

# Zeitschrift

für den

## Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XLVIII. Jahrgang.

1935.

Erstes Heft.

### Der Drehungswinkel beim Foucaultschen Pendel. Corioliskräfte.

Von Wilhelm Volkmann in Berlin.

Vor einiger Zeit (diese Zeitschr. 45, 261; 1932) habe ich ein einfaches Pendel für den FOUCAULTSchen Versuch zum Nachweise der Erddrehung beschrieben, das inzwischen in den Übungen vielfach erprobt worden ist. An 6 Pendeln wurde mit etwa 5 Minuten Beobachtungsdauer die Drehung der Schwingungsebene bestimmt. Da das Lampenwendel auf die Seidenschnur mit einem einfachen Brillenglas von 8 D abgebildet wird, bewirkt der Öffnungsfehler (sphärische Abweichung) eine merkliche Unsicherheit dieses Bildortes. Sie wird aber unschädlich, wenn die Teilung zum Ablesen der Umkehrpunkte des Schattens weit genug entfernt ist. Etwa 80 cm Abstand der Teilung von der Ruhelage des Pendels genügt. Das Mittel aus 12 solchen Beobachtungen kann benutzt werden, um die Breite des Beobachtungsortes zu berechnen, und lieferte diesen Wert auf einen Breitengrad genau. Näher am Pol wird trotz des größeren Drehungswinkels diese Breitenbestimmung weniger genau, weil die Sinuswerte einander zu nahe liegen. Für die Nachbarschaft des Äquators läßt die Unsicherheit der Messung des kleinen Drehungswinkels diese Breitenbestimmung nicht wesentlich schärfer werden. 2,2 m Pendellänge genügt also für die Schule. Sogar ein Pendel von 1,2 m Länge und mit sehr kleinem Fläschchen (gefüllt 150 g), das an einem hölzernen Photostativ hing, erwies sich bei einiger Vorsicht als durchaus brauchbar.

Nachdem so der Versuch sehr leicht zugänglich geworden ist, war es wünschenswert, die Abhängigkeit des Drehungswinkels von der geographischen Breite in leicht verständlicher und anschaulicher Weise abzuleiten.

Daß am Pol die Drehung der Schwingungsebene ebenso groß ist wie die Drehung der Erde selbst, nur von umgekehrter Richtung, ist leicht einzusehen. Schwieriger ist schon zu begreifen, daß am Äquator keine Drehung der Schwingungsebene eintritt, ganz gleich wie ihre ursprüngliche Richtung war. Aber den Berechnungen, welche als Betrag der Drehung der Schwingungsebene: Erddrehung mal Sinus der geographischen Breite ergeben, mit der Anschauung wirklich zu folgen, dürfte nur ausnahmsweise einem Schüler, ja selbst dem Lehrer möglich sein. In dieser Zeitschrift sind Ableitungen gegeben, außer kurzen Hinweisen von KOPPE, 1, 21 und 70 (1888); VAHLEN, 12, 110 (1899); KÖRBER, 13, 37 (1900); REHDANS, 13, 111 (1900); SCHMIDT, 13, 206 und 301 (1900); SCHNELL, 16, 144 (1903), z. T. mit Beurteilung sonstiger Formen der Ableitung; ferner ein Veranschaulichungsmodell von WEBER, 29, 201 (1916). Die folgende Mitteilung bringt in enger Beziehung zu einigen der genannten Abhandlungen die Beschreibung einer Vorrichtung, durch welche die Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Punkte gelenkt und die Herleitung der Formel veranschaulicht werden soll, nebst einigen kleinen Hilfsmitteln für die vorbereitenden Überlegungen.

#### Die Fragestellung.

Fig. 1 zeigt einen Induktionsglobus, über dessen Knopf ein schwarzer Papierstreifen gehängt ist. Oben hat der Streifen hierfür ein Loch, sein unteres Ende trägt ein aus Zeichenpapier gefaltetes Häuschen an der Stelle, die der geographischen Breite des Beobachtungsortes entspricht. Der Breitenkreis ist mit Kreide auf den Globus gezeichnet.

Dreht man diesen Globus genau einmal um seine Achse, so wird der Schüler sagen, der Globus sei um  $360^\circ$  gedreht, und dabei hat sich alles in dem Häuschen auch genau um  $360^\circ$  gedreht. Um den Sinn dieser Drehung schärfer zu kennzeichnen, ist ein ganz gleiches Häuschen nahezu diagonal durchbohrt und in dieser Lage auf eine Stopfnadel gespießt, die senkrecht in einem großen Kork steckt. Der in Fig. 1 für die Aufnahme untergesetzte Metallfuß ist entbehrlich. Man dreht den Globus noch einmal und darauf das Häuschen um die Nadel. Wenn nun der Schüler aufgefordert wird, sich die Drehung des Zimmers, in dem er selbst und ein an der Decke hängendes Lot sich befinden, um eine schräg durchs Zimmer laufende Achse vorzustellen, so wird er das je nach seiner Art als eine unbehagliche Forderung oder als einen lustigen Einfall empfinden, aber in den meisten Fällen nicht ganz leicht damit fertig



Fig. 1. Drehung eines Hauses um die Erdachse.

werden. Den Erfolg einer halben Drehung,  $180^\circ$ , kann er sich aber vorstellen als ein Verschieben des Häuschens auf dem Meridian über den Pol hinweg bis zur gegenüberliegenden Stelle und als eine Drehung hier um  $180^\circ$ . Das ist eine Zerlegung, bei der statt der unbehaglichen Drehung um die schräge Achse die „vernünftige“ Drehung um die Lotrichtung auftritt, aber die Bewegung der Lotrichtung selbst ist durch eine solche ersetzt, die in Wirklichkeit nicht auftritt. Andererseits ist die wirkliche Bewegung der Lotrichtung, auf die nun die Aufmerksamkeit gelenkt ist, ziemlich leicht zu erfassen, denn sie beschreibt einen Kegelmantel, dessen Spitze als im Erdmittelpunkt liegend angenommen werden kann<sup>1</sup>.

In den mathematischen Ableitungen der Drehung der Schwingungsebene des FOUCAULT-Pendels wird nicht selten die Bewegung der Lotlinie so stark hervorgehoben, daß der Lernende meint, hierin liege bereits das Entscheidende.

Das trifft aber nicht zu, es kommt vielmehr darauf an, wie sich um diese wandernde Lotlinie der Fußboden des Zimmers und die auf ihn gezeichnete Richtung, z. B. die Nord-Süd-Richtung, dreht.

Die Frage für den Schüler ist nun also, ob er sich vorzustellen vermag, wie sich das Häuschen allmählich um die Lotrichtung dreht, während diese den Kegelmantel durchwandert, und ob er einsehen kann, daß diese Teildrehung weniger als  $360^\circ$  für eine volle Umdrehung der Erde ausmacht.

#### Das Gerät.

Um dem Schüler die schwierige Aufgabe, die seiner Raumauffassung gestellt ist, zugänglich zu machen, ist das in Fig. 2, 3, 4 abgebildete Gerät angefertigt worden. Die Metallteile stammen aus dem Märklin-Baukasten und sind im folgenden mit Nummer und Namen der Preisliste der Einzelteile angegeben, um die Anfertigung in gleicher Form zu erleichtern. In Mechanikerarbeit ausgeführt, ist das Gerät bei Leppin & Masche, Berlin SO 16, Engelufur 27, erhältlich.

Das Wichtigste ist ein aus drei Drähten gebildetes rechtwinkliges Dreieck. Die Hypotenuse ist der 4 mm starke Draht (Welle Nr. 13). Die Platte, auf der er befestigt ist, stellt die Äquatorebene dar, er selbst die Erdachse, sein Fußpunkt den Erdmittelpunkt. Die beiden Katheten sind aus einem um die Achse schwenkbaren Draht gebildet. Als Seitenverhältnis ist 5:4:3 gewählt. Diese für Anfertigung und Ablesung bequemen Zahlen entsprechen nicht ganz der Breite von Berlin, sondern  $53^\circ 8'$ , also der Breite von Bremen, Wittenberge, Angermünde, Berlinchen, Thorn. Das Zahlen-

<sup>1</sup> Die Abweichung der Meridianellipse vom Kreis ist zu klein, um sie im Erdglobus erkennbar zu machen. Vgl. Anleitungsblatt Ek 1: Form und Größe der Erde. Siehe diese Zeitschrift 46, 287 (1933) und 47, 95 (1934).



verhältnis ist nebensächlich; wichtig aber ist, daß die beweglichen Drähte miteinander einen rechten Winkel bilden. Der untere gibt die Fortsetzung der Lotrichtung des Beobachtungsortes zum Erdmittelpunkt an, der obere die im Beobachtungsraum unter dem Pendel auf den Fußboden gezeichnete Nord-Süd-Richtung. Wie man aus den Figuren 2 und 3 erkennt, wird beim Gerät diese Richtung an einem Teilkreis abgelesen, der zugleich um eben diese Richtung so viel kippt, daß seine Ebene dauernd senkrecht zur Lotrichtung des Beobachtungsortes bleibt.

Auf einem Brett ist mit einigen Schrauben das Lochscheibenrad Nr. 24 befestigt. Es trägt die 30 cm lange Welle Nr. 13, diese ist also die Erdachse vom Erdmittelpunkt bis über den Nordpol hinaus. Der rechte Winkel ist aus 1,6 mm starkem Draht mit 20 cm und 15 cm Schenkellänge gemacht und kann sich mit angebogenen Ösen um die Welle drehen. Die untere Öse ist senkrecht abgebogen und läuft zwischen



Fig. 2. Zerlegung der Drehung in zwei Teildrehungen. Anfangsstellung.



Fig. 3. Zerlegung der Drehung in zwei Teildrehungen. 100° Drehung.

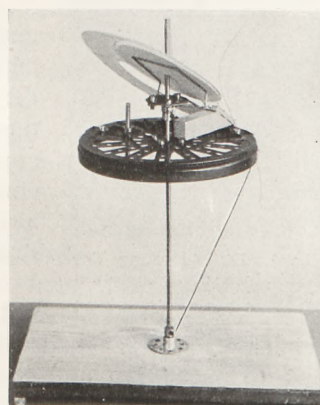


Fig. 4. Zerlegung der Drehung in zwei Teildrehungen. Rückseite des Geräts.

dem Lochscheibenrad und einem Stellring Nr. 59. Die Länge dieses Knickes ist so, daß die Verlängerung des 20-cm-Drahtes auf das untere Ende der Welle weist, und von hier bis zum rechten Winkel sind 20 cm. Die Öse des 15-cm-Drahtes ist länglich, so daß sie in schräger Lage die Welle umfaßt. Diese Stelle liegt 25 cm über dem Brett. Gerade Drähte aus Messing 1,5 mm und verzinntem Eisen 1,6 mm sind in meterlangen Stücken im Handel. Der verzinnte Eisendraht heißt Vogelkäfigdraht, er ist nebst gebohrten Buchenleisten für Vogelkäfige z. B. bei Franz Bendix, Berlin O 27, Andreasstr. 32, erhältlich.

Dicht unter dem oberen Draht liegt auf einem schrägen Gestell, das der Drehung des Drahtbügels folgt, der Teilkreis mit 10 cm Durchmesser, dessen Mitte in der Achse liegt. Das Gestell ruht drehbar auf einem Stellring; es besteht aus einem Lochscheibenrad, dessen Klemmschraube entfernt ist, und Drähten, die mit Schraube und Mutter Nr. 37 am Lochscheibenrad befestigt sind. Der eine mit 2 Schrauben befestigte Draht ist so gebogen, daß er einen ebenen Stützrahmen unter 53° Neigung gegen die Achse bildet. Darauf liegt lose eine runde Pappscheibe von fast 10 cm Durchmesser. Der andere Draht steht in Richtung des 15-cm-Drahtes unter dem Teilkreis als Doppeldraht, ist dann aufwärts gebogen und umfaßt den 15-cm-Draht, so daß er von ihm bei der Drehung mitgenommen wird.

Der Teilkreis besteht aus dünnem Zeichenpapier und hat ein Anhängsel, das  $\frac{1}{4}$  eines Teilkreises von 10 cm Halbmesser darstellt. In diesem Viertelkreis sind innerer und äußerer Teilkreis durch einen 1 cm breiten Schlitz getrennt; durch ein Stück des folgenden Quadranten sind sie zusammengehalten. Der Anfang der äußeren Teilung ist an einem schrägen Holzklötz befestigt, der mit der Achse durch das große Rad Nr. 96 und ein Lochscheibenrad fest verbunden ist. Auf dem Rand dieses

15 cm großen Rades wickelt sich der Streifen des großen Teilkreises beim Bewegen des Drahtes als Kegel auf.

Für die Bewegung des Drahtwinkels bildet die Klemmleiste zur Befestigung des Anfanges der Teilung den einen Anschlag, der andere ist bei etwa  $105^\circ$  Winkeldrehung durch einen Stift gegeben, an den der Mitnehmer stößt. Es besteht aus einer 5 cm langen Welle Nr. 17, die mit 2 Stellringen in einem Loch des großen Rades festgemacht ist.

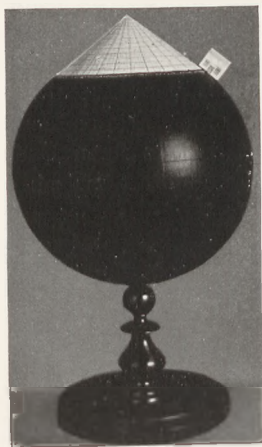


Fig. 5. Die Ablesung der Teildrehung des Häusens um die Lotrichtung am Globus.

Am Rande des großen Rades ist noch eine Teilung, weiß auf schwarzem Grunde, angebracht, an der die Drehung der Ebene des Drahtwinkels um die Achse bis zu  $100^\circ$  abgelesen werden kann.

Die Handhabung des Gerätes besteht nun darin, daß man die Bedeutung der Richtungen der beiden Drähte des Winkels genau erklärt und dann den Winkel langsam aus der Anfangslage nach rechts dreht. Dabei wird sichtbar, daß die Ablesung der Nord-Süd-Richtung an einem Teilkreis, der um diese Richtung so geschwenkt wird, daß er stets senkrecht zur Lotrichtung am Beobachtungsort steht, gleichwertig ist der Ablesung an einem zum Kegelmantel gerollten Teilkreis, wobei der Winkel zwischen Achse und Kegelmantel gleich der geographischen Breite des Beobachtungsortes ist.

In der jedem Klempner geläufigen Weise rechnet man aus, welcher Zentriwinkel für diesen Kegel nötig ist. Den Kegel schneidet man am bequemsten aus Polarkoordinatenpapier (Schleicher & Schüll Nr. 316 $\frac{1}{2}$ ) aus und setzt ihn auf den Induktionsglobus. Damit hierbei das Häuschen auf dem Globus bleiben kann, ist es nur mit seiner südlichen Hälfte auf den schwarzen Papierstreifen geklebt, und seine nördliche Hälfte steht um einen 2 mm starken Spalt vom Papier ab (Fig. 5).

Auf der Teilung am großen Rad liest man  $100^\circ$  ab, wenn am Kegel und Teilkreis  $80^\circ$  angezeigt werden. Am Kegelmantel, den die Lotrichtung beschreibt, würde  $60^\circ$  abzulesen sein entsprechend dem Achsenverhältnis 3:4:5. Das Gerät dient also letzten Endes dazu, die Regel zu erläutern, daß man Drehungen nach der Parallelogrammregel vektoriell zusammensetzt, indem man Strecken, deren Länge dem Drehwinkel entspricht, auf den Achsen abträgt, wobei die Achsrichtung im Sinn einer Rechtschraube zu nehmen ist. Freilich zeigt das Gerät nur den Sonderfall der Zusammensetzung von Drehungen, deren Achsen senkrecht zueinander stehen. Es ist zwar möglich, auch ein Gerät für den allgemeinen Fall zu bauen, doch scheint es mir einfacher, den allgemeinen Fall aus dem gezeigten Sonderfall abzuleiten.

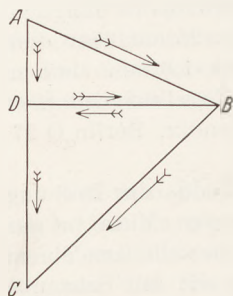


Fig. 6. Spitzwinkliges Dreieck von Drehachsen.

Ist  $ABC$  (Fig. 6) ein spitzwinkliges (oder auch ein stumpfwinkliges) Dreieck, und soll die Drehung um  $AB$  und  $BC$  zu einer Drehung um  $AC$  zusammengesetzt werden, so zerlegt man erst  $AB$  in die zueinander rechtwinkligen Drehachsen  $AD$  und  $DB$ , so wie unser Gerät das zeigt. Ebenso zerlegt man  $BC$  in die zueinander senkrechten Drehachsen  $BD$  und  $DC$ . Dann fällt  $DB$  gegen  $BD$  heraus, und  $AD + DC$  gibt  $AC$  als resultierende Drehachse.

In dem Gerät ist der Winkel oben gleich der geographischen Breite. Es ergibt sich also unmittelbar, daß das Verhältnis der Drehung um die Erdachse zur Drehung um die Lotrichtung durch das Verhältnis dieser Achslängen im Gerät, also durch den Sinus der geographischen Breite, dargestellt wird.

Ferner ist ohne weiteres klar, daß alle auf den Fußboden gezeichneten Richtungen sich um genau denselben Winkel drehen, wie die Nord-Süd-Richtung, daß also der Versuch für alle Schwingungsrichtungen des Pendels denselben Erfolg haben muß.



### Corioliskräfte.

Die Ablenkung des FOUCAULT-Pendels wird manchmal unter Heranziehung von Coriolis-Kräften berechnet. Da es sich aber, wie sowohl die rein mathematische Ableitung als die Veranschaulichung mit dem beschriebenen Gerät zeigt, um eine rein geometrische Angelegenheit handelt, läßt sich die Bezugnahme auf physikalische Kräfte nicht rechtfertigen.

Das FOUCAULT-Pendel hat in der Kugelschale, die durch den Aufhängefaden bestimmt ist, die Bahn völlig frei. Waagerechte Corioliskräfte können also gar nicht auftreten. Diese sind vielmehr nur da vorhanden, wo Schienen oder andere Schranken dem Körper eine Bahn aufzwingen, die seiner Trägheit nicht angemessen ist.

Man kann sich auch nicht auf den Standpunkt eines Beobachters stellen, dem die Drehung der Erde unbekannt ist. Für ihn ist die Bewegung des FOUCAULTSCHEN Pendels unerklärlich. Er sieht zwar, daß die Bewegung so ist, als ob außer den ihm bekannten Kräften noch eine zur jeweiligen Bewegung senkrechte Kraft wirksam wäre. Er kann diese Kraft aber nicht aus der ihm unbekannten Erddrehung ableiten. In dem Augenblick, in dem er aus seiner Beobachtung auf die Erddrehung schließt, hört diese auf, ihm unbekannt zu sein. Aber er sieht dann, daß gar keine besonderen Kräfte auftreten, sondern daß der Weg längs der geraden Linie, die er auf den Fußboden gezogen hat, infolge der Erddrehung gar keine gerade, sondern eine gekrümmte Bahn ist und besondere Kräfte nötig wären, wenn man einer trägen Masse diese Bahn aufzwingen wollte.

Die Corioliskräfte werden sehr oft nicht verstanden, weil der Lehrende zu schnell auf die Kräfte eingeht und nicht lange genug bei der tatsächlichen Krümmung der für gerade gehaltenen Bahn verweilt. Die schönsten physikalischen Versuche können den Mangel am räumlichen Verständnis nicht ausgleichen. Ist aber das geometrische Verständnis da, so sind die physikalischen Versuche für das Verständnis nicht mehr nötig. Sie dienen nun der Nachprüfung, ob alle Bedingungen des zu erklärenden Vorganges erfaßt sind. Tritt beim Versuch nicht das erwartete Ergebnis ein, so hat man nicht gleich Naturgesetze umzustößen, wie z. B. manche wollten, als man erfuhr, daß Radium stets wärmer ist als seine Umgebung, sondern man hat nach übersehenen Bedingungen und Vorgängen zu suchen.

Will man die Ursache der Corioliskräfte, nämlich die Bahnkrümmungen veranschaulichen, so ist zu beachten, daß dafür nicht die Gestalt der Erde wichtig ist, sondern der Umstand, daß eine Drehung vom Beobachter nicht bemerkt wird. Den einfachsten Fall liefert also eine ebene Scheibe, und hier ist wieder der einfachste Fall der, daß ein Ding sich auf einem Radius bewegt und die Scheibe sich dreht, ohne daß der auf der Scheibe sitzende Beobachter das merkt. Ihm erscheint dann die Bewegung geradlinig, während sie in Wirklichkeit auf einer Archimedischen Spirale vor sich geht, also gekrümmt ist.

Für die Veranschaulichung bequemer ist ein Faden, der sich auf eine Walze aufwickelt und dabei den Stuhl des Beobachters mit um die Walze führt. Fig. 7 zeigt eine Vorrichtung dafür. An einem Laboratoriumsstativ wird eine Welle aus dem Märklin-Baukasten, z. B. Nr. 14, waagrecht befestigt. Auf ihr sitzt das Schnurlaufrad Nr. 21a oder die „runde Platte“ Nr. 67, ein Rad mit Schnurrille von 65 mm Durchmesser (oder eines der größeren mit Lochscheibenrad zu befestigenden Räder, auch eine runde Pappschachtel ist geeignet). Das Rad wird umfaßt von einem Drahtbügel, der beiderseits mit Ösen auf der Welle drehbar ist. Das Querstück des Bügels ist zu einer Öse geschlungen; außerdem ist einerseits dieser Öse, bevor die weiteren Biegungen angebracht werden, ein Kork auf den Draht geschoben. Eine weiche

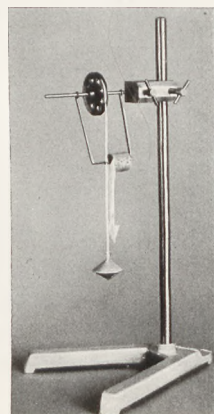


Fig. 7. Eine gekrümmte Bahn erscheint dem bewegten Beobachter als gerade Bahn.

geflochtene Schnur wird mit einem Ende an einer Stelle des Radumfanges festgebunden, durch die Öse geführt und am anderen Ende belastet. Am Kork, der den Beobachter darstellt, wird noch ein Papierpfeil befestigt, der seine Blickrichtung andeuten soll. Er wird durch Drehen des Korkes in die Fadenrichtung gestellt. Da es nicht auf die Geschwindigkeiten, sondern nur auf die Bahnform ankommt, kann man die Last in der Radebene pendeln lassen. Dem Beobachter scheint die Last auf unverändert gerader Bahn näher und ferner zu rücken, während sie tatsächlich eine sehr gekrümmte Bahn durchläuft. Man kann natürlich auch die Last mit der Hand gleichmäßig herumführen, wobei der Faden gespannt bleiben muß.

Ein anderer einfacher Fall ist der, daß das Ding senkrecht zum Radius von vorn herein im Kreise umläuft. Hier bleibt die Bahn unverändert, aber der Beobachter gibt die Winkelgeschwindigkeit nicht richtig an. Eine einfache Veranschaulichung

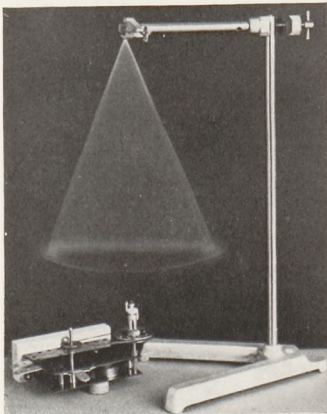


Fig. 8. Wirkliche und scheinbare Umlaufgeschwindigkeit.

zeigt Fig. 8. Man läßt ein Fadenpendel im Kreise schwingen und setzt darunter als Beobachter eine kleine Figur auf einer Drehvorrichtung. Die Figur zeigt das Märklin-Uhrwerk (abgestellt), doch tut es eine mit der Hand gedrehte Scheibe auch.

Steht der Beobachter still (wie in Fig. 8), so beurteilt er die Umdrehungsgeschwindigkeit richtig. Daher stimmt die aus Kreisbahn und Bahngeschwindigkeit berechnete Zentrifugalkraft mit der aus der Fadenrichtung (Resultante) und dem Gewicht (lotrechte Komponente) berechneten waagerechten Komponente überein. Dreht sich der Beobachter, ohne es zu wissen, so setzt er in die Rechnung die scheinbare Umlaufsdauer ein und findet, daß die Kraft senkrecht zur scheinbaren Bahn in beiden Rechnungen verschieden herauskommt. Der Unterschied ist eine für ihn rätselhafte Kraft senkrecht zur scheinbaren Bahn. Der falsche Ansatz der Bahngeschwindigkeit (gleich

dem absoluten Betrag der Vektorgeschwindigkeit) bleibt verborgen, denn diese Beobachtungen können nur Beschleunigungen, nicht aber Geschwindigkeiten nachweisen.

Die an der ebenen Scheibe entwickelten Vorstellungen lassen sich leicht weiterführen, indem man auf einen Kegelmantel übergeht. Aus den ebenen Kurven werden nun räumliche mit doppelter Krümmung. Wesentlich mehr kommt auf der Kugel auch nicht hinzu. Auf der Erde gibt die bevorzugte Richtung der Schwere Anlaß zur Zerlegung in waagerechter und in Lotrichtung. Genauere Angaben sind nicht Sache der Veranschaulichung, sondern der Berechnung, die aber durch diese Vorbereitung ein klareres Ziel erhält.

Der Begriff der Corioliskräfte verflüchtigt sich durch die Veranschaulichung ganz beträchtlich. Im Grunde genommen ist dieser Name ein unangemessener Ausdruck dafür, daß man physikalische Begriffe voreilig anzuwenden versucht hat, nämlich bevor die geometrischen Tatsachen genügend geklärt waren. Macht man sich die wirkliche Form der Bahnen klar, die einer trägen Masse aufgezwungen werden, so ergibt sich der zur wirklichen Bahn senkrechte Druck aus Masse, Geschwindigkeit und Bahnkrümmung einfach nach der Zentrifugalformel, und zur Einführung weiterer geheimnisvoller Kräfte liegt dann gar kein Grund vor.

## Winddruckmeßgerät für aerodynamische Versuche in der Schule.

Von G. Schuzius in Berlin.

Die für die allererste Einführung in die Fluglehre entwickelten Geräte kommen, da es sich hierbei lediglich um Demonstrationsversuche handelt, mit einem Windstrom aus, wie ihn beispielsweise der Föhn liefert. Geht man dagegen zu messenden Versuchen



über, was bei der Behandlung der Fluglehre in den oberen Klassen der höheren Lehranstalten unbedingt erforderlich ist, so wachsen die Ansprüche, die an Windstromerzeuger und Meßgerät zu stellen sind, bezüglich Strahlquerschnitt und Meßgenauigkeit ganz bedeutend. Um den Schulen die Möglichkeit zu geben, ernst zu nehmende Messungen auszuführen, hat die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht gemeinsam mit dem Institut für technische Strömungsforschung in Berlin einen Windstromerzeuger entwickelt, der im 46. Jahrgange (1933) der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht (S. 16 bis 19) veröffentlicht worden ist. Dieser Windstromerzeuger liefert bei einem Düsendurchmesser von etwa 30 cm eine Windgeschwindigkeit von maximal 18 m/sec. In weiterer Verfolgung der Versuche hat es sich als notwendig erwiesen, für diesen Windstromerzeuger auch noch ein Winddruckmeßgerät zu entwickeln, da alle vorhandenen Geräte keineswegs den Ansprüchen genügen, die an ein derartiges Schulgerät zu stellen sind.

Ausschlaggebend für den Wert einer Messung ist in erster Linie die Beschaffenheit des Windstromes, d. h. es kommt darauf an, bis zu welchem Grade die Geschwindigkeitsverteilung über den ganzen Strahlquerschnitt zeitlich und örtlich konstant und die Geschwindigkeitsrichtung überall gleich ist. Aus finanziellen Gründen ist bei dem Windstromerzeuger der Staatlichen Hauptstelle ein vierflügeliger Propeller verwendet, da sonst die Anlage zu kostspielig würde, so daß die genannte Bedingung nicht ganz erfüllt ist. Der Geschwindigkeitsabfall über den gesamten Querschnitt hält sich aber in solchen Grenzen, daß brauchbare Messungen im Windstrom durchaus möglich sind. Eine weitere kleine Unsicherheit ergibt sich daraus, daß bei nicht fest eingebauten Anlagen die genaue Geschwindigkeitsrichtung nicht mit genügender Sicherheit ermittelt werden kann. Das drückt sich z. B. bei Messungen an Tragflächen in einer Unsicherheit von  $1^{\circ}$  bis  $2^{\circ}$  bei Angabe des Anstellwinkels aus oder bei Widerstandsmessungen an irgendwelchen Versuchskörpern in einer geringfügigen Abweichung des Meßergebnisses. Die in dem Windstrom dieser Anlage durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß solche kleinen Mängel die Durchführung sauberer Messungen keineswegs so weit beeinflussen, um die Verwendung eines exakten Meßgerätes zweifelhaft werden zu lassen. Die sich ergebende Ungenauigkeit hält sich in den Grenzen von etwa 2 bis 3%.

Bei Messungen im Windstrom handelt es sich nur selten um einzelne Messungen, sondern größtenteils um Meßreihen, deren Ergebnisse in einer Kurve zusammengefaßt werden, um hier Aufschluß über den Verlauf einer Erscheinung zu geben. Diese Tatsache war ausschlaggebend bei der Dimensionierung des Windstromerzeugers. Es handelte sich hier um einen Kompromiß zwischen Windgeschwindigkeit und Strahlquerschnitt. Um die Erscheinungen in einer für den Unterricht wünschenswerten Deutlichkeit zeigen zu können, ist es vorteilhaft, einen möglichst großen Geschwindigkeitsbereich zur Verfügung zu haben, damit die aus den Ergebnissen gewonnenen Kurven nicht zu kurz werden. Andererseits darf der Strahlquerschnitt nicht zu klein sein, da sich sonst die gewonnenen Meßergebnisse nicht einmal auf Modelle selbst bescheidener Größe anwenden lassen.

Die Beschaffenheit des Windstrahls und die meßtechnischen Bedingungen sind bestimmend für die Anforderungen, die an ein Winddruckmeßgerät zu stellen sind. Hinzu kommen noch die Anforderungen, die für die praktische Verwendung im Unterricht maßgebend sind. Hieraus ergeben sich die für die Entwicklung des Meßgerätes maßgebenden konstruktiven Gesichtspunkte. Der Aufbau des Gerätes muß so gestaltet sein, daß es nicht nur für den Schüler vollständig durchsichtig ist, sondern auch seine Handhabung einfach genug wird, um die einzelne Messung bei der nötigen Sicherheit mit einem möglichst geringen Zeitaufwand durchführen zu können. Empfindliche Teile, wie Federn, sind nach Möglichkeit zu vermeiden, damit das Gerät nicht durch äußere Einflüsse, wie Feuchtigkeit oder gelegentliche unsachgemäße Behandlung, fehlerhaft wird.

Für die Messung selbst ist zu fordern, daß große und kleine Kräfte möglichst mit derselben prozentualen Genauigkeit gemessen werden können, und hierbei der zu unter-

suchende Körper wenigstens bei Ablesung der wirksamen Kraft sich an derselben Stelle des Luftstromes und in derselben Lage zu ihm befindet. Diese letzte Bedingung ist für die Durchführung einer einwandfreien Messung von großer Wichtigkeit.

Der leitende Gedanke bei der konstruktiven Durchführung war, den Aufbau so einfach zu gestalten, daß das Gerät auch in einer kleinen Bastelwerkstatt nachgebaut werden kann. Aus diesem Grund ist die umstrittene Frage, ob für den Schulgebrauch eine Mehrkomponentenwaage vorteilhafter ist, oder die Messung der Komponenten nacheinander wünschenswert erscheint, bei diesem Gerät dahin entschieden worden, daß der Übersichtlichkeit und Einfachheit des Aufbaues wegen auf eine Mehrkomponentenwaage verzichtet wurde.

Das Prinzip des Meßgerätes geht aus den Figuren 1 und 2 hervor, Fig. 1 zeigt die Widerstands- und Fig. 2 die Auftriebsmessung. Der wesentliche Teil ist das in den Lagern  $AA'$  leicht drehbar angeordnete Hebelsystem. Zur Auswägung der Kräfte

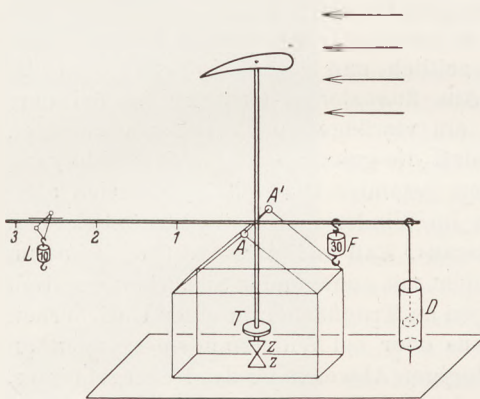


Fig. 1. Winddruckmeßgerät in Stellung für Widerstandsmessungen.  $AA'$  Lager der Drehachse;  $L$  Laufgewicht;  $F$  fest angehängtes Gewicht;  $T$  Teller;  $Z$  Zeigermarken;  $D$  Dämpfung.

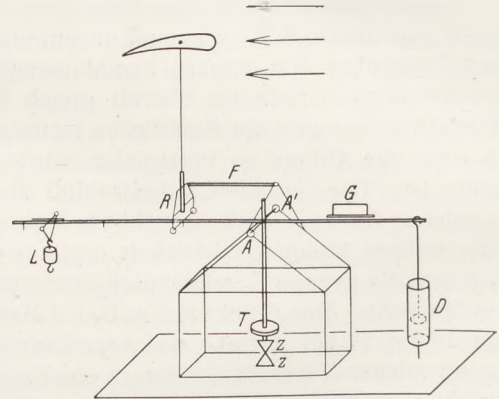


Fig. 2. Winddruckmeßgerät in Stellung für Auftriebsmessungen.  $AA'$  Lager der Drehachse;  $L$  Laufgewicht;  $G$  Ausgleichsgewicht;  $T$  Teller;  $Z$  Zeigermarken;  $R$  Reiter;  $F$  Führungstange;  $D$  Dämpfung.

dient bei der Widerstandsmessung der zweiseitige waagerechte Hebel mit dem Teilungsverhältnis 1 : 3 (Fig. 1 und 3). Am Ende des kurzen Hebelarmes ist ein Gewicht fest eingehängt. Die Verlängerung des Hebels auf das Doppelte dient nur zum Angriff der Dämpfung. Auf dem langen Hebelarm ist ein Laufgewicht verschiebbar. Der senkrecht nach oben stehende Hebelarm, der als Träger der Versuchskörper dient, bildet mit dem kurzen Hebelarm einen Winkelhebel mit dem Verhältnis 1 : 2, gerechnet vom Drehpunkt bis zum Angriffspunkt der Kraft. Seine Verlängerung nach unten dient zur Aufnahme von TellerGewichten zur Erhaltung des stabilen Gleichgewichts. Gleichzeitig ist eine Zeigermarke daran befestigt, die einer zweiten Zeigermarke am Gestell des Gerätes in der Nullstellung gegenübersteht.

Die Wirkungsweise des Hebelsystems gestaltet sich folgendermaßen (Fig. 3): In der Nullstellung ist am rechten kurzen Hebelarm in der Entfernung  $l = 10$  cm vom Drehpunkt ein Gewicht 30 g eingehängt. Am linken Hebelarm greift in der Entfernung  $3l = 30$  cm vom Drehpunkt ein Laufgewicht von der Größe 10 g an. Trifft nun von rechts her auf den aufgesteckten Versuchskörper ein Windstrom, dann muß das Laufgewicht zur Drehachse hin verschoben werden, bis die Zeigermarke wieder die Nullstellung anzeigt. Die Größe der am Versuchskörper wirksamen Kraft ergibt sich nach dem Hebelgesetz zu  $Pl = alp + 2lx$ . Hierbei ist  $P$  = Festgewicht am kurzen Hebelarm,  $p$  = Laufgewicht und  $x$  die in der Entfernung  $2l$  von der Drehachse am Versuchskörper angreifende Kraft. Ist nun  $P = 30$  g,  $p = 10$  g,  $l = 10$  cm und  $a = 1$ , dann wird  $x = \frac{Pl - lp}{2l} = 10$  g. Es bedeutet also die Verschiebung des Laufgewichtes vom Teilpunkt 3 über 2 bis zum Teilpunkt 1 des langen Hebelarmes einen Meßbereich,



der 10 g umfaßt. Wählt man für das Festgewicht 90 g und für das Laufgewicht 30 g, anstatt 30 g und 10 g, so ergibt sich bei einer Verschiebung des Laufgewichtes über die gleiche Hebellänge ein Meßbereich, der 30 g umfaßt. Es ist also der Meßbereich gleich dem Nennwert des Laufgewichtes. Das läßt sich bei anderen Teilungsverhältnissen auch erreichen, nur wird dann die für die Verschiebung des Laufgewichtes brauchbare Länge des Hebelarmes kleiner, worunter die Ablesegenauigkeit bei größeren Gewichtsbereichen mehr oder weniger zu leiden hat. Man kann daher am langen Hebelarm zwischen Teilpunkt 1 und 3 eine lineare Teilung von 20 cm Länge anbringen, die im Teilpunkt 3 ihren Nullpunkt hat. Bei einer Zehnerteilung z. B. bedeutet unter Verwendung des Laufgewichtes 10 g das Vorrücken um jeden Teilstrich eine Wertänderung um 1 g, bei einem Laufgewicht 20 g entsprechend um 2 g usw. Man liest also an einer Zehnerteilung die Stellung des Laufgewichtes ab und multipliziert mit der gefundenen Zahl den durch das Laufgewicht gegebenen Meßwert für zwei aufeinander folgende Teilstriche. Z. B. Ablesung: Stellung des Laufgewichtes auf 6,8; Meßwert beim Übergang von einem Teilstrich zum nächsten für das Laufgewicht 60 g gleich 6 g; daher die wirksame Kraft  $6 \cdot 6,8 \text{ g} = 40,8 \text{ g}$ .

Für die Auftriebsmessung muß das Gerät etwas abgeändert werden (Fig. 2 und 4). Der nach oben stehende Träger für die Versuchskörper wird entfernt. Dafür wird auf eine im Teilpunkt 1 des langen Hebelarmes befindliche Achse ein Reiter aufgesetzt, der durch eine am Reiter und am Gestell des Gerätes eingehängte Führungsstange stets in seiner lotrechten Lage erhalten wird. Auf den Reiter wird der Träger für die Versuchskörper aufgesteckt. Das Wesentliche dieser Anordnung, die auf dem Prinzip der Tafelwaage beruht, besteht darin, daß  $O$  und  $O'$  (Fig. 4) genau lotrecht übereinander liegen, die Führungsstange parallel zum Hebelarm ist, ihre Längen  $O'S$  und  $O'1$  gleich sind und ferner  $OO' = S1$  ist. Die Widerstandskomponente wird von der Führungsstange aufgenommen. Die an der Tragfläche angreifenden Kräfte wirken so, als ob sie im Punkte 1 des langen Hebelarmes angreifen, wodurch die Wanderung des Druckpunktes bei der Messung unwirksam wird.

Bei der Auftriebsmessung wirkt der lange Hebelarm als einseitiger Hebel. Der kurze Hebelarm trägt ein verschiebbares Ausgleichgewicht und dient nur zur Ausgleichung für die Nullstellung. Die Messung erfolgt ebenfalls durch Verschieben eines Laufgewichtes, bis die Zeigermarken wieder die Nullstellung anzeigen. Die Einhaltung einer bestimmten Länge des Trägers der Versuchskörper, wie sie bei der Widerstandsmessung erforderlich ist, ist bei der Auftriebsmessung nicht notwendig.

Die Empfindlichkeit des Meßgerätes liegt infolge der Verwendung von Spitzenlagerung für das Hebelsystem bei kleinem Meßbereich ohne Dämpfung bei etwa 0,1 g. Man hat also bei kleinen Widerstandsgrößen, wo man ohne Dämpfung auskommt, nahezu dieselbe Meßgenauigkeit zur Verfügung wie bei großen Widerständen. Um das Gerät voll auszunutzen, wird man, so weit als angängig, ohne Dämpfung arbeiten. Die Dämpfungsflüssigkeit ist je nach Bedarf mehr oder weniger zähflüssig zu wählen. Bei der Messung mit Tragflügeln besteht eine kleine Unsicherheit in der Aufhängung.

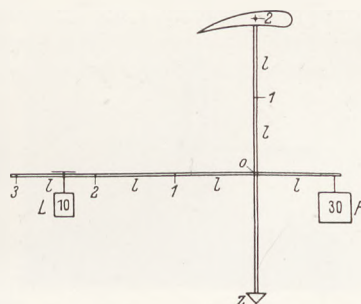


Fig. 3. Hebelsystem des Gerätes bei der Widerstandsmessung.  $L$  Laufgewicht;  $F$  fest eingehängtes Gewicht;  $O$  Drehpunkt des Hebelsystems.

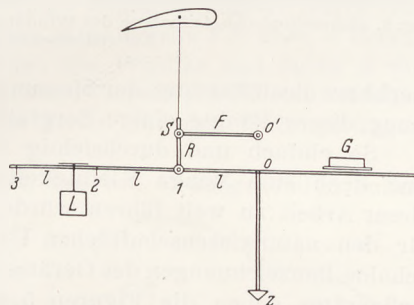


Fig. 4. Hebelsystem des Gerätes bei der Auftriebsmessung.  $O$  Drehpunkt des Hebelsystems;  $O'$  Drehpunkt der Führungsstange am Gestell;  $S$  Drehpunkt der Führungsstange am Reiter;  $R$  Drehpunkt des Reiters im Teilungspunkt 1 des langen Hebelarmes,  $F$  Führungsstange,  $G$  Ausgleichgewicht,  $Z$  Zeigermarke,  $L$  Laufgewicht.

Als Träger für Tragflügel wird eine Gabel verwendet, in der die Profile drehbar angebracht werden. Zu diesem Zweck versieht man die Tragflächen an den beiden Querseiten, also am Profil, mit je einem 1 bis 1,5 cm langen Stift. Nun ist die Achse der Tragfläche, in der die Widerstandskomponente angreift, einmal nicht genau zu bestimmen, zum anderen bleibt ihre Lage bei Veränderung des Anstellwinkels nicht

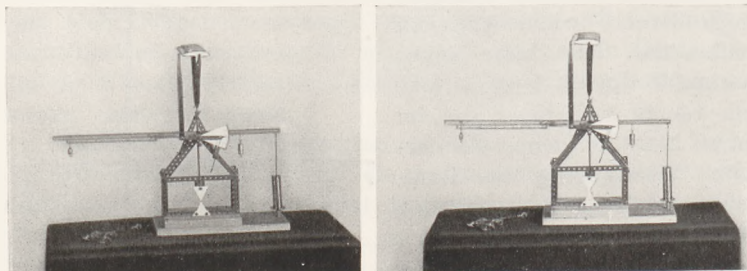


Fig. 5. Stereoskopische Aufnahme des Winddruckmeßgerätes in der Stellung für Widerstandsmessungen.

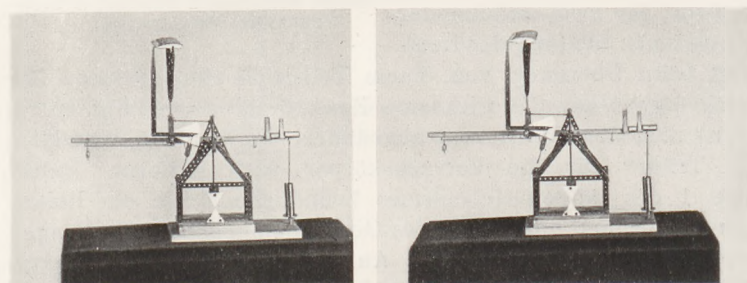


Fig. 6. Stereoskopische Aufnahme des Winddruckmeßgerätes in der Stellung für Auftriebsmessungen.

erhalten. Bei dem Anstellwinkel  $0^\circ$  liegt der Angriffspunkt der Widerstandskomponente annähernd bei einem Drittel der Profildicke, von der Profilhöhe aus gerechnet. Für einen Anstellwinkel  $90^\circ$  liegt der Angriffspunkt der Widerstandskomponente annähernd bei der halben Tragflächentiefe. Aus diesen beiden äußersten Stellungen ergibt sich die ungefähre Lage der Achse für die Aufhängung des Tragflügels in der Gabel. Bei den kleinen Abmessungen der Tragflügel, wie sie für Schulversuche in Frage kommen, ist jedoch eine merkbare Beeinflussung der Messung nicht zu befürchten. Trotzdem ist bei der Bestimmung dieser Punkte einige Sorgfalt am Platze.

So einfach und durchsichtig Wirkungsweise und Aufbau des Gerätes sind, so sind doch eine Menge Kleinigkeiten zu beachten, deren Beschreibung im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen würde. Für den Nachbau stellt die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Berlin NW 40, Invalidenstraße 57/62, den Schulen Bauzeichnungen des Gerätes zur Verfügung. Eine Gesamtansicht des Winddruckmeßgerätes geben die Figuren 5 und 6. Es sind dies stereoskopische Aufnahmen, die bei stereoskopischer Betrachtung bedeutend mehr erkennen lassen, als eine einfache Photographie zu geben vermag.

## Beitrag zur Behandlung des Strahlenganges durch ein Prisma.

Von Dr. G. Hönig in Danzig-Langfuhr.

Bei der knappen Zeit, die dem Physiklehrer für sein Fach in der höheren Schule zur Verfügung steht, pflegt der Strahlengang durch ein Prisma trotz grundlegender Bedeutung für einen großen Abschnitt der Optik nur kurz behandelt zu werden. Doch erscheint es mir didaktisch sehr beachtenswert, daß dieses Thema sich besonders gut dazu eignet, die Schüler auch bei nur kurzer Anleitung zu angemessenen, vielgestaltigen, kleineren oder größeren eigenen Arbeiten, selbst Jahresarbeiten, anzuregen, durch welche die aus Experimenten erlangte Kenntnis zu vertiefter Erkenntnis gesteigert werden kann. Ferner ist dem mathematischen Unterricht die Möglichkeit gegeben, zu den verschiedensten Untersuchungsmethoden einzelne Anwendungsbeispiele aus-



zuwählen. Selbst die darstellende Geometrie fehlt hierbei nicht, wenn man auf den Strahlenverlauf außerhalb von Prismenhauptschnitten eingehen will.

An konstruktiven Betrachtungsweisen, insbesondere zur Begründung des Tiefstwertes der Ablenkung, besteht zwar kein Mangel, doch haftet den mir bekannten Veröffentlichungen hierüber eine überwindbare Schwerfälligkeit an. Bei dem im folgenden beschriebenen Verfahren wird, ebenso wie dies beim experimentellen Vorgehen gebräuchlich ist, der ankommende Strahl festgehalten und das Prisma gedreht gedacht. Dadurch ergeben sich große Vorteile für das anschauliche Erfassen der funktionalen Zusammenhänge, insbesondere der Grenzbedingungen, für die Herstellung von Bewegungsgeräten und für den Nachweis der kleinsten Ablenkung.

In Fig. 1<sup>1</sup> bedeutet  $EAFG$  einen Strahlengang in einem Hauptschnitt des Prismas mit dem brechenden Winkel  $\chi$  zwischen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  und der auf die Umgebung bezogenen Brechzahl  $n$ , die, wenn nichts anderes bemerkt ist,  $> 1$  sei. Einfalls- und Brechungswinkel sind der Reihe nach mit  $\varepsilon_1, \varepsilon'_1, \varepsilon_2, \varepsilon'_2$ , die Gesamtablenkung mit  $\delta$  bezeichnet.  $\varepsilon'_1$  und  $\varepsilon_2$  werden nur dann positiv gerechnet, wenn sie mit der Prismenkante auf derselben Seite des zugehörigen Einfallslotes liegen,  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon'_2$  gelten als positiv, wenn dies nicht der Fall ist. Zu dem bekannten zu Konstruktionen verwendeten Hilfsviereck gelangen wir in der für unsere Zwecke besonders günstigen Lage folgendermaßen: Durch den beliebigen Punkt  $C$  auf der Verlängerung des mittleren Strahlenteils  $\overline{FA}$  über  $A$  hinaus ziehen wir die Parallelen zu den beiden Einfallsloten des Prismas und durch  $A$  die Parallele zum Strahlenteil  $\overline{FG}$ . Bei dem hierdurch gebildeten Viereck  $ABCD$  sind offenbar

1. die Winkel zwischen den von  $C$  ausgehenden Seiten und den Verlängerungen der beiden anderen Seiten gleich  $\varepsilon_1$  bzw.  $\varepsilon'_2$ ,
2. die Winkel zwischen der Diagonale  $\overline{AC}$  und den von  $C$  ausgehenden Seiten gleich  $\varepsilon'_1$  bzw.  $\varepsilon_2$ ,
3. die Viereckswinkel bei  $A$  und  $C$  gleich  $\delta$  bzw.  $\chi$ .

Wegen des Brechungsgesetzes und des auf die Dreiecke  $ABC$  und  $ADC$  angewandten Sinussatzes muß stets  $\overline{AB} = \overline{AD} = \frac{\overline{AC}}{n}$  sein. Von nun an wird der Einfachheit wegen  $\overline{AC} = n$ , also  $\overline{AB} = \overline{AD} = 1$  vorausgesetzt.

Denken wir das Prisma um  $A$  unter Beibehaltung des Hauptschnittes und des ankommenden Strahls gedreht, so beschreiben  $C$  und  $D$  Kreise um  $A$  mit den Halbmessern  $n$  bzw.  $1$ , während  $B$  fest bleibt. Hierzu lassen sich leicht Bewegungsgeräte in verschiedenen Ausführungsformen herstellen.

Behelfsmäßig kann man den Scheitel eines als  $\chi$  aufgefaßten Winkels eines Zeichendreiecks auf der Umfangslinie des Kreises  $(A, n)$  entlang ziehen, während der eine Schenkel eine bei dem festen Punkt  $B$  auf dem Kreis  $(A, 1)$  eingesteckte Nadel berührt.

Eine verbesserte Ausführung deutet Fig. 2 an. Aus einer Holz- oder Zelluloidplatte mit beliebiger Umgrenzung wird der Winkel  $\chi$  herausgeschnitten. Der Scheitel  $C$

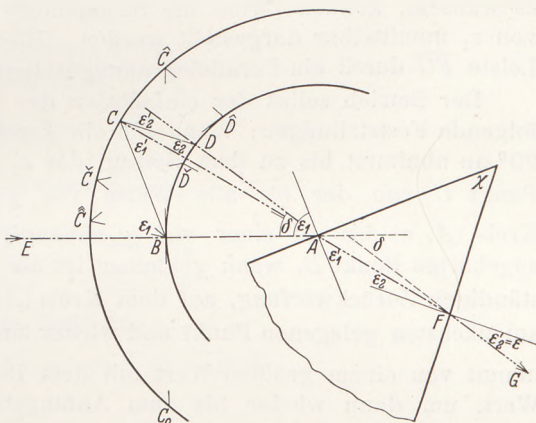


Fig. 1. Zu den Gesetzen des Strahlenganges durch ein Prisma.

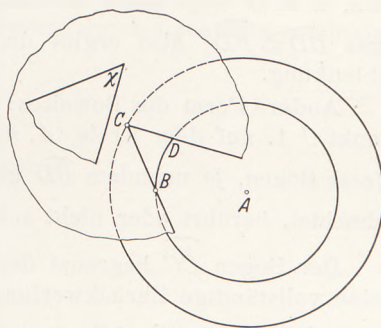


Fig. 2. Einfaches Bewegungsgerät zum Strahlengang durch ein Prisma.

<sup>1</sup> Die Bezeichnungen sind unter Beachtung der Normvorschrift DIN 1335 gewählt.

des verbleibenden Winkels von der Größe  $(360 - \chi)$  wird mit Hilfe einer von unten her angedrückten Reißzwecke am Rande einer Kreisscheibe  $(A, n)$  verschoben, während wie vorher der eine Schenkel die bei  $B$  befestigte Nadel berührt. Zur Veranschaulichung der jeweiligen Richtung der brechenden Ebenen des Prismas kann das ausgeschnittene Winkelstück von der Größe  $\chi$  so auf dem Reststück angebracht werden, daß die Schenkel paarweise aufeinander senkrecht stehen.

Offenbar ist es auch nicht schwer, mit Hilfe von zum Teil geschlitzten Leisten<sup>1</sup> eine Vorrichtung herzustellen, die veränderliche Werte für  $n$  und  $\chi$  zuläßt. Falls man es wünscht, können ferner die Strahlenteile  $\overline{AF}$  und  $\overline{FG}$  zu allen zulässigen Werten von  $\varepsilon_1$  unmittelbar dargestellt werden. Hierzu wird man  $\overline{AF} = \overline{AD}$  wählen und die Leiste  $\overline{FG}$  durch ein Parallelogrammgestänge parallel zu  $\overline{AD}$  führen.

Der Betrieb selbst der einfachsten der beschriebenen Vorrichtungen ergibt leicht folgende Feststellungen: Wenn für ein gegebenes  $n$  und  $\chi$  der Einfallswinkel  $\varepsilon_1$  von  $90^\circ$  an abnimmt bis zu dem Betrag, der  $\varepsilon'_2 = 90^\circ$  zur Folge hat, also der zugehörige Punkt  $C$  von der für alle Werte von  $\chi$  gleichbleibenden Grenzlage  $\hat{C}$  auf dem Kreis  $(A, n)$  bis zu einer von  $\chi$  abhängigen Grenzlage  $\hat{C}$  wandert, so läuft der zugehörige Punkt  $D$ , wenn  $\chi$  kleiner ist als das Doppelte des Grenzwinkels der vollständigen Zurückwerfung, auf dem Kreis  $(A, 1)$  von der Grenzlage  $\hat{D}$  nach einem  $B$  am nächsten gelegenen Punkt und wieder zurück nach  $\hat{D}$ , d. h. die Gesamtablenkung  $\delta$  nimmt von einem größten Wert mit dem Bogenmaß  $\widehat{BD}$  ab bis zu einem kleinsten Wert, um dann wieder bis zum Anfangsbetrag zuzunehmen. Erfolgt hierbei die Drehung des Prismas gleichmäßig, so braucht der Hinlauf zum kleinsten Wert mehr Zeit als der Rücklauf, was bei etwaigen Versuchen bereits beobachtet worden ist. In allen Fällen muß die Ablenkung von der Prismenkante weg erfolgen.

Der Satz von der kleinsten Ablenkung kann nun folgendermaßen bewiesen werden: Bedeutet  $\hat{C}$  für ein gegebenes  $\chi$  die dem symmetrischen Strahlengang entsprechende Lage von  $C$  auf dem Kreis  $(A, n)$  und gehört hierzu auf dem Kreis  $(A, 1)$  der Punkt  $\hat{D}$ , so liegt für jeden nicht symmetrischen Strahlengang der Punkt  $C$  außerhalb des durch die Punkte  $B, \hat{D}$  und  $\hat{C}$  bestimmten, in Fig. 1 nicht gezeichneten Kreises, weil dieser den Kreis  $(A, n)$  in  $\hat{C}$  berührt. Daher muß nach dem Umfangswinkelsatz des Kreises für alle möglichen Lagen von  $C$  mit Ausnahme von  $\hat{C} \angle BCD < \chi$  sein, d. h.  $\hat{D}$  liegt dann innerhalb des Winkels  $BCD$  von der Größe  $\chi$ , und es ist stets  $\widehat{BD} \geq \widehat{BD}$ ; also ergibt der symmetrische Strahlengang für  $n > 1$  die kleinste Ablenkung.

Andere Form des Beweises: Für jede mögliche Lage von  $D$  liegt der zugehörige Punkt  $C$  1. auf dem Kreis  $(A, n)$ , 2. auf dem einen  $\chi$ -Faßkreisbogen über  $\widehat{BD}$ . Da dieser Bogen, je nachdem  $\widehat{BD}$  größer, gleich oder kleiner als  $\widehat{BD}$  ist, den Kreis  $(A, n)$  schneidet, berührt oder nicht schneidet, so ergibt sich wieder  $\widehat{BD} \geq \widehat{BD}$ .

Der Bogen  $\widehat{CC}$  begrenzt den Spielraum für alle möglichen Einfallswinkel  $\varepsilon_1$ , die keine vollständige Zurückwerfung im Prisma zur Folge haben. Lassen wir  $\chi$  von  $0^\circ$  an wachsen, so wandert  $\hat{C}$  von der zu  $\hat{C}$  in Bezug auf  $\overline{EA}$  symmetrisch gelegenen Stelle  $C_0$  nach  $\hat{C}$  hin. Für  $\chi = \gamma$ , wobei  $\gamma$  den Grenzwinkel der vollständigen Zurückwerfung bedeutet, liegt  $\hat{C}$  auf der Verlängerung von  $\overline{AB}$  und für den größten zulässigen Wert von  $\chi$ , nämlich  $2\gamma$ , fällt  $\hat{C}$  mit  $\hat{C}$  zusammen. Der Unterschied  $\Delta = \widehat{DD}$  zwischen jeweils größter und kleinster Ablenkung nimmt bei dem angenommenen Wachsen des Wertes  $\chi$  von 0 an zunächst zu und dann wieder bis 0 ab, wenn  $\chi$  bis  $2\gamma$  steigt.

<sup>1</sup> Vgl. hierzu FRIEDR. C. G. MÜLLER, Eine Vorrichtung zur Veranschaulichung des Strahlengangs im Prisma. Diese Zeitschrift 39, 57 (1926).



Leicht läßt sich, zumal wenn der Tiefstwert der Ablenkung auch mit Hilfe der Differentialrechnung bestimmt worden ist, derjenige Winkel  $\chi$  berechnen, für den  $\Delta$  Höchstwert wird. In der folgenden Rechnung bezieht sich wie bereits vorher das Zeichen „ $\checkmark$ “ auf den Strahlengang mit kleinster, das Zeichen „ $\wedge$ “ auf den zu  $\bar{C}$  gehörenden mit größter Ablenkung für  $\chi$  zwischen 0 und  $2\gamma$ ; anstatt  $\varepsilon'_2$  ist der Einfachheit wegen  $\varepsilon$  gesetzt worden. Es ist

$$\Delta = \bar{\delta} - \check{\delta} = \frac{\pi}{2} + \bar{\varepsilon} - 2\varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\sin \check{\varepsilon}_1 = n \sin \frac{\chi}{2} \quad (2)$$

$$\sin \bar{\varepsilon} = n \sin (\chi - \gamma). \quad (3)$$

Durch Differentiation ergibt sich aus (2) und (3)

$$\cos \check{\varepsilon}_1 \frac{d\check{\varepsilon}_1}{d\chi} = \frac{n}{2} \cos \frac{\chi}{2}$$

$$\cos \bar{\varepsilon} \frac{d\bar{\varepsilon}}{d\chi} = n \cos (\chi - \gamma).$$

Folglich ist

$$\frac{d\Delta}{d\chi} = n \left( \frac{\cos (\chi - \gamma)}{\cos \bar{\varepsilon}} - \frac{\cos \frac{\chi}{2}}{\cos \varepsilon_1} \right).$$

Daher besteht für den Höchstwert die Bedingung

$$\cos (\chi - \gamma) \sqrt{1 - \sin^2 \varepsilon_1} = \cos \frac{\chi}{2} \sqrt{1 - \sin^2 \bar{\varepsilon}}$$

oder unter Beachtung von (2) und (3)

$$[1 - \sin^2 (\chi - \gamma)] \left[ 1 - n^2 \sin^2 \frac{\chi}{2} \right] = \left[ 1 - \sin^2 \frac{\chi}{2} \right] [1 - n^2 \sin^2 (\chi - \gamma)]$$

$$\text{oder } \sin^2 \frac{\chi}{2} = \sin^2 (\chi - \gamma).$$

Innerhalb des für  $\chi$  in Frage kommenden Bereichs wird diese Gleichung erfüllt

1. durch  $\chi = 2\gamma$ , 2. durch  $\chi = \frac{2}{3}\gamma$ . Im ersten Fall liegt offenbar ein Tiefstwert vom Betrag 0, im zweiten Fall ein Höchstwert vom Betrag  $\frac{\pi}{2} - 3\bar{\varepsilon}$  vor, wobei  $\sin \bar{\varepsilon} = n \sin \frac{\gamma}{3}$  ist. Es ist beachtenswert, daß  $\frac{d\Delta}{d\chi} \rightarrow \infty$  für  $\chi \rightarrow 0$ , was bei der Beurteilung des Fehlers der bekannten Näherungsformel  $\delta = (n - 1)\chi$  wichtig ist.

Will man das Vorzeichen von  $\frac{d^2\Delta}{d\chi^2}$  für die Äußerstwerte durch Rechnung ermitteln, so geht man zweckmäßig von der Form

$$\frac{d\Delta}{d\chi} = n \cdot \frac{u}{v}$$

aus, worin  $u = \cos (\chi - \gamma) \cdot \cos \check{\varepsilon}_1 - \cos \frac{\chi}{2} \cos \bar{\varepsilon}$

und  $v = \cos \check{\varepsilon}_1 \cos \bar{\varepsilon}$ .

An den Äußerststellen ist dann

$$\frac{d^2\Delta}{d\chi^2} = n \frac{u'}{v}$$

Insbesondere hat  $\frac{d^2\Delta}{d\chi^2}$  für  $\chi = \frac{2}{3}\gamma$ , wie sich durch einfache Umformung ergibt, den Wert

$$\frac{3n}{2 \cos^2 \bar{\varepsilon}} \left( \cos \bar{\varepsilon} \sin \frac{\gamma}{3} - n \cos^2 \frac{\gamma}{3} \operatorname{tg} \bar{\varepsilon} \right)$$

oder

$$\frac{3 \sin \bar{\varepsilon} (1 - n^2)}{2 \cos^3 \bar{\varepsilon}}.$$

Dieser Ausdruck ist negativ, da  $n > 1$  vorausgesetzt und  $0 < \bar{\varepsilon} < \frac{\pi}{2}$  ist. Es gilt also der Satz: Der Unterschied zwischen größter und kleinster Ablenkung

erreicht einen Höchstwert, wenn der brechende Winkel des Prismas  $\frac{2}{3}$  des Grenzwinkels der vollständigen Zurückwerfung beträgt.

Den geometrischen Beweis dieses Satzes stützen wir auf den im Anschluß an die Begründung der kleinsten Ablenkung leicht zu gewinnenden Hilfssatz: Dreht man einen Winkel, dessen Scheitel außerhalb eines Kreises liegt und dessen Schenkel den Kreis in symmetrischer Lage schneiden, um seinen Scheitel, so wird jeder der beiden von den Schenkeln eingeschlossene Bogen um so größer, je größer der Drehungswinkel ist (d. h. der Winkel, den die Winkelhalbierende mit der durch den Scheitel gehenden Kreiszentrale bildet). Wir bezeichnen mit  $\hat{D}$  und  $\check{D}$  die zu dem Sonderfall  $\chi = \frac{2}{3}\gamma$  gehörenden Punkte  $\hat{D}$  bzw.  $\check{D}$ , ferner mit  $S$  den Schnittpunkt von  $\hat{A}\hat{C}$  mit dem Kreis ( $A, 1$ ) (Fig. 3). Da  $\sphericalangle ACB = \gamma$ , so ist  $\sphericalangle ACD = \frac{\gamma}{3}$  und folglich  $\widehat{BD} = 2 \cdot \widehat{DS}$ . Ist nun  $\chi$  um den beliebigen Betrag  $\vartheta$  innerhalb des zulässigen Bereiches  $0 < \vartheta < \frac{4}{3}\gamma$  größer als  $\frac{2}{3}\gamma$  und gehören zu  $\chi = \frac{2}{3}\gamma + \vartheta$  die Punkte  $\hat{D}$  und  $\check{D}$ , so ist

zu zeigen, daß  $\widehat{D\check{D}} > \widehat{D\hat{D}}$ . Zu diesem Zweck tragen wir  $\frac{\vartheta}{2}$  in  $\hat{C}$  an  $\hat{C}\hat{D}$  nach beiden Seiten an und erhalten auf dem Kreis ( $A, 1$ ) zwischen  $B$  und  $\hat{D}$  den Schnittpunkt  $T$ , zwischen  $\hat{D}$  und  $\check{D}$  den Schnittpunkt  $U$ . Offenbar ist  $\widehat{D\hat{D}} = 2 \cdot \widehat{DT}$ . Da  $\sphericalangle UCS < \frac{\gamma}{3}$  sein muß, so ist nach dem obigen Hilfssatz sowohl  $\widehat{DU}$  als auch  $\widehat{UD}$  kleiner als  $\widehat{DT}$ . Also ist  $\widehat{D\check{D}} > \widehat{D\hat{D}}$  und somit  $\widehat{D\check{D}} > \widehat{D\hat{D}}$ . Nach demselben Verfahren schließt man, daß auch dann, wenn  $\chi > \frac{2}{3}\gamma$ , stets  $\widehat{D\check{D}} > \widehat{D\hat{D}}$  sein muß.

Wenn wir den Satz vom schmalen Prisma aus der Zeichnung gewinnen wollen, so vergleichen wir bei dem symmetrischen Strahlengang, der zu einem beliebigen  $\chi$  gehört (Fig. 4), die Länge des Kreisbogens  $\widehat{BD}$  mit der des Kreisbogens  $\widehat{HJ}$ , welcher von  $\hat{C}B$  und  $\hat{C}D$  auf dem Kreis ( $\hat{C}, n-1$ ) abgegrenzt wird. Es ist  $\widehat{HJ} = (n-1)\chi$ , wenn  $\chi$  in Bogenmaß gemessen ist. Daher kann man für kleine Werte von  $\chi$  angenähert  $\widehat{BD}$  durch den stets etwas kleineren Bogen  $\widehat{HJ}$  ersetzen. Für  $n = 1,5$  und  $\chi \leq 5^\circ$  ist der Näherungswert um weniger als 1% kleiner als  $\delta$ . Die Beziehung

$$\delta \approx (n-1)\chi$$

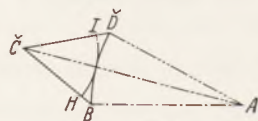


Fig. 4. Zum Satz vom schmalen Prisma.

gilt auch für nicht symmetrische Strahlengänge, sofern  $\widehat{D\check{D}}$  hinreichend klein ist. Für  $n = 1,5$  und  $\chi = 5^\circ$  z. B. ist, wenn  $\varepsilon_1$  zwischen  $+10^\circ$  und  $2,48^\circ$  liegt, die Abweichung des Betrages  $(n-1)\chi$  vom genauen Wert für  $\delta$  kleiner als 1%. Interessant ist es, daß für die jeweils größte Ablenkung  $\delta$  der prozentuale Fehler beim Ersatz von  $\delta$  durch  $(n-1)\chi$  bis zu 100 ansteigt, wenn  $\chi$  sich der Null unbeschränkt nähert, während der absolute Fehler mit  $\chi$  und  $\delta$  nach Null strebt. Der Grund hierfür liegt darin, daß  $\frac{d\delta}{d\chi}$  ebenso wie  $\frac{dA}{d\chi} \rightarrow \infty$ , wenn  $\chi \rightarrow 0$ . Das Studium des Fehlers bei beliebigen Einfallswinkeln, graphische Darstellungen und die Übertragung einzelner Ausführungen auf den Fall, daß  $n > 1$  ist, sind zu Schüleraufgaben besonders geeignet.



## Kleine Mitteilungen.

### Einige Aufgaben aus der elementaren Physik.

Von Prof. A. Zingher in Berlin-Lichterfelde.

Im ersten Jahrgange (1887) der vorliegenden Zeitschrift hat M. KOPPE die Anregung gegeben (S. 66 ff.), physikalische Aufgaben durch Veröffentlichung der allgemeineren Benutzung zugänglich zu machen. Solche Aufgaben sollten das physikalische Können des Schülers nach zwei Richtungen hin durch Übungen fördern: 1. genaue Erfassung der Tatsachen; 2. Unterordnung der Tatsachen unter gewisse Gesetze. Besonders wurden Aufgaben der zweiten Art gewünscht. Die ersten 20 Bände der Zeitschrift brachten eine große Zahl Beispiele, die viel Anklang fanden und bisweilen lebhaft erörtert wurden. Später ließ die Einsendung von Aufgaben nach; die Schulphysiker hatten ihr Augenmerk auf den Ausbau neuer Lehrverfahren gerichtet.

Nun findet man in den am meisten verbreiteten Lehrbüchern der Schulphysik Aufgaben, die dazu dienen sollen, den Schüler zu produktiver Tätigkeit zu führen. Fast überall ist ihre Art die gleiche. Im folgenden sollen Beispiele für solche Aufgaben geboten werden, die zwar grundsätzlich nichts wesentlich Neues bieten, durch ihre besondere Form aber vielleicht Teilnahme erwecken können.

Zunächst seien zwei einfache geometrische Aufgaben genannt, deren Wert darin liegen mag, daß sie den Lernenden zu richtiger Schätzung von Größenordnungen anleiten und ihm die Furcht abgewöhnen vor den Riesen- und Zwergzahlen, mit denen die heutige Physik es oft zu tun hat.

1. Mittels eines Ultramikroskops kann man in einer kolloidalen Goldlösung Teilchen erkennen, deren Ausmaß 5 Millimikron nicht überschreiten (5 Milliontel eines Millimeters). Wir nehmen an, daß diese Teilchen die Gestalt eines Würfels haben. Wieviel solcher Würfel lassen sich aus einem Kubikzentimeter Gold erhalten? Wie groß ist die Summe der Oberflächen aller dieser Teilchen?

Die Tatsache, daß bei einer solchen Zersplitterung eines Kubikzentimeters die Oberfläche 2 Millionen mal so groß wird und fast einen halben Morgen erreicht, ist gewöhnlich für den Lernenden interessant und selbstverständlich lehrreich.

2. Wie dick muß ein Tau sein, damit sein Rauminhalt gleich dem der Erde und seine Länge gleich der Entfernung Erde—Sonne werde?

Versuche, die Lösung zunächst zu schätzen. — Gewöhnlich erscheint die Entfernung der Sonne (150 Mill. km) im Vergleich mit der Größe der Erde so riesengroß, daß nicht nur Schüler, sondern auch reifere Menschen die Dicke eines solchen Taus auf einige Zentimeter, im besten Fall auf einige Meter schätzen. In Wirklichkeit würde die Dicke etwa 96 km betragen. Sogar bei einer Länge, nicht bis zur Sonne, sondern bis zum Fixstern Proxima Centauri (etwa 4,3 Lichtjahre), betrüge die Dicke 182 m und bei einer Dicke von 1 cm würde man eine Länge des Taus von mehr als einer Milliarde Lichtjahre erhalten, was dem Abstand der entferntesten Spiralnebel entspricht.

Physikalische Aufgaben desselben Typs bieten die folgenden Beispiele.

3. Ein Haar von  $50\mu$  Dicke wird von einem scharfen Rasiermesser durchgeschnitten. Die Fläche, worauf die Schneide des Rasiermessers drückt, ist etwa gleich  $100\mu^2$ . Wir nehmen an, daß die Druckkraft nur 1 g beträgt. Der Druck des Rasiermessers auf das Haar ist in Atmosphären zu bestimmen. Vergleiche diesen Druck mit dem Druck des höchsten Fabrikschornsteins (140 m), aus Klinkerziegelsteinen verfertigt, auf sein Fundament.

Der Schüler ist nicht wenig erstaunt, daß sich ein Druck auf das Haar von etwa 1000 Atmosphären ergibt, d. h. ein mehr als 30 mal so großer wie der Druck des Fabrikschornsteins.

4. Mit einem genügend empfindlichen Galvanometer kann man unschwer einen Strom von einem Billiontel Ampere ( $10^{-12}$  A) nachweisen. Welche Zeit braucht ein

solcher Strom, um ein Wassertröpfchen von 1 mg zu zersetzen? Wieviel Wassermoleküle würden dabei in 1 Sekunde zersetzt werden?

Man findet, daß zur Zersetzung etwa 330 000 Jahre gebraucht werden; ungeachtet einer so langen Frist werden in jeder Sekunde fast 3,5 Millionen Moleküle zersetzt.

Einen besonderen pädagogischen Wert haben nach meiner Meinung solche Aufgaben, bei denen der Lernende mit Zahlenwerten umgehen muß, die er aus seinen eigenen Messungen erhalten hat. Dabei lernt der Schüler am besten, den Grad der Genauigkeit sowohl der gegebenen Zahlenwerte, als auch der erhaltenen Ergebnisse, richtig einzuschätzen. Zwei Beispiele dieser Aufgabenart entnehme ich der Kinematik.

5. Fig. 1 stellt in natürlicher Größe eine Kurve dar, die man durch das Fallen einer beruhten Platte erhielt, wenn die



Fig. 1. Fallkurve an einer tönenden Stimmgabel.

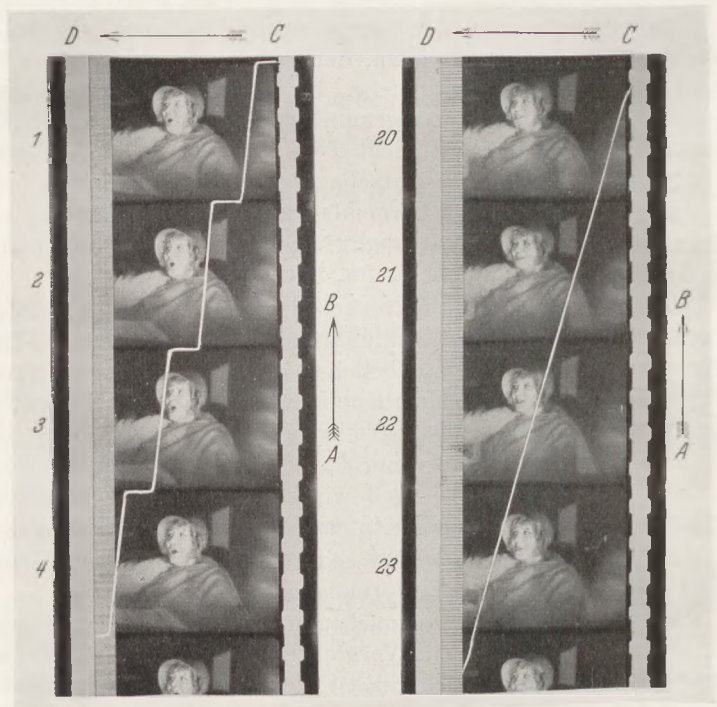


Fig. 2. Filmbewegung vor dem Ton- und dem Projektionsapparat.

Platte gleichzeitig eine an der einen Zinke einer tönenden Stimmgabel befestigte spitze Nadel berührte. Die Stimmgabel machte in der Sekunde 128 Schwingungen. Es ist die Größe der Erdbeschleunigung  $g$  zu ermitteln.

Der Schüler, der ein möglichst langes Stück der Kurve ausgemessen hat, wird durch die Genauigkeit des Ergebnisses überrascht sein.

6. Bekanntlich geht bei einer Tonfilmvorführung der Film zunächst durch einen Tonapparat, dann durch den Projektionsapparat. Der Abstand zwischen den Apparaten entspricht 19 Bildern, so daß zu derselben Zeit, wenn die Bilder 1, 2, 3 usw. durch den Projektionsapparat gehen, die Bilder 20, 21 usw. den Tonapparat durchlaufen (Fig. 2). Die Geschwindigkeit des Films entspricht 24 Bildern in der Sekunde.

Während seiner Bewegung vor dem Ton- und vor dem Projektionsapparat sind auf dem Film mit einer Nadel Striche in der durch die Pfeile  $CD$  angezeigten Richtung gemacht worden. Es ist zu bestimmen: a) Warum haben die Nadelrisse verschiedene Form? b) Wie lange und mit welcher angenäherten Geschwindigkeit hat sich die Nadel



bewegt? c) Mit welcher Geschwindigkeit (in cm/sec) bewegte sich der Film im Tonapparat? d) Wie lange blieb jedes Bild im Projektionsapparat unbeweglich? e) Mit welcher Geschwindigkeit bewegte sich der Film beim Wechsel der Bilder?

Ein Beispiel aus der Statik. Nichts einfacher als eine feste Rolle, die weder einen Gewinn noch einen Verlust an Kraft gibt! Aber nehmen wir folgende Aufgabe:

7. Ein Mann klettert an einem Seil empor, dessen oberes Ende unbeweglich befestigt ist; ein anderer klettert an einem Seil, das über eine feste Rolle geführt ist (Fig. 3). Ist es für beide gleich schwierig sich emporzuheben?

Mit dieser Aufgabe machte ich eine seltsame Erfahrung. Ganz junge Schüler, die sich bereits früher einmal bei Spielen oder Turnübungen mit Hilfe einer Rolle oder einfach an einem über einen Balken geworfenen Tau emporgezogen hatten, gaben ohne nachzudenken die richtige Antwort, obwohl sie nicht immer imstande waren, eine ausreichende Begründung anzugeben. Ältere Schüler dagegen, die in der Mechanik schon etwas erfahren waren, fanden öfter Schwierigkeiten in der Überlegung und kamen zu einem falschen Ergebnis.

Zur Klärung des Unterschiedes zwischen dem Gewicht einer Flüssigkeit und der Größe ihres Drucks auf den Boden eines Gefäßes scheint mir die folgende Aufgabe geeignet zu sein:

8. In Wasser hält man ein konisches, nach unten sich erweitern- des Rohr; es ist unten durch eine Platte  $P$  verschlossen (Fig. 4), die durch den Wasserdruck festgehalten wird. Das Gewicht und die Eintauchtiefe der Platte ist so groß, daß sie gerade abreißt, wenn man 1 kg Wasser ins Rohr gießt. a) Reißt diese Platte ab, wenn man statt des Wassers ein Kilogrammgewicht auf sie stellt? b) Reißt sie ab, wenn man 1 kg Quecksilber oder überhaupt einer anderen Flüssigkeit, die schwerer ist als Wasser, in das Rohr gießt? c) Reißt die Platte ab, wenn man 1 kg einer Flüssigkeit, die leichter ist als Wasser, in das Rohr gießt? d) Beantworte die vorhergehenden Fragen für den Fall, daß sich das konische Rohr nach unten hin verengt.



Fig. 4. Abreißen einer Druckplatte durch Wasserdruck und durch Druck eines Gewichtstückes.

Für die Erlernung der Grundlagen der Dynamik sind solche Aufgaben sehr wertvoll, die die Spannung eines Fadens behandeln, woran eine Last aufgehängt ist, die sich mit einer gewissen Beschleunigung hebt und senkt. Aufgaben dieser Art sind im besonderen die über die Spannung des Fadens an der Atwood-Maschine. Besonders gefällt mir eine alte Aufgabe hierüber:

9. An dem einen Ende eines über eine Rolle gelegten Fadens ist ein 3-kg-Gewicht aufgehängt, an dem anderen Ende eine gewichtlose Rolle, an deren Faden die Gewichte 2 kg und 1 kg aufgehängt sind (Fig. 5). Mit welcher Beschleunigung muß sich das 3-kg-Gewicht bewegen? Nur bei einer völlig klaren Vorstellung über die Spannkraft der Fäden kann man leicht und schnell die richtige Lösung erhalten:  $\frac{1}{17}$  der Erdbeschleunigung.

Unter den dynamischen Aufgaben, bei denen die Reibung eine Rolle spielt, möchte ich auf eine hinweisen, die zwar anscheinend auch alt ist, aber offensichtlich nicht so bekannt ist, wie sie es verdient.

10. Ein Zug vom Gewicht  $P = 750$  t fuhr gleichmäßig auf einer waagerechten Bahn. Der letzte Wagen vom Gewicht  $p = 25$  t ließ ab. Der Maschinist fuhr dann noch



Fig. 3. Klettern am Seil, das über eine feste Rolle läuft, und Klettern am festen Seil.

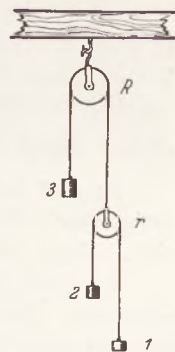
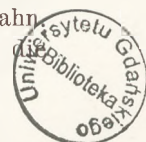


Fig. 5. Bewegung von Gewichten an einer Rollenverbindung.



Strecke  $L = 290$  m weiter, bis er die Dampfzufuhr zur Maschine abstellte, und ließ den Zug zum Halten kommen, ohne zu bremsen. In welcher Entfernung  $L'$  voneinander müssen sich dann der abgerissene Wagen und der Zug befinden?

Es wird vorausgesetzt, daß die Maschine die ganze Zeit gleichmäßig arbeitete und die Reibungskräfte dem Gewicht des sich auf den Schienen bewegenden Körpers proportional sind. Die Schüler wissen gewöhnlich entweder nicht, wie sie an diese Aufgabe herangehen sollen, da sie meinen, daß darin zu wenig gegeben sei, oder sie stellen ohne jeden Grund langwierige Berechnungen an, indem sie den Zuwachs der kinetischen Energie des Zuges bestimmen. Indessen gibt eine ganz einfache Überlegung für den Zuwachs der kinetischen Energie die Größe  $f \cdot P \cdot L = f \cdot 25 \cdot 290 \text{ t} \cdot \text{m}$ , wo  $f$  die Reibungszahl ist. Den Zusatzweg  $C$ , den der Zug nach dem Trägheitsgesetze mehr als der Wagen macht, erhalten wir aus der Gleichung:  $f \cdot (P - p) \cdot C = f \cdot 25 \cdot 290$ , woraus sich  $C = 10$  m ergibt. Folglich ist die gesuchte Entfernung  $L' = 300$  m.



Fig. 6. Photographische Aufnahme des Sternhimmels. Arcturus ( $\alpha$  Bootis).

Aus den optischen Aufgaben möchte ich eine auswählen, die zugleich eine Denk-, Meß- und Rechenaufgabe ist.

11. Der Schüler erhält eine auf Papier abgedruckte photographische Aufnahme (Fig. 6) des Sternhimmels mit irgendeinem hellen Stern und soll die Dicke der Negativplatte bestimmen, worauf die Aufnahme gemacht worden war.

Gewöhnlich hält der Schüler die Aufgabe zunächst für unlösbar. Dann fordert man ihn auf, die Herkunft des Ringes um das Bild des Sterns herum zu erklären. Wenn diese Frage richtig geklärt ist, so kommt der Schüler bald darauf, daß, wenn er den inneren Durchmesser  $d$  des Ringes ausmißt, die Dicke der Negativplatte  $\delta$

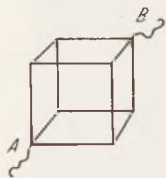


Fig. 7. Würfelförmiges Drahtgestell für Bestimmung des elektrischen Widerstandes.

aus der Formel erhalten wird:  $\delta = \frac{d}{4 \tan c}$ , wo  $c$  der Grenzwinkel der Totalreflexion ist. Das Brechungsverhältnis für Glas kann hier mit völlig ausreichender Genauigkeit gleich 1,5 angenommen werden.

Von den Aufgaben zur Berechnung des elektrischen Widerstandes ist die folgende bemerkenswert:

12. Aus 12 gleichen Drähten, deren jeder den Widerstand  $r$  hat, ist ein würfelförmiges Gerippe verfertigt (Fig. 7). Welchen Widerstand bietet dieses Gerippe, wenn ein Strom von der Ecke  $A$  zur Ecke  $B$  fließt?

Wegen der mangelnden Übung in Aufgaben über ein Netz von Leitern, die nicht in einer Ebene liegen, können die Schüler gewöhnlich die Lösung nicht finden; sie ist jedoch ganz einfach, wenn man bedenkt, daß der Strom zuerst durch 3 parallel geschaltete Drähte  $r$  gehen muß, dann durch 6 solche Drähte, und schließlich noch einmal durch 3, so daß der gesamte Widerstand  $R = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{5}{6} r$  ist.

In der Aufgabensammlung, die ich mir in den Jahren meiner Lehrtätigkeit zusammengestellt habe, finden sich einige, die auf Anregung von Schülern entstanden sind. Einer meiner Schüler brachte folgende Frage vor:

13. Zwei gleich große Kügelchen sind aus demselben Stoff und mit gleicher Sorgfalt verfertigt. Das eine ist massiv, das andere innen hohl, so daß dessen Gewicht kleiner ist. Bei dem Fall in Luft fällt das erste Kügelchen schneller. Aber warum? Im luftleeren Raum fallen doch beide Kügelchen gleich schnell, also wirkt die Schwerkraft auf beide gleich. Da die Kügelchen gleich groß und gleich glatt sind, so ist der Widerstand der Luft für beide ebenfalls gleich. Warum fallen dann die Kügelchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten?

Hier trat die gewöhnliche Erscheinung ein, daß der Schüler sich in einer einfachen Frage nicht zurecht finden konnte. Es gibt jedoch auch Fälle, wo der Schüler nicht



weiterkommt, weil er eine viel verwickeltere Frage, als er sich vorstellt, für einfach hält. Dahin gehört z. B. das Erstaunen eines Schülers, der selbständig die mittlere Leistung vom Wechselstrom berechnen wollte.

14. Der Widerstand eines Leiters ist gleich  $3 \Omega$ . Die Spannung wechselt zwischen 6 und 12 Volt. Die Stromstärke wechselt also zwischen 2 und 4 A, und die Leistung zwischen 12 und 48 Watt. Wie groß ist die mittlere Leistung des Stroms? Einerseits ist die mittlere Größe der Leistung  $\frac{12+48}{2} = 30$  Watt, andererseits ist das Produkt der mittleren Spannung  $\frac{6+12}{2} = 9$  V, und der mittleren Stromstärke  $\frac{2+4}{2} = 3$  A, gleich 27 Watt. Welche von beiden Größen der mittleren Leistung ist nun die richtige?

Der Schüler hat außer acht gelassen, daß bei einem linearen Wechsel der Spannung  $E$  und der Stromstärke  $I$  die Leistung  $EI$  ganz ungleichmäßig wechselt, daß die graphische Darstellung dieses Wechsels keine Gerade ergibt, sondern eine Parabel; dabei ist es im gegebenen Falle nicht schwer, mit einer ganz elementaren graphischen Methode nachzuweisen, daß die mittlere Leistung in Wirklichkeit 28 Watt beträgt.

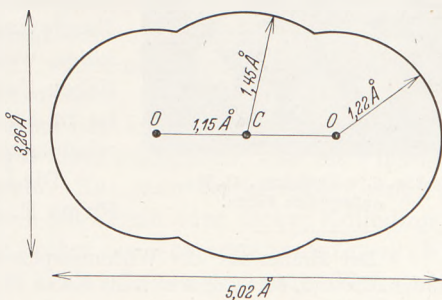
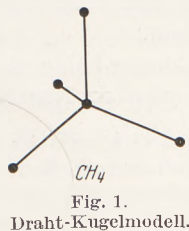
Zum Schluß möchte ich noch eine eigenartige Überlegung eines Schülers anführen, der behauptete, daß alle Tabellen der elektrochemischen Gleichwerte fehlerhaft seien und Werte ergeben, die halb so groß sind wie die wahren Werte. Er überlegte folgendermaßen:

15. Bei der Zersetzung von beispielsweise Wasser nimmt man bei dem Strom 1 A die Menge des in 1 sek auf der Kathode abgeschiedenen Wasserstoffs zu  $a = 0,0001045$  g, die der zur selben Zeit auf der Anode abgeschiedenen Sauerstoffmenge zu  $b = 0,000829$  g an. Dabei sagt man, daß  $a$  Gramm Wasserstoff 1 Coulomb positiver Elektrizität und  $b$  Gramm Sauerstoff 1 Coulomb negativer Elektrizität mit sich führen. Aber bei einer Bewegung von  $+1$  Coulomb in der einen Richtung und von  $-1$  Coulomb in der anderen Richtung muß sich doch nicht der Strom 1 A, sondern der Strom 2 A ergeben. Infolgedessen müssen  $a$  Gramm Wasserstoff und  $b$  Gramm Sauerstoff nicht 1 Coulomb, sondern  $\frac{1}{2}$  Coulomb hinübertragen. Es ist zum klaren Verständnis des elektrolytischen Vorgangs lehrreich, das sonderbare Ergebnis aufzuklären.

## Über neue Modelle zur Demonstration der richtigen Raumerfüllung der Moleküle.

Von H. A. Stuart in Königsberg i. Pr.

Die bisher üblichen Molekülmodelle sind das Draht-Kugelmodell und das Kugelmodell (s. Fig. 1 und 4b). Das erstere gibt die Lage der Atomkerne, das sog. Kerngerüst wieder und eignet sich besonders für die Demonstration von Kristallstrukturen. Von der Raumerfüllung der Atome und Ionen liefert es dagegen ein völlig falsches Bild, da sich diese in Wirklichkeit unmittelbar berühren. Etwas besser sind schon die Kugelmodelle, die aus sich unmittelbar berührenden Kugeln bestehen, wobei die Halbmesser der Atomkugeln so gewählt sind, daß sie das Verhältnis der Kernabstände richtig darstellen.



Doch geben auch diese Modelle, abgesehen von Ionenmolekülen, noch ein völlig falsches Bild der Raumerfüllung. Der Grund ist, daß z. B. die Mittelpunkte zweier H-Atome, wenn sie keine Bindung eingehen, sich bis auf etwa  $3 \text{ \AA}$  nähern können, während sie in dem Falle, daß eine Bindung zustande kommt, einen Abstand von

0,75 Å einnehmen. Ein anderes Beispiel: Beim  $\text{CO}_2$  zeigen die Kernabstände und die Halbmesser der Wirkungssphäre der einzelnen Atome die in Fig. 2 angegebenen Abmessungen<sup>1</sup>. Zur Vergleichung ist in Fig. 3 das Kugelmodell des  $\text{CO}_2$  dargestellt, das eine viel zu kleine Wirkungssphäre gibt. Man kann also die Raumerfüllung bei homöopolaren Molekülen nur dann einigermaßen richtig wiedergeben, wenn man nach dem Vorgange MAGAT<sup>2</sup> die Atome durch Kalotten anstatt durch Kugeln darstellt, also von den Kugeln, deren Halbmesser die Größe der Wirkungssphäre bestimmen, Kappen abschneidet derart, daß Kernabstände und äußere Halbmesser der Wirkungssphäre ins richtige Verhältnis kommen. Die für die Berechnung der Durchmesser nötigen Daten habe ich in einem an anderer Stelle erscheinenden Aufsatz<sup>3</sup> eingehend diskutiert. Die Daten für die Kernabstände und Wirkungsradien sind heute bis auf einige Prozent bekannt.

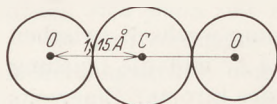


Fig. 3. Kugelmodell des  $\text{CO}_2$   
(Kernabstände richtig,  
Raumerfüllung falsch).



Fig. 4. a. Kalottenmodell des  $\text{CH}_4$ .  
b. Kugelmodell des  $\text{CH}_4$ .

C-Atom nur noch als Rumpfbild; seine vier äußeren Elektronen gehören gleichzeitig mit zu je einem der vier gebundenen H-Atome. Das Kalottenmodell gibt also viel besser als das Kugelmodell (Fig. 4 b) die Edelgasähnlichkeit des  $\text{CH}_4$  wieder.

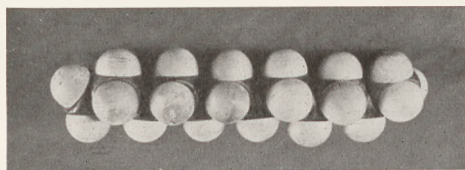


Fig. 5. n-Dodekan,  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ , gestreckte Form.

Für Unterrichtszwecke sind einige einfache Molekülmodelle aus Glas hergestellt worden, nämlich  $\text{CO}_2$  als gestrecktes,  $\text{H}_2\text{O}$  als gewinkeltes und  $\text{CH}_4$  als Tetraeder-molekül; innen ist im richtigen Maßstab ein Gerüst mit kleinen farbigen Kugeln, die die Kerne darstellen, eingeschmolzt. Auf diese Weise kann man gleichzeitig die richtige Vorstellung von der Raumerfüllung und von der Lage der Atomkerne vermitteln.

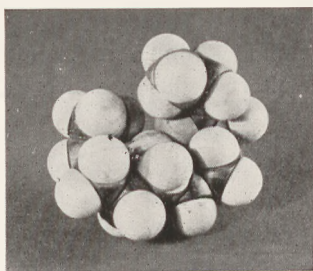


Fig. 6. n-Dodekan,  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ ,  
aufgerollte Form.

Um die Verhältnisse bei komplizierteren Molekülen zu veranschaulichen, wurden ferner für die wichtigsten Atome Kalotten aus Holz konstruiert, die sich zu beliebigen Molekülen zusammensetzen lassen derart, daß die einzelnen Kalotten um die Valenzrichtung gedreht werden können. Damit kann man die bei verwickelteren organischen Molekülen wegen der freien Drehbarkeit verschiedensten möglichen Formen besonders eindrucksvoll zeigen. Als Beispiel ist in Fig. 5 und 6 ein Holzmodell des n-Dodekan  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  wiedergegeben.

Die Lieferung beider Arten von Molekülmodellen hat die Firma E. Leybolds Nachf. in Köln-Bayental übernommen.

<sup>1</sup> Der Halbmesser der Wirkungssphäre des O-Atomes ist so definiert: Die Halbmessersumme ist der Abstand, bis zu dem sich die Kerne zweier in verschiedenen  $\text{CO}_2$ -Molekülen gebundenen O-Atome unter der Wirkung der Anziehungs- und Abstoßungskräfte nähern können. Die Wirkungssphäre entspricht also ziemlich genau der gaskinetischen Raumerfüllung; vgl. dazu die ausführliche Mitteilung, die gleichzeitig in der Zeitschrift für physikalische Chemie erscheint.

<sup>2</sup> M. MAGAT: Zeitschr. physikal. Chem. B. 16, 1 (1932).

<sup>3</sup> Erscheint in der Zeitschrift für Physikalische Chemie.



## Über einen Apparat zur Demonstration der Elektroosmose.

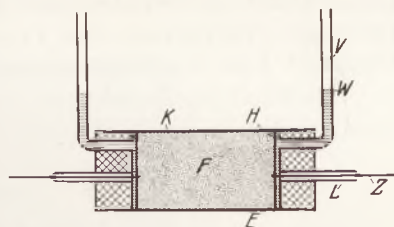
Von W. Renneberg in Leipzig.

Unter elektrischer Endosmose oder Elektroosmose versteht man die Hindurchführung von Wasser durch eine Kapillare oder ein System von Kapillaren (Diaphragma) unter dem Einfluß eines Potentialgefälles.

Die Erfahrung lehrt, daß Diaphragmen aus Ton, Glaswolle oder Glassand in Berührung mit Wasser negative Ladung annehmen, während sich das Wasser positiv auflädt. Bringt man in das Wasser zu beiden Seiten des Diaphragmas je eine Elektrode, so wird bei Anlegung eines äußeren Feldes an die Elektroden das Wasser durch das feststehende Diaphragma hindurch von der Anode zur Kathode übergeführt.

Im folgenden soll die Herstellung einer Vorrichtung beschrieben werden, die zur Sichtbarmachung der elektroosmotischen Wasserüberführung besonders geeignet ist.

Auf ein Stück Glasrohr (*K*) von 3 bis 5 cm Weite und ungefähr 10 cm Länge werden auf beiden Seiten Stopfen aus Gummi oder Kork, mit doppelter Bohrung versehen, aufgepaßt (siehe die Figur). In die eine Bohrung beider Stopfen setzt man je ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr (*V*) von 4 oder 5 mm innerer Weite ein, welches an dem verjüngten Ende des Stopfens nur etwa 1 mm aus der Bohrung herausragen soll. Aus kupfernem Drahtnetz werden als Elektroden (*E*) zwei Kreisscheiben ausgeschnitten, deren Durchmesser gerade gleich dem inneren Durchmesser des zuerst erwähnten Rohrstückes gemacht werden. Als Stromzuführungen (*Z*) zieht man zwei blanke Kupferdrähte in je ein passend gewähltes Stück Glasrohr (*L*) ein, welches dann an beiden Enden so weit zugeschmolzt wird, daß sich der Draht noch gut bewegen läßt. Auf jeden Zuführungsdraht wird jetzt eine der Netzelektroden aufgesetzt. Dabei ist es gar nicht notwendig, den Draht an die Elektrode anzulöten; es genügt einfache Verflechtung. Die Rohrstücke mit den Elektroden werden in die frei gebliebenen Bohrungen der Stopfen eingeführt. Das Glasrohr soll am verjüngten Ende des Stopfens eben gerade noch aus der Bohrung heraussehen. Durch Verschieben des Zuführungsdrahtes im Rohr zieht man die Elektroden bis fast an die Stopfen heran, so daß die Netze den kleineren Endflächen der Stopfen in einem Abstände von nur 1 bis 2 mm parallel gegenüberstehen. Nun kittet man mit Siegelack oder Picein die Zuführungsdrähte an den von den Netzelektroden abgewandten Enden in die Glasrohre ein.



Vertikaler Längsschnitt durch den Elektroosmose-Apparat.

Nachdem man den einen Stopfen in das weite Glasrohr fest eingeführt hat, füllt man letzteres mit Glassand (*F*), feuchtet diesen mit Leitungswasser an, gibt Glassand nach und setzt den anderen Stopfen so auf, daß die Steigrohre parallel und gleichgerichtet stehen. Der Apparat soll, außer den Steigrohren, vollständig mit nassem Glassand angefüllt sein! Gegebenenfalls ist also noch Sand zuzusetzen. Glassand ist käuflich, aber ziemlich teuer; man kann ihn sich aus gesammeltem Bruchglas im Mörser herstellen.

Durch die Steigrohre wird nun so viel Leitungswasser zugegeben, daß die Flüssigkeit in beiden Rohren einige Zentimeter hoch steht. Hat man Korkstopfen benutzt, so wird in der Regel eine Abdichtung des Apparates mit Picein oder dicker Kollodiumlösung erforderlich. Schließlich werden auf die Steigrohre als Wasserstandsanzeiger (*W*) flache Gummiringe aufgesetzt, die man von einem Schlauch von passender Weite abgeschnitten hat.

Bei Anlegung einer Gleichspannung von etwa 100 bis 200 Volt an die Elektroden beginnt das Wasser im Rohr auf der Kathodenseite augenblicklich anzusteigen. Nach einiger Zeit tritt ein stationärer Zustand ein. Dies ist dann der Fall, wenn der hydrostatische Druck der Wassersäule, deren Größe durch den Höhenunterschied in den beiden lotrechten Rohren gegeben wird, gleich dem elektroosmotischen Druck ist. Beim Wechsel der Stromrichtung beobachtet man ein rasches Zurückgehen der überstehenden

Wassersäule und, nach Ausgleich des Höhenunterschieds, ein Ansteigen des Wassers auf der Seite der früheren Anode, die jetzt zur Kathode geworden ist.

Für die Erzielung des reinen Effektes — rasches Ansteigen des Wassers auf der Kathodenseite und sehr langsames Zurückweichen auf der Anodenseite — ist es wesentlich, von Glassand freie „schädliche Räume“ (*H*) zwischen Netzelektroden und Stopfen oberhalb der Einführungen der Steigrohre nach Möglichkeit zu vermeiden. Denn infolge der Elektrolyse, die sich neben der Elektroosmose fast immer bemerkbar macht, sammeln sich in diesen „schädlichen Räumen“ Gase an. Erfahrungsgemäß findet die Gasbildung manchmal besonders stark an der Anode statt. Dann wird das Wasser auch im Steigrohr auf der Anodenseite hochgedrückt, so daß der beabsichtigte Effekt ganz verwischt wird.

Eine Anzahl technischer Anwendungen der Elektroosmose, z. B. die Entwässerung von Torf oder die Aufbereitung von Ton und Kaolin, sind beschrieben in dem Buch von P. H. PRAUSNITZ und J. REITSTÖTTER: „Elektrophorese, Elektroosmose, Elektrodialyse in Flüssigkeiten“ (Wissenschaftliche Forschungsberichte, naturwissenschaftliche Reihe, Band 24; Dresden und Leipzig 1931: Verlag von Theodor Steinkopf). Die praktische Verwertung des Prinzips der Hindurchführung von Wasser durch Diaphragmen bzw. der Entwässerung nasser Substanzen mit Hilfe des Gleichstroms liegt in Deutschland insbesondere in den Händen der „Elektro-Osmose A. G., Graf Schwerin Gesellschaft“ in Berlin W 10.

### Schwimmaufbereiten.

Von R. Winderlich in Oldenburg i. O.

Die Einsicht, daß abgebaute Mineralien nicht nachwachsen, mußte notwendig zu dem Wunsche führen, die Bodenschätze besser auszunutzen. Die schlechte Wirtschaftslage vieler Länder verstärkte diesen Wunsch. Mit dem Schwimmaufbereiten (Schaumschwimmverfahren, Flotation) ist man dem erstrebten Ziel sehr nahe gekommen: mit dem Verfahren des Schwimmaufbereitens lassen sich auch recht arme Erze noch nutzbringend anreichern und verwerten. Einige Freihandversuche in großen, weiten Probiergläsern lassen das Wesen der wichtigen Vorgänge hinreichend deutlich erkennen.

a) Steinkohlenpulver wird mit Siliciumdioxyd innig gemischt — am besten geeignet ist das feine käufliche Pulver, das auf nassem Wege aus Kieselsäure hergestellt ist —, das Gemenge wird mit Leitungswasser in einem Probierglas kräftig geschüttelt und zum Absitzen beiseite gestellt. Eine zweite Probe desselben Gemenges wird vor dem Wasserzusatz mit wenig Benzol eben durchfeuchtet und schließlich geschüttelt. Im ersten Falle sinkt langsam das ungetrennte Gemisch zu Boden, im zweiten schwimmt die Kohle auf, während der Quarz untersinkt. Nimmt man Kohle allein mit Benzol und Wasser, so schwimmt sie auf, weil die Kohleteilchen von einer feinen Benzolhaut bedeckt und danach nicht mehr vom Wasser benetzt werden; die Benzolhüllen und feine Luftbläschen heben sie empor. Quarz sinkt unter gleichen Bedingungen zu Boden, weil er kein Benzol annimmt, vom Wasser benetzt und durch sein Eigengewicht abwärts getrieben wird. An Stelle des Benzols kann zu diesen Versuchen mit gleichem Erfolg rohes Teeröl genommen werden.

b) Bleiglanz oder Kupferkies oder basisches Kupfercarbonat (künstlich) schwimmen ebenfalls mit Benzol oder Teeröl auf, während der Quarz niedersinkt. Besonders schön ist das beim Kupfercarbonat zu sehen, wenn Benzol benutzt wird: oben ist ein blauer Schaum, am Boden ist alles fast weiß; mit Teeröl tritt wegen des Gehaltes an saurem Phenol teilweise ein Farbumschlag in Schmutziggelb auf. In der Technik wird durch die Erztrübe Luft geblasen, dann schwimmt unter ständigem Wasserzufluß der angereicherte erzhaltige Schaum oben ab, während die kieselige Gangart untersinkt.

c) Kalkstein (Marmorpulver) schwimmt mit Benzol ebenfalls auf. Gemische aus Erz und Kalk sind deshalb durch Benzol nicht zu trennen. Damit wird verständlich, daß für jedes Stoffpaar ein besonderes Flotationsmittel aufgesucht werden muß.



## Berichte.

### 1. Apparate und Versuche.

Eine wenig beachtete optische Erscheinung.  
Von Hofrat Univ.-Prof. Dr. KARL ROSENBERG  
in Graz.

Vor einiger Zeit wurde ich von einer geschätzten Grazer Fachgenossin auf eine auffällige optische Erscheinung aufmerksam gemacht und um deren Erklärung ersucht. Die Erscheinung ist an dem Turme des Mausoleums Kaiser Ferdinand II. in Graz zu beobachten. Dieser Turm besitzt in etwa über 20 m Höhe vier hohe, einander diametral gegenüberliegende Rundbogenfenster, die ohne Verglasung nur mit Drahtgittern überkleidet sind, um das Einfliegen von Tauben zu verhindern. Befindet man sich nun etwa in 40 m Entfernung von dem Turme<sup>1</sup>, so sieht man, durch die an der Nord- und Südfront befindlichen Fenster hindurchblickend, ein Stück blauen Himmels. Dieses erscheint jedoch von einem weitmaschigen Netz heller Linien durchzogen, die ein System von großen Rhomben bilden. Die Erscheinung ist zu jeder Tageszeit und bei jeder Witterung (allerdings mit verschiedener Helligkeit der erwähnten Linien) zu beobachten.

Das Vorhandensein der erwähnten Drahtgitter könnte nun zu der Vermutung Anlaß geben, daß es sich hier um eine Beugungserscheinung handle. Damit hat die Sache aber eigentlich nichts zu tun; sie würde sich vielmehr nur in jenem Kapitel der Optik unterbringen lassen, das man gewöhnlich unter der Überschrift „Erscheinungen der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes“ zusammenfaßt, und könnten Beugungserscheinungen dabei höchstens eine ganz untergeordnete Nebenrolle spielen. Ich verweise auf den Aufsatz von F. KOERBER in der von ihm mit herausgegebenen Naturwissenschaftlichen Wochenschrift (Neue Folge 6 bzw. 22 der ganzen Reihe, H. 2, S. 17—25; 1907): Die Verwendung feiner Gitter in Wissenschaft, Technik und Unterricht. Dort wird auch Bezug genommen auf die Arbeit von U. BEHN in den Berichten der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 4, H. 12 (1906). A. RIGBI, in Cimento [3] 21, 203—208 und 22, 10—34 (1887), benutzte die Schattenstreifen für die Spiegelablesung, indem er über den Spiegel ein Gitter auf das andere abbildete; er macht dabei Gebrauch von der Empfindlichkeit der Erscheinung gegen Parallelverschiebung, überschätzt sie aber in ihrem Wert. Eine gewisse Verwandtschaft mag man vielleicht mit dem sogenannten „Zaunphänomen“<sup>2</sup> finden; doch ist dort die Bewegung des Rades hinter dem Zaungitter das Wesentliche, während hier keinerlei Bewegung eine Rolle spielt. Daß die an dem erwähnten Turme wahrnehmbare Erscheinung dort besonders auffällig wahrnehmbar ist,

liegt in dem zufällig sehr günstigen Verhältnis der Entfernung der Gitter voneinander und des Beobachters von den Gittern. Eigentlich ist die Erscheinung, wie man fast sagen möchte, alltäglich zu beobachten, wie am Schlusse dieser Mitteilung näher ausgeführt werden soll.

Zunächst mögen einige einfache Versuche beschrieben werden, mittels welcher sich die beschriebene Erscheinung nachahmen und näher untersuchen läßt. Für den wichtigsten dieser Versuche benötigt man zwei Gitter mit quadratischen Öffnungen, die man am besten selbst in

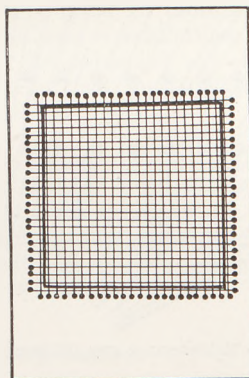


Fig. 1. Gitter mit quadratischen Öffnungen.

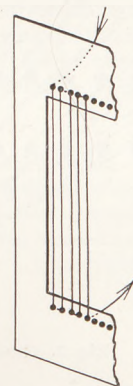


Fig. 2. Fadenführung am Gitterrahmen.

folgender Weise herstellt. In ein Pappstück — am einfachsten in einen Buchdeckel gewöhnlichen Formates — schneidet man eine quadratische Öffnung von etwa 10 cm Seitenlänge (Fig. 1). Rings umher bohrt man mit einer starken Nähnadel, die man in einem Holzgriff festgemacht hat, Löcher in Abständen von 3 mm. Durch diese zieht man mit Hilfe einer Nähnadel einen starken schwarzen Zwirnfaden so hindurch (Fig. 2), daß man ihn zuerst durch das erste Loch oben von hinten nach vorn, dann durch das entsprechende untere Loch von vorn nach hinten, sodann an der Rückseite durch das zweite untere Loch von hinten nach vorn, hierauf durch das zweite obere Loch von vorn nach hinten hindurchzieht usw. Man erhält durch Fortsetzung dieses Verfahrens etwa 30 auf der Vorderseite der Pappe liegende, parallel laufende Fäden in je 3 mm Abstand. Ebenso wird dann ein zweites Fadensystem angefertigt, das das erste System rechtwinklig durchkreuzt.

Mit zwei solchen Gittern kann man die eingangs beschriebene Erscheinung sowohl subjektiv wie objektiv nachahmen. Im ersten Falle werden die beiden Gitter in ungefähr 30 cm Entfernung voneinander parallel in Haltern so fixiert, daß man durch sie hindurchblickend gegen den hellen Himmel oder gegen einen sehr grell beleuchteten weißen Schirm oder gegen eine von der Sonne beschienene weiße Hauswand sehen kann. Das

<sup>1</sup> In Graz im Haupteingange (oder nahe bei diesem) der „Burg“.

<sup>2</sup> Diese Zeitschrift 17, 342 (1904). Auch R. W. POHL: Einführung in die Mechanik und Akustik, S. 187.

Auge des Beobachters soll dabei 1 bis 2 m vom näher gelegenen Gitter entfernt sein. Für die ersten derartigen Versuche empfiehlt es sich, die Gitter gegeneinander etwas zu drehen, so daß die Gitterfäden sich unter einem kleinen Winkel (der unbedingt kleiner als  $45^\circ$  sein muß) kreuzen. Man sieht dann meist sofort das helle Netz, dessen Öffnungen ziemlich große Rhomben bilden. Es wird besonders deutlich hervortreten, wenn man den Kopf etwas seitlich bewegt. Eine Veränderung der benutzten Entfernungen und des Kreuzungswinkels der Gitterfäden bewirkt eine Abänderung der Form und Größe der rhombischen Öffnungen des hellen Lichtnetzes. Ist man in der Beobachtung bereits etwas geübt, so stelle

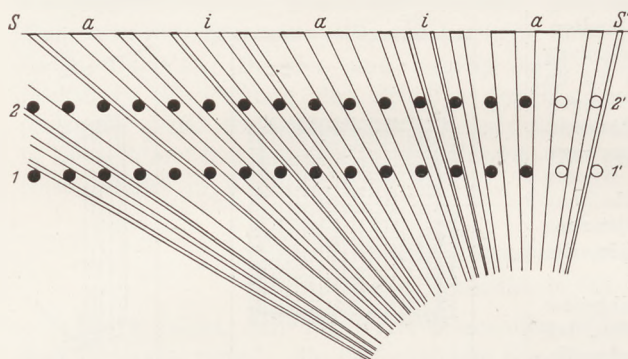


Fig. 3. Graphische Erläuterung zur Gittererscheinung.

man die Gitterfäden parallel; das Lichtnetz zeigt dann quadratische Öffnungen. Bei einem Kreuzungswinkel der Fäden von  $45^\circ$  verschwindet die Erscheinung.

Ebenso einfach ist die objektive Form des Versuches. Man benutzt dazu eine möglichst punktförmige Lichtquelle (Punktlichtlampe, elektrisches Bogenlicht; es genügt sogar eine bessere elektrische Taschenlampe, von der man die Linse abgenommen hat usw.). Das eine Gitter kommt in etwa 0,8 m, das zweite in etwa 1,1 m, ein Schirm in etwa 4 bis 5 m Entfernung von der Lichtquelle. Auf dem Schirm ist das helle Lichtnetz zu sehen, dessen rhombische Öffnungen durch Abänderung der gewählten Entfernungen mannigfaltig in ihrer Form und Größe beeinflusst werden können.

An Stelle der beschriebenen Gitter kann man auch den Drahtkäfig verwenden, den ich in meiner Mitteilung „Über eine Gesichtstäuschung“ [diese Zeitschrift 37, 160 (1924)] angegeben habe. Besser sind zwei lose Drahtnetzstücke.

Wie ist nun die Erklärung dieser Erscheinung zu geben? Wieder soll uns zunächst ein zweiter Versuch darauf hinführen. Wir stellen den vorhin beschriebenen ersten Versuch mit zwei Gittern an, von denen aber jedes nur ein Fadensystem besitzt. Stellen wir die Fäden beider Gitter lotrecht, also parallel zueinander, so zeigt bei objektiver Projektion das von den Fäden der beiden Gitter auf dem Schirm entworfene Schattenband in periodischen Abständen helle weiße Lichtbänder, die gleichfalls lotrecht verlaufen. Wieder empfiehlt

es sich, zuerst die Fäden unter einem kleinen Winkel zu kreuzen. Die Lichtlinien, die nun etwas leichter zu sehen sind, verlaufen dann schräg, aber unter sich parallel, über den Schirm. Bei Vergrößerung des Kreuzungswinkels rücken die Lichtlinien näher zusammen, bei einem Winkel von  $45^\circ$  fallen sie dicht aneinander, so daß man sie nicht mehr gesondert sieht, vielmehr der Schirm nun gleichmäßig hell erscheint. Für die subjektive Beobachtung verfährt man genau so wie beim ersten Versuche. Man sieht dann auf der hellen Wand (dem hellen Himmel) bei paralleler Stellung der Gitterfäden helle, parallel zur Richtung der Fäden verlaufende Lichtbänder. Bei gekreuzter Stellung der Fäden verlaufen diese Lichtbänder schräg, bei einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  verschwindet die Erscheinung usw. Bei der objektiven Form dieser beiden Versuche ist es für die Beobachtung günstig, daß die Schatten der Gitterfäden unscharf erscheinen; um so auffälliger treten dann die Helligkeitsmaxima (Lichtbänder) hervor. Ebenso werden bei der subjektiven Beobachtung infolge der größeren Entfernung die Fäden der Gitter nicht mehr scharf gesehen. Daß die hellen Streifensysteme uns dabei hinter den Gittern liegend erscheinen, ist eine Folge der binokularen Beobachtung und wird jedem, der sich mit Stereoskopie beschäftigt

hat, aus rein geometrischen Gründen ganz erklärlich erscheinen.

Damit wird nun die im ersten Versuche geschilderte Erscheinung bereits verständlich. Es werden die beiden sich rechtwinklig durchkreuzenden Fadensysteme der Gitter Veranlassung zur Entstehung von zwei Systemen heller Lichtbänder, die bei parallelem Verlauf der Fäden ein quadratisches, bei schiefe Verlauf ein rhombisches Gitter bilden.

Zur Erklärung der Erscheinung genügt eine einfache graphische Betrachtung (Fig. 3). Es soll zunächst für die objektive Form des Versuches  $L$  die punktförmige Lichtquelle vorstellen. Die Fadensysteme beim zweiten Versuche sollen senkrecht zur Zeichnungsebene verlaufen; die kleinen schwarzen Scheiben der Reihe 1, 1' stellen die Querschnitte der Fäden des ersten Gitters, jene der Reihe 2, 2' die des zweiten Gitters vor. In der Figur sind nun jene Grenzstrahlen gezeichnet, die zwischen den beiden Fadensystemen hindurchgehen. Das Schema der Fig. 3 soll nur das Prinzip der Darstellung zum Ausdruck bringen; führt man aber die Zeichnung in größerem Maßstab aus, so wird deutlicher ersichtlich sein, daß auf einem Schirme  $SS'$ , der das zwischen den Gitterstäben hindurchgehende Licht auffängt, periodisch in ungefähr gleichen Abständen Maxima (bei  $a, a, a \dots$ ) und Minima der Beleuchtungsstärke (bei  $i, i, i \dots$ ) wahrnehmbar sind.

Zur Erklärung der subjektiven Form des Versuches haben wir uns in  $L$  das Auge des Beobachters zu denken. Zwischen den Fäden hindurch-



blickend sehen wir dann auf einem in der Ebene  $S'S'$  liegenden hellbeleuchteten Schirme (oder auf dem in unendlicher Ferne erscheinenden hellen Himmel) abwechselnd Stellen von größter oder von geringster Helligkeit.

Dieselbe Erscheinung nimmt man nun wahr, wenn man zwei Stücke jenes Gewebes, das man als „Tüll“ bezeichnet, in geringer Entfernung voneinander aufeinanderlegt und durch sie gegen den hellen Himmel blickt. Man sieht dann eine unregelmäßige helle Zeichnung, ähnlich jener, die man als „Wässerung“ oder „Moiré“ bei gewissen Stoffen wahrnimmt. Da die Schuß- und Kettenfäden der beiden Tüllstücke hier nicht genau parallel laufen, sondern ganz unregelmäßige Verkrümmungen und Überschneidungen aufweisen, bilden die sich auch hier ergebenden Lichtliniensysteme ganz unregelmäßige, bisweilen wolkige Gebilde, die bei Verschiebung der Tüllstücke gegeneinander sich mannigfaltig verändern. Auch diese Erscheinung läßt sich projizieren<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Die Moirierung gewisser seidener oder wollener Zeuge geschieht auf mechanischem Wege. Man legt zwei Stücke desselben Stoffes mit den rechten Seiten aufeinander, befeuchtet sie und läßt sie unter starkem Drucke zwischen zwei heißen Walzen hindurchgehen. Dabei werden

Auch eine andere, hierher gehörende Erfahrung möge erwähnt sein. Wenn ein Autotypie-Klischee schadhafte geworden ist und man versucht, einen Ersatz dafür so zu schaffen, daß man einen möglichst vollkommenen Abdruck des Klischees mittels des Verfahrens der Autotypie zu reproduzieren versucht, so kann man zu keinem befriedigenden Ergebnis kommen. Die Kopie zeigt immer helle Flecke, die oft wieder moiréartige Zeichnungen bilden. Wieder liegt die Begründung darin, daß das Original ein feines Liniensystem aufweist, das durch ein Raster nur dann korrekt aufgenommen werden könnte, wenn sich die Rasterlinien beider Systeme völlig decken würden, was natürlich niemals der Fall sein kann.

Der Umstand, daß es sich hier also schließlich um sehr häufig zu beobachtende Erscheinungen handelt, mag es rechtfertigen, wenn eine Erklärung dieser Erscheinungen auf einem vielleicht etwas weitläufig und umständlich aussehenden Wege versucht wurde.

die Stofffäden — namentlich die Schußfäden — platt gepreßt. Wieder ergeben sich dabei infolge der Überschneidungen der Fäden ganz unregelmäßige Stellen verschiedener Oberflächenbeschaffenheit, die die Erscheinung der „Wässerung“ verursachen.

## 2. Forschungen und Ergebnisse.

Anwendungen der Ultrarotforschung, insbesondere Ultrarotphotographie. Von FRANK MATOSI in Breslau.

In einem früheren Beitrag über das ultrarote Spektrum<sup>1</sup> wurde über die Methodik der Ultrarotforschung und ihre Bedeutung für die Molekular- und Kristallphysik eingehend berichtet. Die ultraroten Strahlen geben aber nicht nur wertvolle Einblicke in die Welt der Moleküle, sondern sie sind auch von großem Interesse für Fragen aus Grenzgebieten der Physik und besonders auch für gewisse technische Probleme. Man denke z. B. an den Wärmehaushalt der Erde oder an lichttechnische Fragen. In der ersten Hälfte des vorliegenden Berichtes soll an wenigen Einzelproblemen dargelegt werden, wie weit schon die allgemeinen Ergebnisse der wissenschaftlichen Ultrarotforschung in solchen Fällen zur Klärung beitragen konnten. Die eigentliche technische Verwendung ultraroter Strahlen hat aber erst in den letzten Jahren einen Aufschwung genommen. Sie konnte nicht früher Wirklichkeit werden, da die bis vor kurzem allein brauchbaren thermisch wirkenden Nachweismethoden (vgl. den ersten Bericht) für technische Anwendungen zu schwerfällig sind. Erst die Anwendung photographischer bzw. photoelektrischer Hilfsmittel hat hier Wandel geschaffen. In der zweiten Hälfte des Berichtes werden deshalb besonders die Ultrarotphotographie und ihre Anwendungen genauer beschrieben.

### 1. Die Rolle der Ultrarotabsorption im Wärmehaushalt der Erde<sup>1</sup>.

Die sogenannte Treibhauswirkung der atmosphärischen Kohlensäure ist wohl bekannt: Die von der Sonne zur Erdoberfläche gelangende Strahlung ist im wesentlichen die eines schwarzen Körpers von etwa 6000° C, die allerdings durch Reflexions- und Absorptionsverluste in der Atmosphäre etwas geschwächt ist. Diese Strahlung ist großenteils kurzwellige (sichtbare) Strahlung; die in der Atmosphäre absorbierbaren Bestandteile der Sonnenstrahlung, die im Ultrarot und Ultraviolett liegen, sind relativ schwach, so daß der gesamte Absorptionsverlust gering ist (etwa 20%). Die zur Erdoberfläche gelangende Strahlung wird teils zur Erwärmung des Erdbodens und unter Umständen zur Erwärmung der untersten Luftschichten benutzt, teils wird sie wieder ausgestrahlt; dabei erwärmt sich die Erde so lange, bis Gleichgewicht zwischen aufgenommener und abgegebener Energie erreicht ist. Wenn man die Erde als schwarzen Körper auffaßt, kann man — zunächst unter der Annahme, daß keine Atmosphäre vorhanden wäre — den Strahlungsverlust berechnen, und man findet, daß nur dann Gleichgewicht herrschen kann, wenn die Erdtemperatur 6° C betrüge. Nun ist die Erdtemperatur tatsächlich höher (im Mittel 14,5° C), der theoretisch berechnete Strahlungsverlust ist also größer als in Wirklichkeit. Es muß daher ein Teil des Strahlungs-

<sup>1</sup> F. MATOSI: Diese Zeitschrift 47, 18 (1934).

<sup>1</sup> Vgl. auch MÜLLER-POUILLET: Lehrbuch der Physik, Bd. 5, 1. Hälfte S. 24 f.

verlustes wieder eingebracht werden, und das geschieht im wesentlichen durch die Kohlensäure der Atmosphäre. Die Ausstrahlung der Erde besteht nämlich in der Hauptsache aus ultraroter Strahlung mit einem Intensitätsmaximum bei  $10\mu$ . Gerade diese Strahlen werden von  $\text{CO}_2$ , das bei  $14,7\mu$  ein äußerst intensives Absorptionsmaximum besitzt, absorbiert. Die Atmosphäre erwärmt sich deshalb und strahlt der Erde einen Teil der empfangenen Strahlung wieder zu (sog. Gegenstrahlung), so daß die Erdoberflächentemperatur höher wird als im atmosphärenlosen Zustand. Es ist also die Kohlensäure, die die Erdtemperatur und damit unser Klima bestimmt. Diese Tatsache brachte ARRHENIUS<sup>1</sup> auf den Gedanken, ob nicht die Eiszeiten dadurch zu erklären seien, daß der  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Atmosphäre damals geringer gewesen sei, als es heute der Fall ist. Diese Hypothese hätte den Vorteil, plausibel zu machen, warum es Eiszeiten gab, die gleichzeitig auf der Nord- und Südhalbkugel auftraten, also kein lokales Ereignis waren, sondern gleichmäßig überall zu finden waren. An dieser Aufgabe scheiterten ja bisher alle anderen Erklärungsversuche (Polwanderungen, Änderungen der Schiefe der Ekliptik u. a.). ARRHENIUS machte auch Laboratoriumsversuche über die Absorption der Kohlensäure bei verschiedenen Drucken, d. h. verschiedenen  $\text{CO}_2$ -Mengen, da die Schichtdicke bei ihm konstant war. Aus seinen Versuchen schloß er, daß eine Abnahme der  $\text{CO}_2$ -Menge um 20% genügen würde, die Temperatur um  $4^\circ$  bis  $5^\circ\text{C}$  zu senken, wie es für die Deutung der Eiszeiten schon genügt. Eine solche Abnahme bzw. Zunahme wäre aber nicht unplausibel. Diese elegante Theorie hat sich leider nach späteren genaueren Untersuchungen nicht durchführen lassen. Die Laboratoriumsversuche von ARRHENIUS an reinem  $\text{CO}_2$  durften nämlich nicht auf atmosphärische Verhältnisse, wo die Kohlensäure unter dem geringen Partialdruck von  $0,3\text{ mm Hg}$  steht, übertragen werden. Es bedurfte eingehender Erforschung der Abhängigkeit der Absorption von Druck (Partialdruck und Gesamtdruck) und Schichtdicke, um die verhältnismäßig komplizierten Gesetzmäßigkeiten zu erfassen, die für die Beantwortung des Eiszeitproblems nötig waren. Diese Entwicklung ist eines der besten Beispiele dafür, daß es auch für Probleme der angewandten Physik selbst dort, wo es sich nicht um exakte Naturwissenschaft handelt, unbedingt erforderlich ist, die Grundlagen durch exakteste experimentelle Forschung zu erarbeiten.

In unserem Falle liegen die Verhältnisse folgendermaßen: In der Atmosphäre besteht ein Gemisch aus absorbierender Kohlensäure und nicht absorbierender „Luft“. Zunächst war man geneigt anzunehmen, daß die Absorption unabhängig sei von dem Zusatz nicht absorbierender Gase. Dem ist aber keineswegs so. Nehme ich z. B. eine bestimmte Menge von reinem  $\text{CO}_2$  bei dem Druck einer Atmosphäre, so erhalte ich einen bestimmten Wert der Absorption der Gesamt-

strahlung, wobei in der Hauptsache der Absorptionsstreifen bei  $14,7\mu$  wirksam ist. Verdünne ich diese  $\text{CO}_2$ -Menge auf niedrigeren Druck (durch Erhöhung der Schichtdicke), dann nimmt die Absorption ab, obwohl die Zahl der absorbierenden Teilchen dieselbe geblieben ist; d. h. das „BEERSche Gesetz“, welches verlangt, daß eine Änderung des Drucks durch eine äquivalente Schichtdickenänderung kompensiert werden kann, gilt hier nicht. Erst wenn ich Luft oder andere nicht absorbierende Gase zuführe, bis wieder Atmosphärendruck vorhanden ist, erreicht die Absorption nahezu ihren früheren Wert. Es kommt also weniger auf die Zahl der absorbierenden Teilchen an; vielmehr ist die Zahl ihrer Zusammenstöße, die ja vom Gesamtdruck abhängt, von Bedeutung<sup>1</sup>.

Will man also die atmosphärischen Verhältnisse im Laboratorium nachahmen, so darf man die  $\text{CO}_2$ -Menge nicht dadurch ändern, daß der Druck bei konstanter Schichtdicke variiert wird, sondern es darf nur bei dem konstanten Druck von 1 Atmosphäre die  $\text{CO}_2$ -Menge durch Variation der Schichtdicke geändert werden. Eine Schichtdicke von 400 cm entspricht dabei etwa der in der Atmosphäre vorhandenen  $\text{CO}_2$ -Menge; sie absorbiert etwa 22,5% der Strahlung der Erde. Solche Messungen sind u. a. von SCHAEFER, l. c., durchgeführt worden; sie führten tatsächlich zu einer Widerlegung der ARRHENIUSschen Eiszeittheorie. Durch ähnliche Messungen haben weiter RUBENS und LADENBURG<sup>2</sup> quantitativ festgestellt, daß eine Abnahme des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes um 20% die Absorption nur um etwa 3% ihres Wertes verringert, eine Differenz, die viel zu gering ist, um die Temperatur der Erdoberfläche wesentlich zu beeinflussen. Die Temperatur würde nämlich nur um etwas über  $2^\circ\text{C}$  absinken, wenn der Strahlungsverlust der Erde um 3% steigt. Die Zahlen werden noch ungünstiger, wenn man bedenkt, daß in den oberen Luftschichten der Druck niedriger wird. Nach Beobachtungen von HERTZ wird dann die Abnahme noch geringer. Aus den hier skizzierten Beobachtungen im ultraroten Spektrum folgt also, daß die Variabilität des  $\text{CO}_2$ -Gehaltes nicht die Ursache der Eiszeiten gewesen sein kann. Trotz vieler Bemühungen ist es aber bis heute noch nicht gelungen, eine allseitig befriedigende Theorie der Entstehung der Eiszeiten zu geben. Die Kohlensäuremenge müßte um mindestens 50% abnehmen, was sehr wenig plausibel scheint, um die ARRHENIUSsche Hypothese zu Recht gelten zu lassen. Bei Berücksichtigung des Wasserdampfes ändert sich nichts Wesentliches, da dieser nicht stark genug absorbiert.

Im Anschluß an dieses Problem geophysikalischer Natur sei erwähnt, daß man auch für meteorologische Zwecke das ultrarote Spektrum nutzbar zu machen versucht hat. So haben

<sup>1</sup> Vgl. CL. SCHAEFER: Ann. Physik 16, 93 (1905). — E. v. BAHR: Verhandl. Dtsch. physikal. Ges. 15, 673, 710 (1913). — G. HERTZ: Verhandl. Dtsch. physikal. Ges. 13, 617 (1911).

<sup>2</sup> H. RUBENS u. E. LADENBURG: Verhandl. Dtsch. physikal. Ges. 7, 170 (1905).

<sup>1</sup> Sv. ARRHENIUS: Philos. Magazine 41, 237 (1896); Ann. Physik 4, 690 (1901).



ABBOT und ALDRICH<sup>1</sup> auf dem Mount Wilson-Observatorium die Absorption des atmosphärischen Wasserdampfes genauer untersucht, ohne daß jedoch ihre Messungen — soweit bekannt — praktische Bedeutung erlangt hätten; wohl deshalb nicht, weil die Untersuchungsmethoden noch zu umständlich waren. Möglicherweise kann man hier mit photographischen Hilfsmitteln weiterkommen. Ähnliches gilt für die Möglichkeit, aus der Strahlung der Himmelskörper ihre Temperatur zu bestimmen, da bei der geringen Strahlungsenergie nur ganz empfindliche Methoden, die schwierig zu handhaben sind, brauchbar sind.

## 2. Ultrarotforschung und Lichttechnik.

Die Bedeutung der Erforschung der Gesetze der Wärmestrahlung fester Körper für die Lichttechnik ist schon früh erkannt worden. Seit LUMMERS klassischen Arbeiten ist sie Allgemeingut der physikalischen Erkenntnis geworden. Da das Maximum der Strahlungsenergie des schwarzen Körpers mit wachsender Temperatur gemäß dem WIENSchen Verschiebungsgesetz immer mehr nach dem Sichtbaren hinrückt, muß bekanntlich die Lichtausbeute eines schwarzen Strahlers mit der Temperatur steigen. Entsprechendes gilt auch für gewisse nichtschwarze Strahler, wie z. B. die Metalle. Auf dieser Erkenntnis beruht ja im wesentlichen der Fortschritt, den die höher erhitzbare Metallfadenlampe gegenüber der Kohlenfadenlampe gebracht hat. Das Ziel der Lichttechnik muß natürlich dahin gehen, einen Körper zu finden, der nur im Sichtbaren strahlt und keine unsichtbaren Strahlen aussendet, was bei einem schwarzen Körper nie der Fall sein kann. Diesem Ziel ist man kürzlich durch Ausnutzung lumineszenzartiger Vorgänge (z. B. Na-Lampe von Osram) nahe gekommen, wovon hier aber nicht die Rede sein soll.

Auf dem Gebiete der reinen Wärmestrahlung liegt die Sache schwieriger. Man kennt jedoch auch hier schon lange einen Strahler, der stark selektiv in dem Sinne strahlt, daß er in dem Gebiet von etwa 1 bis 7  $\mu$ , wo ja die meisten schwarzen Strahler gerade die größte Strahlungsenergie besitzen, nur geringe Energie aussendet. Es ist dies der Auerbrenner (ein Gemisch von Cer- und Thor-Oxyden), der von RUBENS u. a. genauer untersucht wurde.

In Hinsicht auf solche Selektivstrahler aus Oxyden sollen hier einige neuere Arbeiten von SKAUPY und Mitarbeitern<sup>2</sup> besprochen werden, die einen technischen Fortschritt erwarten lassen. SKAUPY wies nämlich darauf hin, daß es nicht allein darauf ankommt, welches Oxyd man wählt, sondern besonders auch auf die physikalische Beschaffenheit des Strahlers. Zunächst muß man

beachten, daß ein Unterschied besteht, je nachdem, ob der Strahler als durchsichtiger Einkristall oder undurchsichtiger (keramischer) Körper vorliegt. Der undurchsichtige Strahler besitzt gegenüber dem durchsichtigen erhöhtes Absorptionsvermögen, also nach dem KIRCHHOFFSchen Gesetz erhöhte Emission, die sich mehr oder weniger der des schwarzen Körpers annähert, also bei den üblichen Emissionstemperaturen im Ultraroten besonders intensiv ist. Der Einkristall strahlt dagegen nur wenig Energie aus. Setzt man diesem daher färbende Zusätze bei, die nur im Sichtbaren absorbieren, dann hat man damit einen Selektivstrahler mit der erwünschten Eigenschaft. Tatsächlich haben Versuche an Oxyden, die sowohl als Einkristall als auch als keramische Körper zu erhalten sind, die Richtigkeit dieser Vorstellungen bestätigt:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , durchsichtig als Rubin und Saphir, strahlt selektiv; getrübbte Rubine strahlen weniger selektiv. Gepreßte Stäbe aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  verhalten sich nahezu wie ein schwarzer Körper entsprechender Temperatur mit einem starken Strahlungsmaximum bei 1,5  $\mu$  (2000° C).

Weitere Überlegungen zeigen, daß auch die Korngröße der keramischen Strahler eine Rolle spielt. Vergleichen wir zunächst mit SKAUPY einen Einkristall mit einem grobkristallinen Gefüge („Grobkristall“) derselben Substanz; der Einkristall besitze eine Stelle selektiver Absorption bei der Wellenlänge  $\lambda_0$ , während im übrigen sein Absorptionsvermögen nur geringe Werte annehmen mag. Im „Grobkristall“ steigt einerseits die Reflexion wegen Vermehrung der Reflexionsflächen, andererseits aber auch, infolge Vergrößerung des Lichtweges, den die Strahlung auf dem Weg durch das Teilchengewirr erleidet, das Absorptionsvermögen. Letzteres bedingt ein höheres Emissionsvermögen des Grobkristalls gegenüber dem Einkristall. Nun wird bei  $\lambda_0$ , der Stelle selektiver Absorption, diese Erhöhung zweifellos weniger ausmachen als im übrigen Teil des Spektrums; die Strahlung wird also weniger selektiv, jedoch intensiver, wie schon oben festgestellt wurde. Verkleinert man aber nun die Korngröße noch weiter bis zu einem feinkristallinen Zustand („Feinkristall“), dann nimmt die Absorption wieder ab. Denn der größte Teil der Strahlung wird in den obersten Schichten durch mehrfache Reflexion zur Umkehr gezwungen und erhöht die Reflexion auf Kosten der Absorption, da die Durchlässigkeit sowohl im Grobkristall als auch im Feinkristall nahezu Null ist. Die Emission nimmt also wieder allgemein ab, die Selektivität wird wieder erhöht. Will man daher etwa Auermasse auf einem Magnesiumrohr zum Leuchten bringen, um einen Selektivstrahler zu erhalten, so muß das Magnesiumoxyd möglichst feinkörnig sein, um selbst keine Eigenstrahlung zu liefern.

Die Abnahme der Strahlung mit der Korngröße wurde tatsächlich experimentell beobachtet und besonders von RITZOW eingehend untersucht. Sie macht sich im allgemeinen erst bei Korngrößen unterhalb 1  $\mu$  bemerkbar.

Weitere interessante Beobachtungen konnten bezüglich der technisch bedeutungsvollen Strahler

<sup>1</sup> C. G. ABBOT u. L. B. ALDRICH: Ann. Smithsonian Obs. 4 (1922).

<sup>2</sup> F. SKAUPY: Physikal. Zeitschr. 28, 842 (1927). F. SKAUPY u. G. LIEBMANN: Physikal. Zeitschr. 31, 373 (1930). — G. RITZOW: Ann. Physik 19, 769 (1934). — F. SKAUPY u. H. HOPPE: Zeitschr. techn. Physik 13, 226 (1932).

aus Oxydmischungen gemacht werden, die wir an dem typischen Fall der  $\text{ThO}_2\text{-CeO}_2$ -Mischung beschreiben wollen. Reines  $\text{CeO}_2$  absorbiert von 1 bis  $7\mu$  nahezu konstant 75%; reines  $\text{ThO}_2$  etwa 25% von 1 bis  $5\mu$ , dann steigt die Absorption, bis sie bei  $8\mu$  etwa die des  $\text{CeO}_2$  erreicht. Die Strahlungseigenschaften der Mischung hängen von der Konzentration des  $\text{CeO}_2$  im  $\text{ThO}_2$  ab. Dabei erhält man das erstaunliche Ergebnis, daß im ultraroten Bereich bei  $1600^\circ$  abs. die Absorption der Mischung bis zu einer  $\text{CeO}_2$ -Konzentration von 2% unter derjenigen des reinen  $\text{ThO}_2$  liegt. Das Minimum wird erreicht bei etwa 1,5 bis 2%  $\text{CeO}_2$ . Diese Mischungen haben also im Sichtbaren die größte Selektivität. Dieses erstaunliche Ergebnis, daß die Strahlung der Mischung noch unter der der geringststrahlenden Komponente liegt, ist auch für andere Mischungen gefunden worden. Ein solches anomales Verhalten zeigt

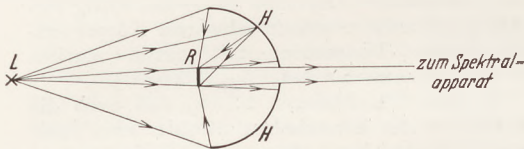


Fig. 1. Reflexionsanordnung für diffuse Strahlung.  
L Lichtquelle. R reflektierende Fläche, H Halbkugel.

sich nur bei sehr geringen Konzentrationen, bei höheren steigt die Absorption mit der Konzentration an. Eine Erklärung für diese Tatsache kann vielleicht darin gesucht werden, daß durch die Mischung unter Umständen die Korngröße, die die Strahlungsintensität nach den oben genannten Untersuchungen mit beeinflußt, verringert wird (vgl. SKAUPY und HOPPE).

Wir erwähnen noch eine interessante Beobachtung von RITZOW, nach der im allgemeinen die Helligkeit vom umgebenden Medium abhängt, und zwar verhalten sich bei gleicher Temperatur und gleichem Wattverbrauch die Helligkeiten des Nernststiftes in Luft,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  und  $\text{N}_2$  etwa wie 1,4:1,15:1,0:0,25. Sie ist also in Luft am größten. Die Ursache für dieses Verhalten ist noch unbekannt.

Zum Schluß sei noch eine Untersuchung von HASE<sup>1</sup> an Al genannt. HASE zeigte, daß reines Aluminium, Duraluminium und auch Aluminiumpulver nur ein geringes, zwischen 2 bis  $9\mu$  nahezu konstantes Emissionsvermögen von etwa 10% besitzt, diese Al-Proben also guten Strahlungsschutz bieten können. Oxydiertes Aluminium zeigt dagegen größeres Emissionsvermögen, welches bei  $3,8\mu$  und  $6\mu$  starke Maxima besitzt. Letzteres ist also sehr geeignet, z. B. die Abstrahlung von Dampfheizkörpern zu unterstützen, da es bei gleicher Temperatur stärker strahlt als reines Metall. Auch der Ausstrahlungswinkel ist von großem Einfluß. Das Emissionsvermögen kann bei polierten Al-Platten bei schräger Emission unter Umständen bis auf den doppelten Wert des Emissionsvermögens bei senkrechter Ausstrahlung

ansteigen. Bei der Formgebung von Heizkörpern ist dies entsprechend zu berücksichtigen. Bei rauhem Aluminium tritt diese Vergrößerung nicht auf, da die rauhen Flächen ungefähr nach dem LAMBERTSchen Gesetz strahlen. Man sieht auch hier, daß Ultrarot-Untersuchungen für die Wärmetechnik nicht ohne Bedeutung sind.

### 3. Biologische Untersuchungen.

Auf die Bedeutung der Wärmestrahlung für den Menschen, bzw. allgemein für die Lebewesen, hat schon 1897 RUBNER hingewiesen; in der Sonnenstrahlung ist nur verhältnismäßig wenig Ultraviolett, aber viel Ultrarot (etwa 60%) vorhanden, die Bedeutung des Ultrarot also nicht wohl zu unterschätzen. Es konnte z. B. im Tierversuch festgestellt werden (SCHMIDT<sup>1</sup>), daß es die Wärmewirkung der ultraroten Strahlung ist, die den Sonnenstich erzeugt: die Schädeldecke ist für Ultrarot gut durchlässig, während die Gehirnschubstanz Ultrarot absorbiert. Auch ist ja die heilende Wirkung der Sonne bekannt und durch Ultraviolettampen nicht überflüssig geworden. Trotzdem fehlen im allgemeinen bis heute genauere Untersuchungen, da die experimentellen Hilfsmittel für biologische Zwecke ungeeignet waren. Exakte spektrometrische bzw. radiometrische Messungen erfordern meist zu lange Zeit, besonders dann, wenn es sich um Vorgänge im lebenden Wesen handelt. Für den Praktiker wird daher statt der spektralen Zerlegung im allgemeinen eine Filtermethode angewandt werden müssen und als Meßinstrument etwa eine Photozelle. Geeignete Filterzusammenstellungen aus Schott-Gläsern hat BÜTTNER<sup>2</sup> angegeben, die es gestatten, vier ultrarote Bereiche abzugrenzen, und zwar von 690 bis  $780\text{ m}\mu$ , von 780 bis  $1500\text{ m}\mu$ , von 650 bis  $1500\text{ m}\mu$ , von 1500 bis  $3000\text{ m}\mu$ . Auch Registriermethoden dürften Aussicht auf Erfolg haben. Bei den meisten Messungen an Geweben muß ferner besonders beachtet werden, daß diese stark streuen bzw. diffus reflektieren. Bei Durchlässigkeitsmessungen, die die Streustrahlung mit erfassen sollen, ist daher das Gewebe möglichst nahe an das Meßinstrument heranzubringen. Bei Reflexionsuntersuchungen ist eine Erfassung der diffusen Reflexion im Ultraroten wesentlich schwieriger als im Sichtbaren. Dort kann man die reflektierende Substanz etwa mit einer ebenfalls diffus reflektierenden Halbkugel umgeben und dadurch diffus bestrahlen (vgl. Fig. 1 und F. RÜCKER<sup>3</sup>). Im Ultraroten fehlen einerseits geeignete, diffus reflektierende weiße Substanzen, andererseits wäre auch die Strahlungsintensität zu gering, um bequem meßbar zu sein.

Durchlässigkeitsmessungen an menschlicher Haut liegen kaum vor. Daß aber überhaupt menschliche Haut durchlässig für Ultrarot ist und also eine Erwärmung der unter der Haut liegenden Körperteile durch die Sonnenstrahlung zuläßt, ist schon lange bekannt gewesen. Neuer-

<sup>1</sup> P. SCHMIDT: Arch. f. Hyg. **47**, 262 (1903).


<sup>2</sup> K. BÜTTNER: Strahlenther. **39**, 358 (1931).

<sup>3</sup> F. RÜCKER: Pflügers Arch. **231**, 729 (1933).

<sup>1</sup> R. HASE: Zeitschr. techn. Physik **13**, 145 (1932).



dings fand GAERTNER<sup>1</sup> bei Bestrahlung mit einer Nitalampe und Benutzung einer MOLLschen Thermosäule, daß eine 0,1 mm dicke Schicht von toter Säuglingshaut zwischen 0,7  $\mu$  und 1,5  $\mu$  große Durchlässigkeit besitzt. Nach längeren Wellen nimmt sie natürlich wegen des ja in allen Geweben vorhandenen Wassers stark ab.

Über die Absorption bzw. Reflexion<sup>2</sup> lebender menschlicher Haut ist im Ultraroten noch gar nichts bekannt, dagegen sind von SCHULTZE<sup>3</sup> Reflexionsmessungen im Sichtbaren angestellt worden, die einige allgemein interessante Ergebnisse enthalten, so daß über sie hier kurz berichtet werden soll. SCHULTZE untersuchte verschiedene Versuchspersonen, deren Haut teils pigmentiert, teils nicht pigmentiert war. Er beachtete ferner das Profil der Haut, ob rauh oder glatt. Von seinen Ergebnissen seien die folgenden erwähnt: Pigmentierte Stellen absorbieren stärker (reflektieren schwächer) als nicht pigmentierte. Ebenso reflektieren lichtgewöhnte Stellen schlechter als andere. Letzteres darf wohl so gedeutet werden, daß die lichtgewöhnten Stellen einen geringeren Strahlenschutz brauchen als die der Strahlung normalerweise nicht ausgesetzten Teile. Die pigmentierte Haut ist im allgemeinen rauh mit etwa folgendem Profil , die nichtpigmentierte glatt (—), was die erhöhte Reflexion dieser Hautteile erklärt. Einfetten erhöht die Reflexion besonders im langwelligen Gebiet, wohl infolge Glättung des Profils. In dieser Hinsicht sei auf die fettige Haut der Neger hingewiesen, die einen Strahlungsschutz ja sehr notwendig haben. Das Maximum der Reflexion liegt im allgemeinen im Rot.

Diese wenigen Ergebnisse zeigen schon, daß die Reflexion der Haut von einer großen Anzahl von Faktoren abhängt und als Wärmeregulator für den Menschen mindestens gewisse Bedeutung besitzt. Für eine genaue Erkenntnis, besonders was die therapeutische Wirkung der Sonnenstrahlung betrifft, ist es jedoch ein dringendes Bedürfnis, diese Untersuchungen auf das Ultrarot auszudehnen.

Genauere Untersuchungen der Durchlässigkeit im Ultrarot (neben Reflexionsmessungen im Sichtbaren) existieren bisher nur an Wechselwarmen (Insekten, Schnecken, Fröschen u. ä.<sup>4</sup>), deren Körpertemperatur bekanntlich wesentlich von der Außenwelt abhängt und sich nur in geringen Grenzen selbst regulieren kann. Diese Tiere brauchen daher eine möglichst gute Ausnutzung der Sonnenstrahlung, um den ganzen Körper erwärmen zu können. Tatsächlich findet man bei Eidechsen und ähnlichen Tieren eine große Durchlässigkeit der Haut (bei 2  $\mu$  bis zu 50%), so daß nicht nur die Haut, sondern auch das Innere

Strahlung empfangen kann. Gegen eine zu starke Erwärmung scheinen sich dabei einige Arten (z. B. Schnecken) dadurch zu schützen, daß in der Sonne lebende Tiere eine helle, stark reflektierende Schale, Schatten liebende dagegen dunklere Schalen besitzen. Jedoch ist diese Erscheinung nicht durchgängig zu beobachten, so daß als Wärmeschutz wohl weniger solche physikalische Eigenschaften wirken als physiologische Anpassungsvorgänge. Bei einigen Insekten ist unter der stark absorbierenden Schicht ein Luftraum vorhanden, der den übrigen Körper sich nur durch Wärmeleitung erwärmen läßt, während keine direkte Strahlung mehr ins Innere dringt.

Das vorliegende Material zeigt, daß bisher erst ganz vereinzelte Ergebnisse vorliegen, systematische Untersuchungen aber noch in Angriff genommen werden müssen.

#### 4. Ultrarotphotographie.

Schon lange hat sich das Bedürfnis herausgestellt, die spektrophotographischen Methoden über das Sichtbare hinaus ins kurzwellige Ultrarot fortzusetzen. Nur mit photographischen Hilfsmitteln ist nämlich die im Sichtbaren übliche höhere Dispersion im Ultrarot nutzbar zu machen, während die thermischen Methoden hierzu zu unempfindlich sind. Die photographische Platte ist im Prinzip in der Lage, bei genügend langer Belichtungszeit auch schwache Intensitäten zu registrieren, falls sie für den betreffenden Spektralbereich überhaupt empfindlich ist. Während die thermischen Empfänger nach relativ kurzer Zeit ihren Endausschlag erreichen — das ist dann der Fall, wenn zugeführte und an die Umgebung abgeführte Wärmemenge einander gleich sind —, summiert die photographische Platte innerhalb weiter Grenzen über sehr lange Zeiten. Die Erweiterung des mit photographischen Hilfsmitteln zugänglichen Spektralbereichs ist in zweifacher Hinsicht von Interesse.

Gerade an der Grenze des sichtbaren Spektrums findet man Oberschwingungen hoher Ordnungszahl von ultraroten Absorptionsbanden, besonders von mehratomigen Gasen, die mit thermischen Methoden nicht aufgelöst werden konnten. Ihre genaue Analyse ist aber notwendig, um die Ergebnisse mit der Theorie vergleichen zu können, da eine solche Vergleichung die vollständige Trennung aller Feinstrukturlinien erfordert, diese Trennung aber bei den Grundschwingungen und Oberschwingungen niedriger Ordnung (diese liegen im allgemeinen zwischen 2  $\mu$  und 6  $\mu$ ) wegen der geringen Dispersion der zur Verfügung stehenden Spektralapparate nur schwer, wenn überhaupt, möglich ist. Daraus waren neue Aufschlüsse über das Verhalten des Moleküls bei derartig hohen Schwingungszuständen zu erwarten.

Andererseits ist die Entwicklung photographischer Methoden eine notwendige Bedingung für die fruchtbare technische Anwendung der ultraroten Strahlen, da thermische Methoden, wie gesagt, im allgemeinen zu umständlich sind und zu viel Sorgfalt bei der Bedienung erfordern.

<sup>1</sup> O. GAERTNER: Strahlenther. 40, 377 (1931).

<sup>2</sup> Da die Durchlässigkeit  $D = 0$  gesetzt werden darf, kann man wegen  $A = 1 - R$  die Absorption aus dem Reflexionsvermögen bestimmen. —

<sup>3</sup> W. SCHULTZE: Strahlenther. 22, 38 (1926).

<sup>4</sup> F. RÜCKER: Pflügers Arch. 231, 742 (1933). (Dort weitere Literatur.)

Es ist allgemein bekannt, daß die normale Bromsilberplatte nur für Blau und Violett empfindlich ist, während die Empfindlichkeit nach dem langwelligen Teil des Spektrums stark abnimmt und Gelb und Rot überhaupt nicht auf die Platte wirken. Jedoch hat man erreicht, die Platten durch geeignete Zusätze auch für Grün, Gelb und Rot zu „sensibilisieren“ (ortho- bzw. panchromatische Platten). Diese Zusätze sind im wesentlichen organische Farbstoffe, die gerade die Farben, für welche die Platte sensibilisiert werden soll, absorbieren. Dadurch entsteht die Möglichkeit, daß diese Strahlen wieder in Wechselwirkung (etwa photoelektrischer Art) mit der Bromsilberschicht treten. Der Vorgang der Sensibilisierung im einzelnen ist sehr verwickelt und wohl noch nicht völlig aufgeklärt. Er interessiert uns hier auch nicht. Jedoch kann man feststellen, daß die Empfindlichkeit um so mehr ins Rot bzw. Ultrarot

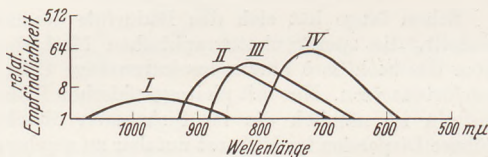


Fig. 2. Spektrale Empfindlichkeit von Infrarotplatten, schematisch (nach EGGERT).

I.	Aga-Infrarotplatte Rapid 960	
II.	"	855
III.	"	810
IV.	"	730

hineinreicht, je langwelliger das Absorptionsgebiet des sensibilisierenden Farbstoffs ist. Um Photoplatten für Ultrarot empfindlich zu machen, mußte also ein dazu geeigneter Farbstoff gefunden werden. Dabei hat man die besten Erfahrungen mit den blauen Cyaninfarbstoffen Neocyanin, Kryptocyanin, Allocyanin und Dicyanin gemacht. Weiter unten werden wir ein Rezept zur Sensibilisierung von Platten für Ultrarot angeben. Im allgemeinen lohnt es sich aber heute schon nicht mehr, Platten selbst zu sensibilisieren, da Ultrarotplatten von ausreichender Empfindlichkeit schon im Handel erhältlich sind (z. B. Kodak und Agfa). Solche Platten sind etwa bis zu  $1\mu$  brauchbar, wie Fig. 2 zeigt, die einem Bericht von EGGERT<sup>1</sup> entnommen ist und die verschiedenen Empfindlichkeitsbereiche der Agfa-Platten angibt. Die Figur ist schematisch zu verstehen. Sie gilt für Beleuchtung mit einer Nitralampe, wobei die sichtbare Strahlung abgeblendet zu denken ist. Über  $1,1\mu$  hinaus ist man noch nicht gekommen. Dazu sei bemerkt, daß es schon durch folgenden Umstand unmöglich erscheint, wesentlich weiter ins langwellige Ultrarot vorzudringen: Alle Körper, also auch das Verpackungsmaterial, senden ja Wärmestrahlen aus, die sich bei normaler Temperatur schon von 3 bis  $4\mu$  ab bemerkbar machen. Platten, die für längere Wellen empfindlich sind, müssen also rettungslos verschleiern (CZERNY).

Die photographische Behandlung der handelsüblichen Platten bezüglich Entwicklung usw. ist

die gebräuchliche. Nur die Haltbarkeit der Ultrarotplatten, insbesondere der selbst hergestellten, ist oft wesentlich geringer als die der panchromatischen Platten. Selbstverständlich darf die Entwicklung usw. nur im völlig dunklen Raume vorgenommen werden.

Es seien nun einige Rezepte zur Ultrarotsensibilisierung angegeben. Sie haben alle das Gemeinsame, daß zunächst die normale Platte in einem Sensibilisierungsbad aus einer alkoh. Farbstofflösung gebadet wird. Dadurch wird der Empfindlichkeitsbereich in der gewünschten Weise ins Ultrarot erweitert; die Allgemeinempfindlichkeit der Platte sinkt aber im allgemeinen, so daß in einem Hypersensibilisierungsbad, meist einer ammoniakalischen Lösung, diese wieder gesteigert werden muß. Die einzelnen Rezepte unterscheiden sich durch die Art des Farbstoffs und die Konzentration. Bei den meisten Rezepten kommt es sehr darauf an, die Versuchsbedingungen genau einzuhalten, sowohl was die Konzentration als auch die Temperatur betrifft. Allgemeine Regeln hierfür gibt es nicht. Ein weiteres Mittel zur Empfindlichkeitssteigerung besteht in der Anwendung erhöhter Temperatur während der Belichtung<sup>1</sup>; für viele Platten kann durch Erwärmen die Empfindlichkeit auf ein Mehrfaches erhöht werden. Eine heizbare Kassette ist für diesen Zweck von BARTELT, der überhaupt die Versuchsbedingungen systematisch untersucht hat, angegeben worden. Bei Allocyaninplatten kann die Empfindlichkeitsgrenze von 950 bis etwa  $1100\mu$  erweitert werden, wenn die Temperatur auf  $87^\circ\text{C}$  gesteigert wird. Für die käuflichen Kodak-Platten sind  $65^\circ\text{C}$  am günstigsten, Agfa-Platten 810 zeigen dagegen keine Temperaturempfindlichkeit.

#### 1. Rezept [P. LUEG: Zeitschr. Physik 60, 13 (1930)]<sup>2</sup>:

Geeignet für 800 bis  $900\mu$ ; 3 bis 30 Sek. Belichtungszeit bei  $2,6\text{ ÅE./mm.}$  Am besten eignen sich Agfa-Normalplatten mit 15° Scheiner.

##### Sensibilisierungsbad:

1,5 cem alkoholische Neocyaninlösung (1 Teil Farbstoff auf 2000 Teile Alkohol); 30 cem Äthylalkohol; 70 cem Wasser; 60 Sek. baden, Badtemperatur  $10^\circ$  bis  $12^\circ\text{C}$ ; 25 Sek. in absoluten Alkohol legen und schnell mit Föhn trocknen bei einer Temperatur von  $27^\circ\text{C}$ .

##### Hypersensibilisierungsbad:

7,5 cem 20%ige Ammoniaklösung; 100 cem Wasser; 45 Sek. baden, schnell trocknen. Schnelles Trocknen ist wesentlich; auf die Badtemperatur kommt es bei der Hypersensibilisierung nicht so sehr an. Die Konzentrationen müssen aber genau eingehalten werden.

<sup>1</sup> O. BARTELT: Zeitschr. wiss. Photograph., Photophysik u. Photochem. 30, 261 (1932).

<sup>2</sup> Weitere Rezepte s. bei R. MECKE und A. ZOBEL: Physikal. Zeitschr. 34, 843 (1933). — C. E. K. MEES u. G. O. GUTEKUNST: Abridged scient. Publicat. Res. Lab. Eastman Kodak Co. Lab. 6, 122 (1922). — O. BARTELT: l. c.

<sup>1</sup> J. EGGERT: Veröff. Agfa 3, 136 (1933).



## 2. Rezept (O. BARTELT, I. c.):

Geeignet für 900 bis etwa 1000  $\mu$ ; Schleußner Moment-Gelbetikett-Platten.

Bad: 3 ccm alkoholische Allocyaninlösung (1:1000); 3 ccm 25%ige Ammoniaklösung; 50 ccm Alkohol; 50 ccm Wasser; 5 Sek. baden, Badtemperatur 21° C (genau einhalten!); rasch in warmem Luftstrom trocknen (höchstens 5 Min. lang, nicht zu heiß); bei 87° C Belichtungs-temperatur am empfindlichsten, Grenze bei etwa 1100  $\mu$ ; bei 20° C Belichtungs-temperatur Grenze bei 950 bis 1000  $\mu$ .

Es sei weiter erwähnt, daß auch die Handelsplatten noch übersensibilisiert werden können durch Baden in einer etwa 1%igen Ammoniaklösung bei etwa 10° bis 12° C (Badezeit 1 Min.).

Es mögen nun einige Anwendungen der Ultrarotphotographie besprochen werden.

a) Schon oben wurden die Vorteile der Ultrarotphotographie für die spektroskopische Forschung erwähnt. Es gelang in der Tat, eine große Zahl von Absorptionsbanden einiger Gase wie  $O_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  mit hoher Dispersion (2,6 ÅE./mm) zu photographieren und auszumessen (besonders MECKE und Mitarbeitern). Diese Banden sind (mit Ausnahme der  $O_2$ -Banden, bei welchen Elektronenübergänge stattfinden) Ober- und Kombinationsschwingungen hoher Ordnungszahl von ultraroten Kernschwingungsbanden zuzuordnen. Ihre genaue Analyse lieferte die schon im ersten Teil dieses Berichtes dargestellten Ergebnisse<sup>1</sup>. Von besonderem Interesse ist dabei die Tatsache, daß die Photographie des Sonnenspektrums, besonders wenn die Sonne tief steht, dunkle Linien liefert, die mit den laboratoriumsmäßig beobachteten  $H_2O$ - und  $O_2$ -Linien vollkommen übereinstimmen. Diese FRAUNHOFERSchen Linien sind daher atmosphärischen Ursprungs: es sind die Absorptionslinien des Sauerstoffs und Wasserdampfs der Luft.

Die Ultrarotphotographie führte auch zu der Entdeckung der Sauerstoffisotope  $O_{17}$  und  $O_{18}$  neben  $O_{16}$ . MECKE und CHILDS<sup>2</sup> konnten aus der Intensität der den einzelnen Isotopen entsprechenden Bandenlinien das Mischungsverhältnis dieser drei Isotope bestimmen. Sie fanden  $O_{16}:O_{18}:O_{17} = 630:1:0,2$ . Das Atomgewicht des normalen Sauerstoffs ist daher, wenn man  $O_{16}$  gleich 16 setzt, um 0,035 größer anzusetzen.

Um die Leistungsfähigkeit der Ultrarotphotographie im kurzwelligen Ultrarot zu zeigen, sei in Fig. 3 eine Aufnahme von BAUMANN und MECKE<sup>3</sup> wiedergegeben. Die Figur bezieht sich auf die Absorptionsbande des Wasserdampfs bei 0,8227  $\mu$  ( $\nu_1 + 2\nu_2 + \nu_3$ , vgl. 1. Bericht). Bei A ist das Absorptionsspektrum des Wasserdampfs (1,5 m Schichtdicke bei 100° C), bei S<sub>0</sub> das Sonnenspektrum (äquivalente Wasserdampfschichtdicke

etwa 30 m) zu sehen. Man erkennt die Übereinstimmung beider Spektren und ferner die Schärfe, mit der die Linien getrennt werden können. Im normalen Ultrarotgebiet ist eine solche Auflösungsfähigkeit noch nicht erreicht

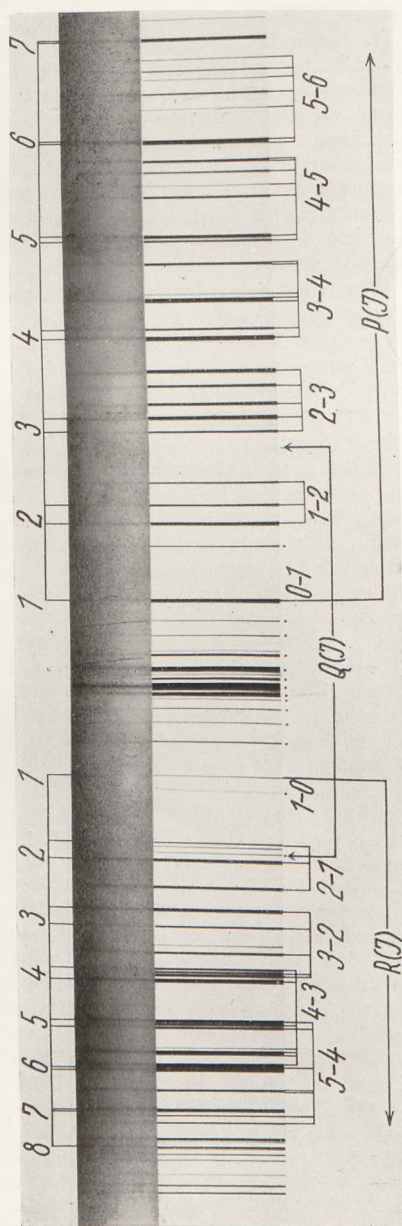


Fig. 3. Wasserdampfbande  $\lambda$  8227 ( $\nu_1 + 2\nu_2 + \nu_3$ ) in Absorption und im Sonnenspektrum nach BAUMANN und MECKE.

worden. Die Zahlen an den Linien beziehen sich auf die Bandenanalyse und interessieren hier nicht ( $Q$  = Nullzweig,  $R$  und  $P$  = positiver bzw. negativer Zweig); sie zeigen immerhin, wie verwickelt die Struktur einer Wasserdampfbande ist.

R. WILDT<sup>1</sup> ist es gelungen, die Strahlung der

<sup>1</sup> Im ersten Bericht ist auf S. 36, rechte Spalte, 4. Zeile von oben statt 3,2  $\mu$  zu lesen 2,8  $\mu$ .

<sup>2</sup> R. MECKE u. W. H. J. CHILDS: Zeitschr. Physik 68, 362 (1931).

<sup>3</sup> W. BAUMANN u. R. MECKE: Zeitschr. Physik 81, 449 (1933).

<sup>1</sup> R. WILDT: Göttinger Nachr. (mathem.-physik. Kl.) 2, 87, 356 (1932).

Planeten Jupiter und Saturn mit Ultrarotplatten zu photographieren. Man erhält in diesen Planetenspektren Absorptionsbanden, die, wie Kontrollbeobachtungen mit Fixsternen zeigen, nicht auf terrestrische Absorption zurückzuführen sind, sondern durch die Planetenatmosphäre bedingt sind. Wahrscheinlich rühren sie von  $\text{NH}_3$  und  $\text{CH}_4$  her. Wasserdampf planetarischen Ursprungs machte sich nicht bemerkbar, was wegen des geringen Dampfdrucks von Wasserdampf bei den niedrigen Planetentemperaturen plausibel erscheint. Auch andere auf der Erde vorhandene Gase scheinen auf Jupiter und Saturn zu fehlen. Kohlensäure kann auf diesem Weg allerdings nur schwer nachgewiesen werden, da ihre Absorption in dem photographisch zugänglichen Gebiet zu schwach sein dürfte.

b) Fernphotographie und Ultrarot-signalisierung. Gelbe und rote Strahlen durchdringen leichten Nebel viel besser als die kurzwelligen Komponenten des Lichts. Diese Erkenntnis wird ja z. B. ausgenutzt in dem gelben Licht mancher Automobilscheinwerfer. Die Ursache für diese Erscheinung ist im wesentlichen darin zu suchen, daß langwellige Strahlung weniger stark gestreut wird als kurzwellige. Nach dem RAYLEIGHschen Streugesetz ist die Schwächung der Strahlung durch ein trübes Medium umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge, so daß tatsächlich die langwelligen Strahlen bevorzugt erscheinen. Dieses Gesetz gilt streng allerdings nur für den Fall, daß die streuenden Teilchen gegenüber der Lichtwellenlänge klein sind. Aber auch bei nicht allzu viel größeren Teilchen sind qualitativ die gleichen Verhältnisse zu erwarten. Man durfte daher hoffen, mit ultraroten Strahlen noch besser Nebel durchdringen zu können als mit langwelligem sichtbaren Licht. Diese Erwartungen wurden tatsächlich nicht getäuscht. Dabei sind Wellenlängen in der Größenordnung von  $1\mu$  am meisten geeignet, da noch längere Wellen direkt von dem Wasserdampf der Atmosphäre absorbiert werden und der geringere Streuverlust dadurch wieder aufgehoben wird. Genauere Untersuchungen über die Durchlässigkeit von natürlichen und künstlichen Nebeln haben KÜLB sowie MÜLLER mit Mitarbeitern unternommen<sup>1</sup>.

Es gelingt z. B. ohne weiteres, eine ferne Landschaft (etwa ein Gebirge), die mit dem Auge wegen des darüberliegenden Dunstes kaum oder gar nicht zu erkennen ist, mit Ultrarotplatten unter Verwendung eines Ultrarotfilters zu photographieren, wobei alle Einzelheiten so gut herauskommen, als sei die Luft völlig klar. Solche Aufnahmen s. z. B. bei EGGERT, l. c. (Karwendelgebirge, von München aus aufgenommen, Entfernung 100 km) und bei ANGERER, Wissenschaftliche Photographie. Von besonderem Interesse ist dabei, daß die Helligkeiten meist ganz anders wiedergegeben werden, als wir es von der normalen Photoplatte

gewohnt sind. Grüne Blätter reflektieren sehr stark ultrarotes Licht, sehen also weiß aus, während der Himmel dunkel erscheint, da er nur wenig Ultrarot aussendet. Man hat hier also ähnliche Effekte wie bei einer Mondscheinaufnahme. Natürlich sind bei allen diesen Photographien die Belichtungszeiten je nach den benutzten Ultrarot-Filtern und -Platten wesentlich länger als bei normalen Platten. Nach EGGERT ist die Verlängerung z. B. für Agfa Rapid 810 bei Vorschaltung des Agfa-Filters 42 fünfunddreißigfach.

Während Dunst infolge der Kleinheit der streuenden Teilchen für Ultrarot kaum ein Hindernis ist, werden die Verhältnisse bei dichteren Nebeln immer ungünstiger. Aber auch dann noch ist ultrarote Strahlung der sichtbaren überlegen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit für solche Versuche, bei denen mit ultraroter Strahlung Signale ähnlich wie mit einem Scheinwerfer übertragen werden sollen, wo die Verwendung von Ultrarot außer dem Vorteil der Nebeldurchdringung noch den der Unsichtbarkeit besitzt. Hierbei wird aber die photographische Platte weniger zweckmäßig sein. Man verwendet hier besser Photozellen mit Verstärker, mit denen es z. B. gelungen ist, schon 28 km zu überbrücken ( $0,745\mu$  Selen-Tellur-Zelle<sup>1</sup>). Für die Praxis wäre es von großer Bedeutung, wenn es gelänge, die technisch viel einfacheren Sperrschichtphotozellen hierfür verwendbar zu machen; die Selen-Sperrschichtphotozelle nach BERGMANN ist ja auch für kurzwelliges Ultrarot empfindlich.

Auch für Flugzeugnavigierung hat man die ultraroten Strahlen auszunutzen versucht<sup>2</sup>. Längs der Flugstrecke sind ultrarote Strahlungsquellen (Baken) verteilt, deren Strahlung im Flugzeug photoelektrisch empfangen wird. Eine Differentialschaltung sorgt dafür, daß im Instrument nur ein Ausschlag entsteht, wenn sich die Bake seitlich vom Flugzeug befindet, dieses also falschen Kurs hält. Um mit Verstärkern arbeiten zu können, moduliert man die Strahlung durch Variation ihrer Intensität etwa mittels einer Lochscheibe in tonfrequentem Rhythmus.

Die Erkennung von bewegten oder unbewegten Objekten mittels ihrer eigenen oder fremder reflektierter Ultrarot-Strahlung ist wesentlich schwieriger, da die störenden Einflüsse der Umgebung sich nur in günstigen Fällen vermeiden lassen.

c) Zum Schluß sei noch erwähnt, daß auch die Kriminalistik aus den ultraroten Strahlen Vorteile gezogen hat<sup>3</sup>. Hier wird insbesondere die verschiedene Reflexionsfähigkeit bzw. Durchlässigkeit von Papieren, Schriftzügen u. ä. aus-

<sup>1</sup> W. KÜLB: Ann. Physik. **11**, 679 (1931). — C. MÜLLER, H. THEISSING u. H. KIESSIG: Zeitschr. Ver. Dtsch. Ing. **76**, 925 (1932).

<sup>1</sup> F. SCHRÖTER u. F. MICHELSEN: Zeitschr. techn. Physik **11**, 511 (1930). Vgl. auch einen Bericht von G. GRESKY: Physikal. Zeitschr. **32**, 193 (1931).

<sup>2</sup> C. MÜLLER: Zeitschr. Instrumentenkunde **50**, 356 (1930).

<sup>3</sup> P. W. DANCKWORTT: Photographie mit infraroten Strahlen; vgl. auch Arch. Kriminol. **88**, 72. Ferner J. EGGERT, l. c.



genutzt. Man kann durch geschlossene Briefumschläge den innen liegenden Brief photographieren. Radierte Stellen, die mit sichtbarem Licht sich so gut wie gar nicht von der Umgebung abheben, werden in der Ultrarotphotographie sofort sichtbar. Im Sichtbaren gleich aussehende Tinten oder Stempelfarben reflektieren das Ultrarot unter Umständen verschieden stark. Es ist daher möglich, durch Photographie mit ultrarotem Licht gewisse Schriftzüge oder Stempel, die für das Auge alles darunter liegende vollkommen verdecken, unsichtbar zu machen, wenn die überdeckenden Schriftzüge im Ultrarot gut reflektieren. Bei diesen kriminologischen Anwendungen benutzt man im allgemeinen die sogenannte Kontaktphotographie; d. h. die zu durchleuchtenden Objekte werden möglichst dicht auf die Platte gelegt, nötigenfalls unter Zwischenschaltung eines Cellophanblättchens zum Schutz der Platte. Die Belichtung geschieht durch ein Rotfilter, am besten wohl das SCHOTTsche RG5-Glas (1 mm dick), Rubindu genannt, oder das Agfa-Filter 42. Als Platten verwendet man Agfa 730 Rapid oder Rapid 810.

Die hier erwähnten Beispiele, denen noch andere hinzugefügt werden könnten, welche sich im Wesen aber nicht von ihnen unterscheiden, zeigen, wie es der Ultrarotphotographie gelungen ist, sowohl in Wissenschaft als Technik eine nützliche Stellung zu erobern.

##### 5. „Ultrarotphotographie“ nach CZERNY<sup>1</sup>.

Der bisher beschriebenen Ultrarotphotographie sind bezüglich der Ausdehnung nach langen Wellen Grenzen gesetzt, da, wie oben gesagt, Platten, die für langwelliges Ultrarot sensibilisiert sind, schon infolge der Umgebungsstrahlung (Dunkelreaktion) schleiern müßten. Man wird also höchstens bis zu  $2\mu$  mit normalen photographischen Verfahren kommen können. Es ist daher ein Verfahren von CZERNY interessant, das die Dunkelreaktion eliminiert. Es beruht auf folgender Grundlage:

Eine leicht verdampfende Substanz (Naphthalin, Petroleumfraktionen u. ä.) befindet sich in dünner Schicht in einem abgeschlossenen Gefäß unter ihrem eigenen Dampfdruck. Bestrahlt man eine Stelle dieser Schicht etwa dadurch, daß ein Spektrum auf ihr entworfen wird, dann erwärmt sie sich je nach der auffallenden Strahlungsintensität mehr oder weniger. An den bestrahlten Stellen wird die Schicht verdampfen und dünner werden, und zwar um so dünner, je größer die Temperaturerhöhung ist. Die Dickenänderung kann bei geeigneter Wahl der Substanz und der Schichtdicke etwa durch die Änderung von Interferenzfarben (Kurven gleicher Dicke) erkannt und gemessen werden. Eine Dunkelreaktion unterbleibt, da eine gleichmäßige Bestrahlung die Schicht vollkommen gleichmäßig beeinflusst. Das Verfahren bietet noch relativ große Schwierigkeiten (Störungen durch Beweglichkeit der Schicht

bei Flüssigkeiten, durch Oberflächenspannung, gegenseitige Beeinflussung benachbarter Schichtstellen u. ä.); es ist aber immerhin schon gelungen, die HCl-Doppelbande bei  $3,5\mu$  aufzulösen und in 3 bis 5 Min. zu „photographieren“. Auch das Absorptionsspektrum von Naphthalin konnte, wenigstens in großen Zügen, bis  $6,5\mu$  beobachtet werden (Belichtungszeit einige Sekunden). Bei Naphthalin konnte das Verfahren auch mit Erfolg in der Weise benutzt werden, daß die verdampfende Schicht selbst das absorbierende Medium darstellt, das sich an den Stellen stärkster Absorption am meisten erwärmt.

Ob dieses geistreiche Verfahren weiter ausgebaut werden kann, steht noch dahin. Es würde jedenfalls den Wirkungsbereich photographischer Methoden in sehr erwünschter Weise bis etwa  $7\mu$  ausdehnen.

*Physikalisches Institut der Universität Breslau.*

##### Über die Grenzen von Leben und Tod<sup>1</sup>. Von Prof. Dr. med. et phil. ERNST MANGOLD in Berlin.

Leben und Tod und ihre Grenzen, ein uraltes Problem, das jeden Menschen angeht und schon in den ältesten Religionen und im Totenkult der Völker eine Rolle spielt; sehen wir doch aus der Beigabe von Speisen beim Begräbnis die Vorstellung, daß noch über den Tod hinaus leibliche Bedürfnisse wie im Leben fortbestehen, der Tod also nicht mit scharfer Grenze die Lebensfunktionen beendet. Doch es kann hier nicht Aufgabe sein, unser Thema von religiösen Anschauungen aus zu beleuchten; wir wollen vielmehr vom Standpunkt des Physiologen und Biologen aus betrachten, welche scharfen Grenzen oder welche fließenden Übergänge zwischen Leben und Tod bestehen. Physiologie ist Physik und Chemie des Lebens. Wir werden daher, neben medizinischen, anatomischen und pathologischen Erfahrungen, den physikalischen und chemischen Grunderscheinungen von Leben und Tod nachzugehen haben.

Wenn neben uns ein Mensch vom Blitz getroffen oder von einem Herzschlag befallen oder im Kriege durch Kopfschuß verwundet plötzlich jäh und, wie wir sagen, leblos, zusammensinkt, scheinen da nicht blühendes Leben und unüberwindlicher Tod als denkbar schärfster Gegensatz und durch eine klaffende Zäsur ohne alle Übergänge voneinander getrennt? Doch stellen wir diesen ein anderes Beispiel gegenüber, indem wir annehmen, bei einem Bootunglück habe ein Schwimmer zwei Ertrunkene ans Land gebracht; beide geben kein Lebenszeichen mehr, die Atmung ruht und der Herzschlag ist äußerlich nicht mehr fühlbar. Der Hilfe bei Unglücksfällen kundig wendet er sich dem einen zu, und es gelingt ihm, durch künstliche Atmung nach langer Zeit — fast eine Stunde ist vergangen — ihn wieder zum Leben

<sup>1</sup> Nach einem beim Ferienlehrgang der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin am 8. 10. 34 gehaltenen Vortrage.

<sup>1</sup> M. CZERNY: Zeitschr. Physik 53, 1 (1929). — H. WILLENBERG: Zeitschr. Physik 74, 663 (1932).

zurückzurufen, so daß die Atmung spontan wieder einsetzt und der Pulsschlag sich kräftigt. Erst jetzt kann er sich auch dem andern widmen, doch hier kommt seine Hilfe zu spät, die Wiederbelebung gelingt nicht mehr. Wir müssen aber annehmen, daß sie auch bei diesem gelungen wäre, wenn man gleich zu Anfang noch eine zweite Hilfe zur Stelle gehabt hätte. So aber ist nur der erste wiederbelebt, beim zweiten ist der anfangs ganz gleiche Zustand in den endgültigen Tod übergegangen. Welches war dieser Zustand? Wir nennen ihn Scheintod und sehen aus unserem Beispiel, daß dieser kein Tod, sondern Leben ist. Denn die Belebung konnte nur gelingen, wenn der Ertrunkene noch die Fähigkeit in sich hatte, auf die mechanischen Reize und die künstliche Atmung zu reagieren. Diese Reizbarkeit oder Erregbarkeit ist aber ein Hauptmerkmal des Lebens. Bei dem andern aber war diese Erregbarkeit besonders der Atemzentren infolge des langen Aussetzens der Atmung und des Kreislaufes erloschen, als die Hilfe begann; und mit dem Versagen dieses Lebensmerkmals war, ganz unmerklich und dem Zeitpunkt nach unbestimmbar, der Übergang in den Tod erfolgt.

Die gleichen Beobachtungen können wir auch bei Erfrierungen machen, und auch bei schweren Vergiftungen kann der Schlaf, der Bruder des Todes, unbemerkt, von diesem selbst abgelöst werden.

Derartigen Scheintod finden wir weitverbreitet in der Natur als Schutzanpassung an die Unbilden der Jahreszeit oder den Nahrungsmangel. So beim Winterschlaf der Tiere und Pflanzen, der in den Tropen z. B. beim Igel auch zum Sommerschlaf werden kann. Wir wissen, daß Flechten und Algen bei Dürre ihre Lebensfunktionen völlig einzustellen scheinen, Moossporen 50 Jahre, Bakteriensporen 90 Jahre lang, der Weizen, wenn auch nicht Tausende von Jahren, wie es von dem Mumienweizen hieß, so doch Jahrzehnte, nach MIEHE vielleicht bis 100 Jahre lang, und die Früchte der Lotosblume noch nach 200 Jahren, ihre Keimfähigkeit behalten können. Die Larven- und Puppenruhe bei Insekten hat man bis 45 Jahre beobachtet, und besonders bekannt ist die Trockenstarre bei den Rädertierchen, die LEEUWENHOEK im Staube der Dachrinnen fand, oder vom Barentierchen, das wegen seiner Kunst der Lebensverlängerung *Macrobrotus Hufelandi* heißt. KORSCHOLT und seine Schüler haben an diesen trockenstarren Tierchen bedeutungsvolle Versuche gemacht, bei denen sie fanden, daß Rotatorien 15 Jahre lang in Papierdüten aufbewahrt werden können, Mooswürmchen 10 Jahre, und daß diese bei Wiederbefeuchtung um so länger bis zum Wiedererwachen ihrer Lebensgeister brauchen, je länger sie im Trockenschlaf verharrten. Besonders aber konnten sie feststellen, daß solche Tierchen, die ja doch nur lufttrocken waren, wenn sie im Exsikkator vollends chemisch ausgetrocknet wurden, in diesem völlig wasserfreien Zustande nur noch wenige Wochen oder Monate ihre Wiederbelebungsfähigkeit behielten. Dies zeigt, daß bei ihnen vorher noch kein völliger Stillstand aller

Lebensregungen eingetreten war, daß sie vielmehr im lufttrocknen Zustande mit Hilfe der letzten Spuren von Wasser auch physiologisch noch eine *vita minima* besaßen, und daß bei ihnen der Stoffwechsel als Merkmal des Lebens noch nicht ganz erloschen war, bis sie künstlich der letzten Wasserreste beraubt wurden, ohne die kein Leben ist, und der Scheintod in Sterben überging.

So sehen wir, der Tod ist physiologisch Aufhören der Erregbarkeit und Aufhören des Stoffwechsels, denn Leben war Stoffwechsel der Eiweißverbindungen, der lebenden Substanz (VERWORN). Nun ergreift aber der physiologische Tod unter natürlichen Umständen, besonders bei den größeren, höheren Organismen niemals zugleich mit dem Tod des Individuums alle einzelnen Organe und Gewebe des Körpers, diese können vielmehr den Tod der Person überleben. Sehr bekannt ist dies aus den physiologischen Versuchen, die wir an Muskeln und Nerven von getöteten Fröschen ausführen, und wie sie schon GALVANI und VOLTA bei ihren berühmten Entdeckungen sowohl über die Wirkung der Elektrizität auf lebende Gebilde wie auch über die Entstehung von Elektrizität in lebenden Organen anstellten. Solche Froschmuskeln können kühl und feucht bis etwa 20 Tage lang noch Reizbarkeit und Kontraktionserscheinungen zeigen. Bei Säugetiermuskeln konnte ich die gleichen Überlebenserscheinungen durch geeignete physiologische Salzlösungen bis zu 55 Stunden bewahren. Tagelang läßt sich auch das Herz von Warmblütern mittels Durchströmung mit warmen sauerstoffhaltigen Salzlösungen schlagend erhalten, wenigstens stundenlang auch das zentrale Nervensystem der Säuger, während es bei Fröschen und Schildkröten noch tagelang nach der Tötung des Tieres Reflexe zu vermitteln imstande ist. Beim Menschen hat man besonders lange nach dem Tode die feinen Flimmerhärcchen der Luftröhrenschleimhaut bewegungsfähig erhalten können. Vor dem Tode befähigt, den Tod des Individuums oder die Loslösung von diesem lebend zu überstehen, sind solche Zellen, denen schon biologisch eine gewisse Selbständigkeit zukommt. So die Samenzellen der männlichen Tiere, von denen wir wissen, daß sie nach der Begattung im weiblichen Körper noch lange befruchtungsfähig bleiben: bei der Bienenkönigin 3 Jahre, beim Salamander 2 Jahre, bei der Fledermaus über einen Winter, beim Huhn 40 Tage, während man beim Menschen nur bis 3 Tage rechnet, aber Säugetierspermatozoen auch in Salzlösungen, z. B. vom Kaninchen 9 Tage, bewegungsfähig bleiben. 2 Tage können wir dies auch bei den weißen Blutkörperchen der Säuger, 2 Wochen bei denen des Frosches beobachten.

Die Untersuchung der physikalischen und chemischen Eigenschaften der überlebenden Organe erscheint besonders geeignet, die physiologischen Übergänge vom Leben zum Tode zu studieren. Bei der Totenstarre des Körpers, die wir forensisch als Todeszeichen betrachten, und die wir im negativen Sinne als Absterbeerscheinung auffassen, sehen wir ganz gleichartige Ver-



änderungen auftreten wie bei den im Leben erfolgenden Kontraktionen der Muskeln, nämlich Verkürzung, Verdickung, Härtezunahme, Spannung, Wärmebildung und zugleich Verbrauch von Zuckerstoffen, Bildung von Milchsäure, ja wir können experimentell während der Totenstarre noch elektrische Erregbarkeit nachweisen. Physiologisch ist daher die Totenstarre im positiven Sinne noch als eine, wenn auch letztmalige vitale Zusammenziehung der Muskeln zu bezeichnen.

Fragen wir uns dabei nach charakteristischen chemischen Unterschieden zwischen lebenden und toten Organen, so finden wir, daß das Leben nicht, wie man gelegentlich gemeint hat, durch besondere Lebensstoffe gekennzeichnet ist, die dann beim Absterben verschwinden würden; die chemische Zusammensetzung ist vielmehr nicht nur nach dem individuellen, sondern auch dem physiologischen Tode zunächst noch ganz dieselbe. Es gibt hier keine durchgreifenden Unterschiede, wie es auch kein chemisches Element gibt, welches die belebte im Gegensatz zur unbelebten Natur auszeichnete. Müssen doch auch die ersten Lebewesen einmal aus unbelebter Materie entstanden sein! Auch energetisch können wir keinen prinzipiellen Unterschied zwischen der organischen und unorganischen Welt aufstellen; beide gehorchen den gleichen Naturgesetzen von der Erhaltung und den Umwandlungen der Energie.

Was das Leben gegenüber dem Unbelebten wie auch dem Toten, das vorher lebendig war und es nicht mehr ist, stofflich und energetisch unterscheidet, ist vielmehr der beständige selbsttätig regulierte Stoffwechsel der Organismen, dieser labile Zustand der lebenden Substanz, für die erst der Eintritt eines stabilen Zustandes den Tod bedeutet. Im Chemismus des Lebens und durch die dabei vorherrschenden Oxydationen erfolgt beständig eine Selbstverbrennung der lebenden Substanz, die zum Entstehen von Eiweißschlacken, zum Untergange von Inhaltsstoffen der Zellen führt. Diese destruktive Phase, die Dissimilation, wird aber beständig durch Aufnahme von Nährstoffen und deren Assimilation, d. h. deren Angleichung an den lebenden Zellinhalt, kompensiert. So ist das Leben ein langsames Sterben (VIRCHOW), aber zugleich auch ein beständiges Neugeborenwerden (SCHLEICH). Jeder Lebensvorgang ist mit einem teilweisen Tode lebender Substanz verbunden, der Tod ist ein Teil und ein Merkmal des Lebens selbst. Es lebt nur, was beständig auch sterben kann.

Dieser beständige Partialtod ist uns aus der Naturbeobachtung von allen Pflanzen und Tieren bekannt. Wir sehen, wie Blätter, Blüten und Früchte fallen, wie die Tiere ihr Haarkleid mit der Jahreszeit wechseln, die Hühner mausern; und auch beim Menschen gehen fortdauernd Teile des Körpers zugrunde, verliert sich Hornsubstanz der Haut bei jedem Waschen, verlieren sich Haare und entstehen neu, wird der Schmelz der Zähne abgenutzt und regeneriert, und mausern die roten Blutkörperchen, deren jedes nur etwa 4 Wochen im Blute zirkulierend der Atmungsfunktion dient, um dann durch neue aus den Blutbildungsorganen

ersetzt zu werden, und können sogar ganze Organe bis auf Reste verschwinden wie die Thymusdrüse in der Pubertät. Man sagt, daß ziemlich der ganze Mensch etwa in 7 Jahren wieder ein neuer ist und also während des Lebens in allen seinen Teilen mehrere Male abstirbt.

In diesem Sinne können wir mehrere Perioden des Lebens unterscheiden: als erste die des Wachstums, der Zellvermehrung, der Entwicklung, als zweite das der Regenerationen und vollkommenen Regulationen und als dritte dann die des Nachlassens der Regenerationen, das Altern, das schließlich zum Tode führt. Gerade dieses letzte Stadium leitet über zu neuen Betrachtungen über die Grenzen von Leben und Tod. Wir gehen den Ursachen des Alterns nach und suchen es aus äußeren und inneren Bedingungen zu erklären. Heute stehen wir vor der Tatsache, daß sich das menschliche Leben durch Einflüsse der Zivilisation und fortschreitenden Hygiene verlängert. Die höchste Lebensdauer beim Menschen beträgt bis jetzt etwa 105 Jahre. 1895 gab es in Preußen 46 Hundertjährige, heute werden es mehr sein. Die Angaben über höhere Lebensdauern bis zu 185 Jahren können auf unzuverlässige Ausweise oder Fälschungen zurückgeführt werden. Für die Lebensdauer spielen Klima, Ernährung, soziale Verhältnisse, Krankheiten und Erholungsmöglichkeiten, darunter besonders der Schlaf, eine Rolle. Daß körperliche Anstrengungen das Leben verkürzen, gilt nur bei gleichzeitigem Mangel an Ernährung und Schlaf; sonst übt im Gegenteil die körperliche und geistige Arbeit ihren gesegneten Einfluß nur im Sinne der Erhaltung des Lebens aus. Dagegen wirken Sorgen und andere seelische Belastungen lebensverkürzend. BENEDICT hat kürzlich einige 90jährige untersucht und bestätigen können, daß das Altern weniger ein physisches als ein psychisches Phänomen darstellt. Mensch, ärgere Dich nicht! kann hier als Leitsatz gelten, und das Geheimnis der Makrobiotik liegt in Arbeit, Mäßigkeit, Zufriedenheit.

Bei Tieren ist das Höchstalter unter natürlichen Bedingungen schwerer zu bestimmen, weil die wildlebenden meist an Zufälligkeiten zugrunde gehen, an Krankheiten, Verletzungen, oder indem sie von andern gefressen werden. In Gefangenschaft hat man Elefanten bis 200 Jahre, Riesenschildkröten mehrere 100 Jahre, Vögel über 100 Jahre, Fische 80 Jahre alt werden sehen; ein berühmter Hecht von Kaiserslautern wird mit seinen angeblich 267 Jahren in seiner Glaubwürdigkeit bezweifelt. Von niederen Tieren können Regenwürmer 10 Jahre, Bandwürmer, denen ja auch die Nahrungssorgen fehlen, bis 35 Jahre, Seerosen 67 Jahre alt werden, und bei den niedersten hierauf beobachteten Tieren, den Schwämmen, konnte ARNDT eine Lebensdauer bis 50 Jahre feststellen.

Die Gesetzmäßigkeiten, die man aus solchen Statistiken abgeleitet hat, haben sich alle nicht als allgemein gültig bewährt. So sollten im Tierreich die Weibchen älter werden als die Männchen, Wassertiere älter als gleichgroße Landtiere, auch die Größe der Tiere und ihre phylogenetische

Stellung von Einfluß sein. Pflanzen können ja noch viel älter werden, Buchen und Eichen 1000, Eiben und Zypressen 3000 und die Mammutbäume Kaliforniens angeblich 4 bis 6000 Jahre.

Vielleicht lassen sich nun aus den Altersveränderungen, die Ursachen des Todes erkennen. Wir können da eine Anatomie und Physiologie, Physik und Chemie des Alterns unterscheiden. Die Anatomie des menschlichen Alterns ist neuerdings durch WETZEL genau studiert worden. Als eine der ersten physiologischen Altersveränderungen ist die dem Menschen als vorwiegend optisch eingestellten Lebewesen am leichtesten bemerkbare Altersweitsichtigkeit bekannt, die auf dem Wasser- und damit Elastizitätsverlust der Augenlinse beruht und schon in den 20er Jahren auftreten kann. Ebenfalls auf Wasserverlust, nämlich der Zwischenwirbelscheiben, ist die Abnahme der Körpergröße im Alter zurückzuführen. Die Knochen werden allmählich brüchig, die Muskeln schließlich atrophisch. Bei den Blutgefäßen ist nach WETZEL die Arteriosklerose von den eigentlichen Alterserscheinungen zu trennen, während BÜRGER und SCHLOMKA auf chemischem Wege Cholesterin- und Kalkablagerungen in der Aorta schon in früher Jugend beginnend nachweisen konnten, ehe sie auch histologisch nachweisbar werden; sie sehen diese Veränderungen daher als physiologisch an wie auch die Ablagerungen von Kalk im Knorpel und von Cholesterin in der Linse, die auch schon in den ersten Jahren beginnen; hiernach wären also erst stärkere Kalkablagerungen in den Gefäßen als pathologisch zu erachten. Nach allen diesen Erfahrungen beginnt das Alter also schon mit dem Wachstum (RÖSSLE). Sehr wichtig erscheinen mir die Befunde von WETZEL über das im Altern stattfindende Zugrundegehen von Blutgefäßkapillaren in großer Zahl; denn diese Haargefäße sind es ja, die die Ernährung der Organe und Gewebe durch den Stoffaustausch mit dem Blute besorgen, so daß aus diesen anatomischen Veränderungen die Grundlage zu Ernährungsstörungen in einzelnen Organgebieten entstehen würde. Auch dies führt zu der Anschauung, daß Arbeit, d. h. Betätigung der Muskeln und anderen Organe, Alterserscheinungen zurückhalten kann; denn Arbeit läßt die Kapillaren sich öffnen, Ruhe sie sich schließen, und wenn sie durch Betätigung in Übung bleiben, werden sie gewiß weniger schnell zugrundegehen.

Alle diese Altersveränderungen sind geeignet, indem sie unheilbare Schädigungen zurücklassen, den Tod als das Versagen des Organismus vorzubereiten. Erheblich geringere Veränderungen sind in anatomischer Beziehung am Nervensystem zu beobachten, das ja die hauptsächlichste Führung der Regulationen im Körper zu leisten hat. Die Nerven können offenbar mit und ohne senile Veränderungen altern. Doch sind in den Nervenzellen Farbstoffablagerungen und Schrumpfungsvorgänge als Zeichen des Alters bekannt. Physiologisch zeigen sich aber von seiten des Nervensystems die bekannten Erscheinungen des Nachlassens der Koordinationsfähigkeit der Bewegungen,

der psychischen Reaktionsfähigkeit und der geistigen Elastizität.

Die Morphologie und Zellulärpathologie des Alterns hat bei den Tieren grundsätzlich gleichartige Ergebnisse gezeitigt wie beim Menschen. KORSCHOLT und andere Forscher haben schon bei niederen Tieren analoge Veränderungen gefunden: Brüchigwerden der Haut und Körperanhänge, Degenerationen der Epithelien, Verlangsamung der Ausscheidungen und dadurch Ablagerungen in den Geweben, Pigmentbildung und Schrumpfungsvorgänge in den Nervenzellen.

Von physikalischen Veränderungen erwähnten wir schon die Elastizitätsverluste mancher Organe und Gewebe infolge Wasserverarmung; hiermit hängen auch die kolloidchemischen Altersveränderungen zusammen, die in einer fortschreitenden Verdichtung des Protoplasmas durch Verringerung des Dispersitätsgrades (Hystereze, RUZICKA), einer Art Erstarrung und Koagulation des Zellinhaltes, zum Ausdruck kommen, mit denen zugleich auch Veränderungen der Permeabilität der Zellmembranen, besonders im Sinne des Verlustes ihres selektiven Wahlvermögens bei der Stoffaufnahme in die Zellen, verbunden sind. Die Alteration des kolloidchemischen Zustandes beim Absterben ist auch in Gestalt des Aufhörens der sog. Brownschen Molekularbewegung bei gewissen Protoplasmaarten beobachtet worden, wodurch der Übergang vom kolloidalen Sol- in den Gelzustand angezeigt wird. In chemischer Beziehung wäre noch das Nachlassen der Fähigkeit zum Aufbau, zur Assimilation, zur Synthese, hervorzuheben, die sonst die lebende Zellsubstanz auszeichnet, und deren Versagen die destruktiven Vorgänge der Dissimilation ins Übergewicht bringt und die Stoffwechselschlacken nicht mehr ausreichend beseitigt. In dieser Richtung ist die Schlackentheorie des Todes zu nennen, nach der das Ende durch Autointoxikation mit eigenen Stoffwechselprodukten eintritt, die entsprechend auch als Senotoxine bezeichnet wurden.

Die Theorien des Todes haben es vielfach an sich, daß sie zu einseitig bestimmte Faktoren in den Vordergrund schieben, ohne die Gesamtheit der Erscheinungen zu erfassen. So auch die Anschauung, daß das Altern und Sterben von bestimmten Organen ausginge, z. B. vom Gehirn oder den Blutgefäßen oder den Geschlechtsorganen; gegen letzteres spricht schon das Beispiel des menschlichen Weibes und das Altwerden der Kastraten. Auch die Abnutzungstheorie befriedigt nicht; ihr steht schon die rastlose Unermüdlichkeit des Herzens entgegen, das auch erst ganz zuletzt an der allgemeinen Muskelatrophie teilnimmt (WETZEL). Ebenso wenig die energetische Theorie RUBNERS, wonach jeder lebenden Substanz verliehen sei, eine bestimmte Energiesumme hervorzubringen, nach deren Erschöpfung sie dann versage. Daß Altern und Tod schon durch die Vererbung begründet sei, ist nicht zu leugnen; wir wissen auch, daß die Vererbung bezüglich der Lebensdauer kurz- oder langlebiger Familien offenkundig eine Rolle spielt, wobei die Lebensdauer



durch die vererbte Konstitution bedingt wird; durch diese wieder wird die allgemeine Widerstandskraft begründet, die nach KIRSCHNER von der Geburt bis zum Beginn der Geschlechtsreife zu- und von da an wieder beständig abnimmt.

Wenig haben die mannigfaltigen Definitionen des Todes zur Erkenntnis dieser Naturerscheinung beigetragen. So wenn METSCHNIKOFF das Sterben als eine üble Angewohnheit, VOLTAIRE als Strafe für das Geborenwerden, SCHOPENHAUER als das Aufhören des Lebens bezeichnet, oder im Tode die notwendige Konsequenz des Lebens, das Endziel des Lebens, das letzte Glied in der Entwicklung (VERWORN, DRIESCH) gesehen wird. Besser faßt MIEHE den ganzen Komplex der Erscheinungen zusammen, wenn er den Tod durch das Versagen der beständigen Anpassungen an die äußeren Lebensbedingungen bedingt sieht.

Alle Definitionen des Todes gehen vom Leben aus; die einfachste würde sein: der Tod ist der irreversible Stillstand des Lebens. Doch tritt uns hier noch, wenn wir Altern und Tod auf zelluläre Veränderungen beziehen, die Frage entgegen, ob denn Altern und Tod ein allgemeines Naturgesetz, eine Naturnotwendigkeit für alle Zellen, darstellt. Tatsächlich ist diese Frage zu verneinen. Es gibt Zellen, die niemals sterben. Der Zoologe WEISMAN hat zuerst auf die Unsterblichkeit der einzelligen Lebewesen hingewiesen, die sich durch viele Generationen fortpflanzen können, indem sich jede Zelle als Mutterzelle in 2 Tochterzellen teilt und diese sich wieder teilen usw. Natürlich ist diese Unsterblichkeit nur eine potentielle, indem auch diese Organismen durch irgendwelche Schädigungen den Tod erleiden und zugrunde gehen können. Aber bei der fortgesetzten Teilung erfolgt jedesmal der Tod eines Individuums ohne Leiche und nur durch Aufgabe der Person mit Übergang in 2 neue Individuen. Experimentell ist diese Unsterblichkeit der Einzelligen von MAX HARTMANN bewiesen worden, der ein volvoxartiges Protozoon, *Eudorina elegans*, durch 17 Jahre in 6000 Generationen weiterzüchten konnte, nur durch Teilung, ohne Konjugation, so daß zugleich gezeigt war, daß geschlechtliche Fortpflanzung zur Verjüngung nicht erforderlich war, vielmehr die Teilung selbst schon das Zellmaterial in lebensfähiger Weise reguliert. VON BERENBERG-GOSSLER ließ das als Pantoffeltierchen bekannte Infusor *Paramecium* sich durch 7 Jahre in 4500, WOODRUFF in 10 Jahren in 8400 Generationen immer aufs neue teilen.

Während hier bei den Einzelligen also offenbar die Möglichkeit besteht zur Aufgabe des Individuums mit Kontinuität der gesamten lebenden Substanz, findet sich diese bei den vielzelligen Organismen (Metazoen) nur für eine bestimmte Art von Zellen verwirklicht, nämlich für die Keimzellen, deren biologische Funktion geradezu darin besteht, die Kontinuität wenigstens eines kleinen Teiles von lebender Substanz aus den Elterntieren mit allen ihren angestammten Eigenschaften und Vererbungsfaktoren auf den durch die Befruchtung entstehenden kindlichen

Organismus zu übertragen, der seinerseits mit seiner Substanz wieder in der nächsten Generation fortlebt, so daß die Art erhalten bleibt.

Im Gegensatz zu den Keimzellen wird eine solche Kontinuität der lebenden Substanz den Zellen des übrigen Körpers (Somazellen) nicht zuteil. Doch ist auch ihnen oder doch manchen von ihnen wenigstens während der Lebensdauer des ganzen Individuums die Fähigkeit verliehen, sich durch Teilung zu verjüngen und zu regenerieren. Dies ist z. B. bei den Blutzellen der Fall, die immer wieder neu gebildet werden, und auch bei den beständig verhornenden und sich abstoßenden Zellen der Haut, die durch Teilung von der darunterliegenden Keimschicht aus immer neu entstehen. Hiergegen teilen sich die Zellen des Nervensystems nicht, besonders auch nicht im Gehirn, so daß die Gehirnzellen, nachdem schon im frühen kindlichen Alter der Aufbau dieses Organes vollendet ist, alle zusammen das fernere Leben des Menschen begleiten und so alt werden wie dieser selbst. Dies hängt bei ihnen mit ihrer höheren Funktion zusammen; denn sie sind, wie K. PETER einleuchtend hervorgehoben hat, infolge der komplizierten Verknüpfungen der nervösen Verbindungen in unserem Seelenorgane derartig mit ihrer Umgebung fest verankert, daß bei einer Erneuerung von Zellen die Ersatzzellen unmöglich den alten Platz und die alten Funktionen vollgültig einnehmen könnten.

Übrigens sehen wir auch bei manchen Wirbellosen nach dem Aufbau des Organismus keine Zellteilungen mehr auftreten, z. B. bei den Rädertierchen, so daß sich also die Zellteilung nicht allgemein als notwendig für die Existenz der Individuen erweist (PETER). Doch für die Kontinuität der lebenden Substanz über das Individuum hinaus bleibt sie bei Ein- und Vielzelligen eine Naturnotwendigkeit.

Bis zu einem gewissen Grade läßt sich eine potentielle Unsterblichkeit auch des Individuums ohne Teilung in Tochterzellen experimentell erzeugen. M. HARTMANN gelang es, Amöben durch täglich vorgenommene kleine Amputationen von Plasmaausläufern, die sich immer wieder regenerieren, so daß nach einiger Zeit nichts mehr von dem ursprünglichen Tier vorhanden ist, innerhalb von 5 Monaten mit 130 solchen Teiloperationen am Leben zu erhalten, während normale Vergleichstiere in derselben Zeit sich 65mal teilten. Auf diese Weise konnte also die Kontinuität der lebenden Substanz auch beim Individuum erhalten und der Tod vermieden werden.

Als besonders bedeutungsvoll endlich für unsere Frage nach den Grenzen von Leben und Tod haben sich Versuche der letzten Jahrzehnte erwiesen, die unter dem Namen der sog. Gewebezüchtung in weiten Kreisen Aufsehen erregen mußten. Wie HARRISON, CARREL, BRAUS, ERMANN u. a. gezeigt haben, ist es möglich, Zellkomplexe und Gewebestückchen aus tierischen Organen, genau so wie ROBERT KOCH dies für die Bakterien gelehrt hat, auf geeigneten Nährböden in Reinkultur zu züchten. Es muß nur dafür gesorgt werden, daß diese Kulturen mit ihren

Nährböden, die aus immer wieder neu zu ergänzenden Blutbestandteilen mit Zusätzen bestehen, nicht durch eindringende Bakterien angegriffen werden, d. h. sie müssen steril gehalten werden. Besonders geeignet für solche Züchtung erwiesen sich embryonale Zellen, die ja ihre Teilungs- und Wachstumsanlagen und Wachstumshormone mitbringen. An solchen Zellen aus dem Herzen des Hühnerembryos gelang es CARREL, Kulturen herzustellen, die sich 20 Jahre lang in fortwährender Teilung, ohne Absterben von Zellen in dauerndem Wachstum und Vermehrung halten ließen. Die Zellen befanden sich also dauernd in einem Aufbau- und Stoffwechsel, der nur nicht wie unter natürlichen Verhältnissen zur normalen Organbildung führen konnte. Da ein Huhn gewöhnlich höchstens 10 Jahre alt wird, so wird hier also bei vom Individuum abgetrennten Körperzellen des Tieres eine Kontinuität seiner lebenden Substanz bis auf das doppelte Lebensalter erzielt, und es ist lediglich eine Frage der menschlichen Technik und Ausdauer, diesen Gewebeskulturen experimentell eine unbegrenzte Unsterblichkeit zu verleihen. Gleichartige Kulturen sind seitdem in zahlreichen Versuchsreihen an Epithel- und Stützgeweben, Muskel- und Nervenzellen gelungen, und die Gewebezüchtung spielt auch für die Krebsforschung eine Rolle.

Das Lehrreiche an diesen Versuchen ist, daß uns die Erfolge der Gewebezüchtung zeigen, daß die potentielle Unsterblichkeit auch bei hochdifferenzierten Geweben höherer Tiere vorhanden, somit eine allgemeine Eigenschaft der lebenden Organismen und ihrer lebenden Substanz darstellt. Wie sich nun die Frage klärt, warum die Somazellen der Tiere nicht auch unter natürlichen Lebensbedingungen von dieser Eigenschaft Gebrauch machen, hat VON MÖLLENDORF

in einleuchtender Weise dargelegt. Die Zellen der Gewebeskulturen verhalten sich wie die Einzelligen, die sich teilen, ohne zu sterben. Sie brauchen aber nur deshalb nicht zu sterben, weil der Mensch durch seine bakteriologisch geschulte Pflege für sie sorgt, ihre Nährstoffe ergänzt, ihre Schlacken entfernt, und weil sie in keiner Weise durch andere Einflüsse behelligt werden.

Der Gesamtorganismus aber ist eine unteilbare Einheit, in der die regelrechte Arbeit jedes Teiles für alle übrigen Teile von Bedeutung ist und alle einzelnen Organe und Gewebe durch ihren Stoffaustausch mit dem sie alle gemeinsam ernährenden und allen die gleichen Stoffe zuführenden Blute so innig miteinander in Beziehung stehen, daß jedem auch die von den anderen gebildeten Stoffe, sowohl die nützlichen Hormone wie die schädigenden Abbauprodukte zugeleitet werden. Da nun der Individualkörper hochorganisierter Lebewesen so hochspezialisierte Bestandteile enthält, wie die Muskeln und besonders die Nerven es sind, die sich nicht durch Teilung verjüngen können und durch vielerlei Veränderungen im Körper schädigend beeinflußt werden, so muß der höhere Organismus infolge der entstehenden Disharmonien seiner Teile seine mit der hohen Differenzierung und Spezialisierung verbundene Leistungskraft mit dem Tode des Individuums bezahlen. Für ihn wird daher doch das Sterben zum Naturgesetz. Nur den Keimzellen ist hiervon die Ausnahme gewährt, weil sie die Kontinuität der lebenden Substanz über die Einzelperson hinaus auf die nächste Generation zu übertragen und hierdurch die Art zu erhalten, die biologische Aufgabe haben, so daß hierdurch, wie der Altmeister der Physiologie, JOHANNES MÜLLER, es einmal ausdrückte, auch den sterblichen Geschöpfen noch ein Schein von Unsterblichkeit verliehen ist.

#### 4. Unterricht und Methode.

**Die Dreielektrodenröhre und ihre Anwendung<sup>1</sup>.**  
Originalbericht von Dr. WILHELM SPREEN in  
Brake i. O.

Den Lesern der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht ist FR. MOELLER durch seine Abhandlungen über verschiedene Verwendungsmöglichkeiten der Hochvakuumröhren seit längerer Zeit bekannt. Sie werden es freudig begrüßen, wenn er nunmehr seine Erfahrungen im Zusammenhang vorlegt. Das MOELLERSche Buch behandelt ein Gebiet der technischen Physik, auf dem die Entwicklung in den letzten Jahren mit Riesenschritten vorwärts gegangen ist und sich oft geradezu überstürzt hat. Für diejenigen, die

sich nicht mit Wechselstromtechnik, Schwingungs- und Elektronenlehre besonders eingehend beschäftigt haben, ist es nicht immer leicht, hier den Anschluß zu halten. Wegen der vielen Anwendungsmöglichkeiten, die sich bieten, darf aber der Unterricht an der Elektronenröhre nicht flüchtig vorbeigehen. Und so ergibt sich für den gewissenhaften Physiklehrer die mißliche Lage, sich den Stoff aus Zeitschriften, wo er in Aufsätzen verstreut zu finden ist, und aus Büchern, die nicht für seine Zwecke geschrieben und häufig zu weitgehend oder, was schlimmer ist, unzulänglich sind, mühsam zusammensuchen zu müssen. Aber von der Beherrschung der Theorie der Röhre und ihrer Anwendungen bis zum sicheren Experimentieren ist dann immer noch ein weiter Weg, ein Zustand, der sich oft genug zum Nachteil des Unterrichts oder (bzw. und) des Lebensfadens der Röhre auswirken mag.

So darf man wohl sagen, daß es notwendig war, daß ein Buch, wie das vorliegende, geschrieben wurde, unbeschadet mancher vorzüglicher Werke über Elektronenröhren, die wir heute besitzen. Hier findet der Physiklehrer

<sup>1</sup> Nach FR. MOELLER, Die Dreielektrodenröhre und ihre Anwendung. Übungen an der Dreielektrodenröhre mit den zugehörigen theoretischen Erläuterungen. Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft (Sonderhefte der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht). Heft 15. Mit 93 Textabbildungen und 28 Tabellen. VIII und 155 S. Berlin: Julius Springer 1934. Preis geh. RM 9,60.



nicht nur in übersichtlicher, klarer Weise alles entwickelt und zusammengestellt, was er zur sicheren Beherrschung des Stoffes von der Theorie der Elektronenröhre wissen muß, sondern der Verfasser gibt, ohne sich in Einzelheiten und Nebensächlichkeiten zu verlieren, eine solche Fülle von praktischen Ratschlägen und Hinweisen, daß man kaum etwas vermissen wird. Die mathematischen Voraussetzungen des Buches halten sich in dem Rahmen, den man bei jedem Physiklehrer — auch dem Nichtmathematiker — als gegeben ansehen kann. Der Text wird durch sehr saubere, klare Abbildungen wirksam unterstützt; sehr viel werden Diagramme aller Art, insbesondere Kennlinien, die ja die Strom- und Spannungsverhältnisse an der Röhre am anschaulichsten wiedergeben, herangezogen.

Da das Buch in allererster Linie für den Leserkreis der Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht geschrieben ist, und da es in der didaktischen Literatur der Physik eine Lücke ausfüllt, soll hier auf seinen Inhalt etwas weiter eingegangen werden, als sonst bei Besprechungen üblich ist.

In fünf Abschnitten werden die allgemeinen Eigenschaften der Röhre (1), die Arbeitsweise der auf der Anodenseite durch einen OHMSchen Widerstand (2) oder einen Schwingungskreis (3) belasteten Röhre, die Verwendung der Röhre zur Erzeugung modulierter Schwingungen (4) und zuletzt die Detektorwirkung der Röhre (5) dargestellt. Jeder Abschnitt mit Ausnahme des vierten enthält einen theoretischen (A) und einen praktischen Teil (B).

Der Verfasser geht von der heute allgemein anerkannten Vorstellung aus, daß in jedem metallischen Leiter sich Elektronen frei hin und her bewegen, und zeigt dann, wie durch Erhöhung der Temperatur des Leiters die kinetische Energie der Elektronen schließlich so groß wird, daß einzelne (nämlich diejenigen, deren Voltgeschwindigkeit über einer gewissen Grenze liegt) die molekularen Anziehungskräfte überwinden. So kommt es zur Emission der Elektronen, die im wesentlichen von der Art des Metalls und von seiner Temperatur abhängig ist. In der Elektronenröhre findet diese Emission der Elektronen aus einer heißen Elektrode in einem als vollkommen anzusprechenden Vakuum ( $10^{-6}$  mm Hg) statt, und die zum Austritt erforderliche Temperatur wird durch elektrische Heizwirkung erzeugt. Der Verfasser untersucht nun zunächst an einer Zweielektrodenröhre (Röhre mit Glühkathode und Anode, auch Diode genannt) den Verlauf des Emissionsstroms, besonders im Raumladungs- und Sättigungsgebiet. Ausführlicher werden dann alle die Begriffsformulierungen und Beziehungen erörtert, die für die Röhre, die außer der Kathode und der Anode noch ein sogenanntes Gitter zum Steuern des Elektronenstromes (Dreielektrodenröhre) enthält, wichtig sind. Hier handelt es sich vor allen Dingen darum, die funktionalen Beziehungen zwischen den Spannungs- und Stromgrößen am Gitter und an der Anode darzustellen und zu untersuchen, wie sie durch die verschie-

den Kennlinien und ihre Ableitungen bestimmt sind. Der Durchgriff  $D$ , die Steilheit  $S$  und der innere Widerstand  $R_i$  werden erklärt, und es werden die Meßverfahren für diese Größen, die ja durch die BARKHAUSENSCHE Formel  $D \cdot S \cdot R_i = 1$  miteinander verbunden sind, angegeben. Übrigens möchte ich mir den Vorschlag erlauben, für den Durchgriff nur die Definition

$$D = - \left( \frac{\partial u_g}{\partial u_a} \right)_{(I_e = \text{const.})}$$

oder auch

$$D = - \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a} \quad (I_e = \text{const.})$$

zu verwenden; denn die Bedingung  $I_e = \text{const.}$  verlangt immer negatives  $\Delta U_g$  bei positivem  $\Delta U_a$ . Der theoretische Teil des ersten Abschnitts (S. 1 bis 18) schließt mit der allgemeinen für negatives Gitterpotential  $U_g$  (bezogen auf —Heizung) gültigen Beziehung

$$\Delta I_a = S (\Delta U_g + D \cdot \Delta U_a), \quad (26)$$

wo  $I_a$  und  $U_a$  Strom und Spannung auf der Anodenseite der Röhre bedeuten. Bei Formel (23) auf S. 17 wäre vielleicht der Hinweis am Platze, daß die Steilheit  $S_a$  der  $I_a$ - $U_a$ -Kennlinie definitionsgemäß gleich dem reziproken Wert des inneren Widerstandes, also  $S_a = \frac{1}{R_i}$  ist. Aus (24)

ergäbe sich dann die BARKHAUSENSCHE Formel.

Die Aufgaben für die an diesen Teil anschließenden Übungen (S. 18 bis 37) ergeben sich aus den vorstehenden Ausführungen: Aufnahmen von Kennlinien, Bestimmung der Steilheit, des Durchgriffs und des inneren Widerstandes sowohl durch Gleichstrom- als auch durch Wechselstrommessungen (Brückenmethode), Nachprüfung der BARKHAUSENSCHEN Röhrenformel, Vergleichung einiger Röhrentypen, Messung des Emissionsstromanteils an der Heizung des Kathodenfadens usw. Alle Messungen — das gilt auch für die folgenden Abschnitte — werden an kleinen handelsüblichen Röhrentypen vorgenommen. Die Ergebnisse finden sich jedesmal in Tabellen zusammengefaßt und in anschaulichen Diagrammen dargestellt. Es soll noch besonders hervorgehoben werden, daß der Verfasser sich nicht damit begnügt, jeden einzelnen Meßversuch sorgfältig zu beschreiben, sondern daß er auch genaue Angaben macht über die Behandlung aller Nebengeräte, über die Größe der Einzelteile, über mögliche Fehlschläge, über Fehlerquellen usw. Eine große Menge praktischer Erfahrungen ist hier in gedrängter Kürze niedergelegt.

Während im ersten Abschnitt von der Voraussetzung ausgegangen wurde, daß die Spannungen  $U_g$  und  $U_a$  unmittelbar an den entsprechenden Elektroden der Röhre liegen, wird nunmehr im theoretischen Teil des zweiten Abschnitts (S. 37 bis 61) angenommen, daß im Anodenkreis ein reiner OHMScher Widerstand  $R_a$  liegt, und es wird untersucht, welchen Einfluß dieser Widerstand auf den Anodenstrom  $I_a$  und die Anodenspannung  $U_a$  ausübt, wenn der Gittergleichspannung  $U_g$  eine Gitterwechselspannung  $u_g$

überlagert wird. Bezeichnet man die Spannung der Stromquelle für den Anodengleichstrom mit  $U_b$ , so liegt nunmehr an der Anode der Röhre nicht die Spannung  $U_b$ , sondern die Spannung  $U_a = U_b - I_a R_a$ . Wird jetzt die negative Gittergleichspannung (Gitterruhschpannung, Gittervorspannung) um den kleinen Betrag  $\Delta U_g$  erhöht, wobei das Gitter aber negativ bleiben soll, so wächst zwar auch der Anodenstrom, aber nicht um den Betrag  $\Delta I_a = S \cdot \Delta U_g$ , der sich bei konstanter Anodenspannung gemäß der allgemeinen Formel (26) einstellen würde (s. vorige Seite), sondern um einen kleineren Betrag. Die Formel (26) gilt auch jetzt noch; man muß nur berücksichtigen, daß  $D \cdot \Delta U_a = -D \cdot \Delta I_a \cdot R_a$  (Anodenrückwirkung) wird. Bezüglich der Vorzeichen im Text auf S. 39f. möchte ich wieder bemerken, daß ich es für zweckmäßig halte, an dem  $+$ -Zeichen vor  $\Delta U_a$  in Formel (26) festzuhalten und auch Formel (31) zu schreiben

$$\begin{aligned} i_a &= S \cdot (u_g + D \cdot u_a), \\ \mathfrak{I}_a &= S \cdot (\mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a). \end{aligned} \quad (31)$$

$u_a$  ( $\mathfrak{U}_a$ ) ist dann gegen  $i_a$  ( $\mathfrak{I}_a$ ) und  $u_g$  ( $\mathfrak{U}_g$ ) um  $180^\circ$  in der Phase verschoben. Bringt man aber das  $-$ -Zeichen in die Formel (31) hinein, so sind alle Größen im mathematischen Sinn gleichphasig. Dieselbe Betrachtung gilt für S. 41.

Wenn dort das Verstärkungsverhältnis  $= -\frac{u_g}{u_a}$  (32) definiert wird, was in formal mathematischer Hinsicht unbedingt zu bevorzugen ist, so sind  $\mathfrak{U}_g$  und  $\mathfrak{U}_a$  um  $180^\circ$  in der Phase verschoben, während in der Entwicklung, die zu (33) führt,  $u_g$  und  $u_a$  und entsprechend  $\mathfrak{U}_g$  und  $\mathfrak{U}_a$  als phasengleich anzusehen sind.

Die Strom- und Spannungsverhältnisse an der Anode lassen sich am besten übersehen, wenn man die Arbeitssteilheit, worunter das Verhältnis  $\frac{\mathfrak{I}_a}{\mathfrak{U}_g}$  verstanden wird, einführt. Es ist  $\mathfrak{I}_a = S \cdot (\mathfrak{U}_g + D \cdot \mathfrak{U}_a)$  und  $\mathfrak{U}_a = -\mathfrak{I}_a \cdot R_a$ , woraus

$$S_A = \frac{\mathfrak{I}_a}{\mathfrak{U}_g} = \frac{S}{1 + D \cdot S \cdot R_a} = \frac{S}{1 + \frac{R_a}{R_i}}$$

folgt. Wählt man  $R_a$  groß im Verhältnis zu  $R_i$ , wobei  $u_g = U_g + u_g$  immer negativ bleiben soll, so kommt man zur Spannungsverstärkung, über die der Verfasser eingehend berichtet. Sie ist vielen Lesern unter der nicht ganz richtigen Bezeichnung Widerstandsverstärkung aus der Empfangstechnik bekannt. Aus den oben angeführten Formeln ergibt sich das Verstärkungsverhältnis  $-\frac{u_g}{u_a} = D \left( \frac{R_i}{R_a} + 1 \right)$ . Je größer  $R_a$  im Verhältnis zu  $R_i$  wird, desto mehr nähert es sich seinem Grenzwert  $D$ . Mit einer Röhre von kleinerem Durchgriff ist also die größere Spannungsverstärkung möglich. Verwickelter ist die Leistungsverstärkung, deren vier Grundfälle eingehend nach den Strom-, Spannungs- und vor allen Dingen Leistungsverhältnissen auf der Gitter- und Anodenseite unter Zuhilfenahme

anschaulicher Diagramme und einfacher Rechenbeispiele untersucht werden. Die Verhältnisse werden jetzt schwieriger, weil die Voraussetzung, daß das Gitter dauernd negativ sein soll, nicht mehr für jeden Fall aufrecht erhalten wird und daher zeitweilig mit einem Gitterstrom gerechnet werden muß. Was unter Schwingungen erster und zweiter Art, was unter überspanntem und unterspanntem, übersteuertem und untersteuertem Zustand der Röhre, was unter optimaler Restspannung und optimalem Widerstand (bei BARKHAUSEN „Grenzwiderstand“ genannt) zu verstehen ist, welche Vorteile zur Erzielung guter Aussteuerungsverhältnisse eine hohe Anodenbetriebsspannung bietet, warum man beim Kraftverstärker Röhren mit großem Durchgriff, beim Senderverstärker solche mit kleinem Durchgriff verwendet, alles das wird dem Leser sehr gründlich und in überaus klarer Weise mit einfachen Mitteln erklärt.

Der Inhalt des anschließenden meßtechnischen Teils (S. 61 bis 70) ist damit gegeben. Es wird die Herabsetzung der Steilheit durch verschiedene Anodenwiderstände, die Abnahme der Anodenspannung durch die Anodenwiderstände, die an die Anodenwiderstände abgegebene Leistung unter den verschiedensten Bedingungen gemessen. Im übrigen kann auf die Ausführungen zum ersten Abschnitt verwiesen werden.

Der dritte Abschnitt (S. 70 bis 92) ist die natürliche Fortentwicklung des zweiten. In die Stromkreise der Röhre sind jetzt schwach gedämpfte Schwingungskreise eingeschaltet, und die Widerstände dürfen nun nicht mehr als reine OHMSche Widerstände angesehen werden. An Stelle der Größe  $R_a$  des vorigen Abschnittes tritt hier z. B. ein Wechselstromwiderstand  $\mathfrak{R}_a$ , der Phasenverschiebungen zur Folge haben kann. Es wird zunächst ein allgemeines Beispiel aus der Wechselstromtechnik durchgerechnet und durch anschauliche Diagramme erläutert, bei dem eine Wechselspannung  $u$  auf einen Schwingungskreis einwirkt, der mit ihm in der Frequenz übereinstimmt (Resonanz). Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden dann zusammen mit den Ergebnissen des zweiten Abschnittes (OHMScher Widerstand im Anodenkreis) auf den in der Praxis häufig vorkommenden Fall angewandt, daß im Anodenkreis der Röhre ein Schwingungskreis liegt, während auf das Gitter eine (sinusförmige) Wechselspannung gleicher Frequenz einwirkt. Auf diese Weise erreicht der Verfasser mit einfachen Mitteln eine leicht verständliche, wissenschaftlich einwandfreie Darstellung der Vorgänge in den Schwingungskreisen. Die Strom-, Spannungs- und Leistungsverhältnisse werden in der schon oben geschilderten Art untersucht. Dabei drängt sich von selbst das Problem der Selbsterregung der Röhre auf, das mathematisch entwickelt und auf die wichtigsten Rückkopplungsschaltungen (MEISSNER-Schaltung, Dreipunktschaltung, HUTH-KÜHNsche Schaltung) angewandt wird. Häufig spielt die Neigung der Röhre zur Selbsterregung eine unerwünschte Rolle, z. B. bei der Hochfrequenzverstärkung, und der Verfasser gibt die



Mittel zur Verhinderung solcher wilden Schwingungen an. Auch die Vorteile der Gegentaktschaltung werden erläutert. Zur Schreibung der symbolischen Wechselstromgrößen in diesem Abschnitt möchte ich bemerken, daß es doch wohl besser ist, die Größen  $R + j\omega L$  und  $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  durch verschiedene Symbole zu bezeichnen und etwa zu schreiben

$$\Re = R + j\omega L \quad \text{und} \quad |\Re| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

und entsprechend

$$\Re_1 = R + \frac{j}{\omega C} \quad \text{und} \quad |\Re_1| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}},$$

$$\Re_2 = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad \text{u.} \quad |\Re_2| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Die zum Abschnitt 3 angegebenen Übungen (S. 93 bis 127) befassen sich mit den interessantesten, aber auch schwierigsten Röhrenversuchen. Zu diesen Übungen wird eine große Anzahl von Hilfsgeräten gebraucht, die aber alle entweder leicht von eigener Hand nach den Angaben des Verfassers angefertigt werden können oder sonst wohlfeil im Handel zu haben sind, so daß keine Schule auf die Durchführung dieser schönen Meßversuche zu verzichten braucht. Die Beschreibung der Versuche ist so durchgeführt, daß jeder sie selbst anstellen kann, daß andererseits aber auch jeder imstande ist, sie weitgehend den in der eigenen Sammlung zur Verfügung stehenden Widerständen, Kondensatoren, Spulen und Meßgeräten anzupassen. Gegenstand der Versuche sind nach den Ausführungen zum theoretischen Teil dieses Abschnitts die Strom-, Spannungs- und Leistungsverhältnisse in den Schwingungskreisen der selbsterregten und der fremderregten Röhre.

Der vierte Abschnitt (S. 128 bis 136) ist der Modulation hochfrequenter Schwingungen durch niederfrequente Wechselströme gewidmet. Der Verfasser zeigt, daß die Modulation einer sinusförmigen Hochfrequenz  $F$  mit einer ebenfalls sinusförmigen Niederfrequenz  $f$  gleichwertig ist der Überlagerung (Superposition) dreier nicht modulierter sinusförmiger Frequenzen  $F$ ,  $(F + f)$  und  $(F - f)$ , und leitet alle die Folgerungen ab, die sich hinsichtlich des Modulationsgrades, der Bandbreite usw. ergeben. In einem weiteren Kapitel werden die beiden Fälle der Gitter- und der Anodenmodulation, die bei den Rundfunksendern angewandt werden, an je einem Schaltungsbeispiel erläutert.

Im letzten Abschnitt (S. 136 bis 152) gibt der Verfasser eine Darstellung der Gleichrichtungsvorgänge in der Röhre. Beide Arten der Gleichrichtung, die Anoden- und die Gittergleichrichtung (Audionwirkung), werden beschrieben und, soweit das mit den im Buche vorausgesetzten Hilfsmitteln möglich ist, mathematisch formuliert. Eine kurze Darstellung der Vorgänge beim Schwingaudion und beim Überlagerungsempfang schließt sich an. Die dann folgenden Übungen befassen sich mit der Messung der Gleichrichtungswirkung.

Ich habe den Inhalt des wertvollen Buches überall nur andeuten können, glaube aber doch den Lesern gezeigt zu haben, daß es geeignet ist, dem Lehrer der Physik reiche Anregungen für seinen Unterricht zu geben, und ich möchte ihm seiner ausgezeichneten Darstellungen wegen die weiteste Verbreitung wünschen zum Segen der Schule.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Lehrbuch der Physik in elementarer Darstellung.** Von ARNOLD BERLINER. 5. Aufl. Mit 847 Abbildungen. VII und 736 Seiten. Berlin: Julius Springer 1934. Preis geb. RM 19,80.

Alle 4 früher erschienenen Auflagen des Buches sind in dieser Zeitschrift besprochen worden: 10, 177 (H. KEFERSTEIN); 25, 261 (F. POSKE); 38, 156 (F. POSKE); 43, 182 (P. HENCKEL). In den beiden ersten Auflagen lautete der Titel: Lehrbuch der Experimentalphysik in elementarer Darstellung.

H. KEFERSTEIN nannte das neu erschienene Buch „ein in mehrfacher Hinsicht originelles Werk“. „Originell zunächst in der Form des Ausdrucks, die in dem Leser das Gefühl persönlicher Gegenwart des Autors erzeugt; kein lehrhafter Kathedervortrag, sondern lebendige Mitteilung“ . . . „Originell ist auch zum Teil die Auswahl und Anordnung des Stoffes“ . . . „Das Zurückgehen auf die Quellen darf allen Verfassern von Lehrbüchern zur Nachahmung empfohlen werden“.

Ich habe das Buch 1903 studiert und dann jede weitere Auflage gründlich durchgearbeitet. Es ist neben E. WARBURGs Lehrbuch der Experimentalphysik, in das ich mich als Student vertiefte, das

Werk gewesen, das mich durch mein ganzes physikalisches Leben begleitet hat, besonders auch während der Zeit meiner unterrichtlichen Tätigkeit in der Schule. Genau zu verfolgen, wie A. BERLINER ein Menschenalter lang mit dem zu bearbeitenden Stoffe gerungen hat, ist nicht nur reizvoll, sondern vermittelt auch wertvollste Einsichten in die Sache. In jungen Jahren schrieb ich Schwierigkeiten des Verständnisses ohne weiteres den Mängeln meiner Fähigkeiten zu, weil der Verfasser eines Buches die Dinge, über die er schreibt, selbst doch wohl verstehen müsse. Heute weiß ich es auch anders. Die Physik von BERLINER in ihren aufeinanderfolgenden Auflagen ist das beste mir bekannte Beispiel dafür, daß ein Verfasser seinen Lesern nur das bietet, was er persönlich von Grund aus verstanden hat. KEFERSTEINs Urteil gilt für die vorliegende 5. Auflage ebenso wie damals für die erste, und weil ich es treffender gar nicht ausdrücken könnte, erschien es mir ratsam, seine Ausführungen wörtlich zu wiederholen.

Die 5. Auflage ist WALTER NERNST zum 70. Geburtstag am 25. Juni 1934 gewidmet. Über ihre Unterschiede von den früheren Bearbeitungen sagt das Vorwort: „Neu geschrieben worden sind

für die 5. Auflage die geometrische Struktur der festen Körper (von KARL WEISSENBERG), die Wärme, die Röntgenstrahlen und das Atom der Materie als Aggregat aus Atomen der Elektrizität. Verbesserungen und Ergänzungen enthält das Buch an vielen Stellen.“

Das Beste hat BERLINER sich bis zuletzt eingespart: es ist das eben genannte Schlußkapitel über Atomphysik. Auf 40 Druckseiten wird hier eine Einführung in die Atomphysik gegeben, die ich für unübertrefflich halte. Nach wiederholter Durchsicht habe ich diesen Abschnitt dann noch laut gelesen, sogar mit Betonung der kursiv gedruckten Stellen, und dabei ist auch mir wieder „das Gefühl persönlicher Gegenwart des Autors“ gekommen, wie KEFERSTEIN bereits damals sich ausdrückte. Man sagt, daß Gedrucktes den mündlichen Vortrag niemals vollkommen ersetzen könne. Dann liegt hier asymptotische Annäherung vor. Ich wäre wunschlos, wenn die Berichte unserer Zeitschrift dieselbe Höhe der Darstellung aufwiesen.

Nach meiner Überzeugung gehört das Buch in die Hand eines jeden Physiklehrers. Die früheren Auflagen sind keineswegs wertlos; es lohnt aber durchaus, auch die 5. Auflage anzuschaffen, wo eine ältere schon vorhanden ist. Der Verlag hat dem Werk eine Ausstattung mitgegeben, die allen Lesern die Benutzung des Buches zu einer besonderen Freude machen wird. *Mth.*

**Die moderne Atomtheorie.** Die bei der Entgegennahme des Nobelpreises 1933 in Stockholm gehaltenen Vorträge von W. HEISENBERG, E. SCHRÖDINGER, P. A. M. DIRAC. 45 Seiten, mit 6 Figuren. Leipzig: S. Hirzel 1934. Kart. RM 2,50.

Das kleine Bändchen enthält drei inhaltsschwere Aufsätze; es sind die Vorträge, die HEISENBERG, SCHRÖDINGER und DIRAC im Jahre 1933 bei der Entgegennahme des Nobelpreises in Stockholm gehalten haben. Die Begründer und Meister der Quantenmechanik sprechen hier über grundsätzliche Fragen ihrer eigenen Forschungsarbeit.

W. HEISENBERG behandelt „die Entwicklung der Quantenmechanik“. Einmal nötigte die grundsätzliche Verschiedenheit des Atomspektrums vom klassischen Spektrum eines Elektronensystems zur Aufgabe des Begriffs der Elektronenbahn und zum Verzicht auf eine anschauliche Beschreibung des Atoms; zum andern folgte die Unbeobachtbarkeit der Elektronenbahn aus der Überlegung, daß die Beobachtung eine Beleuchtung (etwa mit sehr kurzwelligem Licht) voraussetzt, daß aber jede solche Lichteinstrahlung das Elektron aus seiner Bahn wirft (Compton-Effekt). An die Stelle der Koordinate des Elektrons tritt in der Quantenmechanik eine Gesamtheit von Größen, die den FOURIER-Koeffizienten der klassischen Bahn entsprechen und mit den Übergangswahrscheinlichkeiten des Atoms von einem Zustand zum andern zusammenhängen. Diese Gesamtheit bildet eine Matrix. Verfasser zeigt den Zusammenhang seiner Matrizenphysik mit den Theorien von SCHRÖDINGER, BORN und DIRAC.

Die Überlegungen über den Einfluß einer Beobachtung auf das beobachtete System führen zu der bekannten HEISENBERGSchen Ungenauigkeitsrelation. „Wegen jener durch die Unbestimmtheitsrelationen definierten Genauigkeitsgrenzen ist . . . das anschauliche Bild, unter dem das Atom erscheint, nicht eindeutig bestimmt. Als Grundlage für die anschauliche Deutung ist vielmehr das korpuskulare wie das Wellenbild in gleicher Weise brauchbar“ (S. 14). „Die klassische Physik hat daher ihre Grenze eben an der Stelle, wo vom Einfluß der Beobachtung auf das Geschehen nicht mehr abgesehen werden kann. Die Quantenmechanik umgekehrt erkaufte die Möglichkeit der Behandlung atomarer Vorgänge durch den teilweisen Verzicht auf ihre raumzeitliche Beschreibung und Objektivierung“ (S. 16). Der Ausblick in die Zukunft der physikalischen Entwicklung (S. 18) enthält die Worte: „Wie aber auch die Entwicklung sich im einzelnen noch vollziehen mag, der bisherige Weg der Quantentheorie deutet darauf hin, daß das Verständnis jener noch ungeklärten Züge der Atomphysik nur durch einen über das bisher übliche Maß hinausgehenden Verzicht auf Anschaulichkeit und Objektivierbarkeit wird erreicht werden können.“

Das Thema des Vortrages von ERWIN SCHRÖDINGER lautet: „Der Grundgedanke der Wellenmechanik“. Bekanntlich geht die Wellenmechanik von SCHRÖDINGER (in dieser Hinsicht anschaulicher als die Matrizenphysik) von der Verwandtschaft zwischen dem FERMATSchen Prinzip der Optik und dem HAMILTONSchen Prinzip der Mechanik aus; sie erkennt in dem HAMILTONSchen Prinzip den Einfluß eines Wellenspieles, das den punktmechanischen Vorgängen eigentlich zugrunde liegt, genau so wie man es bei den optischen Erscheinungen und dem sie beherrschenden FERMATSchen Prinzip seit langem gewohnt war. Freilich, die „Bahn eines Elektrons“ verliert dadurch ihre eigentliche Bedeutung; sie wird zu etwas Fiktivem wie der einzelne isolierte Lichtstrahl. Ein leuchtender Punkt liefert in der Optik etwa bei der Abbildung durch Linsen nicht wieder einen Punkt, sondern ein Scheibchen; „die Linsenränder und eventuelle Blenden schneiden nureinen Teil aus den Wellenflächen heraus, und — wenn ein anschaulicher Ausdruck erlaubt ist — die verletzten Wundränder widersetzen sich der strengen Vereinigung in einem Punkt und erzeugen das etwas verschwommene oder verwaschene Bild“ (S. 28). Der alten Mechanik entspricht in der Optik das gedankliche Operieren mit isolierten Lichtstrahlen, der neuen Wellenmechanik entspricht die Wellentheorie des Lichts. Man kann das Atom als das Beugungsphänomen einer vom Atomkern gewissermaßen eingefangenen Elektronenwelle auffassen. Andererseits sehen wir aber auch (z. B. in der WILSON-Kammer) wirklich Bahnsuren der Teilchen. Was ist oder was geschieht wirklich? Das läßt sich nicht sagen. Sagen kann man nur, was im einzelnen Fall zu beobachten sein wird. Muß man sich damit begnügen? „Prinzipiell gewiß. Prinzipiell ist ja die Forderung auch gar nicht neu, daß die exakte Wissenschaft letzten



Endes nur die Beschreibung des wirklich Beobachtbaren zu erstreben hat. Die Frage ist nur, ob man von nun an darauf verzichten müssen, die Beschreibung wie bisher anzuknüpfen an eine klare Hypothese darüber, wie die Welt wirklich beschaffen ist. Viele wollen den Verzicht schon heute aussprechen. Aber ich glaube, man macht sich die Sache dadurch ein bißchen zu leicht.“ Teilchenbahn und Wellentheorie entsprechen beobachtbaren Erscheinungen. „Beide Zusammenhänge sind ohne Zweifel wirklich, der eine wird durch die fotografierten Teilchenbahnen, der andere durch die Interferenzexperimente bewiesen. Sie beide in einem einheitlichen Bild zu erfassen, ist uns bisher noch nicht gelungen. Nur in extremen Fällen überwiegt entweder der transversale, schalenförmige oder der strahlige, longitudinale Zusammenhang so sehr, daß wir mit dem Wellenbild allein oder mit dem Partikelbild allein auszukommen glauben“ (S. 36).

P. A. M. DIRAC spricht über die „Theorie der Elektronen und Positronen“. Er entwickelt vor allem die Grundgedanken seiner berühmten „Löchertheorie“ für die Positronen. Es ist DIRAC (1928) gelungen, eine Theorie des Elektrons aufzustellen, die bisher allen Erfordernissen entspricht. Es handelt sich um ein System von 4 simultanen linearen Differentialgleichungen erster Ordnung, die die Forderungen der Relativitätstheorie erfüllen, von sich aus ohne weitere Annahme den Spin des Elektrons liefern und in allen Folgerungen (Spektrum u. a.) mit der Erfahrung übereinstimmen. Nun stehen nach der Relativitätstheorie kinetische Energie  $W$ , Impuls  $p$  und Masse  $m$  in folgender Beziehung, wenn  $c$  die Lichtgeschwindigkeit ist:  $W^2/c^2 = p^2 + m^2c^2$ . Man erkennt, daß rein formal die kinetische Energie  $W$  entweder eine positive Größe  $> mc^2$  oder aber eine negative Größe  $< -mc^2$  sein kann. Da nach der Theorie Übergänge zwischen beiden Zuständen möglich sind, kann man nicht etwa die Zustände negativer Energie einfach ausschließen. Die Theorie lehrt weiter, daß sich ein Elektron negativer Energie im elektromagnetischen Felde so bewegen müßte, als ob es positiv geladen wäre; es hat also etwas mit dem Positron zu tun, ist aber nicht ohne weiteres mit ihm identisch, da auch Positronen zweifellos positive kinetische Energie haben. Da führt nun folgende Überlegung DIRACs weiter. Nach dem Prinzip von PAULI kann jeder mögliche Bewegungszustand stets nur von einem Elektron eingenommen werden. Wir nehmen nun an, daß alle den Elektronen zur Verfügung stehenden Zustände negativer Energie besetzt sind, und zwar jeder Zustand mit einem Elektron. Wir nehmen weiter an, daß eine solche gleichmäßige Erfüllung aller Zustände negativer Energie für uns unbeobachtbar ist. Ist aber irgend ein solcher Zustand negativer Energie nicht besetzt, so soll er, da er eine Abweichung von der gleichmäßigen Erfüllung darstellt, beobachtbar sein und gerade als Positron in Erscheinung treten. Ein unbesetzter Zustand negativer Energie oder, wie DIRAC sagt, ein „Loch“ hat eine positive Energie, denn es ist eine Stelle, wo nega-

tive Energie fehlt. Wir identifizieren daher ein solches „Loch“ mit einem Positron. Es ergibt sich, daß Positronen und Elektronen gleiche Masse haben, was die Versuche bestätigen. Geht ein gewöhnliches Elektron in einen Zustand negativer Energie über, fällt es (bildlich gesprochen) in ein „Loch“, so wird es unbeobachtbar (es verschwindet ebenso wie das Loch); zugleich verliert es Energie, die sich in Strahlung umsetzt; wir haben die gegenseitige Vernichtung eines Elektrons und eines Positrons unter Lichtaussendung. Ebenso kann ein Lichtquant ein Elektron aus einem Zustand negativer Energie in einen solchen positiver Energie heben: das Lichtquant erzeugt ein (beobachtbares) Elektron und ein Positron (nämlich das Loch); wir haben die Zwillingsgeburt eines Elektrons und eines Positrons durch Licht, eine Erscheinung, die bei den Untersuchungen der Höhenstrahlung beobachtet wird.

Die Inhaltsangabe mag zeigen, wie überaus inhaltschwer das kurze Bändchen ist. Vor allem aber ist es außerordentlich reizvoll, daß hier die Schöpfer und Meister der Theorie selbst zu uns sprechen; sie lassen uns auch einen Einblick tun in die sie bewegenden tiefsten Kräfte (und die sind bei den 3 Autoren verschieden; man vergleiche besonders die beiden ersten Aufsätze). Jeder Physiker und Chemiker sollte das Büchlein zur Hand nehmen. Ich empfehle es aufs wärmste.  
*Lamla.*

**Materiewellen und Quantenmechanik.** Eine Einführung auf Grund der Theorien von DE BROGLIE, SCHRÖDINGER, HEISENBERG und DIRAC. Von ARTHUR HAAS. VIII und 299 Seiten. Mit 7 Abbildungen. 4. und 5., verbesserte und abermals wesentlich vermehrte Auflage. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. 1934. Brosch. RM 7; geb. RM 7,80.

Die erste Auflage dieses Buches ist 1928 erschienen und in dieser Zeitschrift [42, 188 (1929)] besprochen worden. Daß jetzt, nach 6 Jahren, bereits die 4. und 5. Auflage vorliegt (fast doppelt so stark wie die erste), zeigt, daß das Buch einem Bedürfnis entspricht. Die ersten Kapitel, die die Theorien von DE BROGLIE, SCHRÖDINGER und HEISENBERG behandeln, sind gegen früher ergänzt worden. Die folgenden Kapitel behandeln: die Statistik von FERMI, die Einwirkung von Licht- und Materiewellen auf Atome (Dispersionsformeln, RAMAN- und COMPTON-Effekt u. a.; merkwürdigerweise fehlt hier ein Hinweis auf die Formel von KLEIN und NISHINA), die quantenmechanische Resonanz (Theorie der sog. homöopolaren Bindungen, d. h. der Bindung zwischen neutralen Atomen), Parawasserstoff, Theorie der Radioaktivität, vor allem die DIRACsche Theorie des Elektrons und die SOMMERFELDSche Elektronentheorie der Metalle. Es sei daran erinnert, daß es 2 Arten von Wasserstoffmolekeln gibt, Ortho- und Parawasserstoff. Sie unterscheiden sich im Spektrum durch eine geringe Verschiebung der Linien, in der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärme und im Siedepunkt. Bei gewöhnlicher Temperatur sind Para- und Orthowasser-

stoff im Verhältnis 1:3 im Gleichgewicht. Bei tiefer Temperatur und bei Anwendung von Holzkohle als Katalysator erhält man fast reinen Parawasserstoff (BONHOEFFER 1929); Orthowasserstoff hat sich nicht isolieren lassen. Die Theorie erklärt die Erscheinung durch die Annahme, daß jeder Wasserstoffkern (Proton) eine Eigenrotation um seine Achse (einen Spin) besitzt; in der stabilen Molekel können die Spinachsen der beiden Atomkerne entweder parallel sein (Ortho-) oder antiparallel (Parawasserstoff). Auf die sehr interessante DIRACsche Theorie des Elektrons kann im Rahmen einer Buchbesprechung nicht eingegangen werden; das Verhalten des Elektrons in einem beliebigen elektromagnetischen Felde wird hier dargestellt durch 4 simultane lineare Differentialgleichungen erster Ordnung; diese genügen den Forderungen der Relativitätstheorie und liefern ohne weitere Annahmen den Elektronenspin. Verfasser zeigt weiter die Bedeutung der DIRACschen Theorie für die Erklärung der Positronen und gibt zugleich eine ausführliche Darstellung unserer Kenntnis über Positronen und Neutronen [über diese Begriffe selbst vgl. z. B. den Bericht in dieser Zeitschrift 47, 129 (1934)]. Auf etwa 60 Seiten behandelt Verfasser die SOMMERFELDSche Elektronentheorie der Metalle (Leitfähigkeit, Paramagnetismus, Elektronenemission). Ein kurzer Abschnitt über Quantenmechanik und Naturphilosophie beschließt den eigentlichen Inhalt des Buches. Als eine Besonderheit folgt noch eine „Zusammenfassung des Inhalts“, in der für jedes Kapitel eine kurze Inhaltsbesprechung gegeben wird.

Die Aufgabe, die der Verfasser sich stellt, ist außerordentlich schwer: es handelt sich einmal um ein ungeheuer ausgedehntes Gebiet und zweitens darum, ohne eigentliche mathematische Behandlung das Wesentliche — und zwar auch in manchen Einzelheiten — herauszuarbeiten. Mathematische Formeln und Ansätze werden zwar gegeben; es werden aber nur allereinfachste Rechnungen durchgeführt. Daß dabei dem Leser manches entgehen muß, ist selbstverständlich. Auf der anderen Seite aber wird dadurch der Blick immer wieder auf die Hauptsachen hingelenkt. Gerade der Anfänger wird eine Darstellung, die nicht nur Einzelprobleme, sondern das gesamte Gebiet umfaßt, mit größtem Nutzen zur Hand nehmen, zumal eine Darstellung, die die neueste Forschung berücksichtigt. Sehr zahlreiche Literaturangaben im Text und ein Verzeichnis einschlägiger Bücher am Schluß (bei dem das grundlegende Buch von P. A. M. DIRAC: Die Prinzipien der Quantentheorie, deutsche Auflage, Leipzig 1930, versehentlich weggeblieben ist) erleichtern dem Weiterstrebenden das Auffinden und das Einarbeiten in die Originalarbeiten. *Lamla.*

**Das Ende der Einsteinschen Zeittheorie.** Von FRANZ SANDGATHE. 103 Seiten. Bonn a. Rh.: Ludwig Röhrscheid 1934. Brosch. RM 3,50.

Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, auf Grund einer Analyse des Zeitbegriffs die Grundannahmen der Relativitätstheorie als falsch und

unmöglich zu erweisen. „Die Umwälzung, die der Zeitbegriff durch EINSTEIN angeblich erfahren hat, ist der Gegenstand eines 25jährigen Streites, der sich jedoch, wenn man der Sache auf den Grund geht, klar und zwingend entscheiden läßt“ (S. 6). Der Gedankengang des Verfassers ist etwa folgender: Ein Zeitpunkt kann z. B. dadurch bestimmt sein, daß sich in ihm zwei materielle Punkte begegnen. Die fundamentale Annahme jeder Aussage über die Zeit ist der folgende Satz I: „Zwischen 2 Zeitpunkten (Punktbegegnungen) liegt nur eine und dieselbe Zeit, so daß 2 Vorgänge . . ., die in demselben Zeitpunkt anfangen und nachher in demselben Zeitpunkt enden, gleich lange dauern“ (S. 11). Diesen Satz I hat EINSTEIN, so betont der Verfasser, zwar niemals formuliert, aber stets unbewußt angewandt. Satz I bringt die Eindimensionalität der Zeit zum Ausdruck. Verfasser schließt nun folgendermaßen weiter: „Die Punktbegegnungen, welche die Dauer der Vorgänge begrenzen, sind invariant. Wenn in einem Augenblick zwei Punkte für ein System zusammenfallen, so fallen sie in demselben Augenblick für alle Systeme zusammen“ (S. 13). Aus dieser „Invarianz der Punktbegegnungen“ schließt Verfasser, daß die durch Satz I definierte Dauer nicht relativiert werden kann. Er unterscheidet demgemäß zwei Zeiten: 1. Die absolute Zeit; für sie gilt der Satz, daß das Licht in verschiedenen (gleichförmig gegeneinander bewegten) Koordinatensystemen in derselben Zeit verschieden lange Wege zurücklegt; 2. die relativen Zeiten; sie werden in jedem Bezugssystem durch den Quotienten aus der Länge des Weges, den das Licht während der betreffenden Zeit in dem System zurücklegt, und der Größe  $c = 3 \cdot 10^{10}$  cm/sec gemessen; hier legt das Licht also dann definitionsgemäß in allen Bezugssystemen während derselben Zeit (jedesmal in dem zu dem betreffenden Bezugssystem gehörigen Zeitmaß gemessen) denselben Weg zurück, hat also für alle Systeme die gleiche Geschwindigkeit  $c$ . Die schon erwähnte „Invarianz der Punktbegegnungen“ findet ihren Ausdruck auch in dem Satz II: „Zu einer Punktbegegnung gibt es in einem anderen Punkte nur eine einzige (für alle Systeme gültige) Gleichzeitigkeit“ (S. 19). Dieser Satz spricht „Eigenschaften des Zeitbegriffs aus, der von selbst in unserem Denken vorhanden ist und den wir unvermeidlich immer anwenden“ (S. 20). „Die von selbst in uns vorhandene, unausrottbare Überzeugung, daß es nur eine Gleichzeitigkeit gebe, stammt nicht aus irgendwelchen mythischen Tiefen her, sondern aus einer instinktiv erkannten Eigenschaft des Zeitbegriffs, den wir in unserem Denken vorfinden“ (S. 19).

Der Verfasser zeigt weiter (S. 43 f.), daß man die Relationen, die nach der speziellen Relativitätstheorie zwischen den Raum- und Zeitkoordinaten zweier mit der Geschwindigkeit  $v$  in der  $X$ -Richtung gegeneinander bewegten Bezugssysteme ( $x$  und  $t$  bzw.  $x'$  und  $t'$ ) bestehen, mit Hilfe eines dritten Systems ( $X, T$ ) folgendermaßen beschreiben kann: Es ist  $x = X + uT$ ,  $x' = X - uT$ , wofür man  $t = T + uX/c^2$  und  $t' = T - uX/c^2$  setzt. Das System  $X, T$  ist dabei als absolut ruhend voraus-



gesetzt; in ihm hat das Licht die Geschwindigkeit  $c$ , in den anderen Systemen je nach der Richtung  $c \pm u$ ;  $t$  und  $t'$  sind die Quotienten aus dem Lichtweg in dem betreffenden System und  $c$ . Die Elimination von  $X$  und  $T$  liefert die von der Relativitätstheorie geforderten Beziehungen zwischen  $x, t$  und  $x', t'$ , falls man noch  $v = 2u/(1+u^2/c^2)$  macht. Daraus schließt der Verfasser, daß die LORENTZ-Transformation die klassische GALILEI-Transformation und damit die absolute Zeit schon voraussetzt. Die angedeuteten Gedankengänge werden vom Verfasser ausführlich durchgesprochen. Überall ist es das Ziel der Untersuchung, „die heimliche und unterirdische Allgegenwart der absoluten Zeit in der Deutung und Ableitung der Gleichungen aufzudecken“ (S. 6). Daraus folgt dann die Unhaltbarkeit der EINSTEINSchen Theorie.

Ich glaube nicht, daß ein Anhänger der Relativitätstheorie durch die Argumente des Verfassers irgendwie überzeugt wird. Den Satz I, daß nämlich 2 Ereignisse gleich lange dauern, wenn sie in demselben Augenblick beginnen und wieder in demselben Augenblick enden, betrachtet auch der Relativitätstheoretiker als für jedes einzelne Bezugssystem gültig. Von hier zum Satz II und zur absoluten Zeit aber ist ein weiter Schritt. Das Zeitproblem, das übrigens in seiner ganzen Tiefe gar nicht aufgerollt wird, ist ebenso alt wie schwierig; ich sehe nicht, wie Verfasser aus Satz I die Unausweichlichkeit des Satzes II logisch oder sonstwie erzwingen will. Der oben erwähnte rechnerische Nachweis, daß sich die LORENTZ-Transformation formal aus 2 der klassischen GALILEI-Transformation ähnlichen Transformationen zusammensetzen läßt, ist richtig, beweist aber nicht viel. Es wird gezeigt, daß man zwischen 2 Systeme  $K(x, t)$  und  $K'(x', t')$ , die die Geschwindigkeit  $v$  gegeneinander haben, ein „Grundsystem“  $S$  mit der Geschwindigkeit  $u$  gegen  $K$  so einschalten kann, daß  $x = X + uT$  und  $x' = X - uT$  wird.  $u$  ist dabei eine bestimmte Funktion von  $v$ . Einmal handelt es sich hier nicht um eine eigentliche GALILEI-Transformation, denn  $t$  und  $t'$  sind von  $T$  verschieden. Denkt man sich ferner ein drittes System  $K''$ , das sich parallel zu  $K'$ , aber mit anderer Geschwindigkeit bewegt, so könnte man wieder ein Grundsystem  $S'$  zwischen  $K$  und  $K''$  einschalten. Dieses aber müßte eine andere Geschwindigkeit gegen  $K$  haben als  $S$ ; die beiden Grundsysteme müßten sich gegeneinander bewegen. Verfasser erklärt dazu: „Eine solche Forderung erscheint ganz unmöglich“ (S. 79); tatsächlich folgt daraus, daß eben die Zurückführung der LORENTZ-Transformation auf GALILEI-Transformationen nicht allgemein möglich ist. Es kann nur die eine oder die andere gelten. Gar nicht erklärt wird vom Verfasser die doch sehr bemerkenswerte Tatsache, daß die MAXWELLSchen Gleichungen gegen LORENTZ-Transformationen invariant sind, ferner die Tatsache, daß das MICHELSON-Experiment — seine Richtigkeit vorausgesetzt — konstante Lichtgeschwindigkeit nach allen Seiten verlangt.

Noch ein weiterer Gesichtspunkt ist für den Verfasser wesentlich. „Relativ, mit dem Wechsel

des Systems sich ändernd, können nur physikalisch wahrnehmbare Dinge sein wie die Lichtwegabstände zweier Ereignisse oder die Zeigerstellungen der Uhren. Das In-denselben-Augenblick-fallen aber ist überhaupt nichts physikalisch Wahrnehmbares“ (S. 60). Dieser selbe Gedanke wird in verschiedener Form mehrfach wiederholt. „Der Satz II drückt nur eine Beschaffenheit unseres Zeitdenkens aus und durchaus nicht eine Beschaffenheit „objektiv realer“ physikalischer Vorgänge“ (S. 100). Es wird also die Möglichkeit abgelehnt, durch physikalische Messungen eine Entscheidung herbeizuführen. Für eine bestimmte Gruppe von Physikern (neuerdings besonders durch JORDAN und durch HEISENBERG vertreten) wird damit die Frage nach dem In-denselben-Augenblick-fallen „physikalisch sinnlos“, weil sie nicht nachprüfbar ist. Aber auch diejenigen, die diesen Standpunkt nicht einnehmen, diejenigen, die eine Hypothese darüber, wie die Welt (wir selbst eingeschlossen) „wirklich beschaffen“ ist, zulassen und von ihr ausgehen wollen, auch diejenigen, die mit dem Verfasser die Unanschaulichkeit der modernen physikalischen Theorien (Quantenmechanik) bedauern, werden durch das Buch nicht überzeugt werden. Wenn man, wie Verfasser es tut, von der Existenz der absoluten Zeit ausgeht (Satz II), muß man naturgemäß bei den Folgerungen zu einer Ablehnung der Relativität der Zeit kommen. Die wichtige Frage, ob die Relativitätstheorie richtig ist oder nicht, bleibt offen. Ich glaube aber, daß die Gedankengänge des Verfassers für viele Leser durchaus reizvoll sind.

Lamla.

**Lehrbuch der Elektronenröhren.** 2. Band: Verstärker. Von H. BARKHAUSEN. Vierte vollständig umgearbeitete Auflage. 289 Seiten, mit 127 Abbildungen. Leipzig: S. Hirzel 1933. Preis geh. RM 7,50; geb. RM 9,—.

Eine Vergleichung der zweiten Bände der dritten und vierten Auflage zeigt den ungeheuren Fortschritt der Technik, der seit 1926 vor sich gegangen ist. Während Bd. 2 der dritten Auflage wesentlich die kurz gefaßte Theorie der Röhre als Generator enthält (Röhrensender) — von großen Verstärkerröhren war damals noch kaum die Rede —, hat wegen der ungeheuren Entwicklung und Vergrößerung der Verstärker das Thema „Röhrensender“ aus dem Inhalte des vorliegenden zweiten Bandes weichen müssen; er enthält lediglich die Röhre als Verstärker, freilich als Verstärker bis zu den größten Ausmaßen. In dieser Beziehung haben sich heute die Rollen ohne Übertreibung vertauscht; die Röhrengeneratoren selbst sind klein geworden, während der Röhrenverstärker riesige Ausmessungen angenommen hat. Die größten heute gebauten Röhren sind keine Senderöhren mehr, sondern Verstärkerröhren, die eine Nutzleistung von 300 Kilowatt abgeben. — Der erste Abschnitt des Buches enthält die Theorie der Röhre als Vorverstärker, als Kraftverstärker und als Senderverstärker. Die Benennung „Kraftverstärker“, die BARKHAUSEN gewählt hat, kann nichts weiter sein als ein (bedauerliches) Zu-

geständnis an diejenigen, die in gänzlicher Unkenntnis des physikalischen Begriffes „Leistung“ solche Bezeichnungen wie Kraftverstärker oder Kraftaudion in die Welt gesetzt haben; aber für ein Forschungsbuch solchen Formats ist doch ein derartiges Zugeständnis kaum notwendig! Unter dem Namen Kraftverstärker sollen Leistungsverstärker für große Amplituden verstanden sein. — Der zweite Abschnitt erläutert die Theorie der Schaltungen, in der u. a. der Transformatorverstärker, der Widerstandverstärker und der Hochfrequenzverstärker behandelt werden. Ein dritter Abschnitt enthält endlich Abhandlungen über den Gitterstrom. Eine nähere Inhaltsangabe der einzelnen Abschnitte zu liefern, ist in kurzem Raum nicht möglich. Der Verfasser bezeichnet das Buch als ein Lehrbuch, was aber doch wohl nur für den gelten kann, dem der Stoff schon einigermaßen vertraut ist; insofern kann für den Fortgeschrittenen das Werk als Lehrbuch betrachtet werden. Ich möchte es lieber als Forschungsbuch bezeichnen, worin alle Probleme umfangreich erörtert werden, die bei der Benutzung eines so schwierigen Werkzeugs, wie es die Röhre ist, zu lösen sind. *F. Moeller.*

**Elektrische Musik.** Eine gemeinverständliche Darstellung ihrer Grundlagen, des heutigen Standes der Technik und ihrer Zukunftsmöglichkeiten. Von Dr. P. LERTES. 207 Seiten mit 169 Abbildungen. Dresden: Theodor Steinkopff 1933. Preis geb. RM 9.—.

Die Wiederdarstellung musikalischer Darbietungen hat durch die Elektronenröhre als vollkommenes Verstärkermittel eine fast unbeschränkte Verbreitungsmöglichkeit gefunden, sei es, daß die Darbietungen durch Rundfunk nur einmalig übermittelt werden oder durch Aufzeichnung auf eine Schallplatte oder auf einen Film, wobei heute ausschließlich ebenfalls die Elektronenröhre benutzt wird, dauernd festgehalten werden und daher fast unbegrenzt wiedergabefähig bleiben. Wenn auch bei diesen beiden Verfahren elektrische Wechselströme die unentbehrliche Vermittlerrolle spielen und die Wiederdarstellungsmittel elektrische Apparate sind (Lautsprecher), so ist doch der elektrische Vorgang hier stets nur als Vermittler wirksam, während als Musikerzeuger in alter Weise die bekannten Instrumente tätig bleiben. Als „Elektrische Musik“ können daher die beiden erwähnten Methoden nicht gelten; man versteht vielmehr unter diesem neuen Begriff ein Verfahren neuer Musikerzeugung, bei der elektrische Vorgänge und elektrische Apparate ursprünglich als Tonerzeuger tätig sind; hierdurch können ganz neue, bisher nicht gekannte Klangwirkungen erzielt werden. Die Öffentlichkeit hat von diesen neuen Musikapparaten bisher verhältnismäßig wenig erfahren, im Rundfunk sind sie schon zuweilen hörbar gemacht, und auf den Funkausstellungen 1932 und 33 sind auch eine Anzahl dieser Apparate gezeigt worden. — Ein Buch, das die Methoden erörtert, nach denen die Geräte arbeiten, fehlte früher; es ist deswegen sehr erfreulich, daß sich P. LERTES, selbst Pionier

des neuen Verfahrens, der Mühe unterzogen hat, gewissermaßen seine Geschichte zu schreiben. Das Buch holt weit aus, denn es sind in ihm nicht nur die neuen Apparate beschrieben, sondern es enthält auch in recht erheblichem Umfange die Physik der Tonempfindungen, der Wechselströme und der elektrischen Tongeneratoren. Auf alle diese „Vorarbeiten“ einzugehen, die LERTES bietet, ist hier nicht möglich; aus dem Inhalte des Hauptteiles sei jedoch einiges mitgeteilt. Man unterscheidet zwei Gruppen elektrischer Musikinstrumente. Elektromechanische Instrumente benutzen die ursprüngliche Schwingungserzeugung durch Saiten; ihre Töne jedoch werden nicht durch Resonanzböden abgestrahlt, sondern durch Mikrophone, die über den Saiten an geeigneter Stelle angebracht sind, in elektrische Schwingungen umgewandelt, dann durch Röhren verstärkt und zum Schluß durch Lautsprecher zu Gehör gebracht. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber der ursprünglichen Verstärkung des Tones durch Resonanzboden liegt darin, daß auf diese Weise eine viel gleichmäßigere Verstärkung aller Tonfrequenzen durch das gleiche Instrument möglich ist; auf einem Klavier z. B. war die Erzeugung genügend lauter sehr tiefer Töne mittels des Resonanzbodens nicht möglich, was nach dem neuen Verfahren keine Schwierigkeiten macht. Es lassen sich aber bei den elektromechanischen Instrumenten auch neue Klangwirkungen dadurch erzielen, daß besondere Obertöne der Saiten durch geeignete Mikrophanbringung für sich verstärkt werden. Zu den elektromechanischen Instrumenten gehören das Elektrochord, die Streichinstrumente von Vierling und der Neo-Bechsteinflügel. — Die rein elektrischen Musikinstrumente benutzen zur Tonerzeugung keinerlei Mittel der bekannten Art, sondern sie erzeugen die Töne durch elektrische Schwingungen im akustischen Bereich, wobei als Schwingungserzeuger entweder die Röhre mit ihren kontinuierlichen Schwingungen oder die Glühlampe (mit ihrer Abart, dem Thyatron) dient, die Kipperschwingungen (= Abreißschwingungen) erzeugt. Zu diesen Instrumenten gehören u. a. das Klaviatur-Sphärophon von MAGER, das Ätherwelleninstrument von THEREMIN, das Hellertion von HELBERGER und LERTES und das Trautonium von TRAUTWEIN. Von allen diesen Instrumenten erscheint das Trautonium als das interessanteste, weil es auf ganz neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruht, die F. TRAUTWEIN selbst gefunden hat. Sie seien hier kurz erläutert. — Die HELMHOLTzsche Oberton- und Vokaltheorie gibt keine restlose Erklärung der Klangfarbenunterschiede der verschiedenen Instrumente und der menschlichen Stimme, da diese Theorie nur die Schwingungen im eingeschwungenen Zustande erfaßt. Aber gerade die Vorgänge, die dem eingeschwungenen Zustande vorangehen, sind von ausschlaggebender Bedeutung für den entstehenden Klangcharakter der Tonschwingung, den außerdem auch der Ausschwingvorgang beeinflusst. L. HERMANN hat für die Ausbildung der menschlichen Stimme eine neue Theorie gefunden, nach welcher der Kehl-



kopf bzw. die Stimmritze nicht den Klangcharakter der Stimme bildet, sondern gewissermaßen nur das primäre Organ ist, das als Stoßerreger wirkt und die Mundhöhle zu Resonanzschwingungen und Oberschwingungen anregt, die erst in ihrer Zusammensetzung den Klang der Stimme bewirken. Die Stimmritze erzeugt danach gewissermaßen Abreißschwingungen; diese veranlassen die Mundhöhle zu an- und abklingenden Resonanzschwingungen, die eine ganz andere Frequenz als die Erregerfrequenz haben können. Die stoßerregten Formanten bezeichnet TRAUTWEIN als Hallformanten. Nach dieser Theorie hat er das Trautonium entwickelt, dessen Stoßerreger in den neueren Apparaten ein Thyatron ist; durch das Thyatron werden eine Reihe aus Kapazität und Induktivität bestehender Resonanzkreise (= Formantkreise) stoßerregt, und sie bestimmen in ihrer Gesamtheit die Klangfarbe. Die Klangfarben, die auf diese Weise erzeugt werden können, sind verblüffend. — Hellertion und Trautonium besitzen Manuale, durch deren Tasten Lautstärke und Klangfarbe bestimmt werden; die Instrumente sind mehrstimmig durchgebildet und schon im Handel käuflich.

So viel aus dem Inhalt des Buches, das ein ganz neues Gebiet ausführlich bespricht und schon deshalb sehr lesenswert ist. Eine recht vollständige Literaturangabe, ein Patentschriftenverzeichnis, ein sehr sorgfältig zusammengestelltes Sachverzeichnis und ein Namenregister sind am Schluß des Buches beigelegt, dessen Verständnis durch eine große Zahl vorzüglicher Abbildungen erleichtert wird.

Es seien noch einige Bemerkungen gestattet, die mit den oben beschriebenen physikalisch-technischen Vorgängen insofern eng zusammenhängen, als sie die volkswirtschaftlichen Folgen der neuen, zweifellos sehr bedeutenden Erfindungen berühren.

Es kann kein Zweifel sein, daß die Entwicklung des Rundfunks und der Aufzeichnung der Töne vielen ausübenden Musikern das tägliche Brot in ihrem Berufe genommen hat; daß dafür in anderen Berufen viele Menschen Stellung gefunden haben, kann die stellungslos gewordenen Menschen nicht glücklicher machen. Was liegt für technische Laien näher als die Vermutung, daß auch die neuen elektrischen Instrumente die gleiche Wirkung haben werden? Aber das ist nicht der Fall, sondern es muß wahrscheinlicherwise eher das Gegenteil eintreten. Die neuen Instrumente verlangen neue Spieler, sobald sie in ein Orchester eingesetzt werden; sie scheinen sogar einen ganzen Künstler zu erfordern, denn das Spiel darauf ist nicht leicht. Ebenso wie die Erfindung des Klaviers, der Klarinette und anderer neuer Instrumente neue Berufe der musikalischen Darstellung schuf, so muß menschlichem Ermessen nach die gleiche Wirkung von den neuen elektrischen Instrumenten ausgehen, denn sie sind Werkzeuge, die von Menschen betätigt werden müssen, nicht Maschinen, die Menschen überflüssig machen, wie man das vom Rundfunk oder vom Tonfilm, auf ausübende Künstler angewendet,

sagen muß. Die elektrischen Musikinstrumente sind noch zu neu, als daß sich schon Komponisten gefunden haben könnten, die sie in geeigneter Form ausnutzten; diese Form muß zweifellos noch gefunden werden. Es ist zu wünschen, daß Industrie und Kunst sich der neuen Instrumente voll Interesse annehmen mögen, damit nicht gleiche Folgen eintreten wie etwa bei der Entwicklung des Tonfilms, der ebenso fast eine rein deutsche Erfindung ist (HANS VOGT), der aber erst in Amerika praktische Erfolge erzielen mußte, damit er in Deutschland bei industriellen Großunternehmungen das notwendige Interesse fand, um ihn auch bei uns technisch ausreichend fortzubilden. Die Möglichkeit, technische Neubildungen auf die Dauer zu unterdrücken, verneint bis heute die Geschichte der Technik; diese Erfahrungstatsache ist wohl als Gesetz anzusprechen. Das Volk hat von ihnen auch wirtschaftlich den größten Vorteil, das als erstes sie auszunutzen versteht. Wie ich glaube, wird das auch für diesen neuen Zweig musikalischer Instrumente Geltung haben.

F. Moeller.

**Grundriß der physikalischen Chemie.** Von A. EUCKEN. 4. Auflage. 699 Seiten, mit 179 Abbildungen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m.b.H. 1934. Preis brosch. RM 27,—; geb. RM 29,—.

In der dritten Auflage war dieses Buch mit der ersten Auflage des „Lehrbuches der chemischen Physik“ desselben Verfassers verschmolzen. In der hier vorliegenden vierten Auflage des „Grundrisses“ ist der „Grundriß“ vom „Lehrbuch“ abgetrennt worden. Der „Grundriß“ sollte einen mehr elementaren Charakter tragen und den Bedürfnissen des physikalisch-chemischen Unterrichts, besonders für Chemiker, angepaßt sein, während für die Neuauflage des „Lehrbuches“ eine etwas eingehendere Behandlung des Stoffes vom atomphysikalischen und statistisch-kinetischen Standpunkt beabsichtigt war. Dadurch war bedingt, daß eine vollständige Umarbeitung des Stoffes eintreten mußte.

Im „Grundriß“ betrachtet es der Verfasser als seine Hauptaufgabe, seinen Schülern Verständnis für physikalisch-chemische Vorgänge und eine gewisse Fähigkeit, physikalisch-chemisch zu denken, zu vermitteln, wobei er bewußt auf ein allzu umfangreiches tatsächliches Wissen verzichtet. Die wenigen grundlegenden physikalisch-chemischen Gesetze werden daher ganz in den Vordergrund gestellt; dabei wird jedoch nicht die praktische Seite eines Lehrbuches vergessen. Es sind deshalb dem Buch eine Anzahl leichter und schwieriger Aufgaben beigelegt, die dem Leser Gelegenheit geben, die in dem Buche abgeleiteten Gesetze praktisch zu verwenden.

Der Stoff umfaßt alles, was unter den Sammelbegriff „physikalische Chemie“ fällt. Angefangen von der Zustandsgleichung der Gase, Molekulargewichtsbestimmungen, über die Hauptsätze der Wärmelehre, Gleichgewichtsbetrachtungen, Reaktionsgeschwindigkeiten, kommt das Buch zu den wichtigsten Gesetzen der klassischen Optik und

anschließend zur Strukturermittlung von Kristallen durch Röntgenlicht. Sehr eingehend werden darauf die Gesetze der klassischen Elektrizitätslehre und ihre Anwendungen auf Strukturfragen der Materie behandelt. Den Abschluß bilden die Gesetze der Quantentheorie und der Wellenmechanik.

Das letzte Kapitel, das mich besonders interessierte, wurde einer genaueren Durchsicht unterzogen. Die Darstellung dieses schwierigen Gebietes muß als geradezu meisterhaft bezeichnet

werden. Die grundlegenden Betrachtungen werden in einem einfachen, von Fachausdrücken möglichst freien, fast erzählenden Ton mitgeteilt, das wesentliche wird klar herausgearbeitet; der HEISENBERG'sche und der SCHRÖDINGER'sche Weg werden klar einander gegenübergestellt; an geeigneten Stellen wird mit Abbildungen nicht gespart.

Alles in allem genommen, liegt hier ein Buch vor, das für die Weiterbildung des Chemie- und Physiklehrers von höchstem Wert ist.

R. Scharf.

## Vereine und Versammlungen.

### Berliner Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts.

Bericht über das Jahr 1934 (53. Vereinsjahr).

Den Vorstand bildeten die Herren GIRKE, SPILLNER, KLAMROTT, HAASE.

#### Sitzungen.

23. Januar. Prof. Dr. HANS SCHULZ: Neuere Gesichtspunkte für die Behandlung der geometrischen Optik. (Mit Versuchen.)

20. Februar. Gemeinsame Sitzung der Berliner Vereine zur Förderung des mathematischen und physikalischen Unterrichts. Studienrat WIDDER: Innere und äußere Ballistik (Vorgänge im Rohr. Rückstoß und Rücklauf, das fliegende Geschöß. Luftwiderstandsgesetze. Geschößphotographien. Differentialgleichungen der äußeren Ballistik. Geschosse am Ziel.)

2. bis 7. April. 36. Hauptversammlung des Deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts [vgl. Bericht in dieser Zeitschr. 47, 234 (1934)].

30. April. Teilnahme an einem von der Stadt Berlin veranstalteten Vortragsabend über Luftfahrtlehrgänge. Leitung: Magistrats-Oberschulrat BOHM. Dr. VOIGT: Die Arbeiten der Modellbaugruppen an höheren Schulen als Grundlage für die Luftfahrtlehrgänge. Gewerbeoberlehrer WÜSTEFELD: Segelflug und Schule (mit Filmvorführung). Schwarmführer HELBIG: Der deutsche Luftsportverband und die Schuljugend.

11. Mai. Gemeinsame Sitzung der Berliner Vereine zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts. Dr.-Ing. IDA NODDACK, Regierungsrat Dr. WALTER NODDACK: Das periodische System der Elemente.

5. Juni. Experimentalvortrag. Studienrat Dr. SIEVERT. 1. Grundlegende Versuche aus der Wechselstromtechnik (Stromarten. Die drei Phasen des Netzes. Kapazität und Selbstinduktion im Wechselstromkreise); die Versuche werden mit einem neuen dreifachen Oszillographen einfacher Bauart ausgeführt. 2. Sender und Empfänger für elektromagnetische Wellen in der Größenordnung von einigen Dezimetern.

28. August. Vortrag mit Versuchen. Oberstudienrat i. R. Prof. P. STEINDEL: 1. Die Behandlung der Erscheinung von Ebbe und Flut im Unterricht [vgl. die kleine Mitteilung in dieser Zeitschr. 47, 252 (1934)]. 2. Zwei Versuche zur Optik und Mechanik (das „Schattenwunder“ mit der Rot-Grün-Laterne. Der sog. „Einsteinkasten“).

18. September. Lichtbildervortrag. Mittelschullehrer A. PAECH: Wolken und Wetter. Vorführung des Tonfilmes: „Beim Wettermacher“.

30. Oktober. Experimentalvortrag. Prof. Dr. L. BERGMANN (Breslau): Elektrische und optische Versuche mit schwingenden Kristallen. Der direkte und reziproke piezoelektrische Effekt. Schwingende Quarzstäbe. Der Kristall als Frequenznormal. Der quarzgesteuerte Röhrensender. Nachweis der Kristallschwingungen im polarisierten Licht. Nachweis der Luftströmungen, die von einem schwingenden Kristall ausgehen, durch Ausblasen einer Kerze und Treiben eines Windrades. Der Quarzkristall als „Motor“. Erzeugung von optischen Gittern in Flüssigkeiten und festen Körpern durch schwingende Quarze. „LAUE-Diagramme“ mit gewöhnlichem Licht. Der Zusammenhang zwischen den Interferenzfiguren und den elastischen Eigenschaften der Kristalle.

20. November. Vortrag mit Demonstrationen. Dipl.-Ing. OTTO FISCHER: Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. Entstehung und Wesen der Röntgenstrahlen. Strahlenschutz. Hochspannungsschutz. Das Röntgengerät als Werkzeug. Makroskopische Untersuchungen. Aufnahmetechnik. Basis der Auswertung. Das Röntgenbild der Schweißnaht. Physikalische Grundlagen der Röntgenmikroskopie. Strukturuntersuchungen. Interferenzbilder. Zustandsdiagramme für thermische und mechanische Beanspruchung eines Werkstoffes.

11. Dezember. Experimentalvortrag. Oberstudienrat Dr. VOLKMANN. 1. Eine einfache Form des FOUCAULT'schen Pendels. 2. Ein Gerät zum anschaulichen Nachweis, daß die Drehung der Schwingungsebene des Pendels dem Sinus der Breite entspricht. 3. Über Corioliskräfte und ihre anschauliche Deutung. 4. Einige weitere Versuche aus der Mechanik.

R. Girke.