

ZEITSCHRIFT FÜR DEN PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN UNTERRICHT

52. JAHRGANG

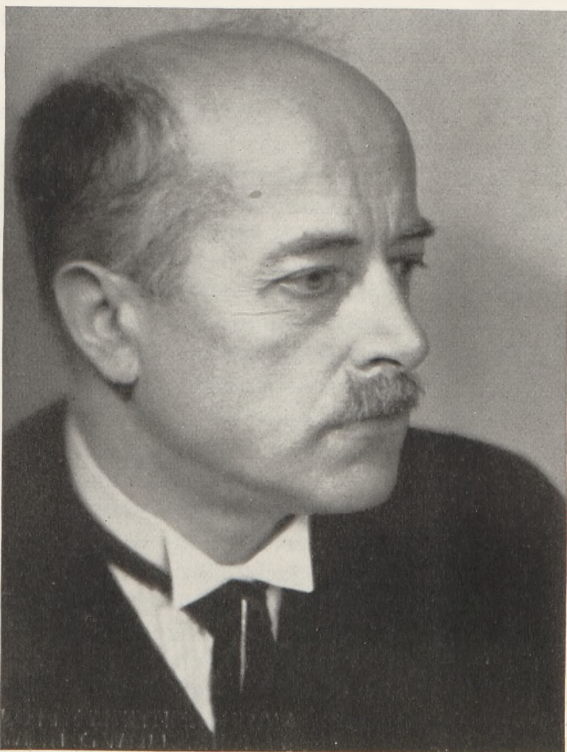
1939

HEFT 5

MAX v. LAUE zu seinem sechzigsten Geburtstag am 9. Oktober 1939.

Von W. Kossel in Danzig.

Wenn wir M. v. LAUE zu seinem sechzigsten Geburtstag unseren Glückwunsch aussprechen und mit dankbarer Freude seine Arbeit betrachten, so zeigt sich ein Bild von harmonischer Geschlossenheit. Von früh auf zieht ihn die Optik als besonders bedeutungsvoll an. Seine liebevolle Vertiefung in die Wellentheorie des Lichtes führt



Max Laue.

ihn zu einer Entdeckung ersten Ranges, die sich entscheidend bis zu weit entlegenen Gebieten auswirkt. Er selbst gestaltet sie zu immer schärferer Behandlung grundsätzlicher Fragen der allgemeinen Optik fort, und wir sehen ihn immer neue Ergebnisse auf diesem Gebiete gewinnen. Statistische und thermodynamische Arbeiten gruppieren sich, von Fragen der Wärmestrahlung beginnend, um den bevorzugten Problembereich.

Die Aufklärung der Natur der Röntgenstrahlen nahm einen so spannenden Verlauf, daß es immer wieder eine Freude ist, sich daran zu erinnern. Daß RÖNTGENS Entdeckung sogleich in besonderem Maße beachtet wurde, lag zunächst an den verblüffenden Wirkungen ihres hohen Durchdringungsvermögens. Für den Naturwissenschaftler indes wurde immer spannender, daß ihre Natur so lange ein Rätsel blieb.

Alle zunächst zugänglichen Versuche gaben über die Fragen: „Teilchen- oder Wellenstrahlung, longitudinale oder transversale Welle?“ keine Antwort. Durch ein Jahrzehnt gelang es nicht, über RÖNTGENS eigne Ergebnisse wesentlich hinauszukommen. Erst 1905 machte C. G. BARKLA die ersten großen Fortschritte; er entdeckte die Polarisierbarkeit und lehrte, Streustrahlung und Eigenstrahlung zu unterscheiden. Damit waren die Anfänge der beiden Wege gefunden, auf denen die Röntgenstrahlen in den Bau der Materie hineingeführt haben: erzwungene Elektronenschwingung und Spektren. Die Streustrahlung führte zur Abschätzung der Elektronenzahl im Atom, an der Eigenstrahlung aber entdeckte BARKLA die fundamentale Tatsache des gleichförmigen Ganges ihrer Härte durch die Reihe der Elemente. Wer sich um 1912 in dieses Gebiet einarbeitete — wie das dem Verfasser dieser Zeilen erging —, sah, daß hier Fundamentales für den Atombau liegen mußte. BARKLA hatte gezeigt, daß die Absorption der Elemente mit der Erregung ihrer Eigenstrahlung zusammenhänge, und R. WHIDDINGTON hatte dem die Elemente verbindenden Gesetze die Form gegeben, daß die zur Anregung nötige Elektronengeschwindigkeit linear in der Reihe der Elemente ansteige. In der Zeit nun, als der Verfasser sich bemühte, diese Erregungsbedingungen, die BARKLA schon dazu gebracht hatten, von einer „Fluoreszenz“-Strahlung im Röntgengebiet zu sprechen, mit LENARDS Phosphoreszenzmodell vom abgerissenen und leuchtend zurückkehrenden Elektron (1910) in Zusammenhang zu bringen, durfte er in München im SOMMERFELDSchen Institut das Werden und Gelingen der Entdeckung miterleben, die LAUES Namen allen bekannt gemacht hat: der Interferenzversuche mit Röntgenstrahlen an Kristallen. Sie waren, nach RÖNTGENS eigenen und BARKLAS Versuchen, der dritte große und in der Methodik neuartige Schritt in der experimentellen Erforschung der Röntgenstrahlen.

In dem lebhaft interessierten und tätigen Kreise des SOMMERFELDSchen Instituts von 1911 trat LAUE für den neu Hinzukommenden bald hervor. Schon seit einigen Jahren habilitiert, ausgezeichnet durch Können und Urteil und doch auch eben erst promovierte Doktoren ganz als Kollegen behandelnd, gewann er jeden zugleich durch Freundlichkeit und durch die Wärme seines wissenschaftlichen Interesses. In dem einzimmrigen Pfahlbauhaus, das er sich vor Feldafing in das flache Wasser am Ufer des Starnberger Sees gebaut hatte, griffen damals durch lange Sommermonate theoretische Arbeit und Leben in freier Luft ineinander. Von dem kleinen Schreibtisch und dem Balkon ging der Blick über die weite Wasserfläche bis zu den Bergen — vor dem Hause lag die Sonderklassenjacht „Straßburg“ an der Boje —, und wer an Sonntagen und Ferientagen durch den Possenhofener Park herangewandert kam, wurde freundlich aufgenommen und behält jene Tage in guter Erinnerung. Zwischen Wandern und Segeln, im Boot oder auf dem abendlichen Balkon tauchten natürlich immer wieder auch spannende Fragen der eigenen Arbeit im Gespräch auf, und die Meinungen darüber wurden ausgetauscht. Als der Verfasser einmal von der Absicht erzählte, schnelle Elektronen durch Kristalle zu schicken, in denen sie doch gewiß in den Gassen der regelmäßig angeordneten Atome bestimmte Richtungen bevorzugen müßten (die Versuche blieben erfolglos, weil die Strahlen des Ur-X zu schnell und die Kristalle zu dick waren, um die heute bekannten Elektroneninterferenzen sichtbar werden zu lassen), erfuhr er zum ersten Male von dem Gedanken, der LAUE damals bewegte: nein, Röntgenstrahlen müsse man auf Kristalle senden; — Welle und Beugungsgitter, das sei eine aussichtsreiche Kombination. SOMMERFELD hatte die Theorie der Spaltbeugung für einen Impuls gegeben, P. P. KOCH, damals ebenfalls in München, solche Aufnahmen von WALTER und POHL photometriert, die Wellenlänge 10^{-9} cm war wahrscheinlich gemacht. Und kurz darauf bestätigten FRIEDRICH und KNIPPING den Gedanken LAUES, indem sie aus den für solche Dauerleistungen noch gar nicht eingerichteten Stromquellen und Röhren die nach der Theorie notwendigen Expositionszeiten herausholten.

Das Gelingen des Gedankens wirkte sich in Richtung auf beide Gegenstände aus, die neu zusammengebracht waren: Wellenlänge der Röntgenstrahlen und An-

ordnung der Atome im Kristall wurden erschlossen. Röntgenspektroskopie und Struktur- forschung sind zu weit ausgedehnten Gebieten herangewachsen. Das erste von ihnen trägt heute schon seit langem den Charakter der Vollständigkeit: was die Elektronen- hülle der Atome an Röntgenlinien hergeben kann, ist bekannt und aufs feinste ver- messen — nur in Einzelheiten ist hier noch Arbeit zu tun, die freilich immer noch grundsätzlich Interessantes bietet, z. B. in der Aufklärung seltener inneratomarer Vor- gänge. In der Strukturforschung steht es anders. Zwar hat man die Kristallgebäude der einfacheren Verbindungen längst vollständig erforscht und sich auch über die Gesetze, die den Bau verwickelterer regeln, klare Einsichten verschafft — wie etwa auf dem so vielfältigen und praktisch wichtigen Gebiete der Silikate. Längst ist man aber über die einfache Frage nach der Lage der Atomschwerpunkte im Gitter hinaus- gegangen und fragt nach den Einzelheiten der Ladungsverteilung. Hier ist nach der Ladungsanordnung im einzelnen Atom — Atomformfaktor — heute u. a. die Ord- nung im organischen Kristall, im Großmolekül faseriger Stoffe, in Bearbeitung. Wenn dabei etwa Ansichten über die Entfaltung und Zusammenfaltung der Kohlen- stoffkette bei der Dehnung und Kontraktion von Substanzen der Haare oder des Muskels begründet werden können, so stößt man von der gewohnten Größenordnung einiger Ångström-Einheiten, in der die Atomabstände liegen, in erheblich ausgedehntere Bereiche vor, die biologisch von größtem Interesse sind. Hier sind von den Röntgen- und den ihrer Methodik gefolgt Elektronen-Interferenzuntersuchungen weitere Er- gebnisse zu erwarten und ihre Bedeutung mag um so größer werden, als sie einem Vorstoß von der anderen Seite begegnen, dem Erfolg des Elektronenmikroskops, das über die von der Lichtwellenlänge gesetzte Grenze hinab schon um mehr als eine Zehnerpotenz vorgedrungen ist und im letzten Jahre gerade an biologischen Objekten aufs schönste seine Leistungsfähigkeit gezeigt hat.

Der LAUESche Griff nach dem Kristall als Beugungsgitter hat sich in der letzten Zeit (1934) noch in einer dritten Richtung als fruchtbar erwiesen. Es gelang (im Danziger In- stitut), Interferenzen von Röntgenlinien zu beobachten, die in Atomen des Kristalles selbst entstanden waren. Man sendet also nicht mehr von einer fremden Antikathode Röntgen- wellen auf das Gitter, sondern macht etwa einen Kupferkristall selbst zur Antikathode. Da nun jede einzelne Quelle, in der eine Spektrallinie des Kupfers entsteht, als Kupferatom zum Kristallgitter gehört, ist jede einzelne Quelle in ganz bestimmter Lage am beugenden System, dem Gitter, befestigt. Der Kristall hat also die neue Aufgabe, die Quelle zu fixieren. Diese exakte Lagenbeziehung macht es möglich, die Interferenzvorgänge in einigen Zügen genauer zu prüfen, als es mit der Strahlung einer irgendwo außen liegenden Antikathode möglich ist. Nach dem Atom und dem Kristall ist hier das Licht selbst der Gegenstand, um dessen Struktur es geht. Sendet das Atom seine Wellen wie ein ins Wasser geworfener Stein nach allen Seiten? — oder konzentriert es sie vielleicht im Zusammenhange mit den Quantenerscheinungen wie eine Richtantenne auf ein enges Bündel? Die allseitige Ausbreitung käme dann nur statistisch zustande, indem diese Lichtpfeile nach allen Seiten abgefeuert würden, und Licht, das nach verschiedenen Richtungen ausgeht, wäre nicht interferenzfähig, — es stammte ja von verschiedenen Ereignissen. Die Versuche im Kristall, in denen Röntgenlicht, das nach verschiedenen Richtungen vom Atom ins Gitter hinauslief, durch die Reflexion an den Netzebenen zusammengesteuert wird, zeigen aber, daß es interferiert. Das klassische Wellenbild gilt also auch hierin, Röntgenlicht zeigt ebenso wie sichtbares die Kohärenz über große Winkel, die man dort vor allem vom Auflösungsvermögen des Mikroskops großer Apertur kannte.

LAUE hat die Theorie 1935 zur Behandlung dieser Aufgabe in höchst eleganter Weise umgeformt, indem er von einem Umkehrsatz der elektromagnetischen Licht- theorie Gebrauch machte und aus den schon bekannten Angaben über die Feldstärken, die eine außen liegende Quelle an Punkten im Kristallkörper erzeugt, umgekehrt auf die Feldstärken schloß, die eine im Kristall liegende Quelle an einem weit draußen liegenden Punkt, etwa auf dem Röntgenfilm, der der Einkristallantikathode gegenüber

liegt, entstehen läßt. So wird eine schon voll entwickelte Theorie für die neue, zu nächst ganz anders anmutende Aufgabe mobil gemacht.

Die Leichtigkeit, mit der hier ein Gedanke umgeformt wird, so daß neue Beziehungen hervortreten, erinnert daran, wie LAUE 1912 von dem Gedanken, die Kristalloptik des Sichtbaren mittels regelmäßig angeordneter Atomoszillatoren darzustellen, zu der Erkenntnis überging, daß Interferenzen entstehen müßten, wenn die Wellenlänge nicht mehr groß gegen die Atomabstände, sondern von deren Größenordnung oder kleiner sei. Von den „LAUESchen Gleichungen“ an, die er damals gleich nach der Bestätigung seines Gedankenexperimentes gab und die die Grundlage des Gebietes geblieben sind, ist ihm die vollständige, immer strengere wellenoptische Behandlung der Erscheinungen stets angelegen geblieben. Die Ausgestaltung der „dynamischen“ Theorie z. B., in der nicht allein die unmittelbare Anregung durch den Primärstrahl, sondern auch die gegenseitige Zustrahlung der Gitterelemente beachtet wird (1931), der beugende Einfluß der Kristallgestalt, die besonderen Bedingungen der Ausbreitung nahe der Oberfläche, die Parallelen von Röntgen- und Elektroneninterferenzen, sind Fragen, in denen er in den letzten Jahren die Interferenztheorie zu neuen Erfolgen geführt hat.

LAUE hat seine Arbeit bei Lehrern begonnen, deren Namen in der Geschichte der Optik klassisch geworden sind; bei W. VOIGT und vor allem bei M. PLANCK, bei dem er, zugleich angeregt und gefördert durch Vorlesungen O. LUMMERS, zuerst in die Wellenoptik eindrang und bald zu begrifflich anspruchsvollen Fragen über Kohärenz und Strahlenbündeln und über deren Thermodynamik fortschritt. Wir verdanken ihm selbst zwei der schönsten Darstellungen der Wellenoptik, die in der Enzyklopädie der Mathematischen Wissenschaften (1914) und die im WIEN-HARMSSchen Handbuch der Experimentalphysik (Bd. 18; 1928).

Es hat etwas sehr Befriedigendes, daß die große Entdeckung die Frucht einer solchen Meisterschaft in der allgemeinen Optik gewesen ist. Man kann vielleicht auch sagen, daß dies heute ihr aktuellster Zug ist. Denn ihre gewaltige Leistung als praktisches Hilfsmittel, zur Ermittlung der Struktur von Atomen und Kristallen, liegt heute abgeschlossen vor uns. Die Fragen nach der Struktur des Lichtes selbst aber und der Elementarteilchen interessieren uns lebhaft. LAUES Entdeckung trieb das Gebiet der Optik weit über das nahe und mühsam mit großer Kunst erforschte Ultraviolett plötzlich bis zu Tausendsteln und Zehntausendsteln der sichtbaren Wellenlängen vor. Dort treten aber zugleich die quantenhaften korpuskularen Züge des Lichtes viel stärker hervor. Darum hatte z. B. W. H. BRAGG, dem wir zur Ausgestaltung der LAUESchen Entdeckung so Wesentliches verdanken, vorher auf das bestimmteste den Standpunkt vertreten, die Röntgenstrahlen müßten als Teilchen gelten. Diese korpuskularen Eigenschaften stehen bei noch größeren Härten, bei γ - und Höhenstrahlen, schließlich völlig im Vordergrund. In den Bildern, die die gewaltige Erweiterung des Härtebereiches der letzten Jahre mit sich gebracht hat, in der Höhenstrahlungs-„Kaskade“ etwa, arbeiten die „Photonen“ wie eine Teilchenart unter anderen, während umgekehrt niemand daran denken würde, auf der anderen Seite des Sichtbaren, bei der Ausstrahlung elektromagnetischer Schwingungskreise, von etwas anderem zu sprechen als von Wellen. Inmitten der gewaltigen Ausdehnung des elektromagnetischen Spektrums sind die Röntgenstrahlen, an denen wellenhafte Interferenzerscheinungen und korpuskelhafte Konzentration von Energie und Impuls beide ausgezeichnet zu beobachten sind, zu dem Punkte geworden, an dem die beiden Seiten der Natur des Lichtes, Wellen- und Teilcheneigenschaften, einander in schärfster Ausprägung gegenüberreten. Hier steht das Grundproblem der heutigen Lichttheorie, das ebenso ein Problem der Elementarteilchen ist, der Dualismus Welle-Korpuskel, am eindringlichsten vor uns: die Röntgenstrahlen sind aus einer entlegenen rätselhaften Erscheinung zu einem zentralen Gebiete der Optik geworden.

Moderne Kunststoffe im chemischen Unterricht.

Von Dr. Ing. Kurt A. F. Schmidt in Brünn.

Der Vierjahresplan fordert Unabhängigkeit von ausländischen Rohstoffen. Demzufolge hat die deutsche Kunststoff-Industrie einen ungeahnten Aufschwung erlebt und wir treffen im täglichen Leben ständig auf neue deutsche Kunst- und Werkstoffe. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Jugend im Unterricht mit den Grundlagen der Kunststoffe vertraut zu machen. Da es aber das Bestreben eines jeden Lehrenden sein muß, den Unterricht durch möglichst viele Versuche zu beleben, sollen im folgenden einige für den Anschauungsunterricht geeignete Versuche angeführt werden. Diese sind meist so gewählt, daß sie den in der Theorie besprochenen Reaktionsverlauf der Entstehung von Kunststoffen der Hörschaft sichtbar veranschaulichen. Es sei bemerkt, daß die hierbei entstehenden Produkte lange nicht an die von der Industrie erzeugten Kunststoffe heranreichen, denn im Betriebe stehen ganz andere Mittel und Möglichkeiten zur Verfügung als beim Unterricht. Auch sollen die Schüler den Versuch miterleben, also möglichst viel sehen, aber in möglichst kurzer Zeit, damit dadurch der Vortrag als solcher nicht aufgehalten wird.

Die Versuche sind so zusammengestellt, daß möglichst jede Kunststoffklasse vertreten sein soll, doch kann bei der großen Anzahl Kunststoffe nicht auf Vollständigkeit Anspruch erhoben werden. Auch gelangen nur solche Versuche zur Veröffentlichung, die mit den gewöhnlich zur Verfügung stehenden Mitteln, schnell und einfach, ohne langwierige Vorbereitungen durchführbar sind.

A. Kondensationsprodukte.

I. Phenoplaste. Unter Phenoplasten versteht man Kunststoffe, hergestellt durch Kondensation von Formaldehyd, bzw. Formaldehyd absplittenden Substanzen und Phenolen. Als Kondensationsmittel können sowohl Säuren als auch verschiedene Basen Verwendung finden.

Die Harzbildung bei der Einwirkung von Formaldehyd auf Phenole hat bereits A. v. BAYER¹ im Jahre 1872 beobachtet. Doch erst die Arbeiten des vlamischen Chemikers H. L. BAEKELAND² haben die industrielle Auswertung der Kunstharze ermöglicht, nachdem sich schon mehrere Forscher mit diesem Problem ohne nennenswerten Erfolg befaßt haben. Diese Kunstharze, Bakelite genannt, gelangten erst im Jahre 1909 von Amerika aus, wo BAEKELAND wirkte, in den Handel.

Die Herstellung dieser Kondensationsprodukte wurde später weitgehend verbessert. Im Prinzip sind zwei Arten Kondensationen zu unterscheiden: die alkalische und die saure Kondensation. Es gibt aber mannigfache Variationen mit den verschiedensten Vor- und Nachbehandlungen, worüber zahlreiche Patente³ Aufschluß geben.

a) Alkalische Kondensation (Bakelite). Versuch 1: 50 g Phenol werden in einer Porzellanschale geschmolzt, dann 5 g pulverisierten Ätznatrons eingetragen und schließlich 35 ccm Formalinlösung (40%) zugefügt. Das Ganze wird unter ständigem Rühren so lange erhitzt, bis die ganze Masse schäumt und sich verdickt. Es empfiehlt sich, den Versuch infolge der lästigen Formaldehyddämpfe unter einem Abzuge durchzuführen. Die so erhaltene zähe Masse kann dann geformt werden. Bei langsamem Auskühlen erhält man eine bernsteinartige Substanz, die sich mit der Feile bearbeiten läßt, aber nicht immer vollständig blasenfrei ist. Versuchsdauer: 20 bis 25 Min.

Nach BAEKELAND⁴ existiert der Bakelit in drei verschiedenen Stufen der Kondensation, und zwar: ein Kondensations-Anfangsprodukt, welches beim Erwärmen schmilzt und in einigen Lösungsmitteln löslich ist, ein Kondensations-Zwischenprodukt, welches

¹ A. v. BAYER: Ber. Deutsch. chem. Ges. 5, 1095 (1872).

² H. L. BAEKELAND: Chem.-Ztg. 1909, 327.

³ Vgl.: ULLMANN: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl. Bd. II, S. 58 u. VII, S. 3. 1931.

⁴ H. L. BAEKELAND: Chem.-Ztg. 1909, 327.

beim Erwärmen noch weich wird, aber unlöslich ist, und ein Kondensations-Endprodukt, welches unlöslich und unschmelzbar ist und so den eigentlichen Edelbakelit darstellt.

Die beim vorstehend beschriebenen Versuch erhaltene Substanz entspricht dem Anfangsprodukt und kann durch langes, gleichmäßiges Erwärmen in das Endprodukt übergeführt werden. Legt man aber Wert auf ein vollständig blasenfreies Produkt, und kann man den Versuch in der nächstfolgenden Stunde fortsetzen, so kann man verfahren, wie es H. LINDNER¹ angibt, indem man das Gemisch nur bei 107° bis zur honigartigen Konsistenz erhitzt und dann mehrere Stunden gleichbleibend erwärmt. Außerdem arbeitet LINDNER mit Phenol und Formaldehyd im Mol-Verhältnis 1 : 2,5, wohingegen bei dem oben beschriebenen Versuche das Mol-Verhältnis 1 : 1 angewendet wird, da hierbei die Umsetzung rascher vor sich geht und die Neigung, blasige Produkte zu bilden, geringer ist.

Hat man nicht die Absicht, die Bildung eines Produktes vorzuführen, oder nicht genügend Zeit hierfür, und will man bloß den Kondensationsvorgang veranschaulichen, so kann man verfahren, wie nachstehend beschrieben:

Versuch 2: 20 g Naphthol werden mit 10 ccm Formalin (40%) in einem schmalen hohen Becherglas angerührt, 7 ccm Kalilauge (33%) hinzugefügt und über kleiner Flamme erwärmt. Anfangs tritt vollständige Lösung ein, bis plötzliche Kondensation erfolgt, wobei die gesamte Lösung in eine feste, graue Masse übergeht. Versuchsdauer: ungefähr 5 Min.

Schon S. B. BAMBERGER² hat einen ähnlich leicht durchführbaren Versuch beschrieben. Er verwendet Resorcin und Formaldehyd und setzt bei Siedehitze Lauge hinzu, wobei nach längerem Erhitzen ein rotes festes Kunstharz entsteht.

b) Saure Kondensation (Novolacke). Als Novolacke bezeichnet man nicht härtbare Harze, erhalten aus Phenolen und Aldehyden durch Zusatz von geringen Mengen anorganischer oder organischer Säuren oder sauren Salzen. Sie dienen als Grundlage für Lacke und können auch, mit Füllstoffen versehen und einer Nachbehandlung unterworfen, wertvolle Kunststoffe liefern. Zahlreiche Patente geben über die Herstellungsmöglichkeiten und die vielseitige Anwendung Aufschluß.

Zur Veranschaulichung der Bildung von Novolacken eignet sich der folgende Versuch.

Versuch 3: Man versetzt 30 g Phenol mit 20 ccm Formaldehydlösung (40%)³ und fügt 2 g Natriumbisulfat, gelöst in 10 bis 15 ccm Wasser, hinzu⁴. Das Ganze wird in einem Rundkolben mit aufgesetztem Rückflußkühler am Drahtnetz erwärmt. Es tritt plötzliches Aufschäumen ein, worauf die Reaktion ohne weitere Wärmezufuhr zu Ende läuft, was durch Auftreten einer starken Trübung ersichtlich wird. Dann wird für einige Sekunden in eine Schale kalten Wassers getaucht. Es bilden sich zwei Schichten, wovon die eine den Novolack, die andere Wasser, Säure und Verunreinigungen enthält. Verwendet man vollständig reines Phenol, so empfiehlt es sich, diesem eine Spur Alizarin zuzusetzen, um den Lack gelblich zu färben, da sonst die Bildung der beiden Schichten nicht gut sichtbar wird. Versuchsdauer: 5 bis 10 Min.

II. Aminoplaste. Darunter versteht man Kunststoffe, hergestellt durch Einwirkung von Aldehyden auf vorwiegend aromatische Amine, mit und ohne Kondensationsmittel⁵.

¹ H. LINDNER: Diese Z. 48, 215 (1935).

² S. B. BAMBERGER: Diese Z. 44, 265 (1931).

³ Nach F. POLLAK und F. RIESENFELD sind auf 1 Mol Phenol 0,86 Mol Formaldehyd anzuwenden, da ein Formaldehydüberschuß bereits Harze anderen Charakters ergibt. An Stelle des Formaldehyds können auch 8 g β -Polyoxymethylen ohne Kondensationsmittel angewendet werden. Vgl. Z. angew. Chem. 43, 1131 (1930).

⁴ Mit Vorteil können auch an Stelle von Natriumbisulfat einige Tropfen Salzsäure oder einer anderen Säure verwendet werden. Vgl. Engl. Pat. 159461; Chem. Zentralbl. 1921, IV, 133.

⁵ Vgl. P. HALLER und H. KAPPELER: Schweiz. Pat. 123515; Chem. Zentralbl. 1928, I, 1585; W. HILDEBRAND: D.R.P. 452009, 453276; Chem. Zentralbl. 1928, I, 2464.

Diese Stoffe haben als solche geringere technische Bedeutung. Sie finden Verwendung zur Herstellung von Preßteilen und Hartpapier. Für die Lackindustrie als Kopalersatz wichtig sind jedoch die „Albertole“, welche aus Aminoplasten durch Verschmelzen mit Kolophonium erhalten werden.

Für den Schulversuch eignet sich die Vorführung der Bildung von Aminoplasten infolge des raschen und deutlich sichtbaren Reaktionsvorganges sehr gut.

Versuch 4: In einen Rundkolben mit aufgesetztem Rückflußkühler werden 40 ccm Formalin (40%) und 5 ccm Schwefelsäure (1:1) gegeben. Aus einem Tropftrichter läßt man dann rasch 25 g Anilin zufließen. Nach einigen Sekunden tritt äußerst heftige Reaktion ein, die durch lebhaftes Schäumen unter Wärmeerwicklung bemerkbar wird. Versuchsdauer: 1 bis 2 Min.

Eine Wärmezufuhr ist nicht notwendig, da die anfangs durch Bildung von Anilinsulfat entstehende Wärme ausreicht, um die Kondensation des Anilins mit Formaldehyd in Gang zu bringen. Aus dem Reaktionsprodukt kann das Anilinsulfat ausgewaschen werden; das Kondensationsprodukt, dann bei 115° mehrere Stunden erwärmt, gibt eine harte, rubinrote, glasartige Masse.

Versuch 5: Bereits durch bloßes Verrühren in einem Bechergläse mit Formaldehyd und Anilin im oben angegebenen Mengenverhältnis ist die Kondensation durchführbar. Man erhält so eine einheitliche Masse, die sich über dem ausgeschiedenen Wasser absetzt. Der so durchgeführte Versuch beansprucht jedoch eine etwas längere Zeit als bei der vorher besprochenen Vorführung. Versuchsdauer: 5 bis 10 Min.

Will man das Gießen in Formen vorführen, so eignet sich dazu der nachstehend beschriebene Versuch. Als Formen verwendet man am besten alte Proberöhrchen, die nach dem Erkalten zerschlagen werden, um daraus das Formstück zu erhalten.

Versuch 6: 30 g techn. Naphthylamin werden mit 20 g Benzaldehyd angerührt, wobei der ganze Ansatz in eine zähe, hellgelbe Masse übergeht, welche durch gelindes Erhitzen zum Schmelzen gebracht wird und dann in Formen gegossen werden kann. Beim Abkühlen erhält man ein hellgelbes, hartes Produkt. Versuchsdauer: 10 bis 15 Min.

III. Pollopas. Die unter diesem Namen bekannten Kunststoffe gehören eigentlich in die Klasse der Aminoplaste, da sie durch Kondensation von Karbamiden oder Sulfokarbamiden mit Formaldehyd erhalten werden. Sie sollen hier jedoch wegen ihrer großen technischen Wichtigkeit und Verbreitung gesondert besprochen werden.

Die ersten Versuche, aus Harnstoff und Formaldehyd Kunstharze zu erhalten, hat H. JOHN¹ unternommen, doch erst F. POLLAK und K. RIPPER² ist es gelungen, brauchbare helle Preßstoffe zu erhalten, die, nach zahlreichen Verbesserungen, heute von der I.G. Farbenindustrie A.G. in den Handel gebracht, wegen ihrer hervorragenden Lichtbeständigkeit, Farbenfreudigkeit und anderer wertvollen Eigenschaften eine große Konkurrenz mit den Phenoplasten darstellen und diese auch schon in verschiedenen Erzeugungszweigen verdrängt haben.

Das zum Heißpressen verwendete Preßpulver, sowie die energische Kondensationsreaktion, kann durch den nachstehend beschriebenen Schulversuch veranschaulicht werden.

Versuch 7: 20 g Harnstoff werden in einem Bechergläse mit 30 ccm Formalin (40%) vermischt und langsam am Drahtnetz erwärmt. Es tritt zuerst Lösung und dann plötzliche, explosionsartige Umsetzung ein, indem ein festes, weißes Pulver gebildet wird. Um ein Verspritzen zu vermeiden, empfiehlt es sich bei diesem Versuch, über das Becherglas, in welchem die Reaktion vorgenommen werden soll, ein zweites, wesentlich größeres Becherglas zu stülpen. Versuchsdauer: 2 bis 3 Min.

¹ H. JOHN: Engl. Pat. 151016; Amerik. Pat. 1355834; Chem. Zentralbl. 1921, II, 192.

² F. POLLAK u. K. RIPPER: Chem.-Zgt. 1924, 569. Patentliteratur siehe ULLMANN: Enzyklopädie der technischen Chemie, 2. Aufl., Fd. VII, S. 13. 1931.

Um ein glasartiges plastisches Material zu erhalten, verfährt man folgendermaßen.

Versuch 8: 10 g Schwefelharnstoff werden in 20 ccm 40%-Formalin in der Hitze gelöst und so lange unter Umschwenken oder Umrühren erhitzt, bis Verdickung zu honigartiger Konsistenz eintritt. Nach raschem Abkühlen erhält man ein glasähnliches, plastisches Produkt. Das Erwärmen muß vorsichtig durchgeführt werden, da durch Überhitzung leicht Zersetzung unter Merkaptanbildung eintreten kann. Versuchsdauer: ungefähr 10 Min.

IV. Glyptal. Unter Glyptalen versteht man Kunstharze, erhalten durch Kondensation von Glycerin oder Polyglycerinen mit Phthalsäureanhydrid oder anderen, mindestens zweibasischen organischen Säuren. Auch hier treten die gebildeten Harze in drei Stufen¹ auf, ähnlich wie die Bakelite. Das Endprodukt stellt eine nicht erweichbare, unlösliche, wasserbeständige, glasharte Masse dar, welche durch langes Erhitzen erhalten wird. Durch Zusatz von bestimmten Metalloxyden als wasserentziehende Mittel kann dieser Vorgang beschleunigt werden².

Die Glyptale finden bei der Firnis- und Lackherstellung Anwendung.

Versuch 9: Man vermischt 15 g entwässertes Glycerin mit 30 g Phthalsäureanhydrid³ und 3 bis 5 g Calcium- oder Magnesiumoxyd zu einem Brei und erhitzt in einer Porzellanschale so lange, bis die heftige Reaktion abklingt. Dann steigert man unter ständigem Rühren die Temperatur auf 200° und erwärmt, bis Verdickung eintritt. Beim Erkalten erhält man eine glasharte, gelbliche Masse. Versuchsdauer: 15 bis 20 Min.

B. Polymerisationsprodukte.

Wenn die Entstehung der vorher beschriebenen Kunststoffe durch Kondensation bedingt war, so sollen nun Kunststoffe besprochen werden, die durch Polymerisation gebildet werden.

Von den zahlreichen Produkten dieser Art seien nur die bekanntesten genannt. So findet das Polystyrol, unter dem Handelsnamen „Trolitul“, für Spritzgußmassen vielseitige Verwendung. Weitgehende Anwendung hat auch das Polyvinylchlorid durch die daraus erzeugten „Mipolam“-Rohrleitungen gefunden. Als Imprägniermittel, aber auch für Lacke, haben sich Polyacrylsäureester bewährt. Nach jahrzehntelanger Arbeit ist es O. RÖHM⁴ gelungen, das organische Glas, „Plexiglas“ genannt, durch Polymerisation von Metacrylsäureestern zu erhalten. Im Vordergrund aller Kunststoffe steht jedoch heute der „Buna-Kautschuk“, erhalten durch Polymerisation von Butadien und Behandlung mit Schwefel.

V. Polystyrol. Infolge der verhältnismäßig schwierigen Beschaffungsmöglichkeit der Ausgangsprodukte und der langen Polymerisationsdauer eignet sich für den Schulversuch nur das leichter zugängliche Styrol.

Versuch 10: 20 bis 30 g monomeres, nicht stabilisiertes⁵ Styrol wird 1 bis 2 Stunden am Rückflußkühler bei ungefähr 150° erwärmt, bis allmählich Verdickung eintritt. Bei raschem Erkalten erhält man eine glasartige, harte, vom Reaktionsgefäße leicht entfernbare Masse. Läßt man langsam abkühlen, so können aus der im zähflüssigen Zustande befindlichen Masse Fäden gezogen werden, welche an der Luft rasch erstarren. Die langsam erkalten gelassene Masse haftet am Glase sehr fest, und versucht man das Probeglas zu zerschlagen, so wird dort, wo ein Belag des Polystyrols vorhanden ist, nur Zersplitterung, nicht aber vollständiger Zerfall des Glases eintreten (Sicherheitsglas).

¹ L. WEISBERG: Amerik. Pat. 1413144, 1413145; Chem. Zentralbl. 1923, IV, 368.

² J. G. WRIGHT: Engl. Pat. 236591; Chem. Zentralbl. 1926, II, 1473.

³ Vgl. J. H. SCHMIDT: Amerik. Pat. 1663183; Chem. Zentralbl. 1928, I, 2464.

⁴ O. RÖHM: Engl. Pat. 304681; Chem. Zentralbl. 1929, II, 487; Franz. Pat. 663711; Chem. Zentralbl. 1929, II, 3068.

⁵ Verwendet man stabilisiertes Styrol, so muß dieses vorher vom Stabilisator abdestilliert werden.

Für den Vorlesungsversuch empfiehlt es sich, die Polymerisation am Tage vorher durchzuführen, und dann in der Unterrichtsstunde das erhaltene Produkt nur durch Erwärmen zu erweichen, um das Fadenziehen oder Formen zu zeigen.

Die Reaktion kann nach I. OSROMISLENSKY¹ durch Zusatz von Peroxyden, besonders Benzoylperoxyd, bei Temperaturen von 170⁰ bis 180⁰ beschleunigt werden.

Nicht zuletzt möchte ich dem Institutsvorstand, Herrn Prof. Dr. L. ANSCHÜTZ, an dieser Stelle für das Zustandekommen der vorliegenden Arbeit und die Überlassung der einschlägigen Literaturquellen meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Brünn, Deutsche Technische Hochschule, Organisch-chemisches Institut.

Kleine Mitteilungen.

Einige Versuche zur inneren Reibung.

Von Joh. Rademacher in Berlin-Hermsdorf.

Besteht zwischen zwei Körpern Reibung, so kann man die Betrachtung auf die Vorgänge in der Berührungsfläche beschränken, falls beide Körper fest sind. Ist aber einer von ihnen flüssig oder gasförmig, so muß man die Betrachtung auf die Vorgänge im Innern dieses Körpers in der Nähe der Grenzfläche ausdehnen und berücksichtigen, daß es in Flüssigkeiten und Gasen eine „innere Reibung“ oder „Zähigkeit“ gibt. Die Gesetze dieser inneren Reibung sind wesentlich andere als bei der Reibung zwischen festen Körpern, und es ist daher erwünscht, das Wesen und die Wirkung dieser inneren Reibung dem Schüler durch Versuche nahe zu bringen.

Eine sehr einfache und eindrucksvolle Anordnung, durch die der Begriff der inneren Reibung eingeführt werden kann, wurde bereits 1926 von PRZIBRAM (Physik. Z., S. 830) angegeben. Die Versuchsanordnung ist in Schulkreisen wenig bekannt. Das Gerät besteht aus einer Kammer, die eine Luftmenge von etwa 2 ccm Inhalt abschließt. Die Kammer läßt sich aus einer quadratischen Messingplatte herstellen, die etwa 5 mm dick ist und eine Höhe und Breite von etwa 4 cm hat. Sie erhält einen quadratischen Ausschnitt von etwa 2 cm Seitenlänge, so daß die stehen bleibenden Ränder etwa 1 cm breit sind. Aus dem so gebildeten Rahmen wird durch Ankleben je einer Glasplatte auf der Vorder- und Rückseite die Versuchskammer hergestellt (Fig. 1).

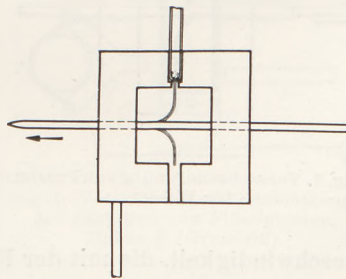


Fig. 1.
Gerät zur Bestimmung der inneren Reibung von Luft, nach PRZIBRAM.

Die Seitenwände werden in der Mitte mit genau gegenüberliegenden Bohrungen von etwa 2 mm Durchmesser versehen, so daß sich eine Stricknadel leicht und ohne Spiel hindurchschieben läßt. In der Mitte des oberen und unteren Randes sind ebenfalls Bohrungen angebracht (Durchmesser etwa 3 mm). Die obere Bohrung wird nicht ganz durchgeführt; das unterste Stück dieser Bohrung ist nur 2 mm weit, so daß im Loch ein Absatz entsteht, durch den ein hineingestecktes Glasröhrchen am Hindurchrutschen verhindert wird. Die Kammer ist mit einem Stiel versehen, so daß sie mit Hilfe von Stativteilen leicht vor einem Bildwurfgerät befestigt werden kann.

Zur Ausführung des Versuches wird in das untere Loch der Kammer ein Glasröhrchen gesteckt, durch das ein mit Ammoniakdämpfen beladener Luftstrom in die Kammer geschickt wird. Man bläst hierzu die Luft durch eine Waschflasche, in der einige Kubikzentimeter Ammoniak enthalten sind. Nachdem das untere Rohr wieder

¹ I. OSROMISLENSKY: Amerik. Pat. 683 402, 683 404; Chem. Zentralbl. 1929, II, 2500; Chem. Zentralbl. 1929, I, 2246.

entfernt ist, setzt man in die obere Bohrung ein passendes Glasrohr, das vorher in Salzsäure getaucht wird. Ein Tropfen der Säure bleibt im Rohr hängen und die in der Kammer nach unten sinkenden Salzsäuredämpfe geben mit dem Ammoniak Salmiaknebel, die wie ein feiner Faden senkrecht nach unten sinken. Sie treffen hierbei die Stricknadel; wird diese hin- und herbewegt, so wird der Salmiakfaden von der Nadel mitgenommen und es entsteht ein Bild, wie es in der Fig. 1 angedeutet ist. Im Schulunterricht wird man diesen Versuch etwa folgendermaßen auswerten können: Nach der Feststellung der Tatsache, daß ein Körper in bewegter Luft einen Widerstand erfährt, wird sich die Frage erheben, ob dieser Widerstand ähnlich wie bei festen Körpern durch Reibungskräfte erklärt werden kann. Es ist also festzustellen, ob solche Reibungskräfte vorhanden sind und wie groß sie sind. Hierbei muß vermieden werden, daß andere Einflüsse das Ergebnis verfälschen, vor allem

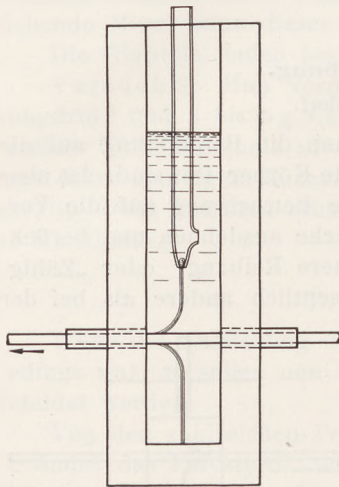


Fig. 2. Versuchsanordnung von PRIZBRAM
für Wasser.

also muß ein Verdrängen von Luft durch den bewegten Körper ausgeschlossen werden. Die angegebene Versuchsanordnung erfüllt diese Bedingung; wenn, wie es der Versuch zeigt, durch den bewegten Körper auf die Luft Kräfte übertragen werden, so kann nur die Reibung die Ursache sein. Man erkennt bei dem Versuch auch den grundlegenden Unterschied zwischen der Reibung an der Oberfläche fester Körper und der Reibung, die bei der Luft zu beobachten ist. Bei festen Körpern findet ein Gleiten der Körper aneinander statt und die Übertragung von Kräften ist auf die Grenzflächen der beiden Körper beschränkt. Der Versuch zeigt, daß die Luft sich ganz anders verhält: die der Nadel anliegende Luftschicht bewegt sich mit derselben Geschwindigkeit wie die Nadel, die Reibung zwischen beiden ist also „unendlich groß“. Die weiter entfernten Luftschichten werden in der Bewegungsrichtung mitgerissen, und zwar mit einer

Geschwindigkeit, die mit der Entfernung abnimmt. Es treten also durch die aneinander vorbeigleitenden Luftschichten Kräfte auf, die von der Relativbewegung dieser Luftschichten abhängen und die man als „innere Reibung“ bezeichnet.

In ganz entsprechender Weise läßt sich der Versuch auch mit einer Flüssigkeit (Wasser) ausführen. Das hierzu benutzte Gerät ist in Fig. 2 dargestellt. Der Trog, in dem sich das Wasser befindet, ist innen etwa 8 cm breit, 18 cm hoch und 1 cm dick. Er wird aus Holzleisten von 1 cm Stärke hergestellt, auf die auf beiden Seiten Glasplatten geklebt sind (mittels Kohäsan oder dergl.). In der Mitte der Seitenwände sind Messingröhren von 5 mm äußerem Durchmesser und 3 mm lichter Weite eingesetzt (mit Kohäsan eingeklebt), durch die ein Stahlstab von 3 mm Dicke gesteckt wird. Zur Sichtbarmachung der Reibung wird von oben her ein zur Spitze ausgezogenes Glasrohr in die Flüssigkeit gehängt, das etwa 1 cm vom unteren Ende eine seitliche Öffnung besitzt. Wenn in das Rohr ein Körnchen Kaliumpermanganat gebracht wird, so sinkt ein scharf begrenzter, stark gefärbter Flüssigkeitsstrahl nach unten. Beim Bewegen des Stahlstabes zeigt sich dasselbe Bild wie bei der Luft. Das Wasser haftet auch hier an dem Stab und eine Übertragung von Schubkräften auf entferntere Wasserteilchen erfolgt nur durch innere Reibung. Bemerkenswert ist, daß die Flüssigkeit auch dann an der Oberfläche des bewegten Körpers haftet, wenn der Stahlstab eingefettet ist, wenn also die Flüssigkeit beim Eintauchen nicht den Stab benetzt. Die Übertragung von Kräften durch Reibung von einem festen Körper auf eine Flüssigkeit wird also immer durch die innere Reibung bewirkt, das Material des festen Körpers ist für die Größe der auftretenden Kräfte ohne Einfluß, da die „äußere

Reibung“ bei jedem Material „unendlich groß“ ist im Verhältnis zur inneren Reibung. Daß trotzdem die Oberflächenbeschaffenheit des Körpers eine Rolle spielt, ist auf andere Ursachen zurückzuführen. Es wird der Strömungsverlauf in der Nähe des Körpers durch Vorsprünge umgestaltet und damit die gesamte Strömung auch in größerer Entfernung beeinflußt.

Die im vorhergehenden gemachte Angabe, daß die Reibung zwischen festem Körper und Flüssigkeit oder Gas unendlich groß ist und daher ein Haften an der Grenzfläche eintritt, trifft für einige Sonderfälle nicht zu, z. B. wenn es sich um ein Gas von extrem niedrigem Druck handelt. Auch bei Schmiermitteln (Ölen) tritt wahrscheinlich ein Gleiten der Flüssigkeit an der Grenzfläche ein. Diese Sonderfälle können aber hier außer acht gelassen werden.

Wie groß die Kräfte sind, die durch die innere Reibung erzeugt werden, läßt sich aus dem Versuch nicht erkennen. Es läßt sich auch nicht abschätzen, ob diese Kräfte ausreichen, um den tatsächlich beobachteten Widerstand eines Körpers in strömender Luft zu erklären. Will man diese Frage entscheiden, so muß die Größe des Reibungsfaktors der Luft oder des Wassers gemessen werden, oder man muß zum mindesten aus einem Versuch ungefähr die Größenordnung dieses Faktors abschätzen können. Für Wasser und andere Flüssigkeiten kann das durch eine verhältnismäßig einfache Anordnung geschehen. Hierbei können, wenn auch in etwas roher Weise, die Gesetze der inneren Reibung abgeleitet werden. Das benutzte Gerät ist in Fig. 3 skizziert. Es wurde absichtlich recht einfach ausgeführt, gestattet aber doch, eine Reihe wichtiger Tatsachen zu erkennen.

Das Gerät besteht aus einem Zylinder, der koaxial in einem zweiten rotieren kann; in den Zwischenraum zwischen beiden Zylindern wird die zu untersuchende Flüssigkeit gebracht. Die Zeit, die ein an der Achse durch einen Schnurtrieb wirkendes Gewicht zum Durchfallen einer bestimmten Strecke braucht, wird als Maß für die innere Reibung oder Zähigkeit η der Flüssigkeit genommen und gestattet eine rohe Abschätzung der Größenordnung von η .

Als äußeres Gefäß wird ein Reagenzglas verwendet; ein gut ausgedrehtes Rohr würde zwar eine größere Genauigkeit ergeben, da aber nur eine rohe Vergleichung der Zähigkeiten beabsichtigt ist, wurde wegen der größeren Anschaulichkeit diese Anordnung gewählt. Weil verglichen mit dem zu messenden Effekt die unvermeidliche Lagerreibung bei dem einfachen Gerät recht groß ist, kann man eine nennenswerte Genauigkeit ohnehin nicht erwarten. Der innere Zylinder hat einen etwa 1,5 mm kleineren Durchmesser, als die lichte Weite des Reagenzrohres beträgt. Um ihn möglichst leicht zu machen, kann man ihn aus einem Messingrohr herstellen, das an den Enden durch eingelötete Messingstücke verschlossen ist. Seine Achse, die aus einem etwa 3 mm starken Stahlstab (Stricknadel) besteht, hat unten eine stumpfe Spitze, die in einer flachen konischen Vertiefung eines Metallstücks *B* ruht, das gerade in das Reagenzrohr hineinpaßt. Es ist zu empfehlen, sich aus einem Vorrat von Reagenzgläsern eine Reihe von passenden auszusuchen; das Metallstück muß beim Loslassen ganz langsam nach unten gleiten. Die Führung des anderen Achsenendes erfolgt durch die Bohrung eines Metallstückchens *C*, das durch eine Schraube *D* gehalten wird, so daß es sich um ein Geringses verstellen läßt und ein Justieren der Achse gestattet. Das Reagenzglas ist leicht auswechselbar; sein oberes Ende paßt in ein

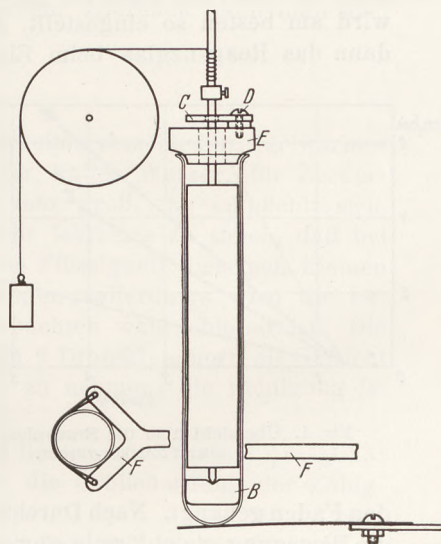


Fig. 3. Vorrichtung zur Bestimmung der Zähigkeit von Flüssigkeiten. Halter *F* (Grundriß).

entsprechend geformtes Metallstück *E*; unten legt es sich seitwärts gegen einen Halter *F*, gegen den es durch ein Gummiband gedrückt wird. Hierdurch wird erreicht, daß es nach dem Herausnehmen sofort wieder in die richtige Lage gebracht werden kann. Von unten her wird es durch ein Stück einer breiten Uhrfeder gehalten, die mit einer Schraube an dem Gestell, das das Ganze trägt, befestigt ist, so daß sie sich zur Seite drehen läßt und ein leichtes Auswechselln des Reagenzglases ermöglicht. Außer dem Prüfglas wird noch ein zweites, weiteres Glas gebraucht. Man wählt es so weit, daß das Reagenzglas gerade hineinpaßt. Da man es nicht, wie das Prüfglas, zu erwärmen braucht, kann es aus einem Stück einer passenden Glasröhre hergestellt werden. Unten ist es dann durch einen Korken zu verschließen. Für dieses zweite Rohr ist natürlich auch ein passendes Führungsstück *B* anzufertigen. Der Halter *F* wird am besten so eingestellt, daß er für das weitere Rohr richtig steht; wenn man dann das Reagenzglas beim Einsetzen mit einem Stückchen des gleichen Glasrohrs

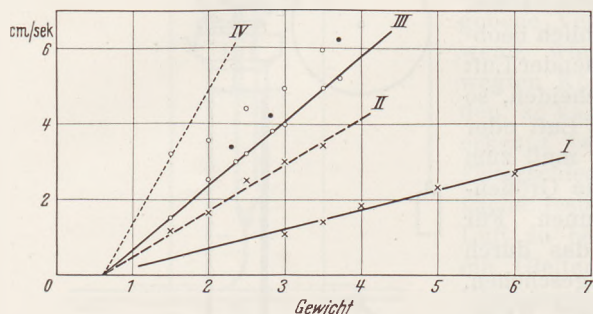


Fig. 4. Übersicht über die Ergebnisse bei Wasser und Zuckerwasser.

den Faden hängt. Nach Durchfallen einer Anlaufstrecke von etwa 80 cm, an deren Ende die Bewegung gleichförmig geworden ist, wird die Zeit, die das Gewicht zum Durchfallen der Meßstrecke 20 cm gebraucht, abgestoppt. Es ist darauf zu achten, daß der Faden während des Durchfallens dieser Meßstrecke nur in einer Lage auf der Achse liegt.

In der Fig. 4 sind die Ergebnisse einer Meßreihe dargestellt. Als Abszisse ist dort das angehängte Gewicht, als Ordinate die Geschwindigkeit auf der Meßstrecke eingetragen. Die durch Kreuze bezeichneten Meßpunkte wurden bei einer Füllung mit etwa 30%-iger Zuckerlösung erhalten, und zwar die Werte auf der ausgezogenen Geraden *I* bei dem engen Rohr, die auf der gestrichelten Geraden *II* bei dem weiten Rohr. Als Gewichte wurden Skripturenklammern verwendet, die unter sich im Gewicht recht gut übereinstimmten (0,53 g). Man sieht, daß die Meßwerte ziemlich genau auf einer Geraden liegen, d. h. die durch die innere Reibung hervorgerufene Kraft ist proportional der Geschwindigkeit. Die Geraden gehen allerdings nicht durch den Nullpunkt, da zum Überwinden der Lagerreibung, die für alle Geschwindigkeiten gleich groß ist, eine gewisse Kraft gebraucht wird.

Nach Füllung mit Wasser ergibt sich dasselbe Bild (Kreise bei *III* und *IV*). Bei dem engen Rohre sind die Geschwindigkeiten wieder proportional der wirkenden Kraft (ausgezogene Gerade *III*). Für das weite Rohr zeigen sich erhebliche Abweichungen. Nach dem ersten Meßwert (bei $1\frac{1}{2}$ Klammern) sollte man erwarten, daß die folgenden Meßwerte auf der punktierten Geraden liegen. Sie bleiben sämtlich erheblich darunter. Der Grund hierfür ist, daß die Anlaufstrecke noch nicht lang genug war, um eine gleichmäßige Bewegung zu erreichen. Durch besondere Zeichen (●) sind noch einige Meßpunkte angegeben, die mit warmem Wasser bei dem engen Rohr erhalten wurden. Man kann hierzu das Reagenzglas nach Ausführung eines Versuches mit kaltem Wasser unmittelbar in der Bunsenflamme erwärmen und wieder einsetzen. Die Geschwindigkeiten sind bei denselben Gewichten größer als bei kaltem Wasser.

umgibt, aus dem das weitere Rohr hergestellt wurde, so sitzt es bei der gleichen Stellung des Halters *F* richtig.

Eine kleine Muffe, die auf die Achse geschraubt ist, verhindert beim Auswechseln der Gläser ein Herausfallen des Metallzylinders. An diese Muffe ist ein Seidenfaden geknüpft, der um die Achse geschlungen wird und über eine leichte Rolle läuft. Durch angehängte Gewichte von 0,5 g bis 4 g setzt er den Zylinder in Drehung. Das Reagenzglas wird mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt und ein Gewicht an

Aus den angegebenen Versuchen läßt sich folgendes schließen: Da die Bewegung auf der Meßstrecke unbeschleunigt erfolgt, ist die Kraft, die durch die innere Reibung erzeugt wird, gleich der Kraft, mit der der Zylinder herumdrehet wird. Diese Kraft ist also proportional der Geschwindigkeit v und umgekehrt proportional dem Abstände d der beiden Flächen. Da aus dem ersten Versuch (von PRZIBRAM) hervorgeht, daß die Geschwindigkeit, die eine Flüssigkeit an der Oberfläche eines festen Körper hat, gleich der Geschwindigkeit dieses Körpers ist, kann man auch sagen, daß die durch innere Reibung erzeugte Kraft proportional ist der Geschwindigkeit, mit der zwei Flüssigkeitsschichten aneinander vorbeiströmen, und umgekehrt proportional dem Abstände dieser Schichten. Daß die Kraft auch von der Größe F der Flächen abhängt, ist aus dem beschriebenen Versuche nicht zu erkennen, läßt sich aber leicht einsehen. Hiernach kann man also für diese Kraft die Formel aufstellen:

$$K = \eta \cdot \frac{F \cdot v}{d}.$$

Der Proportionalitätsfaktor η ist für verschiedene Flüssigkeiten verschieden; für warmes Wasser ist er, wie der Versuch zeigt, kleiner als für kaltes Wasser, für Zuckerwasser ist er größer, und für Glycerin z. B. wird er sehr groß. Es empfiehlt sich, den Versuch auch mit Glycerin auszuführen; es ist sehr lehrreich zu sehen, daß bei dieser im Verhältnis zum Wasser außerordentlich zähen Flüssigkeit dieselben kleinen Gewichte ausreichen, um eine Bewegung hervorzubringen; allerdings wird die Bewegung so langsam, daß sie nur beim genauen Beobachten wahrnehmbar ist. Die Strecke 20 cm wird erst in 5 Minuten durchfallen, wenn 2 Drahtklammern als Gewicht angehängt werden. Es empfiehlt sich nicht, hierfür Öl zu nehmen; die Reinigung ist bei Glycerin sehr einfach, da es in Wasser löslich ist.

Eine Durchrechnung der Meßergebnisse der Fig. 4 lieferte für Wasser: $\eta = 0,023$; für Zuckerwasser: $\eta = 0,07$. Diese Werte geben also die Größenordnung der Zähigkeit recht gut wieder.

Bei dieser Umrechnung ist folgendes zu beachten: Das angehängte Gewicht ist in Dyn zu messen (1 Dyn \approx 1 mg); die Kraft, die am Umfange des Zylinders wirkt, verhält sich zur Zugkraft am Faden wie der Durchmesser der Achse zum Durchmesser des Zylinders; mit dem umgekehrten Verhältnis ist die abgestoppte Geschwindigkeit zu multiplizieren, um die Umfangsgeschwindigkeit des Zylinders zu finden. Bei der angegebenen Meßreihe war der Durchmesser der Achse 2,8 mm, des Zylinders 13,2 mm, die Zylinderfläche 45,5 cm², der Abstand zwischen Zylinder und Wand bei dem engen Rohr 0,075 cm, bei dem weiten 0,135 cm.

Im allgemeinen wird man sich mit dieser rohen Messung zufrieden geben können. Sie ist geeignet, eine Vorstellung vom Wesen der inneren Reibung zu geben und liefert auch ungefähr die Größenordnung der auftretenden Kräfte. Wenn man die Größe von η genauer bestimmen will, so könnte man die Verfahren von POISEUILLE oder STOKES benutzen. Meines Erachtens sind jedoch diese Methoden für die Schule nicht geeignet, da sie zur Auswertung einer zu umfangreichen Rechnung bedürfen und nicht anschaulich genug sind. Ich ziehe das im folgenden beschriebene Verfahren vor, das den Vorteil hat, auch für Luft anwendbar zu sein (dort sogar am einfachsten) und bei dem die in der Definitionsgleichung von η auftretenden Größen unmittelbar gemessen werden. (Vgl. auch diese Z. 50, 7 u. 10; 1937.)

Grundgedanke der Meßanordnung: Ein zylindrischer Messingkörper von 5 cm Durchmesser ist um eine senkrechte Achse drehbar angeordnet (Fig. 5). Am oberen Ende ist er etwa 10 mm tief ausgedreht, so daß ein Rand von 10 mm Breite stehen bleibt. Ihm gegenüber schwebt an einem dünnen Stahldraht ein ähnlicher Körper, der an der Unterseite ebenso bearbeitet ist. Bei der Rotation des unteren Körpers wird der obere durch die innere Reibung der Luft oder der Flüssigkeit, die sich zwischen den Körpern befindet, mitgerissen. Die Fläche, an der die Reibungskraft

angreift, ist hierbei der vorstehende Rand von 1 cm Breite. Die Größe des Drehmomentes, das auf den oberen Körper übertragen wird, wird durch den Ausschlag eines Lichtzeigers gemessen. Hierzu ist mit einem Streifen Aluminiumblech ein kleiner Spiegel an dem oberen Körper befestigt.

Für die Ausführung des Versuches seien noch folgende Einzelheiten angegeben. Der untere Körper wird direkt auf die Achse eines Elektromotors gesetzt, dessen Drehzahl in den Grenzen von etwa 10 bis 40 Umdrehungen in der Sekunde veränderlich ist. Steht ein solcher nicht zur Verfügung, so setzt man den Körper auf ein Kugellager, das mit einer oder mehreren Schnurscheiben versehen ist. Als recht solides und dabei billiges Kugellager empfiehlt sich die Vorderradnabe eines Fahrrades, deren Achse mit einer Bohrung versehen wird, um den Versuchskörper aufzunehmen. Die Drehzahl wird dadurch bestimmt, daß man die Achse über eine Schnurscheibe mit einem Schneckenradvorgelege verbindet, das aus Teilen eines „Stabil“-Baukastens leicht anzufertigen ist. Man kann dann die auf etwa $\frac{1}{100}$ verminderte Umdrehungszahl des Schneckenrades während des Versuches unmittelbar abstoppen.

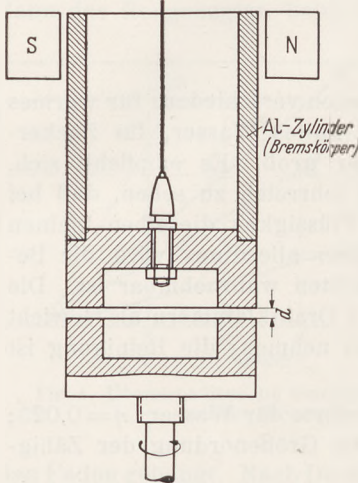


Fig. 5. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Zähigkeit von Luft.

Der obere Körper hängt an einem Stahldraht von $\frac{1}{10}$ mm Dicke und 5 bis 6 cm Länge. Die Befestigung erfolgt unter Verwendung eines Ahlenhalters, wie er für Düsenadeln gebraucht wird. Er ist ein kleines Zweibackenfutter, mit dem auch noch dünnere Drähte gefaßt werden können und kostet in Eisenhandlungen etwa 0,60 bis 0,80 RM. Der Draht ist oben an dem kürzeren Arm eines Hebels befestigt, der um eine waagerechte Achse drehbar ist. Sein längerer Arm ist etwa 15 mal so lang wie der kürzere und dient zum Bestimmen des Abstandes der beiden Körper. Die Befestigung erfolgt durch Festklemmen mit einem Klemmstück. Zur Dämpfung der

Schwingungen und zum schnellen Einstellen beim Versuch ist auf den oberen Körper ein Stück Aluminiumrohr von etwa 6 cm Länge und 5 cm äußerem Durchmesser (Wandstärke 5 mm) gesetzt, das zwischen den Polen eines kräftigen Elektromagneten schwebt. Der Kern des Elektromagneten wurde aus mehreren Bänderisenstreifen gebogen; als Wicklung dient eine Spule von 500 Windungen, die über einen Schenkel geschoben wird (Stromstärke etwa 1,5 A). Messing läßt sich als Bremskörper nicht verwenden, da es durch Verunreinigungen gewöhnlich zu stark magnetisch ist und eine unkontrollierbare Richtkraft im Magnetfeld ergibt, die die Messungen verfälscht. Die Richtkraft des Drahtes läßt sich durch eine Bestimmung der Dauer T einer Torsionsschwingung ermitteln. Da das Trägheitsmoment J des Körpers durch Rechnung leicht zu bestimmen ist, ergibt sich aus der Formel für die Schwingungsdauer eines

Torsionspendels $T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{D_0}}$ das Drehmoment D_0 für den Winkel 1° ($57,3^\circ$) zu

$D_0 = \frac{4\pi^2 J}{T^2}$; für 1° Ausschlag des Torsionspendels erhält man also als Kraft, die an der Ringfläche angreift (mittlerer Hebelarm 2 cm): $K = \frac{4\pi^2 J}{T^2 \cdot 57,3 \cdot 2}$ Dyn. Einem

Ausschlage des Lichtzeigers um 1 cm bei dem Skalenabstand 1 m entspricht daher die Kraft $\frac{4\pi^2 J}{T^2 \cdot 2 \cdot 57,3 \cdot 3,5}$ Dyn.

Die Größe der Fläche, an der die Kraft angreift, ist $4\pi r^2$, die mittlere Geschwindigkeit bei n Umdrehungen in der Sekunde: $v = 4\pi n$ cm/s. Bei einem Ausschlage des Lichtzeigers von a cm (Skalenabstand 1 m) ist daher:

$$\eta = \frac{K \cdot d}{F \cdot v} = \frac{a \cdot 4\pi^2 \cdot J \cdot d}{T^2 \cdot 2 \cdot 57,3 \cdot 3,5 \cdot 4\pi \cdot 4\pi n} = \frac{a \cdot d}{n} \cdot \frac{k'}{T^2} = \frac{a \cdot d}{n} \cdot k.$$

Die Größe k' ist eine Konstante, die für ein Gerät ein für allemal bestimmt werden kann. Vor der Messung ist T zu bestimmen, und man errechnet dann k für die gerade vorliegende Drahtlänge. Bei der eigentlichen Messung sind nur die Größen n , a und d zu messen. Alle drei Größen lassen sich schnell meßbar verändern, und eine solche Meßreihe kann zur Bestätigung des benutzten Gesetzes verwendet werden. Man kann natürlich auch einen solchen Meßsatz zur Aufstellung dieser Gleichung benutzen. Der Wert von η ergibt sich aus der Messung mit einer Genauigkeit von etwa 10%; die Meßgenauigkeit ist bei meinem Gerät bedingt durch den Genauigkeitsgrad, mit dem der Abstand d der beiden Körper voneinander bestimmt wird.

In der gleichen Art kann das Gerät zur Messung der Zähigkeit einer Flüssigkeit benutzt werden. Hierzu muß der untere Körper mit einer zylindrischen Blechbüchse umgeben werden. Diese besitzt in der Mitte ihres Bodens eine Öffnung, durch die der Stiel mit dem Gewindeansatz hindurchgeht. Nachdem innen auf den Boden der Blechbüchse ein Gummiring gelegt ist, wird sie durch eine Schraubenmutter fest gegen den Unterteil des Apparates gepreßt und mit der Flüssigkeit gefüllt. Um eine Verfälschung der Messung durch die rotierende Flüssigkeit, die die Seitenwandung des oberen Körpers umspült, zu vermeiden, wird von außen her ein Blechring in die Flüssigkeit gesteckt, der den oberen Körper in etwa 2 mm Abstand umgibt, so daß die Flüssigkeit zwischen dem Ring und dem Körper in Ruhe bleibt.

Zu beachten ist bei der Messung, daß die Geschwindigkeit nicht zu groß sein darf; bei einer REYNOLDSSchen Zahl von etwa 1800 wird die Strömung zwischen den Körpern turbulent. Wenn d in Zentimetern und v in cm/sec gemessen wird, so soll also $v \cdot d$ für Luft kleiner als etwa 200 sein. Bei Wasser ist die Geschwindigkeit, mit der der Körper rotieren muß, etwa $\frac{1}{80}$ von der in der Luft, wenn der Ausschlag ungefähr dieselbe Größe haben soll. Das Auftreten von Turbulenz ist hier kaum zu befürchten.

Bei vorsichtigem Arbeiten läßt sich der Punkt, an dem Turbulenz eintritt, ganz deutlich beobachten. Man muß hierzu den Zylinder bei kleinem Abstände d recht schnell rotieren lassen. Wenn jetzt der Abstand vergrößert wird, so verringert sich die Größe des Ausschlages des Lichtzeigers, wie ja zu erwarten ist. Beim Überschreiten eines bestimmten Wertes jedoch wird der Ausschlag plötzlich wieder größer: der Widerstand der turbulenten Strömung ist größer als der der laminaren. Bei noch weiterem Vergrößern des Abstandes geht dann der Ausschlag sehr schnell zurück.

Herstellung eines Interferenzspektroskopes nach Pérot-Fabry aus Spiegelglasplatten.

Von Peter Brauer, Gerhard Löschner und Haakon Harbek in München.

E. RÜCHARDT¹ beschrieb kürzlich einfach herstellbare Interferenzspektroskope aus Glimmer. Daß man mit verhältnismäßig geringem Aufwand an Mitteln und Mühe hochauflösende PÉROT-FABRY-Interferometer aus gewöhnlichem Spiegelglas (Schaufensterglas) herstellen kann², ist vielleicht von Interesse und soll deshalb im folgenden gezeigt werden³.

1. Auswahl der Platten.

Im Handel erhältliche Spiegelglasplatten sind stellenweise in hohem Grade eben, nicht aber in der für ein Interferometer nach PÉROT-FABRY nötigen Weise planparallel. Sie sind deshalb geeignet für ein Interferometer, welches aus zwei einseitig halbdurchlässig versilberten Glasplatten besteht, die durch einen geeigneten Zwischenring

¹ Diese Z. 51, 222 (1938).

² Wie uns Herr Prof. Dr. v. ANGERER freundlicherweise mitteilte, ist dies schon von P. P. KOCH ausgeführt worden.

³ Durchgeführt im Rahmen eines Fortgeschrittenenpraktikums im Physikalischen Inst. der Techn. Hochschule Dresden.

in zueinander planparallele Stellung gebracht werden. Die Auswahl eines ebenen Gebiets aus einer größeren Spiegelglasplatte geschah mit Hilfe NEWTONScher Interferenzfiguren. Die ausgesuchten Stellen wurden in geeigneter Form herausgeschnitten und versilbert.

2. Die Versilberung der Spiegelglasplatten.

Die Platten wurden durch Aufdampfen von Silber im Hochvakuum halbdurchlässig verspiegelt. Wegen seiner guten Vakuumeigenschaften wurde vakuumgeschmolzenes Silber verwendet. Die Zelle wurde durch Quecksilberdiffusions-, Quecksilberdampfstrahl- und Kapselpumpe evakuiert. Es ist unbedingt notwendig, zur Vermeidung einer Amalgamierung des Silbers die Quecksilberdämpfe durch Kühlfallen vom Rezipienten fernzuhalten. Der Silberniederschlag ist aus folgenden Gründen sehr sorgfältig zu beobachten und zu dosieren: Das Reflexionsvermögen der Silberschichten muß fast 100% (etwa 97 bis 98) betragen, damit die interferierenden Wellen nahezu gleiche Amplitude besitzen, andererseits muß die Silberschicht noch genügend Licht durchlassen, damit die Interferenzen nicht zu lichtschwach werden. Die Versilberung ist deshalb in dem Zeitpunkt abzubrechen, zu dem die Silberschicht — gegen dunklen Untergrund beobachtet — gerade beginnt, wie ein vollständiger Spiegel zu wirken. Die Güte der Spiegel leidet nicht, wenn man die Versilberung zu früh abbricht, den Spiegel außerhalb des Rezipienten begutachtet und dann weiter versilbert.

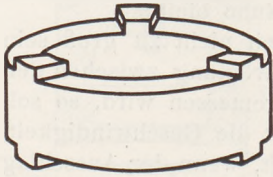


Fig. 1. Zwischenring.

3. Die Herstellung des Zwischenringes.

Die Planparallelität der spiegelnden Ebenen wurde in der üblichen Weise durch einen Zwischenring (Fig. 1) gewahrt. Die von Höcker zu Höcker gemessene Höhe hat bei allen drei Höckerpaaren größenordnungsmäßig auf Lichtwellenlänge genau übereinzustimmen, damit die spiegelnden Ebenen in genau planparallele Lage zueinander gebracht werden können. Diese Übereinstimmung wurde durch sorgfältiges Abschleifen der Höcker und Ausmessen zunächst mit einem Sphärometer, dann im zusammengesetzten Interferometer selbst erreicht. Das Zentrum der Interferenzringe befindet sich nämlich nur dann in der Mitte der Spiegelplatten, wenn diese eine genau planparallele Stellung zueinander einnehmen. Die endgültige Planparallelität wird am fertigen Interferometer durch verschieden starkes Andrücken der Spiegelplatten an die Zwischenringhöcker erreicht.

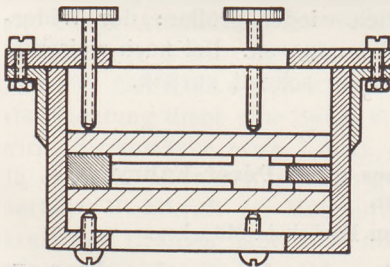


Fig. 2. Interferometer.

4. Das Zusammensetzen des Interferometers.

Die Platten mit Zwischenring wurden in einem Gehäuse aus Messingrohr in der aus Fig. 2 ersichtlichen Weise untergebracht. Die drei oberen Schrauben sind zum verschieden starken Andrücken der Spiegelplatten an die Zwischenringhöcker verstellbar, die drei unteren fest.

5. Handhabung und Einstellen des Interferometers bei Aufnahmen.

Betrachtet man die Interferenzringe des beschriebenen Interferometers durch ein Fernrohr, so findet man zunächst noch nicht die in den Fig. 4, 5, 6, 7 gezeigte Schärfe der Fransen. Erst wenn man mit einer kreisförmigen Blende von etwa 5 mm Durchmesser die Fläche des Interferometers absucht, findet man Gebiete, die große Schärfe und damit hohes Auflösungsvermögen zeigen. Der Grund hierfür ist in kleinsten, mit den beim Aussuchen der Platten verwendeten Mitteln nicht feststellbaren Unebenheiten zu suchen. Man blendet den besten Teil des Interferometers mit einer festen Blende aus. Die endgültige Scharfeinstellung der durch den ausgeblendeten Teil des

Interferometers erzeugten Ringe kann durch Verstellen der Stellschrauben erreicht werden.

Die Maße des Interferometers waren folgende:

- Plattenabstand 3,6522 mm
- Durchmesser einer Platte . . . 40 mm
- Dicke einer Platte 4 "
- Durchmesser der Blende 5 "

Die verwendete Lichtquelle.

Als Lichtquelle¹ wurde wegen der Schärfe ihrer Linien eine mit Argon gefüllte Quecksilberlampe von der in Fig. 3 gezeigten Form benutzt. Zur Herstellung der Lampe wurde das Gehäuse nach Einfüllung einiger Gramm Quecksilber in die senkrechten Schenkel evakuiert und aus einem vorher angeschlossenen Ballon mit Argon gefüllt. Dieses wurde dann bei brennender Lampe so lange abgepumpt, bis die leuchtende Säule

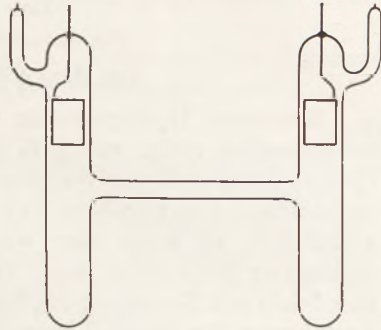


Fig. 3. Quecksilberlampe.



Fig. 4.



Fig. 5.



Fig. 6.



Fig. 7.

Fig. 4. Blaue Quecksilberlinie. $\lambda = 435,8 \text{ m}\mu$. Belichtungszeit 60 Sek. b. $\frac{18}{10}$ DIN; etwa 2fache Vergr.

Fig. 5. Grüne Quecksilberlinie. $\lambda = 546,1 \text{ m}\mu$. Belichtungszeit 300 Sek. b. $\frac{18}{10}$ DIN; etwa 2fache Vergr.

Fig. 6. Grüne Quecksilberlinie. Vergrößerung doppelt so lang belichtet wie Fig. 5; etwa 2fache Vergr.

Fig. 7. Blaue Quecksilberlinie. $\lambda = 435,8 \text{ m}\mu$. Belichtungszeit 1 Sek. b. $\frac{18}{10}$ DIN.

eben begann, schwache Unterteilungen aufzuweisen. Bei solchem ein Brennen der Lampe gerade noch zulassenden Druck wurde diese von der Vakuumanlage abgeschmolzt. Bei Aufnahmen wurde die Lampe längs anvisiert; ihre Betriebsdaten waren etwa $U = 600 \text{ Volt}$, $I = 100 \text{ mA}$. Sie wurde mit Wechselstrom betrieben.

Die Fig. 4, 5, 6, 7 zeigen mit dieser Lampe und dem beschriebenen Interferometer unter Verwendung von Zeiß-Monochromatfiltern angefertigte Aufnahmen.

Physikalisches Inst. der Techn. Hochschule München.

¹ Herrn Dr. P. GÖRLICH (Zeiß-Ikon) danken wir für Ratschläge bei der Auswahl einer geeigneten Lampe.

Der Spannungsmultiplikator.

Ein einfaches Gerät für Vorlesung und Forschung.

Von Hans Küstner und Hermann Hase in Göttingen.

Konstante Hochspannung bei geringer Stromentnahme ist für viele Versuche unumgänglich nötig, wie z. B. bei Ionisationsmessungen an Röntgenstrahlen oder bei Untersuchung radioaktiver Strahlungen. Dabei ist es oft erforderlich, für jede Einzelbeobachtung eine gegebene Kapazität schnell und bequem auf genau dieselbe Spannung aufzuladen; es kann aber auch die Aufrechterhaltung einer Spannung von ganz bestimmter Höhe nötig sein. Handelt es sich nur um einige Hundert Volt, so kommt man leicht mit Hochspannungsbatterien aus; Pertrix-Taschenlampenbatterien (schwarze Ausführung für lange Lebensdauer bei geringer Stromentnahme) haben sich dabei sehr bewährt. Beträgt die erforderliche Spannungshöhe aber einige Tausend Volt,

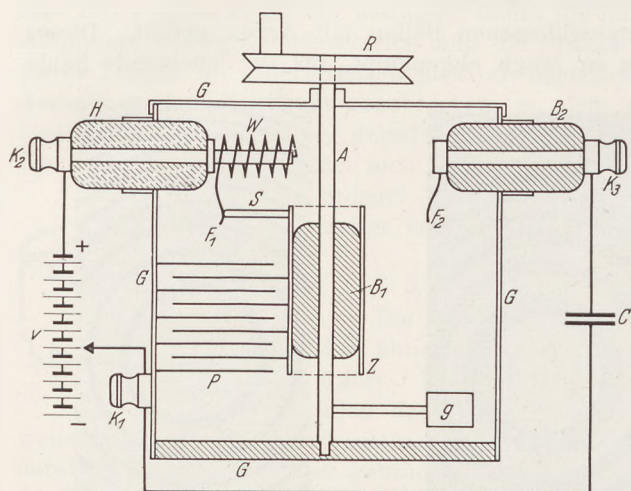


Fig. 1. Einrichtung des Spannungsmultiplikators.

so werden die auch alsdann bewährten Batterien vielfach zu umfangreich, zu schwer transportabel und zu kostspielig; überdies ist ihre Benutzung nicht ungefährlich. Diese Nachteile vermeidet ein Spannungsmultiplikator, dessen Konstruktion der eine von uns (K) angegeben hat, und der sich im Laufe der Jahre so vorzüglich bewährt hat, daß er im folgenden beschrieben werden möge. Ein zylindrisches Messinggehäuse G von 12,5 cm \varnothing und 8,3 cm Höhe (Fig. 1) enthält einen Drehkondensator. Die Platten P bestehen aus Kreissektoren von 120°. Fünf solcher Platten sind in einem gegenseitigen Abstände von 5 mm am Gehäuse angebracht. Vier entsprechende Platten sind an den Messingzylinder Z von 2 cm \varnothing gelötet. Dieser wird von einem Bernsteinisolator B_1 getragen, der auf eine Achse A geschraubt ist. Durch Hand- oder Motorantrieb mit Hilfe der Schnurlaufrolle R lassen sich die beweglichen Platten zwischen die festen Platten P bringen, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist, oder nach der entgegengesetzten Seite herausdrehen. Ein an der Achse A befestigtes Gegengewicht g sorgt dafür, daß auch bei schneller Umdrehung störendes Schleudern vermieden wird. Die an einer Taschenlampenbatterie abgreifbare Spannung v kann nun mit ihrem einen Pol über die Klemme K_1 dem Gehäuse G zugeführt werden. Der andere Pol wird an die Klemme K_2 gelegt, die mit Hilfe des Hartgummiisolators H an G befestigt ist. Über einen Schutzwiderstand W von einigen Tausend Ohm wird die Spannung an die schwache Feder F_1 weitergeleitet. Diese berührt gerade dann, wenn sich die drehbaren Platten genau zwischen den festen Platten P befinden, den Messingstift S , der ebenfalls an Z sitzt, wodurch sich der Kondensator auf die Spannung v auflädt. Sind nun nach einer halben Umdrehung die beweglichen Platten in die gegenüberliegende Stellung gelangt und damit am weitesten von den festen Platten P entfernt, so sind die Kraftlinien ausgezogen; die Spannung des beweglichen Systems ist auf ein Vielfaches angestiegen und wird nunmehr durch Kontakt zwischen dem Stifte S und der Feder F_2 an die Klemme K_3 gelegt, die durch den Bernstein B_2 vom Gehäuse G getragen wird. Verbindet man die Klemmen K_1 und K_3 mit den Belägen eines Kondensators C , so läßt sich dieser durch wiederholtes Drehen der Achse A auf eine Spannung V aufladen, die ein

so werden die auch alsdann bewährten Batterien vielfach zu umfangreich, zu schwer transportabel und zu kostspielig; überdies ist ihre Benutzung nicht ungefährlich.

Diese Nachteile vermeidet ein Spannungsmultiplikator, dessen Konstruktion der eine von uns (K) angegeben hat, und der sich im Laufe der Jahre so vorzüglich bewährt hat, daß er im folgenden beschrieben werden möge.

Ein zylindrisches Messinggehäuse G von 12,5 cm \varnothing und 8,3 cm Höhe (Fig. 1) enthält einen Drehkondensator. Die Platten P bestehen aus Kreissektoren von 120°. Fünf solcher Platten sind in einem gegenseitigen Abstände von 5 mm

Vielfaches der Batteriespannung v ist. Für diesen Vorgang gilt folgende Überlegung:

Besitzt der Drehkondensator in derjenigen Stellung, in der sich der Stift S gerade von der Feder F_1 trennt, die Kapazität c_1 , so hat das Drehsystem die Ladung

$$Q = c_1 \cdot v \tag{1}$$

aufgenommen. Ist der Kondensator in die gegenüberliegende Stellung gedreht, so fließt ein Bruchteil p der Ladung auf den Kondensator ab, der an den Klemmen K_1 und K_3 liegt. Die Gesamtkapazität dieses Kondensators, seiner Leitungen sowie aller sonst noch mit ihm verbundenen Geräte sei C . Ist nun die Kapazität des Drehkondensators in jener Stellung, in der sich der Stift S gerade von der Feder F_2 löst, gleich c_2 , so ist der Bruchteil p der Ladung Q , die auf C verbleibt,

$$p = \frac{C}{c_2 + C} < 1; \tag{2}$$

nach der ersten Umdrehung befindet sich also auf C die Ladung

$$Q_1 = p \cdot Q. \tag{3}$$

Bei der nächsten Umdrehung empfängt das drehbare System wiederum die Ladung Q ; und nach der Kontaktgabe an F_2 bleibt dann auf C die Ladung

$$Q_2 = (Q + Q_1) \cdot p = Q \cdot p \cdot (1 + p). \tag{4}$$

Nach der dritten Umdrehung bleibt auf C die Ladung

$$Q = (Q + Q_2) \cdot p = Q \cdot p \cdot (1 + p + p^2), \tag{5}$$

und nach der n^{ten} Umdrehung die Ladung

$$Q_n = (Q + Q_{n-1}) \cdot p = Q \cdot p \cdot (1 + p + p^2 + \dots + p^{n-1}). \tag{6}$$

Nach unendlich vielen Umdrehungen besitzt C die Ladung

$$Q_\infty = Q \cdot p \cdot (1 + p + p^2 + p^3 + \dots) = Q \cdot \frac{p}{1 - p}, \tag{7}$$

da $1/(1 - p)$ der Grenzwert der unendlichen Reihe in der Klammer ist.

Die Spannung V_∞ von C ist dann

$$V_\infty = \frac{Q_\infty}{C}. \tag{8}$$

Setzt man hierin (7), (2) und (1) ein, so kürzt sich C heraus und man erhält

$$V_\infty = v \cdot \frac{c_1}{c_2}. \tag{9}$$

Das Ergebnis besagt: die Spannung V_∞ , auf die sich nach sehr vielen Umdrehungen der angeschlossene Kondensator samt seinen Leitungen und Zusatzgeräten auflädt, ist unabhängig von der Gesamtkapazität immer dieselbe, und zwar das c_1/c_2 -fache der Batteriespannung v .

Bei dem von den Verfassern benutzten Multiplikator war $c_1/c_2 = 7,5$.

Ist C klein gegen c_2 , so ist p nach (2) ein kleiner Bruchteil von 1; die Reihe in (7) ist dann sehr gut konvergent, und V_∞ wird dann schon nach einigen wenigen Umdrehungen praktisch erreicht sein. Ist aber C groß gegen c_2 , so liegt p nach (2) nur wenig unter 1; die Reihe in (7) konvergiert dann schlecht, und zur Aufladung von C sind viele Umdrehungen nötig.

Kommt es nicht darauf an, die höchstmögliche Endspannung V_∞ zu erreichen, sondern ist es bequemer, nur die geringe Zahl n von Umdrehungen (z. B. mit der Hand) auszuführen, um eine Endspannung V_n zu erhalten, so ist diese vermöge (6), (2) und (1) gleich

$$V_n = v \cdot \frac{c_1}{c_2 + C} \cdot (1 + p + p^2 + \dots + p^{n-1}). \tag{10}$$

Für dieselbe Zahl n von Umdrehungen hat also V_n immer wieder denselben Wert; dieser ist dann freilich außer von den Kapazitäten c_1 und c_2 auch von C abhängig.

Es empfiehlt sich daher auch, nach der n^{ten} Umdrehung das System immer wieder in genau derselben Stellung anzuhalten, am besten so, daß die Platten ineinander gestellt sind.

Es möge nun als Beispiel für viele Anwendungsmöglichkeiten eine Anordnung zur Zählung von Alpha- oder Beta-Teilchen mit dem Spitzenzähler beschrieben werden.

Es wurde gemäß Fig. 2 eine Batterie aus Pertrix-Taschenlampen-Batterien, die bis zu 350 Volt zu benutzen erlaubte, an die Klemmen K_1 und K_2 angeschlossen. Als Kondensator C wurde an K_1 und K_3 ein Minos-Plattenverdichter von SCHOTT und Genossen mit hochisolierten Klemmen (Type $5 \times 8 \times 13 \text{ cm}^3$) von 5000 cm gelegt, der sich auch bei allen anderen Versuchen vorzüglich bewährt hat. Der Antrieb des Multiplikators M erfolgte über einen kleinen Motor mit Hilfe eines Gummibandes. Über einen Schutzwiderstand S von etwa 10^5 Ohm wurde die positive Spannung dem Spitzenzähler Z zugeführt, dessen Spitze in bekannter Weise über einen hochohmigen Widerstand R zur Erde abgeleitet war. Ein WULFFSches Einfadenelektrometer E , dessen

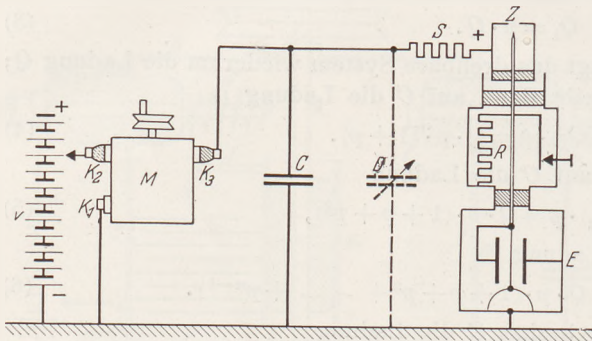


Fig. 2. Anordnung zur Zählung von α - oder β -Teilchen mit dem Spitzenzähler.

eine Schneide mit dem Faden und dessen andere Schneide mit der Erde verbunden war, lag parallel zu R und ließ die Entladungsstöße durch die Alpha- und Beta-Teilchen in bekannter Weise durch Zuckungen beobachten. Die Empfindlichkeit des Spitzenzählers ist am größten, wenn die Spannung gerade unter derjenigen liegt, bei der die Selbstentladung einsetzt, und die sich auch in Abwesenheit des radioaktiven Präparates durch Zucken des Elektrometerfadens ver-

rät. Es ist nicht schwer, durch Abgreifen an der Pertrix-Batterie diejenige Spannung v zu finden, für die die zugehörige Spannung V_{∞} des Spitzenzählers gerade dieser Bedingung genügt und Dauerbetrieb der Anordnung zuläßt.

Soll die Anordnung nur kurze Zeit, etwa nur einige Minuten, zu Vorführungszwecken dienen, so hat es sich bewährt, parallel zum SCHOTTschen Minos-Plattenverdichter C noch einen mit Bernstein isolierten Drehkondensator D zu legen, den man zunächst auf seine höchste Kapazität einstellt. Wählt man dann v aufs Geratewohl höher als nötig, so genügen wenige Umdrehungen des Multiplikators M , um die Spannung am Spitzenzähler bis zum Einsetzen der Selbstentladung zu steigern. Man hält dann den Multiplikator an und wartet, bis sich der Spitzenzähler von selbst so weit entladen hat, daß der Faden des Elektrometers ruhig steht. Dann kann mit dem Zählversuche begonnen werden, und das geht sehr schnell. Das allmähliche Absinken der Spannung am Spitzenzähler durch die Entladungsstöße (oder auch durch Isolationsmangel) kann man dann auf längere Zeit dadurch kompensieren, daß man die Kapazität des Drehkondensators mehr und mehr verkleinert.

Schließlich sei erwähnt, daß sich der Multiplikator in Verbindung mit einer Pertrix-Batterie und dem genannten Minos-Plattenverdichter von SCHOTT mit Hochisolation der Klemmen zur Erzeugung einer Sättigungsspannung auch bei wochen- und monatelangen Dauerregistrierungen vorzüglich bewährt hat.

Untersuchungen mit dem Kolbenprobergerät¹.

Von Max Schmidt in Hamburg.

IV. Gasreaktionen ohne Zündung, Dissoziationen und Synthesen.

Von denjenigen Reaktionen zwischen Gasen, welche ohne Zündung eintreten, ist die Vereinigung von Ammoniakgas und Chlorwasserstoff bereits in der Arbeit von L. DOERMER¹ beschrieben worden. Es ist also nicht nötig, darauf zurückzukommen. Ferner sehe ich im allgemeinen ab von einer genauen Beschreibung derjenigen chemischen Reaktionen, welche in der Literatur gemeinhin als gasvolumetrische den gasanalytischen gegenübergestellt werden. Es handelt sich hier um Reaktionen unter Beteiligung bestimmter Gewichtsmengen von festen Stoffen, bei welchen außerdem auch die Raummenge gasförmiger Reaktionsprodukte gemessen wird. Von Versuchen, welche im Unterrichte von Bedeutung sind, würden hierzu etwa gehören die Zersetzung von HgO, BaO₂, von Karbonaten, Nitraten, Chloraten usw., die Wertbestimmung von Calciumkarbid, die Bestimmung des Äquivalentgewichts von Metallen durch Lösen abgewogener Mengen in Säure und anderes mehr. Wer mit dem Kolbenprobergerät arbeitet, wird zum Auffangen und Messen entstandener Gase sehr bald vorwiegend dieses benutzen, weil seine Verwendung gegenüber derjenigen einer Bürette bequemer ist und Zeitersparnis bedeutet, abgesehen von dem methodischen Grunde, daß die Versuchsanordnung für den Schüler übersichtlicher ist. Da experimentelle Schwierigkeiten nicht vorhanden sind, soll also von einer genauen Beschreibung derartiger Versuche und von der Mitteilung von Versuchsergebnissen im allgemeinen abgesehen werden. Hingegen finden sich unter den eigentlichen Gasreaktionen noch zahlreiche für den Unterricht erwünschte, die mit unserem Gerät schnell und sicher ausgeführt werden können. Diese sollen im folgenden beschrieben werden, weil bei ihrer Ausführung manche Umstände beachtet werden müssen, um Fehlresultate zu vermeiden.

1. Einwirkung von Chlor auf Wasserstoffverbindungen.

a) Ammoniak und Chlor. Es ist dies eine außerordentlich interessante Reaktion, weil bei ihr das Gasvolumen auf den 11. Teil zurückgeht. Sie verläuft der Gleichung $8 \text{NH}_3 + 3 \text{Cl}_2 = 6 \text{NH}_4\text{Cl} + \text{N}_2$ entsprechend und dürfte als Bestätigung der Formel NH₃ im Unterrichte von Bedeutung sein, wenn es auch selbstverständlich nicht unter allen Verhältnissen möglich oder unbedingt nötig sein wird, sie zu bringen. RISCHBIETH² stellt den Versuch bekanntlich durch Einwirkung von Ammoniakflüssigkeit auf eine in einer trockenen Gasbürette abgemessene Chlormenge an. Demgegenüber dürfte die mengenmäßige Bestimmung beider aufeinander einwirkenden Gase in methodischer Hinsicht den Vorzug verdienen, weil bei der HOFMANN-RISCHBIETHSchen Ausführung nicht zu ermitteln ist, wieviel NH₃ an der Reaktion teil hat. Für diesen und die folgenden Versuche benutzt man am besten zwei kleine Kolbenprober (50 ccm), die nicht geschmiert werden und sehr leicht beweglich sein müssen, dazu das übliche Holzstativ, die Verbindungskapillare mit Seitenrohren und Dreivegehähnen. Selbstverständlich sind aber auch Kolben mit 100 ccm Inhalt verwendbar. An einem der Seitenrohre schließt man den Füllhahn an [diese Z. 50, 194 (1937)] und füllt durch Entwicklung im Probierringlase den einen Kolben, wie beschrieben, mit etwa 30 bis 40 ccm Ammoniakgas (50, 196), den anderen mit 9 ccm Chlor (aus Salzsäure mit Braunstein). Ein Druckmesser ist nicht erforderlich. Nach der Ablesung drückt man das Chlor langsam und gleichmäßig in das Ammoniakgas hinein (nicht umgekehrt). Die Einwirkung erfolgt bei starker NH₄Cl-Bildung unter Flammerscheinung und starker Volumenkontraktion.

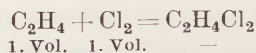
¹ L. DOERMER: Vgl. diese Z. 49, 247 (1936); M. SCHMIDT: 50, 188 (1937); 51, 197 und 239 (1938).

² P. RISCHBIETH: Quantitative chemische Versuche. 2. Aufl. Hamburg 1938.

Es empfiehlt sich, vor Wiederholung des Versuches zuerst die Röhren und Kolben von dem abgesetzten Salze zu reinigen.

Ergebnisse:			
NH ₃	Cl ₂	Volumen nach Reaktion	
		gefunden	berechnet
40	9	19	19
30	9	9	9
40	6	25,4	26
60	9	39	39
50	9	29	29
52	9	31	31

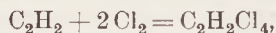
b) Chlor und Äthylen bzw. Azetylen. Diese Versuche haben besondere Wichtigkeit zum Nachweise der Doppel- bzw. Dreifachbindung. Soweit hierfür Anweisungen vorliegen (RISCHBIETH; KINTTOF¹), arbeitet man mit Brom. RISCHEBIETH bestimmt das Gewicht des entstandenen Bromids nach Einwirkung von Brom auf C₂H₄ oder C₂H₂ in der Gasbürette. Die angeführten Ergebnisse sind nicht gut, was verständlich erscheint, weil es unmöglich ist, das gebildete Bromid aus der Bürette vollständig in ein Wägegläschen zu bringen. Die Ergebnisse von KINTTOF, der mit abgewogener Brommenge und Azetylenüberschuß arbeitet und MÜLLERSche Gasmeßglocken verwendet, sind besser, da er die umgesetzte Gasmenge dem Volumen nach bestimmen kann. Mit dem Kolbenprobergerät gehört die Chlorierung von Äthylen zu den einfachsten und bequemsten Versuchen. Wiederum genügen zwei Kolben zu 50 ccm Inhalt (ohne Schmierung) nebst Verbindungsrohr mit zwei Seitenrohren. Eine Pipette mit KOH ist notwendig zur Reinigung des aus Alkohol mit Schwefelsäure (s. oben 50, 197) entwickelten Äthylens. Man nimmt 10 bis 20 ccm Chlor und einen Überschuß (20 bis 30 ccm) Äthylen und drückt das Chlor langsam in das Äthylen hinein. Sofort vermindert sich das Volumen, allmählich geht der Kolben, meist ruckweise, hinein und die Ausscheidung des öligen Äthylenchlorids ist gut zu beobachten. Nach einigen Minuten ist die Reaktion beendet. Außer dem Chlor ist das gleiche Volumen Äthylen zur Bildung der flüssigen Verbindung verbraucht worden. Den Äthylenrest kann man herausdrücken und anzünden, das Äthylenchlorid durch den Geruch bestätigen. Der Versuch verläuft fast immer genau der Gleichung entsprechend:



Etwas weniger glatt, aber recht interessant, verläuft die entsprechende Reaktion mit Azetylen. Als Demonstrationsversuch ist sie, schon wegen der längeren Zeitdauer, nicht zu empfehlen. Man darf in diesem Falle nicht das gesamte Chlor auf einmal mit dem Azetylen mischen. In diesem Fall erfolgt unter Flammenbildung meist starke Kohlenstoffausscheidung, so daß die Reaktion offenbar vorwiegend nach der Gleichung:



verläuft. Infolge der Verpuffung fliegt dann meistens der Kolben heraus. Um Bruch zu vermeiden, stellt man in solchem Fall am besten eine Art Ketscher davor, der auf einem Holzfuß befestigt ist und in den der Kolben hineinfliegt. Es scheint, als wenn die Reaktion zwischen C₂H₂ und Cl₂ weitgehend von der Beleuchtung abhängig ist; in welcher Weise jedoch, ist anscheinend noch nicht bekannt, wie ja überhaupt der Ablauf explosionsartiger Reaktionen, zumal unter Lichtwirkung, erst in neuerer Zeit einigermaßen geklärt ist. Offenbar ist der Verlauf unserer Reaktion weitgehend abhängig von zufälligen Beimengungen und wohl auch von den Mengenverhältnissen. Bei vorsichtigem Mischen verläuft die Reaktion ohne C-Ausscheidung im Sinne der Gleichung:



entsprechend wie bei Äthylen. Am sichersten und schnellsten gelang sie durch langsames Einleiten im Sonnenlicht. Bei schwächerer Beleuchtung dauerte sie erheblich länger als die Äthylenchlorierung, gelegentlich erfolgte auch ohne erkennbaren Anlaß

¹ W. KINTTOF: Lehrbuch der organischen Chemie. Greiz 1931.

plötzlich wieder einmal eine Kohlenstoffausscheidung. Es wäre interessant, die Bedingungen für diese Reaktionen genauer zu erforschen.

2. Weitere Versuche mit Stickstoffverbindungen.

a) Dissoziation von Ammoniak. Dieser Versuch läßt sich auf zweierlei Art durchführen. Entweder bringt man zwischen zwei nicht geschmierten Kolbenprobern mit 50 ccm Inhalt außer dem üblichen Verbindungsrohre mit den nötigen Seitenrohren ein etwa 15 cm langes, 2,5 cm weites Supremaxglasrohr an, dessen Stöpsel eine zweite Bohrung besitzen, durch welche in Glasrohrenden eingekittete Drahtstücke gesteckt werden, oder man nimmt statt dieses weiten Glasrohres ein enges Quarz- oder Jenaer Glasrohr, welches mit Eisenwolle gefüllt ist. In beiden Fällen füllt man nach dem Vorschlage von K. DALLDORF¹ das Zwischenrohr mit getrocknetem Stickstoff², um die lästige Volumenbestimmung des Rohrinhaltes bzw. jeden „toten Raum“ zu vermeiden³. In den einen Kolben füllt man 30 ccm getrocknetes Ammoniakgas (Trocknung durch etwas Natronkalk über Wattebausch im Probierröhrchen). Zwischen den Drähten des weiten Zwischenrohres läßt man etwa 2 cm lange kräftige Induktionsfunken überspringen und leitet das Gas einige Zeit hin und her. Bei der zweiten Methode wird das Rohr mit Eisenwolle ziemlich hoch erhitzt. Das Gleichgewicht zwischen N₂, H₂ und NH₃ liegt so weit zugunsten der elementaren Gase, daß praktisch der Versuch den stöchiometrischen Verlauf nimmt und völlig ausreichende Messungen (Volumenverdoppelung) liefert. Nachträgliches Einleiten in eine Pipette mit Wasser ergibt keine Absorption mehr. Ist das Ammoniakgas nicht gut getrocknet, oder sind geringe Wasserreste im Gerät, so ergibt sich leicht ein zu großes Volumen, weil die in den Wasserresten gelösten geringen NH₃-Mengen, deren Volumen nicht mitgemessen wurde, später an der Reaktion teilnehmen. Ergebnisse mit glühendem Eisen (DALLDORF):

Aus 50 ccm NH ₃ :	98 ccm
„ 40 „ „ :	79 „
„ 30 „ „ :	59 „

Beim zweiten Versuch wurde auf indirektem Wege die Menge des entstandenen Wasserstoffs durch Verbrennung und Messung des dazu erforderlichen Sauerstoffs bestimmt (Verbrennung in der Glühdrahtkugel nach 50, 193).

Gasmenge	79 ccm
O ₂	40 „
<hr/>	
	119 ccm
Nach Verbrennung	30,5 „
Kontraktion	88,5 ccm = 2 H ₂ + 1 O ₂ .

Mithin ist die verbrannte H-Menge $\frac{2}{3} \cdot 88,5 = 59$ ccm, der Rest $79 - 59 = 20$ ccm ist Stickstoff.

$$N_3 : H_2 = 20 : 59 \text{ oder rund } 1 : 3.$$

Reaktionsgleichung: $2NH_3 = N_2 + 3H_2$.

Eigene Ergebnisse mit Fe: Aus 15 ccm NH₃: 30 ccm

„ 15 „ NH₃: 32 „

Durch Funken in 10 Minuten: Aus 50 ccm NH₃: 105 ccm

„ 40 „ NH₃: 82 „

Das Gasgemisch N₂ + 3H₂ kann herausgedrückt und entzündet werden.

¹ K. DALLDORF: Der Kolbenprober, ein neues Unterrichtsgerät. Nicht veröffentlichte Seminararbeit.

² Durch nicht zu starkes Erwärmen einer konzentrierten Lösung von NH₄Cl mit einem Stückchen NaNO₂ erhält man im Probierröhrchen einen gleichmäßigen Stickstoffstrom. Das oft empfohlene Eintropfenlassen ist unnötig. Für manche Versuche muß aber das Gas durch glühendes Kupfer von NO gereinigt werden. Die Trocknung kann durch etwas konzentrierte Schwefelsäure in einem Glaswollebausch erfolgen.

³ Diese ist, sollte sie einmal erforderlich sein, am schnellsten durch Einsaugen von Wasser mit Hilfe eines Kolbenprobers auszuführen.

b) Verbrennung von NH_3 mit CuO ¹: Das Gerät wird wieder wie beim vorigen Versuch aus 2 Kolben, dem Verbindungsrohr und einem weiteren Verbrennungsrohre zusammengesetzt. In das letztere bringt man gepulvertes CuO . Das Rohr wird wieder mit trockenem Stickstoff gefüllt, sowie das getrocknete Ammoniakgas in dem einen Kolben abgemessen. Nach dem Erhitzen des Kupferoxyds wird das Ammoniakgas langsam übergeleitet. Die Reaktion geht unter lebhaftem Aufglühen vor sich. Nach der Reaktionsgleichung $2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} = 3\text{Cu} + \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ müßte das Volumen um die Hälfte des NH_3 -Volumens kleiner werden.

Ergebnisse:

NH_3	40 ccm	50 ccm (DALLDORF)
Kontraktion	21 „	26 „
NH_3	50 „	
Kontraktion	25 „	(SCHMIDT).

Für die Wasserstoffbestimmung im NH_3 -Gas kann man das bei dem Versuch entstandene Kupfer mit einer gemessenen überschüssigen Sauerstoffmenge wieder zu CuO oxydieren. Das Doppelte der verbrauchten O_2 -Menge ist dann der Wasserstoffgehalt des verwendeten NH_3 -Volumens.

Bei dem zuletzt angeführten Versuch wurden verwendet: 80 ccm O_2 .

Volumen nach Reaktion 42,5 ccm (außerdem der Gasrest von 25 ccm N_2); O_2 -Verbrauch $80 - 42,5 = 37,5$ ccm, oxydierte H_2 -Menge 75 ccm, also bestehen 50 ccm Ammoniak aus 25 ccm N_2 und 75 ccm H_2 . Einfachste Formel: 2NH_3 .

Will man diese Wasserstoffbestimmung ausführen, so muß man das Kupferoxyd vor dem Versuch im Sauerstoffstrom ausglühen.

c) NO_2 -Synthese (BIRKELAND-EYDE). Läßt man in dem bei der Dissoziation von NH_3 beschriebenen Supremaxglasrohre zwischen Kupferdrähten in Luft starke Induktionsfunken überschlagen, so erfolgt sehr bald die Bildung von NO_2 , was man an der Volumenkontraktion und an der Braunfärbung erkennen kann. Aus der Kontraktion von 1 Vol. Stickstoff und 2 Vol. Sauerstoff zu 2 Vol. NO_2 ist die entstandene NO_2 -Menge noch nicht zu entnehmen, da z. T. N_2O_4 entsteht. Man leitet also das Gasmisch in eine mit Wasser oder besser KOH gefüllte Pipette. Es ergibt sich ein erheblicher Prozentsatz an NO_2 . Nach dem Versuche kann man einen Kolben leer machen, darauf mit Stickstoff füllen und mit diesem Stickstoff das Gas aus dem Reaktionsrohre, sowie das aus dem anderen Kolben in eine Phosphorpipette drücken. Man bestimmt so den Sauerstoffrest, hieraus unter Berücksichtigung des Rohrvolumens (S. 199, Anm. 3) den Sauerstoffverbrauch und durch Differenzbildung von Kontraktion und Sauerstoffverbrauch den Verbrauch an Stickstoff, der annähernd die Hälfte ist ($\text{N}_2 + 2\text{O}_2 = 2\text{NO}_2$).

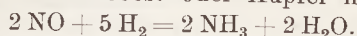
d) Oxydation von Stickoxyd zu Stickstoffdioxyd. Reines Stickoxyd erhält man nach RISCHELIETH mit Quecksilber aus einer Lösung von Natriumnitrit in konzentrierter Schwefelsäure durch vorsichtiges Erwärmen. Beim Zusammenbringen abgemessener Mengen von NO und Sauerstoff ist die Kontraktion größer, als der Gleichung $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ entspricht, weil sich unter 150° teilweise N_2O_4 bildet. Durch Einleiten in eine Pipette mit Wasser oder KOH bringt man das Gas zur Absorption. Ergebnisse (DALLDORF):

NO	41	40	40 ccm
O_2	59	60	60 „
	100	100	100 ccm
Nach Reaktion und Absorption	61	60,7	60,2 ccm
Gasrest	39	39,3	39,8 ccm
Berechnet	38,5	40	40 „

¹ Direkte Verbrennung s. ds. Z. 50, 196.

Durch Eintauchen des Kolbens mit dem braunen Stickstoffdioxid in Eiswasser kann man das Gas unter Verschwinden der braunen Farbe als N_2O_4 zu einer gelblichen Flüssigkeit kondensieren.

e) Reduktion von Stickoxyd zu Ammoniak mit Wasserstoff. Der Vorgang erfolgt über erhitztem Platinasbest oder Kupfer nach der Gleichung:



Das Volumen ist nach Reaktion und Abkühlung regelmäßig zu klein (aus 10 ccm $NO + 35$ ccm H_2 ergab sich ein Gasrest zu 14 ccm statt 20 ccm), weil das entstehende Ammoniakgas sich im Reaktionswasser sowie in geringen, im Geräte befindlichen Wasserresten teilweise schon löst. Man muß also sofort den Gasrest in eine Wasserpipette einleiten.

Ergebnisse:	NO	20	20	20	10 ccm
	H_2	70	80	70	35 „
		90	100	90	45 ccm
Nach Reaktion und					
	Abkühlung	22	33	22,4	14 ccm
	Nach Absorption. . .	19,8	30,1	20	10 „
	Berechnet	20	30	20	10 „

f) Reduktion von N_2O und NO mit glühendem Kupfer. Die Zusammenstellung des Gerätes ist die gleiche. Auch hier füllt man das Reaktionsrohr, welches ein frisch reduziertes Cu -Drahtnetz oder ein Bündel Lametta enthält (wie bei der Luftanalyse), am zweckmäßigsten mit Stickstoff.

Ergebnisse:	NO	54	48 ccm
	N_2	20	20 „
		74	68 ccm
Volumen nach Reaktion			
	und Abkühlung . . .	47,1	44 ccm
	Kontraktion	26,9	24 ccm
	Berechnet	27	24 ccm,



Ähnliche Ergebnisse auch mit N_2O . Bei beiden Versuchen kann man das entstandene Kupferoxyd mit abgemessener Wasserstoffmenge reduzieren, um den Sauerstoffgehalt zu ermitteln.

3. Weitere Versuche mit Kohlenstoffverbindungen.

a) Synthese von Azetylen. Man schaltet das gleiche Rohr aus Supremaxglas, welches schon bei der Dissoziation von Ammoniak beschrieben wurde, zwischen die beiden Kolben, steckt aber durch die zweite Bohrung der Stöpsel statt der Kupferdrähte dieses Mal Bogenlichtkohlen von passender Stärke, die zunächst bis zur losen Berührung genähert werden. Das Rohr und ein kleiner Teil der Kolben wird mit Wasserstoff gefüllt. Soll der Versuch quantitativ gelingen, so muß sorgfältig auf Ausschluß von Wasser in den Röhren und im Wasserstoff geachtet werden, weil sonst infolge Wassergasbildung nach der Gleichung: $C + H_2O = CO + H_2$ das Volumen größer wird. Ist alles sorgfältig getrocknet, so bleibt das Volumen konstant, was besagt, daß das Azetylenmolekül 2 Atome H enthält. Nachdem der Lichtbogen bei mehrfachem Hin- und Herleiten etwa 5 Minuten gebrannt hat, läßt man abkühlen und stellt die Volumengleichheit fest. Hierauf kann man einen Teil des Restgases in den Verbrennungsapparat (50, 193) zur Analyse überleiten und den Rest an einem der Seitenrohre anzünden, um zu zeigen, daß die Flamme mit leuchtender Spitze brennt.

Verbrennt man einen Teil des Gasgemisches, so ermittelt man den CO_2 -Gehalt des Verbrennungsgases durch Einleiten in die Pipette mit KOH und Rücksaugen. Die Hälfte dieser CO_2 -Menge ist das Volumen der entstandenen C_2H_2 -Menge (für den Fall, daß kein CO entstanden war); der Rest war Wasserstoff. Man erhält je nach Dauer und Stärke des Lichtbogens einige Prozent C_2H_2 .

Will man den Versuch nur qualitativ ausführen, so ist es besser, einen Wasserstoffstrom aus der Stahlflasche durch das Rohr mit dem Lichtbogen in einen Bunsenbrenner zu leiten und dort zu entzünden, da man die leuchtende Flammenspitze bald nicht mehr sieht, wenn die Flamme aus einem Glasrohr brennt.

b) Dissoziation von Azetylen. Sie erfolgt im gleichen Gerät, doch bringt man statt der Bogenlichtkohlen, wie bei der oben beschriebenen Dissoziation von NH_3 , in dem weiteren Supremaxglasrohre wieder die in Glasrohrstücke eingekitteten Kupferdrahtstücke an und läßt zwischen ihnen etwa 2 cm bis 4 cm lange starke Induktionsfunken überspringen. Vorher überzeugt man sich beim Einleiten des Azetylens durch Füllung eines Probeglasses am Ausleiterrohr und Abbrennen des Inhalts davon, daß alle Luft verdrängt ist. Auch der eine Kolben wird zum Teil mit Azetylen gefüllt. Beim Überspringen der Funken bildet sich sofort eine leitende Brücke von Kohlenstoff zwischen den Drahtenden, welche man durch Abklopfen des Rohres entfernen kann. Der Kohlenstoff glüht wegen der beim Zerfall frei werdenden Energie lebhaft auf. Nach Beendigung des Versuches und erfolgter Abkühlung ist das Volumen annähernd das gleiche wie zu Beginn.

c) Reduktion von CuO durch CO . Dieser Versuch ist wichtig zur Erläuterung der Reaktionen bei der Metallverhüttung und zeigt gleichzeitig die quantitativen Beziehungen zwischen CO und CO_2 . Das Gerät wird, wie immer, wenn außer Gasen auch feste Substanzen beteiligt sind, aus zwei Kolben, den nötigen Kapillarrohren mit Hähnen und Seitenrohren, angeschlossener KOH -Pipette, Druckmesserrohr und Supremaxglasrohr (30 cm; 1,5 cm Weite) zusammengesetzt. Das (vorher im Sauerstoffstrom ausgeglühte) Kupferoxyd kommt in ein Porzellanschiffchen oder unmittelbar in das Rohr. Das Reaktionsrohr wird mit reinem Stickstoff (S. 199, Anm. 2) gefüllt, das Kohlenoxyd (Entwicklung aus Natriumformiat mit konz. H_2SO_4) in dem einen Kolben abgemessen und nach Erhitzung des CuO mehrfach hin- und hergeleitet.

Nach der Reaktion bleibt das Volumen das gleiche ($\text{CO} = \text{CO}_2$). Die entstandene Kohlendioxydmenge ermittelt man durch Absorption. Hierauf füllt man einen Kolben mit Sauerstoff und führt durch Erhitzen und Überleiten das vorher reduzierte Kupfer wieder in CuO über. Nach Abkühlung kann der hierzu erforderliche Sauerstoffverbrauch ermittelt und somit die Reaktionsgleichung bzw. der relative O-Gehalt des Kohlenoxyds und Kohlendioxyds bestätigt werden. Während der Absorption des Kohlendioxyds ist es meist zweckmäßig, 50 ccm „Füllluft“ in den einen Kolben einzusaugen, weil sonst das Gesamtvolumen des Gasrestes zu gering wird.

Ergebnis:	CO	50 ccm
	N ₂	30 „ (+ Rohrvol.)
		80 ccm
	nach Reaktion	80 „
	nach Absorption . . .	30,7 ccm
	hierzu Füllluft . . .	50 „
		= 80,7 ccm,
	hierzu Sauerstoff . .	30 „
		110,7 ccm.
	Nach Reaktion	85,7 „
	O ₂ -Verbrauch	25 ccm = 1/2 CO-Vol.
	Entstandene CO ₂ -Menge: 80 — 30,7 = 49,3 ccm.	
	$2 \text{CO} + \text{O}_2 = 2 \text{CO}_2$	
	50	25 50 ccm.

4. Versuche mit Schwefelwasserstoff.

Ein verhältnismäßig reines Gas erhält man aus Antimonsulfid (gepulvertem Grauspießglanz) und konzentrierter Salzsäure durch Erhitzen.

a) Als Nachtrag zu meinen Ausführungen über Verbrennungsanalysen von Gasen in 50, 188 seien hier noch die Ergebnisse einer Verbrennung in der Glühdrahtkugel angeführt:

H ₂ S	20	ccm
O ₂	40	„ (dazu der Raum der Kugel)
	60	ccm.

Nach Verbrennung: 28,5 ccm. Das Gas verbrennt mit schöner blauer Flamme.

Kontraktion: 31,5 ccm statt, wie berechnet, 30 ccm. ($2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2$; 20 ccm H₂S verbrauchen 30 ccm O₂ und bilden 20 ccm SO₂; es müßten also übrig bleiben: 20 ccm SO₂ und der Sauerstoffüberschuß im Betrage von 10 ccm, insgesamt: 30 ccm.)

Die zu große Kontraktion rührt jedenfalls von Lösung des Schwefeldioxyds in Wasserresten des Gerätes her. Diesen Fehler kann man durch vorheriges Spülen mit SO₂ vermeiden.

Zur bequemeren Absorption des Schwefeldioxyds in der Kalipipette saugt man in den einen leeren Kolben 50 ccm „Füllluft“ ein.

Gesamtvolumen	78,5	ccm
Nach Absorption	58,7	„
SO ₂	19,8	ccm
$2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2 = 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$		
gemessen	20	31,5
berechnet	20	30
		19,8
		20

Eine Beimengung von Wasserstoff hat keinen Einfluß auf die Höhe der Kontraktion nach der Verbrennung, macht sich aber natürlich bei der Absorption bemerkbar.

b) Versuche mit Schwefelwasserstoff, bei denen Ausscheidung von Schwefel erfolgt ($\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2$; $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2$), lassen sich im Kolbenprobergerät quantitativ gut ausführen. Zu beachten ist nur, daß alle Kolben und Hähne, in denen sich Schwefel abgesetzt hat, möglichst bald gereinigt werden, weil sie sich sonst leicht festsetzen. Am besten legt man sie sofort nach dem Versuch in Wasser, worauf sich am nächsten Tage der Schwefel entfernen läßt. Wegen der häufigen Beimengung von Wasserstoff arbeitet man am besten mit einem möglichst großen Überschuß an Schwefelwasserstoff. Sowohl die Reaktion mit Chlor wie diejenige mit SO₂ geht ziemlich langsam vor sich. Bei der ersteren ist es nötig, das Gerät vor dem Versuche mit HCl-Gas zu sättigen, da sonst das Volumen nicht konstant bleibt ($\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl} + \text{S}$).

Die Beschreibung der Analysen von Gasgemischen wird in einer späteren Arbeit folgen.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Die harte und die weiche Höhenstrahlung¹. Von R. PYRKOSCH in Breslau.

Der bekannte, neuerdings besonders von AUGER und LEPRINCE-RINGUET nebst Mitarbeitern [vgl. diese Z. 49, 223, 224; (1936)] betonte Unterschied zwischen einem harten und weichen Bestandteil der Höhenstrahlung hat immer mehr an Bedeutung gewonnen. Er wurde von AUGER 1935 im Anschluß an Zählrohrmessungen unter einer

Erdschicht von 20 m H₂O-Wert dahin zusammengefaßt (1), daß in jeder Tiefe unter dem Atmosphärenscheitel zwei Arten geladener Höhenstrahlteilchen angetroffen werden, von denen die eine verhältnismäßig leicht absorbiert und als weich bezeichnet wird, während die andere wegen ihrer großen Durchdringungskraft hart heißt. Die Absorptionszahl des weichen Anteils wurde in Pb zu $35 \cdot 10^{-3}$ cm²/gr, in leichten Stoffen wie Luft und Wasser zu $5 \cdot 10^{-3}$ cm²/gr ermittelt. Die weiche Strahlung wird von 6 cm Pb so gut wie ganz verschluckt. Die Absorptionszahl der harten Strahlung nimmt von oben nach unten hin ab, und zwar zwischen 6 und 30 m H₂O-Wert unter dem Luftscheitel von $1 \cdot 10^{-3}$ auf $0,7 \cdot 10^{-3}$ cm²/gr in Luft wie in Wasser und Blei. Die Zahlen stimmten mit

¹Herr Prof. Dr. W. KOLHÖRSTER war so freundlich, die Handschrift einzusehen, und der Verfasser verdankt ihm manchen wertvollen Hinweis. Die vorliegende Darstellung leitet einen Bericht ein, der die Ergebnisse der Höhenstrahlungsforschung in den Jahren 1937 und 1938 umfassen soll.

früher von anderen Forschern gefundenen gut überein und wurden darauf auch durch Zählrohrmessungen von K. MORGAN und W. NIELSEN (2) bestätigt. Die Massenproportionalität der Absorption der harten Strahlung wurde von G. ALOCCO (3), dann auch von J. CLAY gefunden und neuerdings von ihm und Mitarbeitern bestätigt [vgl. diese Z. 52, 29; (1939)], sowie von A. SITTKUS (4). Dieser Unterschied in der Absorption der beiden Strahlungsarten bewirkt, daß das Verhältnis 1,5 der Stärke der harten zu der der weichen Strahlung von 1,5 in 3500 m Höhe auf 15 in 8 m Tiefe unter dem Erdboden ansteigt.

Schon früher (5) hatten Versuche mit der Rossischen Dreikantanordnung von Zählrohren für die Strahlung, welche die gewöhnlichen mit dieser Anordnung untersuchten Schauer auslöst, die Absorptionszahl $35 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{gr}$ für Pb ergeben, und die Stärke dieser Strahlung nahm zwischen dem Jungfrauoch und einem der unterirdischen Versuchsräume in Paris, also in Luft und Erde, der Absorptionszahl $5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{gr}$ entsprechend ab, so daß sie mit der weichen Strahlung gleichbedeutend ist. In den beiden tieferen Pariser Versuchsräumen sind die Schaueruntersuchungen von AUGER und ROSENBERG fortgesetzt worden (6). Es war anzunehmen, daß die Schauer in diesen Tiefen von 30 und 75 m H_2O -Wert unter Atmosphärenscheitel hauptsächlich von der harten Strahlung ausgelöst werden, und in der Tat ergaben sich Unterschiede gegen die gewöhnlichen Schauer. Im besonderen besaß die Rossi-Kurve, welche die Abhängigkeit der Koinzidenzzahl mit der Dreikantanordnung von der Dicke der Pb-Schicht über ihr darstellt, nicht den Gipfel bei 1,6 bis 2 cm Pb-Dicke, sondern wurde mit zunehmender Tiefe flacher und einer Sättigungskurve ähnlicher. Aus diesen Versuchen wird geschlossen, daß die Höhenstrahlung nach Durchsetzung einer Schicht von 30 m H_2O -Wert aus einer einheitlichen Gruppe sehr durchdringender Teilchen besteht, deren Absorption massenproportional ist und die ihre Energie der Hauptsache nach durch Erzeugung von Schauern verlieren, die zum Teil von den gewöhnlichen oberirdischen verschieden sind.

Daß die Absorption der harten Strahlung mit wachsender Tiefe abnimmt, wurde von AUGER und Mitarbeitern (7) auf dem Jungfrauoch, sowie in einem oberirdischen und den beiden unterirdischen Versuchsräumen von Paris auch dadurch festgestellt, daß sie Koinzidenzanordnungen von drei Zählrohren übereinander benutzten und der Achsenebene der Rohre zur Vergrößerung der Schichtdicke verschiedene Neigungen gegen die Senkrechte gaben. Um die weiche Strahlung wegzufiltern, waren zwischen den Rohren 6 cm Pb angebracht. Dabei wurde die Beobachtung von FOLLET und CRAWSHAW [vgl. diese Z. 52, 28; (1939)] bestätigt, daß die Abhängigkeit der Strahlungsstärke vom Zenitwinkel auf verschiedenen Tiefenstufen dieselbe ist. Diese beiden Forscher hatten schon daraus gefolgert, daß die Absorption nicht exponentiell, sondern proportional zu h^{-2} ist, wo h die Tiefe unter Atmosphärenscheitel in m H_2O bedeutet. Dieser Schluß ist durch neuere

Tiefwasser- und Bergwerksmessungen bestätigt worden.

Solche Messungen sind von A. EHMERT (8) mit dem REGENERSCHEN Apparat [vgl. diese Z. 44, 79; (1931)] im Bodensee bis 243 m Tiefe ausgeführt worden. Da die Messungen mit Ionisationskammern von REGENER, KRAMER und WEISCHEDEL [vgl. diese Z. 52, 31; (1939)] so weit gefördert worden waren, als der nicht genau bekannte Restgang der Kammer zuließ, wurde nach dem Vorgange von REGENER (9) und CLAY [vgl. diese Z. 49, 219; (1936)] das Koinzidenzverfahren angewandt. Dabei wurden drei übereinander liegende Paare von Zählrohren benutzt. Die Rohre jedes Paares waren parallel geschaltet und wirkten wie ein Rohr mit größerer Oberfläche, so daß eine Koinzidenz durch gleichzeitige Entladung eines oberen, mittleren und unteren Rohres verursacht wurde. Zur Untersuchung von Schauern wurde je ein Rohr der drei Paare durch Erdung der Wandung ausgeschaltet, so daß die drei übrigen nicht übereinander lagen, sondern eine Dreikantanordnung bildeten. Die Schauer wurden zumeist in dem 2,5 cm starken eisernen Deckel des Kessels ausgelöst, in dem das Meßgerät versenkt wurde, doch auch in dem Wasser über ihm. In einigen Tiefen wurden noch 5 cm Pb zwischen dem mittleren und unteren Rohrpaar angebracht.

Bei den Messungen mit allen 6 Rohren ergab sich zwischen $h = 13$ und 43 m Tiefe, in der die Atmosphäre mit 10 m einbezogen ist, die Zahl der Koinzidenzen proportional zu $h^{-1,56}$ und für größere Tiefen proportional zu $h^{-1,87}$. Daß der dem Exponenten -2 von FOLLET und CRAWSHAW nahestehende Wert $-1,87$ erst bei etwa 45 m Tiefe einsetzt, wird auf einen Übergangseffekt zurückgeführt, der von Sekundärstrahlen herrührt, die im Wasser zahlreicher sind als in Luft. In Wirklichkeit werde also die Absorption der harten Strahlung durch den Exponenten $-1,87$ bestimmt, wodurch ihre Einheitlichkeit zum erstenmal überzeugend dargetan sei.

Ogleich die Genauigkeit bei den Schaueruntersuchungen geringer war, ging doch aus ihnen deutlich hervor, daß die Schauerhäufigkeit mit zunehmender Tiefe weniger stark abnimmt als die senkrechte Strahlungsstärke, während FOLLET und CRAWSHAW Proportionalität zwischen beiden gefunden hatten, ebenso wie AUGER und Mitarbeiter, CLAY und CLAY [vgl. diese Z. 52, 29; (1939)].

Ähnliche Messungen mit 3fachen Koinzidenzanordnungen sind von J. BARNOTHY und M. FORRO (10) als Fortsetzung von früheren [vgl. diese Z. 52, 32; (1939)] in einer Bergwerkstiefe von 732 m H_2O -Wert ausgeführt worden. Ihre Ergebnisse stimmen mit denen von EHMERT so gut überein, daß von ihm der Exponent $-1,87$ auch für diese Tiefe noch als gültig angenommen wird. Eine weitere Bestätigung wurde von V. C. WILSON (11) in einem Bergwerk erbracht, welches einen schräg nach unten verlaufenden Stollen besaß, so daß er das Versuchsg-
rät unter jede gewünschte Schichtdicke bringen konnte. Die Messungen fanden bei senkrechter und waagerechter Stellung der Ebene statt, in der die parallelen und waagerechten

Achsen der benutzten Zählrohre lagen, und die waagerechten Koinzidenzen wurden von den senkrechten, als von Schauern herrührend, abgezogen. Wenn der Apparat bei 1107 m H₂O-Tiefe so gegen die Senkrechte geneigt wurde, daß die von der Strahlung durchsetzte Gesteinsschicht nun den H₂O-Wert 2220 m hatte, wurden nur noch zwei Koinzidenzen in 2¹/₂ Tagen gezählt. Da dies die in 1107 m H₂O-Tiefe zu erwartende Schauerhäufigkeit war, wurde geschlossen, daß in 2220 m H₂O-Tiefe keine Strahlung außer Schauerteilchen mehr vorhanden ist. Auch BARNOTHY und FORRO hatten aus ihren Messungen gefolgert, daß der ionisierende Anteil der Strahlung in großen Tiefen nur aus Schauerteilchen besteht.

Die ersten Messungen in solchen Tiefen waren mit Ionisationskammern und Zählrohren von KOLHÖRSTER im Berlepschschacht von Staßfurt vorgenommen worden [vgl. diese Z. 48, 267; (1935)]. Er entdeckte dabei 1928 einen härtesten Bestandteil der Höhenstrahlung, dessen Spuren noch in einer Tiefe von 1000 m H₂O-Wert anzutreffen waren. Der ursprüngliche Zweck dieser Messungen war die Bestimmung von Reststrahlungen, die seitdem recht genau von KOLHÖRSTER und Mitarbeitern an Ionisationskammern und Zählrohren ausgeführt worden sind. Über eine solche Bestimmung an Zählrohren im Berlepschschacht berichtet eine jüngst erschienene Arbeit von H. OSTERWISCH (12).

Die Ergebnisse der Messungen von WILSON konnten so gedeutet werden, daß die senkrechte Strahlungsstärke von 20 bis 250 m H₂O-Wert unter Atmosphärenscheitel proportional zu $h^{-1,77}$ und von 250 bis 1420 m proportional zu $h^{-2,52}$ ist. Daß der Exponent bei EHMERT, dessen Meßtiefe nur bis 240 m reichte, $-1,87$ statt $-1,77$ war, konnte von der geometrischen Verschiedenheit der Zählrohranordnungen herrühren, und daß er erst von 20 m an klar hervortrat, wie bei EHMERT von einem Übergangseffekt. Da sowohl die Absorptionskurve für die senkrechten wie die für die waagerechten Koinzidenzen bei 250 m einen Knick zu haben scheint, werden 2 Arten harter Strahlen als Schauer erzeugend angenommen, nämlich außer den gewöhnlichen bis 250 m reichenden noch besonders durchdringende darüber hinaus, vermutlich Neutrinos, die bei HEISENBERG'Schen Schauern entstehen (vgl. diese Z. 52, 28; (1939))¹.

Ebenso hatten BARNOTHY und FORRO vermutet (10), daß die in großen Tiefen nur noch vorhandenen Schauerteilchen von nicht ionisierenden Strahlen ausgelöst würden, die sie auch als Neutrinos ansahen. Sie haben die Schauerhäufigkeit von 4000 m über Seehöhe bis zu 1000 m H₂O-Wert unter Atmosphärenscheitel nach Messungen einer Reihe von Forschern in einer Kurve dargestellt (13), an der die beiden Knickpunkte von WILSON deutlich hervortreten.

¹ Anmerkung bei der Korrektur: In einer neueren Arbeit [Physic. Rev. 55, 6; (1939)] kommt WILSON zu dem Schluß, daß zwischen den Strahlungen in 30 m und 300 m Tiefe kein wesentlicher Unterschied besteht und beide ionisierend sind.

Dagegen sind NIELSEN und MORGAN (14) der Meinung, daß es sich bei den besonders durchdringenden Strahlen nicht um Neutrinos, sondern um ionisierende Teilchen handle. Sie haben die Absorption der harten Strahlung mit einer Koinzidenzanordnung von 2 Zählrohren in einer Höhle 60 m H₂O tief unter Fels untersucht, indem sie die Koinzidenzzahlen innerhalb und außerhalb der Höhle mit verschiedenen Pb-Dicken zwischen den Rohren bestimmten. Das Verhältnis dieser Zahlen ohne Pb war 1 : 20, wie bei EHMERT und WILSON in einer Tiefe von 60 m H₂O-Wert und Seehöhe. Aus den beiden Absorptionskurven, die zuerst einen starken Abfall, dann einen fast waagerechten Verlauf zeigen, geht deutlich hervor, daß die ionisierenden Strahlen innerhalb wie außerhalb der Höhle aus einem weichen und einem harten Anteile bestehen. Als Schwächungszahl des letzteren fanden sie außerhalb übereinstimmend mit einem früheren Ergebnis 0,0004 cm²/gr und innerhalb etwa 0,0002 cm²/gr, etwas weniger als WILSON in entsprechender Tiefe. Die auf solche Weise unmittelbar dargelegte große Durchdringungskraft ionisierender Teilchen mache die Annahme überflüssig, daß die Wirkungen der Höhenstrahlung nach großen Tiefen durch ungeladene Teilchen wie Neutrinos übertragen würden. Indem der Anteil der harten Strahlung von der Gesamtstärke in den beiden Kurven abgezogen wurde, konnte der Anteil der weichen geschätzt werden. Er betrug außerhalb der Höhle 30%, innerhalb 25%, also fast gleich viel vom Hundert, so daß vermutlich ein großer Teil der weichen Strahlung auf beiden Tiefenstufen von der harten erzeugt wird und mit ihr im Gleichgewicht ist, wie schon daraus folgt, daß sie überhaupt in solcher Tiefe unter Atmosphärenscheitel noch vorkommt. Offenbar seien die weichen Strahlen zumeist Teilchen von Schauern, die mittelbar oder unmittelbar durch die harte Strahlung ausgelöst werden¹. Über diese Schauer wird später noch eingehender zu berichten sein.

Die Abhängigkeit der Schauerhäufigkeit von der Tiefe ist auch von W. H. PICKERING (15) neuerdings mit dem Zählrohrdreikant unter Pb gemessen worden, und zwar in einem unter einem See schräg nach unten verlaufenden Tunnel. Im Gegensatz zu früheren Messungen [vgl. diese Z. 52, 29; (1939)] fand er diesmal die Schauerhäufigkeit proportional zur senkrechten Strahlungsstärke wie CLAY und CLAY bei ihren Tiefwassermessungen und FOLLET und CRAWSHAW. Jüngst hat L. JANOSSY (16) für die Unstimmigkeit zwischen diesem Ergebnis und dem von EHMERT (s. oben) eine Erklärung gegeben. Er hat die Versuche von FOLLET und CRAWSHAW auf der Londoner U-Bahn fortgesetzt. Er vergleicht die an der Erdoberfläche aufgenommene Rossi-Kurve mit der unterirdischen, nachdem er die Ordinaten der letzteren mit dem Verhältnis 16,6 der senkrechten Strahlungsstärken auf den beiden Stufen multipliziert hat, und findet, daß die oberirdische Kurve

¹ Nach neueren Anschauungen rühren sie von dem Zerfall der harten Teilchen (Mesotronen) her.

in den Genauigkeitsgrenzen bis zu 4 cm Dicke der Pb-Streuschicht dieselbe ist wie die unterirdische. Dagegen scheint die erstere für mehr als 4 cm Pb erheblich niedriger über der Abszissenachse zu verlaufen als letztere, woraus geschlossen wird, daß die Schauerhäufigkeit bis etwa 4 cm Pb der senkrechten Strahlungsstärke proportional ist, während Schauer aus dickeren Pb-Schichten verhältnismäßig häufiger sind. Nun hatten CLAY und CLAY bei ihren Messungen die Schauer aus 0,6 cm Fe + 1,2 cm Pb beobachtet, also die Häufigkeit der Schauer bestimmt, welche dem Gipfel der Ross-Kurve entsprechen, während EHMERT bei seinen Messungen mit 5 cm Pb es mit Schauern zu tun hatte, die schon dem Schwanz der Kurve angehörten.

Die Versuche, welche L. LEPRINCE-RINGUET und J. CRUSSARD mit der großen Nebelkammer zwischen den Polen des mächtigen Elektromagneten der Pariser Akademie über die harte Strahlung angestellt hatten [vgl. diese Z. 49, 224; (1936)], sind von ihnen in einem Felde von 13 000 Gauß mit gesteigerter Genauigkeit weiter geführt worden (17), wobei das Energiegebiet der Messungen bis auf etwa $20 \cdot 10^9$ eV ausgedehnt werden konnte. Ohne Absorber zwischen den beiden Zählrohren, von denen die Kammer gesteuert wurde [vgl. diese Z. 47, 112; (1934)], war, wie auch schon von anderen Forschern festgestellt, die Zahl der positiven Teilchen etwa gleich der der negativen. Wurde dagegen ein 14 cm dicker Pb-Block zwischen den Rohren angebracht und befanden sich diese unter der Kammer, so daß die aufgenommenen Spuren von Teilchen großer Energie herührten, bevor sie den Block durchsetzt hatten, so überwogen wie schon früher die positiven Teilchen. Lagen schließlich die Rohre und der Block über der Kammer, so daß die Spuren aufgenommen wurden, nachdem die Teilchen den Block durchsetzt und Energie eingebüßt hatten, so waren die positiven wieder annähernd gleich an Zahl den negativen, aber viel weniger nicht merklich abgelenkte Spuren vorhanden als im Falle vorher. Daraus und aus den Krümmungsmessungen wird gefolgert, daß im wesentlichen alle Teilchen mit mehr als $10 \cdot 10^9$ eV und die meisten positiven zwischen $3 \cdot 10^9$ und $10 \cdot 10^9$ eV 14 cm Pb durchdringen. Von den Teilchen mit Energien von $1 \cdot 10^9$ bis $3 \cdot 10^9$ eV wird etwa die Hälfte jedes Vorzeichens in 14 cm Pb angehalten.

Ähnlich wie ANDERSON und NEDDERMEYER [vgl. diese Z. 48, 269; (1935)] setzten LEPRINCE und CRUSSARD in die Kammer zwei Querwände von je 5 mm Pb ein, um die Energieverluste der Teilchen beim Durchgange durch 1 cm Pb zu bestimmen, was bei der Genauigkeit der Krümmungsmessungen bis zu Teilchenenergien von etwas über $1 \cdot 10^9$ eV möglich war. Die Ergebnisse waren übereinstimmend mit der vorher festgestellten Tatsache, daß ein beträchtlicher Teil der Strahlen mit Energien zwischen $1 \cdot 10^9$ und $3 \cdot 10^9$ eV 14 cm Pb durchdringen können, doch waren die Verluste kleiner als die von ANDERSON und NEDDERMEYER erhaltenen, deren Energiebereich sich aber nur bis etwa $4 \cdot 10^8$ eV erstreckte.

Die Ergebnisse beider Forscherpaare wurden von P. BLACKETT und J. G. WILSON bestätigt (18). BLACKETT hatte, um die Energieverteilung der Höhenstrahlung zu untersuchen, einen großen Elektromagneten gebaut, der eine Leistung von nur 25 kW erforderte, so daß er längere Zeit hindurch betätigt werden konnte. Mit einer Stereokamera wurden dann in einem Felde von 14 000 Gauß durchschnittlich 17 cm lange Spuren in der zählrohrgesteuerten Nebelkammer aufgenommen (19). Metallplatten verschiedener Dicke in der Kammer dienten wieder dazu, den Energieverlust der Teilchen beim Durchgange durch sie zu bestimmen, indem die Krümmungen ihrer Spuren vor und hinter der Platte gemessen wurden. Für Pb ergab sich der relative Verlust $R = \frac{1}{E} \cdot \frac{dE}{dx}$,

wo E die Anfangsenergie und x die Schichtdicke bedeutet, fast konstant gleich 1,5 bei $E = 0,5 \cdot 10^8$ bis $2 \cdot 10^8$ eV, um dann ziemlich schnell zu etwa 0,5 für $E \sim 4 \cdot 10^8$ eV und schließlich langsam zu Werten $< 0,1$ für $E \sim 4 \cdot 10^9$ eV und mehr abzufallen. Dagegen sollte R nach der Theorie für gewöhnliche Elektronen von BETHE und HEITLER [vgl. diese Z. 49, 171; (1936)] außer bei den niedrigsten Energien den konstanten Wert etwa 1,9 haben. Es wurde daher geschlossen, daß Elektronen mit Energien bis etwa $2 \cdot 10^8$ eV sich der Theorie gemäß verhalten, während der Energieverlust von Elektronen mit größeren Energien viel geringer ist.

Dagegen waren die Energieverluste bei ANDERSON und NEDDERMEYER bis zu Teilchenenergien von etwa $4 \cdot 10^8$ eV mit der Theorie im Einklang. Um die Verluste in dickeren Massenschichten zu untersuchen, ersetzten diese Forscher die bisher benutzte Querwand von 0,35 cm Pb [vgl. diese Z. 52, 72; (1939)] durch eine Pt-Platte von 1 cm Dicke (20). Wie BLACKETT bemerkten sie, daß die Hauptfehlerquelle bei der Messung der Bahnkrümmungen in den Verzerrungen durch die willkürlichen Bewegungen des Gases in der Kammer besteht. Sie sind besonders stark bei Anwesenheit einer Trennungswand und machen die Bestimmung kleiner Energieverluste durchdringender Teilchen sehr schwierig. Wie CRUSSARD und LEPRINCE finden sie zwei ziemlich scharf getrennte Teilchengruppen, eine weiche, zumeist aus Schauerstrahlen bestehende, und eine harte von Einzelstrahlen, die im allgemeinen in der Platte nur einen kleinen Teil ihrer Anfangsenergie verlieren. Während aber die Messungen der Franzosen sich in einem höheren Energiegebiet abspielten, haben die beiden Amerikaner die beiden Gruppen, und zwar bei 55 Teilchen, zum erstenmal an Energien unter $5 \cdot 10^8$ eV festgestellt. Die Energieverluste der weichen Gruppe stimmen mit der Theorie für gewöhnliche Elektronen überein, die der harten weichen stark von ihr ab. Da Protonen für die harte Strahlung nicht in Betracht kommen, weil ihre Ionisation etwa 25mal so dichte Spuren hervorbringen würde wie die beobachteten, zogen die beiden Forscher den entscheidenden Schluß, daß die harten Teilchen zwar die Ladung eines positiven oder negativen Elektrons besäßen, aber

eine größere Masse, die allerdings noch viel kleiner als die eines Protons sein müßte.

Fast gleichzeitig kamen auch J. C. STREET und E. C. STEVENSON zu derselben Auffassung (21). Ausgehend davon, daß es möglich sein sollte, die Natur der harten Teilchen besser nahe dem Ende ihrer Reichweite an ihrer Ionisation und ihrer magnetischen Ablenkung zu erkennen, haben sie bei ihrer Nebelkammer 10 cm Pb zwischen den drei Zählrohren über ihr angebracht. Die Kammer besaß eine Querwand aus Pb und befand sich in einem Magnetfeld von 3500 Gauß. Unter den zahlreichen so erhaltenen Spuren waren zwei mit deutlich größerer Ionisationsdichte als die übrigen. Die erste endigte in der Pb-Platte; ihre Dichte war 2,4mal so groß wie die der gewöhnlichen dünnen Spuren, die Krümmung positiv, und sie konnte als Spur eines Protons angesehen werden. Die zweite Spur verließ das beleuchtete Gebiet der Kammer schon oberhalb der Platte; ihre Ionisationsdichte war etwa 6mal so groß wie die gewöhnliche. Aus der gemessenen Bahnkrümmung und unter der Voraussetzung, daß die Ionisationsdichte dem Quadrat der Geschwindigkeit umgekehrt proportional ist, ergab sich als Ruhmasse des Teilchens etwa der 130fache Betrag der Ruhmasse eines Elektrons, allerdings mit einem wahrscheinlichen Fehler von 25%. Die Spur konnte keinem Proton angehören, denn die gemessene Krümmung würde dann einer Reichweite von 1 cm in der Kammer entsprechen haben, während die Spur deutlich 7 cm weit in ihr sichtbar war.

Mit demselben Verfahren sind seitdem auch von anderen Forschern ähnliche Ergebnisse erzielt worden. So berichten Y. NISHINA und Mitarbeiter über ein Teilchen mit $1/10$ bis $1/7$ Protonenmasse (22), D. R. CORSON und R. B. BRODE über eines mit 350facher Elektronenmasse (23) und P. EHRENFEST über Teilchen mit 200facher (24). Eine andere bemerkenswerte Aufnahme ist jüngst NEDDERMEYER und ANDERSON gelungen (25): Von den beiden Zählrohren war das untere in der Kammer selbst angebracht, um die Beobachtung von Höhenstrahlteilchen nahe dem Ende ihrer Reichweite zu erleichtern. Das magnetische Feld betrug 7900 Gauß. Die betreffende Aufnahme weist ein positives Teilchen auf, das nach Durchsetzung des unteren Rohres mit so kleiner Energie austrat, daß es in der Kammer angehalten wurde. Aus der Ionisationsdichte vor und hinter dem Zählrohr und der Reichweite nach dem Austritt aus ihm ging hervor, daß es sich weder um ein gewöhnliches Elektron noch um ein Proton handeln konnte. Die Masse des Teilchens schien nach der Spurenkümmung vor dem Rohr und der Dicke der hinter ihm noch durchsetzten Gasschicht etwa gleich 240 Elektronenmassen zu sein. Da die Energie des Teilchens vor dem Eintritt in das untere Rohr etwa 10^7 eV betrug, wird noch bemerkt, daß das Hauptergebnis der BLACKETT'SCHEN Messungen, nach dem die durchdringenden Teilchen von gewöhnlichen Elektronen nicht mehr zu unterscheiden seien, wenn ihre Energie $2 \cdot 10^8$ eV erheblich unterschreite, einer Änderung insofern bedürfe, als diese

Grenze von der Masse abhängig und bei einem Teilchen wie dem vorliegenden viel tiefer sein müßte.

Dagegen hat BLACKETT in einer neueren Arbeit (26) auf Grund von Energieverlustmessungen mit verschiedenen dicken Pb-Platten und einer Au-Platte wie früher geschlossen, daß es keine harten Strahlen mit kleinerer Energie als von der Größenordnung $2 \cdot 10^8$ eV gäbe und alle geladenen Teilchen geringerer Energie sich wie gewöhnliche Elektronen mit dem theoretischen Energieverlust verhalten. Zur Prüfung wurden Aufnahmen mit drei Zählrohren über der Kammer und Pb von 5 oder 15 cm Dicke zwischen ihnen gemacht, so daß nur die harten Strahlen in die Kammer gelangten. Wenn also ein Einzelstrahl mit weniger als $2 \cdot 10^8$ eV in sie eintritt und von der Au-Platte in ihr wie ein gewöhnliches Elektron absorbiert wird, so muß ein harter Strahl oder „schweres Elektron“ zu einem gewöhnlichen Elektron geworden sein. In der Tat waren unter den Aufnahmen vier, in denen ein Strahl den Pb-Block durchsetzt hatte und in der Au-Platte stecken geblieben war.

Die bereits oben erwähnte Energieverteilung der Höhenstrahlung (19), welche BLACKETT durch seine Nebelkammermessungen im Magnetfeld erhielt, wurde im wesentlichen als die der harten Strahlung angesehen, da die weiche in Seehöhe durch die Atmosphäre zumeist absorbiert sei. Bei Weglassung der Teilchen mit Energien unter $5 \cdot 10^8$ eV, die leicht so stark magnetisch abgelenkt werden, daß sie die Nebelkammer nicht erreichen, findet BLACKETT den Schwerpunkt seiner Verteilung um $3 \cdot 10^9$ eV herum. Wird die Zahl der Teilchen mit der Energie E gegen E aufgetragen, so stimmt die erhaltene Kurve von $3 \cdot 10^9$ eV an nach wachsenden E mit einer E^{-2} -Kurve gut überein, aber nicht nach abnehmenden. Die Teilchen mit Energien über 10^{10} eV bilden etwa 10%, die von dem Magnetfeld nicht merklich abgelenkt mit Energien über $20 \cdot 10^9$ eV etwa 5% der Gesamtheit. (53 ± 2)% der Teilchen sind positiv und (47 ± 2)% negativ geladen. Die Differenz ist nur wenig größer als der wahrscheinliche Fehler und die Energieverteilung der positiven Teilchen der der negativen sehr ähnlich.

Schrifttumverzeichnis.

1. C. r. Acad. Sci. Paris 200, 739 (1935). — 2. Physic. Rev. 52, 564 (1937); 54, 245 (1938). — 3. Nature (Lond.) 135, 96 (1935). — 4. Z. Physik 108, 421 (1938). — 5. C. r. Acad. Sci. Paris 199, 785 (1934). — 6. C. r. Acad. Sci. Paris 202, 1923 (1936). — 7. C. r. Acad. Sci. Paris 204, 257 (1937). — 8. Z. Physik 106, 751 (1937). — 9. Naturwiss. 19, 177 (1931). — 10. Z. Physik 104, 741 (1937). — 11. Physic. Rev. 53, 337, 908 (1938). — 12. Physik. Z. 39, 661 (1938). — 13. Physic. Rev. 53, 848 (1938). — 14. Physic. Rev. 54, 245 (1938). — 15. Physic. Rev. 52, 1131 (1937). — 16. Proc. Roy. Soc. Lond. A 167, 499 (1938). — 17. C. r. Acad. Sci. Paris 204, 112, 240 (1937). — 18. Proc. Roy. Soc. Lond. A 160, 304 (1937). — 19. Proc. Roy. Soc. Lond. A 154, 564, 573 (1936); A 159, 1, 19 (1937). — 20. Physic. Rev. 51, 884 (1937). — 21. Physic. Rev. 52, 1003 (1937). — 22. Physic. Rev. 52, 1198 (1937). — 23. Physic. Rev. 53, 215 (1938). — 24. C. r. Acad. Sci. Paris 206, 428 (1938). — 25. Physic. Rev. 54, 88 (1938). — 26. Proc. Roy. Soc. Lond. A 165, 11 (1938).

5. Technik und mechanische Praxis.

Akustische Forschungen und ihre Anwendung in der Technik¹. Von WALTER JAEKEL in Berlin-Wilmersdorf.

Noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts bildete die Akustik als Lehre vom Schall lediglich ein Teilgebiet der Physik, während an eine technische Anwendung akustischer Erkenntnisse nicht zu denken war. Obschon man bereits seit undenklichen Zeiten durch die Musikinstrumente auf akustische Fragen hingelenkt wurde, schien ein systematisches Eindringen in das Gebiet unmöglich. Im wesentlichen begnügte man sich damit, die dürftigen Erkenntnisse aus früherer Zeit zu erörtern, kam auch mehr durch Zufall als durch Überlegung zu richtigen Ergebnissen, ohne jedoch systematisch das Experiment heranzuziehen. Die Lehre von der Elektrizität hatte demgegenüber viel schneller zu praktischer Auswertung geführt: 1780 hatte GALVANI die Berührungselektrizität entdeckt, und schon 1833 lag im Telegraphen von GAUSS und WEBER eine praktische Anwendung der Erscheinungen vor. Erst PHILIPP REIS, der als Erfinder des Fernsprechers berühmt wurde, wertete akustische Erkenntnisse praktisch aus. Um die Vorgänge im Ohre zu erfassen, fertigte er ein Holzmodell mit Trommelfell und Gehörknöchelchen an und kam so zur Urform des Telefons. Eine besonders erfolgreiche Tätigkeit in der akustischen Forschung entfaltete HERMANN v. HELMHOLTZ (1821—1894), und zwar förderte er vor allem die Klanganalyse, also die Untersuchung, aus welchen Tönen ein Klang besteht, und damit ein Gebiet, das gerade gegenwärtig wieder im Mittelpunkt des Interesses steht. Er baute für diesen Zweck seine Resonatoren. Es sind das Hohlkörper von bestimmtem Luftinhalt, die zu schwingen beginnen, wenn ein Ton gleicher Schwingungszahl eindringt. Leitet man einen Schall in eine Reihe solcher Resonatoren, so kann man durch Abhören feststellen, welcher schwingt, also auch aus welchen Tönen der Schall besteht. Auch WERNER SIEMENS, mit dem ja HELMHOLTZ eng befreundet und verwandt war, befaßte sich viel mit akustischen Fragen, und zwar seiner ganzen Einstellung entsprechend, mit der ausgesprochenen Absicht auf praktische Auswertung. Sein Vortrag „Über Telephonie“, den er im Januar 1878 vor der Akademie der Wissenschaften hielt, behandelte die damals aktuelle Frage der elektrischen Sprachübertragung außerordentlich gründlich und führte vor allem ein Aufnahmemikrofon ganz neuer Bauart vor, das genau einem modernen Schwingspul-Lautsprecher gleicht. Die enge Verbindung zwischen Wissenschaft und Technik be-

weist dabei die Tatsache, daß WERNER SIEMENS die Membran auf Anraten von HELMHOLTZ wie das Trommelfell im Ohre gestaltet hatte. Auch damit griff er dem Stande der Technik weit voraus, denn die bei Lautsprechern jetzt übliche sog. Nawi-Membran (*Nawi* = Nicht abwickelbar) ist nichts anderes als diese Trommelfellmembran.

Daß die Elektrizitätslehre in verhältnismäßig kurzer Zeit zur Elektrotechnik wurde, liegt daran, daß sie sich schon früh auf eine weit durchgebildete Meßtechnik zu stützen vermochte. Die Lehre von der Akustik konnte das nicht. Hier hat man es nämlich mit außerordentlich kleinen Kräften und Leistungen zu tun, die oft nur den billiönten Teil eines Watt betragen. Erst die Verstärkerröhre gab die Möglichkeit, durch entsprechende Verstärkung auch Töne und Klänge messend zu erfassen. Durch Verstärkung gelingt es ja, die von einem Mikrofon abgegebene Spannung fast beliebig weit zu verstärken, so daß sie anzeigende und schreibende Instrumente beeinflussen kann. Andererseits förderte die Verstärkerröhre auch die Übertragung von Sprache und Musik über große Entfernung sowie ihre Verstärkung zur Wiedergabe in großen Räumen, wie wir es ja täglich beim Fernsprechen, im Rundfunk, Tonfilm usw. erleben. Die hier notwendige Entwicklungsarbeit verlangte unbedingt nach entsprechenden Meßinstrumenten zur Aufdeckung aller akustischen Zusammenhänge. Die gegenwärtige Lage ist durch die Feststellung gekennzeichnet, daß die Akustik zur Elektroakustik wurde und dadurch zu einem technischen Arbeitsgebiet mit allen Entwicklungsmöglichkeiten eines solchen.

An dieser Entwicklung sind Siemens & Halske maßgeblich beteiligt. Schon 1924 wurde im Forschungslaboratorium der Siemens-Werke durch RIEGGER eine elektroakustische „Großtat“ vollbracht, indem er den Blatthaller schuf und damit den Wirkungsbereich der Sprache ins Ungeheure vergrößerte. Um die gleiche Zeit schuf RIEGGER auch das erste deutsche Kondensatormikrofon und damit nicht nur ein Hilfsmittel zur Sprachübertragung, sondern auch ein meßtechnisches Werkzeug. Im Zentrallaboratorium des Wernerwerks bauten SCHOTTKY und GERLACH zu dieser Zeit den Band-Lautsprecher und das Bändchenmikrofon, wie es grundsätzlich auch heute noch benutzt wird. Schritt für Schritt wurde die Entwicklung gefördert; vor allem mußten auch die Leistungsverstärker immer höheren Ansprüchen angepaßt werden. Nach 1925 war es eine staunenswerte und nur durch wochenlange Vorbereitungen zu erzielende Leistung, daß es gelang, bei der Einweihung des Deutschen Museums in München zur Wiedergabe von Musik 40 Watt elektrische Leistung aus den Verstärkern herauszuziehen, die sich dann noch zu Zehntelwatt abgestrahlter Lautsprecherleistung verringerten. Jetzt macht es dagegen keine Schwierigkeiten mehr, 10 oder 100 Watt Leistung abzustrahlen. Vor allem der Tonfilm hat durch seine ständig wachsenden Ansprüche die Elektroakustik gewaltig gefördert. Mikrophone,

¹ Einzelheiten dieses zusammenfassenden Berichtes bieten die früher erschienenen Aufsätze: F. TRENDELENBURG: Grundlegende Fragen der Schallstrahlung und Schallausbreitung. *Z. physik. chem. Unterr.* 50, 220 (1937). — E. LÜBCKE: Schallmessung; Lärminderung. *Z. physik. chem. Unterr.* 51, 3 (1938). — E. WAETZMANN: Zur Physik des Ohres. *Z. physik. chem. Unterr.* 51, 35 (1938).

Verstärker und Lautsprecher wurden nicht nur besser, sondern auch betriebssicherer.

Akustische Messungen wurden zunächst mit laboratoriumsmäßigen Aufbauten von Mikrofonen, Filtern, Verstärkern und Instrumenten vorgenommen. Als eines der ersten technisch gestalteten akustischen Meßgeräte ist der Geräuschmesser anzusehen, der nach BARKHAUSEN benannt ist und von Siemens & Halske gebaut wird. Mit seiner Hilfe vergleicht man ein auf elektrischem Weg erzeugtes Normalgeräusch mit dem zu messenden Geräusch und kann dadurch dessen Stärke beurteilen. Dieses Gerät brachte die ersten Erfolge in der Lärmbekämpfung. Natürlich strebte man nach der Entwicklung von Meßverfahren, welche die Lautstärke einfach an einem Instrument abzulesen gestatten, wie man auch Spannung oder Stromstärke ermittelt. Auch dieses Ziel wurde erreicht: der Schalldruckmesser erlaubt, die Schallstärke im objektiven Maß „Mikrobar“ abzulesen; der objektive Geräuschmesser ermöglicht, die Schallempfindung des Ohres zahlenmäßig zu ermitteln. Gerade diese Aufgabe war nicht einfach zu lösen, weil nämlich das Ohr nicht alle Töne gleich laut empfindet. Es war also nötig, die Eigenschaften des Ohres elektrisch nachzubilden. Als Krönung der akustischen Meßtechnik sind jedoch die Verfahren der Klanganalyse anzusehen, also jenes Problem, das schon HELMHOLTZ als das wichtigste der Akustik erkannte. Die Klanganalyse gibt Antwort auf die Frage: Welche Töne sind an der Bildung eines Klanges oder Geräusches beteiligt, und welche Stärke haben sie? Die Beantwortung dieser Frage ist deswegen so wichtig, weil man dann leicht erkennen kann, an welchem Teilton es liegt, daß eine Übertragung nicht naturgetreu erscheint. Kennt man aber die Ursache, so ist eine Beseitigung des Fehlers eher möglich. Auch Geräusch- und Lärmanalysen sind aus dem gleichen Grunde wichtig. Meist kann man schon aus der Stärke und Höhe des Teiltones ersehen, warum ein Lärm oder Geräusch störend wirkt. Man kann dann leicht ergründen, welche Maßnahmen man zur Verbesserung treffen kann. Wie schon bemerkt, analysierte HELMHOLTZ Klänge mit seinen Resonatoren, wozu allerdings sein geschultes Ohr gehörte. Als es 1891 zum ersten Male gelang, den Verlauf von Sprachschwingungen mit einem Oszillographen sichtbar zu machen, konnte man das Problem mathematisch behandeln und aus der Gesamtschwingung die Teiltöne errechnen. Allerdings gehörte dazu tagelange Rechenarbeit. Einen sehr großen Fortschritt bedeutete das 1926 entwickelte Suchtonverfahren. Es besteht darin, daß man einen Hilfston veränderlicher Höhe, den sog. Suchton, allmählich den Tonbereich von den tiefsten bis zu den höchsten Tönen durchlaufen läßt. Die Anordnung ist nun so, daß ein elektrisches Instrument stets dann ausschlägt, wenn die Frequenz des Suchtons etwa mit der Frequenz eines Teiltons übereinstimmt, und zwar entspricht der Ausschlagswert der Stärke des betreffenden Teiltons. Das Verfahren ermöglichte zum ersten Male eine Klanganalyse in der kurzen Zeit von 1 Min, setzt aber natürlich das gleichmäßige Bestehen des

Klanges für diese Zeit voraus. Um auch ständig sich ändernde oder überhaupt nur kurze Zeit bestehende Klänge analysieren zu können, wurden bei Siemens & Halske zwei Geräte entwickelt, das Tonfrequenz-Spektrometer und die Oktavsiebapparat. Bei dem ersten Gerät erscheinen auf dem Leuchtschirm einer BRAUNschen Röhre Streifen, deren Lage und Höhe in jedem Augenblick der Klangzusammensetzung entsprechen. Das Tonfrequenz-Spektrometer enthält im wesentlichen eine Anzahl Filter, die jeweils nur einen bestimmten Tonbereich durchlassen, und einen umlaufenden Schalter, der die Filter in schneller Folge an die Röhre legt. Für besonders schnell verlaufende Schallvorgänge wurde die sog. Oktavsiebapparat entwickelt. Auch hier wird eine Reihe Filter verwendet, die jeweils eine Oktave durchlassen. Jedoch liegt hinter jedem Filter eine Oszillographenschleife, die den Verlauf der Spannung in dem Oktavbereich sichtbar macht oder auch aufzeichnet. Im Oszillogramm kann man dann genau erkennen, wie z. B. beim Sprechen von Text einmal dieser Teilton und einmal ein anderer überwiegt, je nachdem, ob z. B. helle oder dunkle Vokale oder die verschiedenen Konsonanten ins Mikrophon gesprochen werden. Durch die Klanganalyse kann man z. B. die charakteristischen Eigenschaften der Klänge guter und schlechter Geigen anschaulich herausarbeiten, und man braucht sich nicht mehr auf das Ohr allein zu verlassen, um gute und schlechte Geigen voneinander zu unterscheiden. Untersuchungen von BACKHAUS zeigen z. B., daß eine gute Geige sehr starke Resonanzen auch in hohen Tonlagen zwischen 3000 und 5000 Hz aufweist, während diese bei einer schlechten Geige fehlen. Damit ist zwar noch kein Baurezept für gute Geigen gegeben, aber der Weg gezeigt, der zum Ziele führt. Recht aufschlußreich sind auch neuere Untersuchungen an Orgeln. Es gelang festzustellen, woran es liegt, daß manche Orgel als besonders wohlklingend gilt. So stellte sich z. B. bei der klanganalytischen Untersuchung der SCHNITGER-Orgel in der Eosanderkapelle des Charlottenburger Schlosses heraus, daß das Register „Lieblich Gedackt“ seinen eigenartigen Reiz durch einen dem eigentlichen Einsatz vorausgehenden hohen Ton erhält. Auch bei der Lärmbekämpfung hilft die Klanganalyse. Hier zeigt sie, bei welcher Frequenz hauptsächlich das Störgeräusch liegt, ermöglicht dadurch Rückschlüsse auf seine Entstehung und weist den Weg zur Beseitigung. So kann man z. B. bei elektrischen Maschinen feststellen, ob das Geräusch mechanische, magnetische oder elektrische Ursachen hat. Meistens ist es nur nötig, einen besonders hervorstechenden Ton zu beseitigen, um eine bedeutend geringere Lärmempfindung zu erzielen. Es ist bekannt, daß bereits bedeutende Erfolge im Kampfe gegen den Lärm erzielt wurden. Um nur ein Beispiel aus dem täglichen Leben anzuführen: es gelang, Lichtschalter zu bauen, deren Schaltgeräusch längst nicht mehr so durchdringend ist wie bei älteren Ausführungen. Schon aus diesem einfachen Beispiel er sieht man, daß die Arbeiten im akustischen Laboratorium jedermanns Interesse beanspruchen dürfen.

Als besonders wichtiges Ergebnis akustischer Entwicklungsarbeit ist ein neues Mikrotelephon zu erwähnen. Als man noch nicht die Möglichkeit einer einfachen Klanganalyse hatte, strebte man bei Mikrophonen lediglich eine größere Lautstärke an. Tatsächlich ist es aber zweckmäßiger, auf Verständlichkeit hinzuwirken, d. h. auf Verbreiterung des Frequenzbandes. Es genügt zwar schon, wenn ein Mikrophon zwischen 300 und 2600 Hz überträgt, aber die Verständlichkeit nimmt überraschend zu, wenn man bis auf 3500 Hz geht. Das gelang tatsächlich; ferner konnte man auch die ausgesprochenen Resonanzspitzen beseitigen. Erreicht ist diese Beeinflussung der Frequenzkurve u. a. durch einen HELMHOLTZ-Resonator mit Dämpfungssieb, der die nötigen zusätzlichen Eigenschwingungen in das aus Membran und Einsprache bestehende System hineinbringt. Dieser HELMHOLTZ-Resonator stellt sich als ein kegelförmiger Aufsatz auf das Mikrophon mit einer durch ein Sieb verschlossenen Öffnung dar. Durch den Wegfall der Resonanzspitzen wurden auch die Klirrtöne, die sog. nicht-linearen Verzerrungen, wesentlich geschwächt. Beim Telephon ist die Verbesserung der Frequenzkurve dadurch erreicht, daß man die Eigenresonanz der Membran in einen wesentlich höheren Frequenzbereich legte und hier stark dämpfte. Die höhere Resonanzlage ist dadurch erzielt, daß eine sehr leichte unmagnetische Membran verwendet wurde, auf der ein Eisenanker mit Spannwirkung so befestigt ist, daß sie sehr steif wird. Die notwendige Dämpfung bewirkt ein am inneren Rande vorspringender Schutzdeckel, der nur einen sehr engen Luftspalt läßt. Die durch den Wegfall der Resonanzspitzen verursachte Verringerung der Lautstärke ist durch eine konzentrische Anordnung der Magnete, bei der ein viel größerer Teil des Gesamtflusses durch den Membrananker geht, wettgemacht. Die Eigengeräusche des Mikrophons, die sich wie eine Verzerrung auswirken, sind durch eine Verringerung der Korngröße des Kohlengrießes und eine Vergrößerung der Füllmenge herabgesetzt. Ferner strebte man bei dem neuen Fernsprecher an, ihn unempfindlicher gegen Raumgeräusche zu machen. Das gelang dadurch, daß man die Einsprache näher an den Mund brachte. Um das zu können, ermittelte man an mehreren Tausend Personen mit Hilfe einer besonders entwickelten Kopfmeßapparatur die wichtigsten Maße, also Entfernung zwischen Ohr und Mund, den Winkel der Verbindungslinie usw., und baute nach dem Ergebnis dieser Messungen den neuen Handapparat. Prüfungen des neuen Fernsprechers ergaben eine Steigerung des Verständlichkeitsgrades, d. h. des Prozentsatzes verstandener, zusammenhanglos gesprochener Silben, auf 70% in ruhigen Räumen und auf 57% bei 40 phon Lärm im Sprechraum.

In lärmgefüllten Räumen genügen dieses Maßnahme nicht mehr, um eine Verständigung zu erzielen; andererseits besteht ein starkes Bedürfnis gerade nach Sprechgeräten für solche Räume, wie es z. B. Maschinenräume sind. Nach langwierigen Untersuchungen, die vor allem das Verhältnis zwischen Lärm- und Sprachenergie klarstellten,

gelang es, Sprechgeräte zu bauen, die in lärmgefüllten Räumen sowie im Fahrtwind eines offenen Flugzeuges eine Verständigung ermöglichen. Vor allem ist es dabei wichtig, den Luftschall fernzuhalten. Aus diesem Grunde muß das Ohr mit einer Gummidichtung abgeschirmt werden. Ferner verwendet man sog. Berührungsmikrophone, die unmittelbar von den Schwingungen des Kehlkopfes und Halses beeinflusst werden. Zum Gebrauche für Flieger baut man die gesamte Sprechapparatur in eine Fliegerkappe ein. Zum Gebrauche auf Schiffen hat man das Besprechungsmikrophon entsprechend ausgebildet. Es wird vor allem sehr nahe an den Mund gebracht und enthält noch ein Luftpolster. Die Apparate haben ferner zwei Hörer mit Gummidichtung, so daß man das andere Ohr abschirmen kann. Wo selbst lautestes Schreien nichts mehr nutzt, kann man sich mit solchen Geräten verständigen. Um die Geräte untersuchen zu können, richteten Siemens & Halske einen „Krachraum“ ein. In diesem wird der Lärm, der „nach der Natur“ auf Schallplatten aufgenommen wurde, durch zwei Lautsprecher wiedergegeben. Die Verstärkung kann dabei so weit getrieben werden, daß die Schmerzschwelle des Ohres erreicht ist. Der Raum hat gut reflektierende Wände, auch ist alles Dämpfende soweit wie möglich entfernt worden. Im „Krachraum“ ist ferner ein Windkanal vorhanden, in dem man Sprechversuche wie im offenen Flugzeuge vornehmen kann.

Als Gegenstück zu diesem Krachraum mit seinen gut reflektierenden Wänden ist ein schalldämpfter Raum anzusehen, dessen sämtliche Flächen mit einer $\frac{1}{2}$ m dicken Watteschicht ausgekleidet sind. Diese Wände reflektieren überhaupt nicht, sondern verschlucken die auftretenden Töne bis auf einen zu vernachlässigenden Rest. In diesem Raume breitet sich ein Schall vollkommen ungestört wie im Freien aus. Dieser schalltote Raum dient zu Untersuchungen über die Schallabstrahlung und Richtwirkung von Schallquellen. Auch Mikrophone und Lautsprecher werden hier gemessen. Zu den Messungen lassen sich die nötigen Geräte außerhalb des Raumes anschließen.

Von sehr großer Bedeutung sind raumakustische Untersuchungen. Vor allem handelt es sich dabei um die Messung der Nachhallzeit. Man versteht hierunter im allgemeinen Sprachgebrauch die Zeit, in der ein Ton vollkommen verklingt. Um von den Verschiedenheiten der Ohrempfindlichkeit unabhängig zu sein, hat man für technische und wissenschaftliche Zwecke diese Definition dahingehend erweitert, daß eine Verminderung der Schallenergie auf den millionten Teil dem Verschwinden des Tones gleichzusetzen ist. Die Wichtigkeit der Nachhallzeit ist allgemein bekannt. Ist sie zu kurz, so klingen Sprache und Musik „abgehackt“; ist sie zu lang, so verschwimmt das ganze Lautbild ineinander. Gute Konzertsäle haben eine Nachhallzeit von 1 bis 1,5 Sek. Die Nachhallzeit eines Raumes läßt sich in verschiedener Weise beeinflussen. Das Einbringen poröser Oberflächen, z. B. von Teppichen, Wandbespannungen usw. verkürzt die Nachhallzeit, das Vor-

handensein schwingender Teile, z. B. eines Holzpodiums, verlängert sie. Auch richtet sich die Nachhallzeit nach der Höhe der Töne und ist verschieden, je nachdem der Saal mit Publikum besetzt ist oder nicht. Schon aus diesen Andeutungen ersieht man, daß es sehr erwünscht ist, ein Meßverfahren für die Nachhallzeit zu haben. Man kann das offenbar mit einer Stoppuhr machen, wie es der Akustikforscher SABINE getan hat, muß dann aber mit sehr verschiedenen Meßergebnissen rechnen, da jeder verschieden hört. Besser geht es mit einem neuen „Dämpfungsschreiber“, der in Wachspapier genau aufzeichnet, wie der Ton verklingt. Aus der Kurve kann man dann die Nachhallzeit ermitteln. Dieser Dämpfungsschreiber zeichnet im wesentlichen die von einem Mikrophon abgegebene Spannung auf. Er macht das mit sehr hoher Genauigkeit, und daß er trotzdem die Reibung zwischen Stift und Papier überwindet, ist eine Folge des ganz besonderen Aufbaus. Um die Nachhallzeit eines Raumes zu ermitteln, erzeugt man in diesem einen starken Klang, schaltet dann die Schallquelle plötzlich ab und den Dämp-

fungsschreiber ein. Zum Schallerzeugen kann man einen Lautsprecher nehmen, der einen Ton bestimmter Höhe abgibt. Man kann auch eine Pistole abschießen. Ferner gibt es für Nachhallmessungen wie geschaffene Orchesterstücke, die plötzlich abbrechende Fortissimostellen haben. Ein solches ist z. B. BEETHOVENS Coriolanouverture. Als Ergebnis solcher und anderer Messungen ist man heute in der Lage, auch akustisch zu planen, wie es bei Runfunktensenderäumen, Tonfilmtheatern, Sälen usw. erforderlich ist. Insbesondere gelang es durch Messungen, das Schallschluckvermögen von Baustoffen genau zu erkennen, und zwar sogar für die einzelnen Frequenzen. Die Einfachheit der Messung läßt es auch ohne weiteres zu, in einem mit Publikum besetzten Raume zu messen.

Abschließend kann man wohl sagen, daß die Akustik heute zu den wissenschaftlich und praktisch sicher gegründeten Gebieten gehört, und zwar nicht zuletzt wegen der zielsicheren Zusammenarbeit von Forschung und Meßtechnik.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Funktionentafeln mit Formeln und Kurven. Von E. JAHNKE† und F. EMDE. 3. neubearbeitete Auflage. XII, 305 Seiten mit 181 Textfiguren. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1938. Preis geb. RM. 15,—.

Die 2. Auflage dieses ausgezeichneten Werkes ist in dieser Zeitschrift 48, 186 (1935) ausführlich gewürdigt worden. Das Vorwort zur vorliegenden 3. Auflage verzeichnet die folgenden wichtigsten Abänderungen gegenüber der zweiten:

„Bei den vollständigen elliptischen Integralen erster und zweiter Gattung sind Formeln und Zahlentafeln auch für andere als die LEGENDRESCHEN Normalformen hinzugetreten.

Bei den Zylinderfunktionen sind die DEBYESCHEN Reihen unter Beschränkung auf reellen Index und auf die in den Anwendungen allein vorkommenden Richtungswinkel des Arguments in eine gebrauchsfertigere Form gebracht und von dem im allgemeinen Fall nötigen erschwerenden Zusatzbestimmungen befreit.

Für die LOMMEL-WEBERSCHEN und die STRUVESCHEN Funktionen der Ordnungen Null und Eins sind ausführliche Zahlentafeln gegeben.

Für die konfluenten hypergeometrischen Funktionen und für die MATHEUSCHEN Funktionen des elliptischen Zylinders werden Formeln und graphische Darstellungen gegeben.

Weggeblieben sind die elementaren Funktionen, die die ersten 75 Seiten der 2. Auflage für sich beansprucht haben. Sie werden mit ausführlichen Zahlentafeln und mit vielen graphischen Darstellungen in einem anderen, von den vorliegenden Funktionentafeln unabhängigen Buch gebracht werden, das bald erscheinen soll.“

Trotz der Höhenlage der 2. Auflage zeigt sich F. EMDE in der dritten wieder unablässig bemüht, die Brauchbarkeit dieses einzig dastehenden Hilfs-

mittels für Forschung und Praxis immer weiter zu steigern. Ein so rastloses Streben nach Vollkommenheit verdient nicht nur Bewunderung, sondern auch Dankbarkeit. Mag der Dank seinen sichtbaren Ausdruck darin finden, daß Mathematiker, Physiker, Ingenieure und Rechner das überaus preiswürdige Buch in weitestem Umfang anschaffen.

Mth.

Zahlen für Jedermann aus Physik und Technik, insbesondere für den Unterricht. Von Dr. HERMANN VON BARAVALLE. 147 Seiten. Völlig neu bearbeitete, veränderte und stark erweiterte Auflage (7. bis 10. Tausend). Stuttgart: Francksche Verlagshandlung 1938. Preis kart. RM. 2,80.

Das in der vorliegenden Zeitschrift 47, 45 (1934) besprochene Buch ist neu aufgelegt worden. Wenn die Verlagsankündigung von der übersichtlichen und praktischen Anordnung eines geradezu unheimlichen Zahlenmaterials spricht, wodurch Nachschlagen im Fachschrifttum erspart wird, so kann man dieser Empfehlung im allgemeinen zustimmen, da Stichproben die Zuverlässigkeit der betreffenden Werte ergeben haben. Auch der Hinweis auf die Überraschung, die der Laie bei manchen allgemein interessierenden Zahlenangaben empfinden wird, hat seine Berechtigung.

Für den mathematisch-physikalischen Schulunterricht dürften sich zahlreiche Angaben des Buches teils zu gelegentlichen Mitteilungen, teils zur Bildung von Rechenbeispielen mit Vorteil verwenden lassen. Daher sei die Lehrerschaft auf diese Zusammenstellung noch besonders hingewiesen.

Weil in dem an die Zeitschrift gelangten Besprechungsstück der 7. Bogen (S. 97 bis 112) fehlt, glaubt der Bericht, den Bezieher des Buches den Rat geben zu sollen, daß sie den Druck auf seine Vollständigkeit prüfen mögen.

Mth.

Physikalische Aufgabensammlung für höhere Schulen und Studium. Von JOSEF REGLER. VI, 129 Seiten, gr. 8. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1939. Preis kart. RM. 6,30.

Die vorliegende Aufgabensammlung folgt in der äußeren Anordnung dem älteren einschlägigen Schrifttum Englands und Amerikas (z. B. CH. P. MATTHEWS, 1897; M. MACLEAN, 1900; F. TURNER, 1907), wo meist der Titel „Problems and questions in physics“ benutzt wird. Zwei Gruppen Aufgaben bietet das Buch. Die erste gibt Themen für die früher in den Bestimmungen vorgeschriebenen kleinen Ausarbeitungen und Aufsätze, sowie Prüfungsfragen. Der Verfasser bezeichnet diese Aufgabenart als solche, „welche die durch Erfahrung wohl begründete Naturerkenntnis pflegen“, und kennzeichnet sie im Text durch das davor gesetzte Zeichen (E). Beispiele dafür sind: „Der Vorgang des Verdampfens in dem luftleeren Raum ist zu erläutern“ (Wärme Nr. 67); „Wie verhalten sich Kristalle in Bezug auf den Lichtdurchgang und was versteht man unter der den Kristallen eigenen Doppelbrechung?“ (Licht Nr. 80); „Wie erklärt man sich das Entstehen der Spannung im VOLTA-schen Element?“ (Elektrizität Nr. 52).

Die zweite Gruppe bilden die üblichen Berechnungsaufgaben. Der Verfasser kennzeichnet sie als solche, „welche die auf Grund von Meßanordnungen gewonnenen formelmäßigen Zusammenhänge physikalischer Größen und deren mathematische Weiterbehandlung herausstellen“. Sie sind im Text mit (M1) bezeichnet, wenn zur Lösung die Elementarmathematik ausreicht. Die (M2)-Aufgaben sollen sich „mit den einfachsten, auch den höheren Schulen geläufigen Methoden der höheren Mathematik übersichtlicher und damit in angenehmerer und geschmeidigerer Art durchführen“ lassen. Als (M1)-Beispiel sei Mechanik der festen Körper Nr. 30 angeführt: „Wie groß ist die Anfangsgeschwindigkeit v_0 eines Körpers, der auf einer horizontalen Strecke von $s = 100$ m unter dem Einfluß der Reibung ($\mu = 0,02$) zur Ruhe kommt?“ Zu den mit dem Zeichen (M2) versehenen Aufgaben gehört etwa Elektrizität Nr. 89: „Die Feldstärke in den Achsenpunkten eines Kreisstromes mit dem Halbmesser $R = 10$ cm und der Stärke $I = 50/\pi$ A ist zu berechnen und als Funktion des Abstandes r vom Kreismittelpunkt graphisch darzustellen.“

Unmittelbar an den Wortlaut jeder Aufgabe schließt sich ein Lösungsgang. Bei den (E)-Aufgaben werden Kapitelüberschriften, mehr oder weniger ausführliche Auseinandersetzungen, sowie Verweise auf schon behandelte Fragen gegeben. Zu den (M)-Aufgaben sind Andeutungen und Übersichten über den Gang der Rechnung hinzugefügt, ohne daß aber allgemein die Endformeln oder die schließlichen Zahlenergebnisse angegeben werden. Der Verfasser spricht den Wunsch aus, daß die Benutzer der Sammlung die Lösungshilfen erst dann in Anspruch nehmen möchten, „wenn die eigenen Überlegungen nicht zu dem gewünschten Erfolge führen sollten“. Man bringt sonst häufig den Wortlaut der Aufgaben und die Andeutungen

über die Lösungswege in getrennten Abschnitten unter, um die Versuchung einer zu frühzeitigen Inanspruchnahme der Hilfsstellung zu überwinden.

Die Einteilung der Gebiete ist die herkömmliche. 112 Aufgaben behandeln die Mechanik der festen Körper; 62 die Mechanik der Flüssigkeiten und Gase; 87 die Wärme; 108 das Licht; 141 Elektrizität und Magnetismus. Unter Einhaltung der Vorschläge des AEF ist jedem Abschnitt eine Übersicht über Formelzeichen und Einheiten vorangestellt. Das Buch schließt mit einem geschickt abgefaßten Sachverzeichnis.

Im ganzen genommen verarbeiten die 510 Aufgaben einen reichhaltigen Stoff in so verschiedenartiger Weise, daß sich mancherlei Anregungen daraus schöpfen lassen. Das von HERMANN SCHÄFFER für die physikalischen Übungen geprägte Wort: „Das Wissen ist leicht, das Können nicht immer“, wird hier wieder bestätigt. Das Buch kann sich auch für den Physiklehrer an höheren Schulen als wertvoll erweisen, und seine genaue Durchsicht läßt sich empfehlen.

Mth.

Sichtbares und unsichtbares Licht. Von E. RÜCHARDT. (Bd. 35 der Sammlung: Verständliche Wissenschaft.) VII, 175 Seiten mit 135 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1938. Preis geb. RM 4,80.

Das Buch ist der 35. Band des Sammelwerkes „Verständliche Wissenschaft“. Die flüssige Darstellung des Verfassers erfüllt in mustergültiger Weise die Forderung des Sammelwerkes, Wissenschaft verständlich darzustellen; es führt den Leser scheinbar mühelos in die Probleme der Optik, der elektromagnetischen Wellen und der Quantenphysik ein, ohne daß der Leser sich in wissenschaftliche Spezialarbeiten zu versenken braucht. Die Sprache ist nie trocken; die Darstellung erhebt sich sogar an einigen Stellen, besonders im Anfangs- und Endkapitel, durch echtes Pathos zu philosophischer Höhe. Die alte Wellentheorie des Lichtes und die neue Korpuskulartheorie werden mit den Erfahrungstatsachen, welche die eine und die andere tragen, nebeneinander gestellt. Verfasser legt dar, wie jede für sich allein die Gesamtheit der optischen Erscheinungen nicht erklären könne, beide stehen gleichberechtigt und nur in scheinbarem Gegensatz nebeneinander, denn je nach den Hilfsmitteln, mit denen der Forscher die Natur befrage, gebe diese entweder in der Sprache der Wellentheorie oder in der der Quantentheorie Antwort. Diese Synthese zweier Widersprüche kann als Meisterstück pädagogischer Kunst gewertet werden. Die Abkehr des Verfassers von jenem Ungeist, dessen Anmaßung und Überheblichkeit in der Suche nach einer Weltformel sich kundgibt, mit der alle Eigenschaften und Veränderungen in der Natur mathematisch berechnet werden könnten und die künftige empirische Untersuchungen überflüssig machen würde, beweist die philosophische Besonnenheit und Bescheidenheit des Verfassers.

Wilhelm Bahrdt.

Künstliche Radioaktivität. Experimentelle Ergebnisse. Von Dr. KURT DIEBNER und Dr. EBERHARD GRASSMANN. 87 Seiten mit 10 Schlagtabellen und 1 mehrfarbigen Tafel. Leipzig: S. Hirzel 1939. Halbleinw. RM 12.—.

Seit der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität durch CURIE-JOLIOT vor 4 Jahren ist eine große Fülle derartiger Prozesse bekannt geworden. Eine Übersicht ist dadurch erschwert, daß die Veröffentlichung dieser Untersuchungen auf eine große Zahl in- und ausländischer Zeitschriften verteilt ist, die nicht alle bequem erreichbar sind. Die Verfasser, die ja schon früher zusammenfassende Berichte über diese Versuche gegeben haben [Physik. Z. **37**, 359 (1936); **38**, 406 (1937); **39**, 469 (1938); **40**, 297 (1939)], bieten in dem vorliegenden Buch ein Nachschlagewerk aller experimentellen Ergebnisse der Forschungen über künstliche Radioaktivität, die bis zum September 1938 erschienen sind.

Eine knappe, aber sehr klare Einleitung geht voran und eingehende Literaturangaben sind hinzugefügt. Der Hauptteil des Buches bietet eine Übersicht über alle bekannten radioaktiven Prozesse und ihre Eigenschaften, wie chemischer Nachweis, Halbwertszeit, Art der emittierten Teilchen, obere Energiegrenze des Elektronenspektrums, γ -Strahlung, Ausbeute, Intensität usw. Die Prozesse sind geordnet nach den Ausgangselementen und bei diesen wieder nach der Art der Teilchen, die die Radioaktivität hervorrufen. Das ganze Tatsachenmaterial findet sich in einem 2. Teile nochmals in Form einer tabellarischen Aufstellung aller stabilen, natürlich und künstlich radioaktiven Isotope mit den wichtigsten Daten. Eine graphische Darstellung sämtlicher Isotope und ihrer Umwandlungsprozesse ist auf einer Tafel hinzugefügt. Die ganze Anordnung des reichen Tatsachengehalts ist so übersichtlich, daß alle einschlägigen Daten leicht auffindbar und miteinander vergleichbar sind. Der Druck und die Ausstattung des Buches sind vorzüglich. *E. Zimmer.*

Grundlagen der Atomphysik. Eine Einführung in das Studium der Wellenmechanik. Von HANS ADOLF BAUER. X und 249 Seiten mit 154 Abbildungen und 20 Zahlentafeln. Wien: Julius Springer 1938. Preis br. RM 12,60.

Das vorliegende Buch ist eine Erweiterung einer Vortragsreihe, die der Verfasser zur wissenschaftlichen Weiterbildung von Ingenieuren im Außeninstitut der Wiener Technischen Hochschule abgehalten hat. Das erste der drei Kapitel des Buches, „Teilchenstruktur der Materie“, bringt eine sehr geschickte Zusammenstellung der korpuskularen Eigenschaften der Materie einschließlich des Photons. Unter Beschränkung auf elementarmathematische Begründungen werden die wichtigsten Ergebnisse der Kernphysik und der Höhenstrahlung dargestellt. Es findet sich hier eine sehr übersichtliche Zusammenfassung der verschiedenen radioaktiven Prozesse mit einer guten Tafel der genauen Massenwerte der Atome und der Bindungsenergien ihrer Kerne. Dann folgt eine auch für den Anfänger gut lesbare Darstellung der ur-

sprünglichen BOHRschen Atomtheorie. Schwierigere mathematische Gedankengänge wie HAMILTONsche Mechanik werden vermieden, auf längere, umständlichere Rechnungen, wie Ermittlung der Feinstruktur des Wasserstoffspektrums, wird verzichtet und nur das Ergebnis angegeben. Für beides wird jeder Leser, der in die Materie erst eindringen will, nur dankbar sein, zumal er sachlich so weit geführt wird, daß er einen Einblick in die Richtungsquantelung und in die Mannigfaltigkeit der Verhältnisse beim anomalen ZEEMAN-Effekt und beim PASCHEN-BACK-Effekt erhält. Erwünscht wäre es, wenn in einer späteren Auflage eine Darstellung der RUTHERFORDschen Streuversuche und damit eine Begründung des Atommodells hinzugefügt würde; in der Tafel 12, die die Anordnung der Elektronen in der Atomhülle der einzelnen Elemente gibt, müßte berücksichtigt werden, daß die inneren Schalen sich nicht ganz gleichmäßig auffüllen (z. B. bei Cr und Cu). Das zweite Kapitel, „Die Wellenstruktur der Materie“, ist ebenso klar, knapp und gründlich gehalten; es enthält eine ausführliche Darstellung der Beugung der Röntgenstrahlen. Im dritten Kapitel findet sich dann „Die Vereinigung des Teilchen- und Wellenbildes in der Wellenmechanik“. Nach der Darstellung der Grundgedanken DE BROGLIES und der Ungenauigkeitsbeziehung von HEISENBERG wird die SCHRÖDINGERSche Wellengleichung aufgestellt. Die Anwendung auf Oszillator und Rotator gibt die Möglichkeit, die Hauptgesetze der Bandenspektren und des Wasserstoffspektrums zu behandeln und die Überlegenheit der Quantenmechanik zu zeigen. Den Schluß des Buches bildet die Deutung der Wellen als Wahrscheinlichkeitswellen und deren Anwendung auf die Berechnung der Intensitäten der Spektrallinien, ihre Polarisation und ihre Auswahlregeln.

Die ganze Darstellung ist von der Absicht geleitet, eine möglichst klare, übersichtliche, genügend kurze, trotzdem inhaltreiche und begründete Darstellung unserer wichtigsten Kenntnisse der Atomphysik zu geben. Diese Absicht ist erreicht worden. Das Buch ist nicht mit der Naivität des Spezialisten geschrieben, sondern mit dem Geschick eines pädagogisch Erfahrenen. Das Buch ist wirklich eine „Einführung“, knapp, inhaltreich, sauber in der Formulierung und genügend ausführlich in der Rechnung. Die sehr zahlreichen Tabellen, Zeichnungen und Lichtbilder geben einen erwünschten Zusammenhang der Theorie mit dem Experiment. Papier und Ausstattung des Buches sind ausgezeichnet. Diese Einführung in die Atomphysik kann warm empfohlen werden.

E. Zimmer.

Blätter für die Geschichte der Technik. Herausgegeben vom Österreichischen Forschungsinstitut für Geschichte der Technik. Schriftleitung: Hofrat o. ö. Prof. Dr. K. HOLEY. Fünftes Heft. 139 Seiten mit 92 Abbildungen. Wien: Julius Springer 1938. Preis geh. RM 6.—.

Das vorliegende fünfte Heft der „Blätter für Geschichte der Technik“ ist Hofrat Dr. Ing. e. h. LUDWIG ERHARD zu seinem 75. Geburtstag als Festschrift gewidmet. In den an die Spitze des

Heftes gesetzten Huldigungen des Arbeitsausschusses des Forschungsinstituts für Geschichte der Technik und des Univ.-Prof. Dr. H. RITTER VON SRBIK, der im Namen der Geschichtswissenschaft Österreichs spricht, werden als besondere Verdienste ERHARDS der Aufbau des Technischen Museums für Industrie und Gewerbe in Wien und des Österreichischen Forschungsinstituts für Geschichte der Technik hervorgehoben. Das Heft bringt eine Reihe wertvoller Artikel zur Geschichte der Technik in Österreich, die auf diesem Gebiete besonders angesehene Verfasser beigesteuert haben.

Ein großer Teil der Beiträge ist natürlich nur vom Techniker voll zu werten. Aber in allen ist auch für den physikalisch oder historisch interessierten Laien viel Anregendes zu lesen. Wenn CONRAD MATSCHOSS in seinem Artikel „Technische Kulturdenkmale als Quellen zur Geschichte der Technik“ anregt, man solle besonders wertvolle und kennzeichnende technische Kulturdenkmäler, die von bekannten oder unbekanntem Ingenieuren oder Handwerkern herrühren, nicht bloß in Museen konservieren, sondern sie an Ort und Stelle, wo sie einmal in Betrieb waren, erhalten, so kann man ihm, soweit es sich wirklich um lohnenswerte Dinge handelt, nur beipflichten. Der Beitrag von K. HOLEY „Die technischen Denkmäler in Österreich und ihre Verbundenheit mit Volk und Boden“ ist mit einer Reihe sehr schöner Abbildungen solcher technischen Kulturdenkmäler ausgestattet. Der heutige Mensch vergißt sehr leicht, daß es einmal eine Zeit gegeben hat, wo den Fabriken, den Bergwerken und den Beförderungsmitteln die Kraft des Dampfes und der Elektrizität noch nicht zur Verfügung standen, wo man auf den Betrieb durch Göpelwerke oder allenfalls auf die Ausnutzung von Wasserkraften angewiesen war. Da regt die Betrachtung alter, in ihrer natürlichen Umgebung erhaltenen technischen Denkmäler ungemein zur Besinnlichkeit an. In demselben Sinn ist auch der Artikel von J. SAMES „Reste der Schwarzenberg-Schwemmanlagen an der großen Mühl“ geschrieben. Nach den Ausführungen dieser Verfasser waren für die Erhaltung solcher technischen Denkmäler in Österreich durch gesetzliche Bestimmungen mehr Möglichkeiten vorhanden als im Altreich.

In einem weiteren Beitrage von E. VON KURZEL-RUNTSCHNEIDER erfährt man etwas über die beiden Kunstmechaniker LUDWIG KNAUS und FRIEDRICH VON KNAUS, die am Hofe der Kaiserin Maria Theresia wirkten und besonders durch die Konstruktion kunstvoller Uhrwerke großen Ruf erlangten. Ferner wird die Entwicklung der österreichischen Waffenindustrie im vorigen Jahrhundert von V. SCHÜTZENHOFER gewürdigt, der Lebensgang des Erbauers der Arlbergbahn, J. LOTT, von A. BIHL geschildert, die Entwicklung des Kraftwagenbaues in Österreich von J. ALTMANN und eine kurze Geschichte der ältesten Eisenindustriestätte Treibach in Kärnten von F. FATTINGER dargestellt. Anschaulich wird der Weggang des Kärntner Bleiweißverfahrens von F. SEDLACEK und der „Versuch der Einführung der Gasbeleuchtung bei den Salzwerken des Kammergutes“ von C. SCHRAML

geschildert. An eine längst vergessene eigenartige Flößerei, „die Ladenkarlfahrt auf der Steyr,“ erinnert ein Beitrag von E. NEWEKLOWSKY. Die Überwindung der Schwierigkeiten bei der Holzbringung für die Befuerung der Salzpflanzen im Salzkammergut wird von C. SCHRAML in dem Artikel „Der Holzaufzug und die Wasserriesen im Außerweißenbach“ beleuchtet. Zwei Beiträge von G. STRELE bzw. V. THIEL schildern die Bemühungen österreichischer Ingenieure auf dem Gebiete des Wasserbaues, „Die Entwicklung der Wildbachverbauung in Österreich“ und die „Geschichte der Donauregulierung bei Wien“. Den Abschluß bildet ein Artikel von F. KIRNAUER über „Bergmännische Zeichen“ auf Landkarten und in altem Steyrer Schreibpapier.

In dem Hefte werden naturgemäß nur Sachen behandelt, die sich auf das Land Österreich beziehen. Aber wenn auch diese historisch-technischen Berichte an sich jeden, der sie liest, durch ihren Inhalt anregen werden, so will es mir scheinen, daß man ein Moment dabei besonders bewerten muß: Weite Kreise des Altreichs gewinnen durch solche Schriften immer mehr die Möglichkeit, die nun zu Groß-Deutschland gehörende Ostmark näher kennenzulernen. P. Steindl.

Praktische Einführung in die physikalische Chemie. Von KARL LOTHAR WOLF und HANS-GEORG TRIESCHMANN. Zweiter Teil: Die chemische Reaktion. 172 Seiten mit 24 Abbildungen. Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn 1938. Preis brosch. RM 7,—.

Es war schon bei der Besprechung des ersten Teiles der praktischen Einführung in die physikalische Chemie von K. L. WOLF und H.-G. TRIESCHMANN (Moleküle und Kräfte) betont worden [diese Ztschr. 51, 215 (1938)], daß mit ihr der Versuch eines völlig neuartigen Lehrbuches für das physikalisch-chemische Anfängerpraktikum gemacht wurde, und anderem insofern, als der Beschreibung der Versuche ein verhältnismäßig geringer Raum gewidmet und um so mehr Gewicht darauf gelegt ist, die dem chemischen Problem zugrunde liegenden Tatsachen im verbindenden Text ausführlich zu besprechen. Dieser Grundsatz ist auch in dem nunmehr vorliegenden zweiten Teile, der den Untertitel: Die chemische Reaktion trägt, verfolgt worden, und zwar in noch stärkerem Maß als im ersten Teil. Die ebenfalls schon früher betonte Folge ist, daß der Student während seiner praktischen Arbeit nicht ohne die bekannten Laboratoriumsanweisungen auskommen kann, da die Versuche nur kurz erwähnt werden, und in den meisten Fällen auf die in anderen Lehrbüchern gegebenen Vorschriften zu ihrer Ausführung hingewiesen wird.

Dafür sind die grundlegenden Theorien der Elektrochemie im 1. Abschnitt (Ionen in Flüssigkeiten) auf nahezu 50 Seiten, die der Oberflächenerscheinungen im 2. Abschnitt (Moleküle in Oberflächen) auf mehr als 20 Seiten dargestellt. Diese beiden Abschnitte sind dem 3., welcher den speziellen chemischen Reaktionen gewidmet ist,

vorangestellt, um das Verständnis für den Ablauf der Reaktionen in Flüssigkeiten und an Grenzflächen zu ermöglichen, die nach Ansicht der Verfasser von weitaus größerer Bedeutung als die Gasreaktionen sind.

Wiederum ist als besonders begrüßenswert zu bezeichnen, daß zahlreiche bisher nicht übliche Versuche in den einzelnen Abschnitten aufgenom-

men wurden, darunter die chromatographische Analyse und einige Versuche über primäre und sensibilisierte Photoreaktionen sowie über Chemilumineszenz.

Dem Studenten kann das Buch besonders wegen der im Text vorhandenen Anregungen, die durch zahlreiche Literaturhinweise unterstützt werden, wärmstens empfohlen werden. *W. Groth.*

Aus Werkstätten.

ARISTO-Rechenstäbe der Firma Dennert & Pape in Hamburg-Altona.

Unsere Rohstofflage hat in der Tiefe die wunderbare Wirkung, die Werkstätten mit einem

Es ist das Verdienst der Firma Dennert & Pape in Hamburg-Altona, Friedenstr. 53/55, der ältesten deutschen Rechenstabfabrik, dem von JAMES WATT in die Technik eingeführten Rechenstab endlich die neue Form gegeben zu haben, die

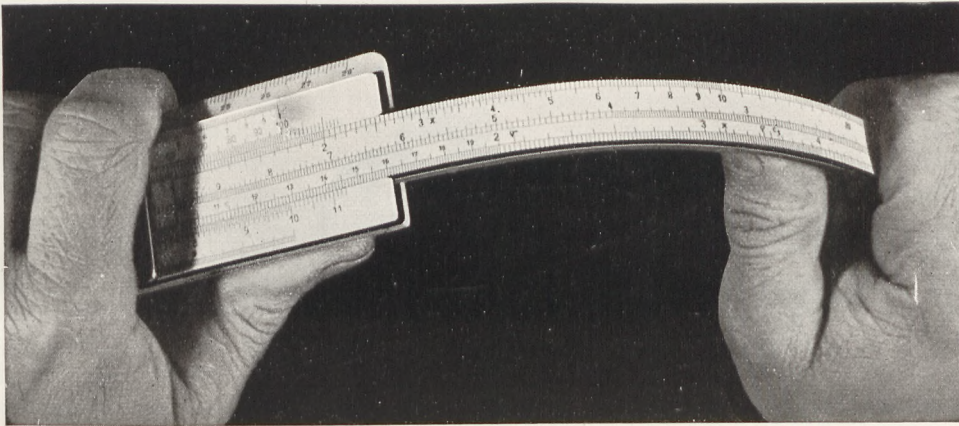


Fig. 1. Die biegsame Zunge.

bisher nicht gekannten Angebote von neuen Werkstoffen zu versehen. Diese meist auf dem Wege der Polymerisation oder Polykondensation gewonnenen Stoffe sind weder Ersatz noch Austausch, sondern selbständige Ergebnisse aus Herstellungsverfahren, die durch „Weichenstellung“ auf dem Weg ihres Werdens sich fast jeder Forderung der Werkstätten anpassen lassen. Ein besonderer Beweis für diese Anpassung ist der Werkstoff des Rechenstabes von heute, des ARISTO-Werkstoffes. Nicht nur, daß dieser Werkstoff temperatur- und feuchtigkeitsfest ist, also weder quillt noch schwindet, läßt er sich sauber hobeln,

ohne besondere bauliche Maßnahmen — nur durch den Werkstoff — weichstes Gleiten der Zunge und



Fig. 2. Normalrechenstab für die Tasche.

fräsen, gravieren, prägen und polieren, besitzt zudem eine gertengleiche Elastizität bei hoher Festigkeit (s. Fig. 1).

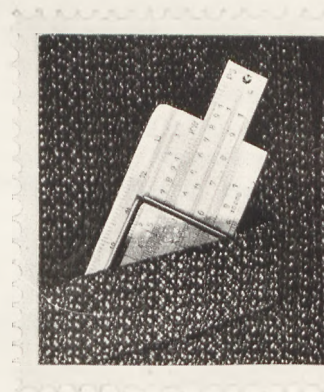


Fig. 3. ARISTO-Rechenstab in der Tasche.

damit höchste Rechengenauigkeit verbürgt. Mit der Vereinfachung im Bau, mit der Gewichtsverminderung, die dieser Werkstoff zuläßt (s. die Fig. 2

und 3), mit der mattweißen Oberfläche, die nicht mehr aufgeklebt wird, sondern dem massiven Körper angehört und die mit ihren Teilungen in schwarz und rot in kräftigstem Gegensatze steht, ist der Einwerkstoff-Rechenstab „ARISTO“ Ge-

Eine Neuerung auf dem Gebiete des Stabrechnens ist der „ARISTO-fix“, sozusagen ein Einhandrechenstab. Der Körper des Stabes ist in einem Holzfuß festgelegt, den man auf den Tisch stellt, oder am Reißbrett befestigt. Die Bewegung

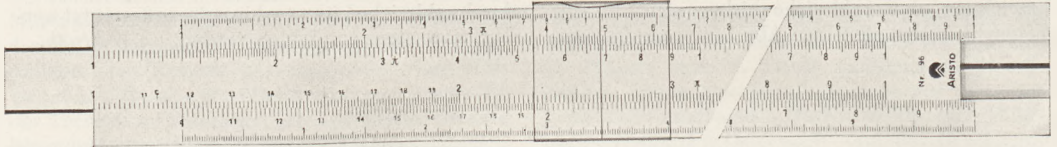


Fig. 4. Schulrechenstab mit Normalteilung.



Fig. 5. Schulrechenstab mit RIETZ-Teilung.

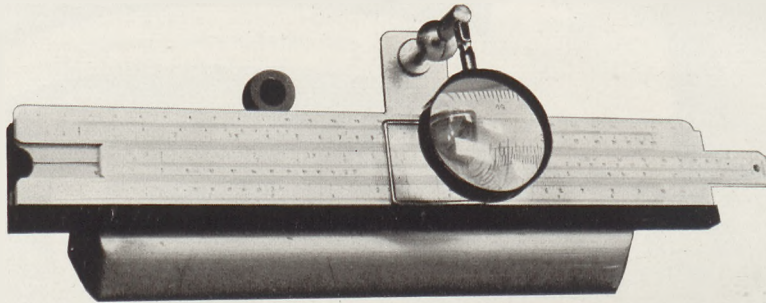


Fig. 6. ARISTO-fix.

meinschaftsgut aller Rechner geworden, also der Mathematiker, Chemiker, Physiker, der Ingenieure, aber auch der Kaufleute; nicht zuletzt hat sich dieser Rechenstab das weite Feld des Unterrichts erobert. Der Schulrechenstab mit Normalteilung (Fig. 4) kostet nur noch RM 3,75, zuzüglich Winkelteilung RM 4,65, mit RIETZ-Teilung (Kubus und Logarithmen) RM 4,65 bzw. RM 5,55 (Fig. 5).

der Zunge kann mit der rechten oder linken Hand durchgeführt werden, ohne daß etwa der Fuß mit dem Stabkörper mitgehen könnte. Der ARISTO-fix ist ein Beweis für das leichte und weiche Gleiten der Zunge in ihrer Führung (Fig. 6). Für den Unterricht baut die Firma Dennert & Pape auch Wandtafel-Rechenstäbe in mehreren Ausführungen, die die Einführung in die Kunst des Stabrechnens wesentlich erleichtern.

Korrespondenz.

Dem Andenken an ERNST GRIMSEHL.

Vor 25 Jahren, am 30. Oktober 1914, fiel in den Reihen der Helden von Langemarck unser ERNST GRIMSEHL. Was die POSKESCHE Zeitschrift

ihm verdankt, und was sein Wirken für die Geschichte des physikalischen Unterrichts bedeutet, findet auch heute noch die gleiche hohe Anerkennung wie vor einem Menschenalter. GRIMSEHLS Andenken wird nie erlöschen. *Mth.*