. Th. v. Iterson darauf hinwies, daß im Unterseeboot, selbst wenige Meter unter der Meeresfläche, die Schiffsbewegungen schon wesentlich gedämpft sind. Eine Versuchsfahrt hat auch sehr gute Resultate ergeben.

Die niederländische Gradmessungskommission beschloß daher, Versuche in größerem Umfange anzustellen. Es ergab sich eine günstige Gelegenheit, als das Mutterschiff „Pelikan“ der niederländischen Marine mit 3 Unterseebooten nach Indien abging, und durch das Entgegenkommen des Marineministeriums wurde die Ausführung gesichert. Ein 4-Pendel-Apparat der verlangten Form war vorhanden und mußte nur mit einer photographischen Registriervorrichtung versehen werden.

Die Expedition ist derzeit unterwegs und es sind bisher aus Gibraltar und Tunis Nachrichten eingetroffen. An ersterer Station mußte eine Änderung am Apparate vorgenommen werden; es gelang, dieselbe während des kurzen Aufenthaltes zu vollenden. Obwohl das Wetter zeitweise recht schlecht war, gelangen doch schon einige Beobachtungen, welche eine überraschende Genauigkeit ergeben haben. Während die Probebeobachtungen eine Genauigkeit von 1:100 000 erwarten ließen, ergab sich nun eine Genauigkeit von fast 1:500 000.

Man kann sehr gespannt sein auf den Ausgang der Expedition, da ein günstiges Ergebnis die Möglichkeit mit sich brächte, unsere Kenntnisse von der Schwereverteilung auf der Erde bedeutend zu vermehren.

A. Prey.