

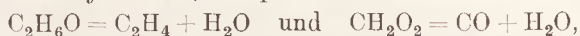
Die Bildung von Natriumformiat aus Natriumhydroxyd und Kohlenoxyd als Unterrichtsversuch.

Von Heinrich Rheinboldt in Bonn.

„Für die technische Darstellung (von Ameisensäure) aus Kohlenoxyd und Natriumhydroxyd konnte bisher noch keine für den Unterricht brauchbare Versuchsanordnung gefunden werden“ — schreibt W. FRANCK¹ im Jahre 1925. Da mir auch aus neuerer Zeit keine diesbezügliche Mitteilung bekannt geworden ist, sei die Anordnung beschrieben, nach der der Versuch seit mehreren Jahren von den Lehramtskandidaten im Praktikum der Bonner Schule ausgeführt wird.

Die Darstellung von Formiat aus Kohlenoxyd und Alkalien geht zurück auf eine Beobachtung von MARCELLIN BERTHELOT² im Jahre 1855. In demselben Jahre hatte BERTHELOT³ eine Abhandlung veröffentlicht: „Sur la formation de l'alcool au moyen du bicarbonate d'hydrogène“, worin er zeigte, daß reines Äthylen von konzentrierter Schwefelsäure reichlich aufgenommen wird und beim darauffolgenden Erhitzen mit dem 5 bis 6fachen Volumen Wasser Äthylalkohol erhalten werden kann⁴.

Die Überlegung, daß Kohlenoxyd zu Ameisensäure formal in derselben Beziehung stehe wie Äthylen zu Äthylalkohol, entsprechend den Formelbildern:



sowie die bekannte Tatsache, daß man sowohl Kohlenoxyd als Ameisensäure wie Äthylen aus Äthylalkohol durch Einwirkung von konzentrierter Schwefelsäure erhalten kann, veranlaßten ihn⁵ zu untersuchen, ob sich diese Beziehung der Ameisensäure auf Kohlenoxyd durch die Addition von Wasser an Kohlenoxyd experimentell erhärten ließe, so wie ihm dies für Äthylalkohol und Äthylen durch Anlagerung von Wasser an Äthylen gelungen war.

¹ W. FRANCK in ARENDT-DOERMERS Technik der Experimentalchemie, 5. Aufl. 1925, S. 565. Ähnlich äußert sich KARL SCHEID, Methodik des chemischen Unterrichts (2. Aufl. 1927), S. 419: „Die gegenwärtige Darstellungsmethode der Technik für die Ameisensäure, die Vereinigung von Kohlenoxyd und KOH zum Kaliumsalz, eignet sich nicht für den Unterricht und muß erzählt werden.“ Anstatt dessen wird als Demonstrationsversuch das verlassene Verfahren des Erhitzens von Oxalsäure mit Glycerin (s. u.) empfohlen!

² Biographie von BERTHELOT: vgl. Ber. dtsh. chem. Ges. **41**, 4805—4872 (CARL GRAEBE). — BUGGE: Buch der großen Chemiker II, 190—199 (E. FÄRBER).

³ BERTHELOT, Ann. chim. Phys. [3] **43**, 385—405 (1855). — Sur la reproduction de l'alcool par le bicarbonate d'hydrogène, C. r. Acad. Sci. Paris **40**, 102—106 (1855). Referate: Liebigs Ann. **94**, 78 (1855), Jber. d. Chem. **8**, 602 (1855). — J. prakt. Chem. **65**, 274 (1855). — Chem. Zbl. **1855**, 109.

⁴ Es hatten allerdings bereits MICHAEL FARADAY und HENRY HENNELL im Jahre 1828 erkannt, daß sich Äthylen in Schwefelsäure löst. HENNELL, dem man die Aufklärung der Ätherbildung aus Alkohol und Schwefelsäure verdankt, gibt an, daß sich Äthylen mit Schwefelsäure zu Äthylschwefelsäure verbindet, aus der man — je nach den Versuchsbedingungen — entweder Äther oder Alkohol erhalten kann. Später war die Anschauung vorherrschend geworden, daß Schwefelsäure Äthylen selbst kaum absorbiere, sondern nur dessen Verunreinigungen, Alkohol- und Ätherdampf. Es ist das Verdienst von BERTHELOT, die Sachlage einwandfrei im Sinne der älteren Anschauung geklärt zu haben. Vgl. C. MARX, Künstliche Zusammensetzung des Alkohols, J. prakt. Chem. **65**, 92 (1855), sowie DUMAS, BALARD, THENARD, Rapport sur un Mémoire de M. BERTHELOT, ayant pour titre: De la reproduction de l'alcool par le bicarbonate d'hydrogène, C. r. Acad. Sci. Paris **40**, 222—224 (1855).

⁵ M. BERTHELOT, Transformation de l'oxyde de carbone en acide formique, C. r. Acad. Sci. Paris **41**, 955 (1855). Referate: Liebigs Ann. **97**, 125 (1856). — Jber. d. Chem. **8**, 500 (1855). — Chem. Zbl. **1856**, 16.

Die Versuche wurden folgendermaßen ausgeführt: In Glasballons von 500 cm³ Inhalt wurden je 10 g schwach befeuchtetes Kaliumhydroxyd gebracht. Darauf wurden die Ballons mit reinem Kohlenoxyd gefüllt und zugeschmolzen. 10 bis 12 derartiger Ansätze wurden gemeinsam in einem Wasserbad 70 Stunden auf 100° erhitzt. Darauf wurden die Ballons unter Quecksilber geöffnet mit dem Ergebnis, daß sie infolge Absorption des Kohlenoxyds ein fast vollkommenes Vakuum enthielten. Der Kolbeninhalt wurde in Wasser gelöst, die Lösung mit verdünnter Schwefelsäure angesäuert und destilliert. Aus dem Destillat wurde durch Eintragen von Bleicarbonat ameisen-saures Blei gewonnen, dessen Identität durch quantitative Analyse und typische Reaktionen sichergestellt wurde.

In einer ausführlicheren Abhandlung¹ wird ferner angegeben, daß 70stündiges Erhitzen bei 100° notwendig ist, um eine vollständige Absorption des Kohlenoxyds zu erzielen, daß diese aber bei 220° bereits nach 10 Stunden beendet ist. Beimischung von Sauerstoff zu dem Kohlenoxyd beeinflußt die Reaktion in keiner Weise. Außerdem wurde beobachtet, daß auch eine wässrige Kaliumhydroxydlösung bei gewöhnlicher Temperatur Kohlenoxyd absorbiert, allerdings außerordentlich langsam, so daß von einem gegebenen Volumen Kohlenoxyd im Verlaufe von 4 Monaten $\frac{4}{5}$ verbraucht wurden. Feuchtes Kaliumcarbonat bindet bei 220° in 10 bis 15 Stunden ebenfalls Kohlenoxyd unter Bildung von Kaliumformiat, während das trockene Salz sich vollkommen indifferent verhält, genau so wie Natriumacetat. Dagegen absorbiert Bariumhydroxyd bei 100° Kohlenoxyd.

In einer späteren Mitteilung² kommt BERTHELOT nochmals auf die Formiatbildung zurück und gibt Resultate einer Untersuchung über die Absorption von Kohlenoxyd durch die Hydroxyde von Kalium, Natrium, Calcium, Barium bei gewöhnlicher Temperatur unter Gegenwart von Wasser, Alkoholen, Estern und Äther bekannt, eine Arbeit, die eine Reihe interessanter Beobachtungen enthält.

Zu einer Darstellungsmethode hat BERTHELOT die beobachtete Bildungsweise der Formiate nicht ausgebaut; vielmehr teilte er gleichzeitig³ ein anderes Verfahren zur bequemeren Darstellung der damals nur schwer zugänglichen Ameisensäure⁴ mit: Erhitzen von kristallisierter Oxalsäure mit Glycerin. Dies blieb einige Jahrzehnte hindurch der beste Weg zur Gewinnung der Ameisensäure!

Erst im Jahre 1877 beschäftigte sich VICTOR MERZ⁵ mit J. TIBIRIČÁ⁶ wieder mit der BERTHELOTSchen Reaktion; es wurde gefunden, daß Natronkalk bei 200 bis 250° strömendes Kohlenoxyd rasch absorbiert, so daß sich hierauf ein Darstellungsverfahren — auch ein technisches — für Ameisensäure aufbauen ließe. In der ausführlichen Mitteilung⁷ ihrer Versuchsergebnisse geben sie bekannt, daß trockenes Kohlenoxyd mit trockenem Natronkalk nicht in Reaktion tritt, daß dagegen das feuchte Gas von lockerem Natronkalk (mit 5 bis 10% Feuchtigkeitsgehalt) bei Temperaturen zwischen

¹ M. BERTHELOT, Recherches sur les relations qui existent entre l'oxyde de carbone et l'acide formique, Ann. chim. Phys. [3] 46, 477—491 (1856); speziell 479—481.

² M. BERTHELOT, Sur l'absorption de l'oxyde de carbone par les alcalis, Ann. chim. Phys. [3] 61, 463—467 (1861).

³ M. BERTHELOT, Nouveau procédé pour préparer l'acide formique, C. r. Acad. Sci. Paris 42, 447—450 (1856). Referate: Liebigs Ann. 98, 139—141 (1856). — Chem. Zbl. 1856, 257—258. — Vgl. auch Ann. chim. Phys. [3] 46, 484—487 (1856).

⁴ Ameisensäure wurde zu dieser Zeit erhalten aus Ameisen oder meist durch Oxydation von Weinsäure oder von Kohlenhydraten mit Braunstein und Schwefelsäure nach einem umständlichen Verfahren, das 1821 von JOHANN WOLFGANG DÖBEREINER aufgefunden worden war. Vgl. DÖBEREINER, Formation artificielle de l'acide formique, Ann. chim. Phys. [2] 20, 329—330 (1822). DÖBEREINER, Über die medizinische und chemische Anwendung und die vorteilhafte Darstellung der Ameisensäure, Liebigs Ann. 3, 141—146 (1832).

⁵ Biographie: Ber. dtsh. chem. Ges. 37, 2529—2530 (1904).

⁶ V. MERZ u. J. TIBIRIČÁ: Über ein Verfahren Ameisensäure darzustellen, Ber. dtsh. chem. Ges. 10, 2117 (1877).

⁷ V. MERZ u. J. TIBIRIČÁ: Über synthetische Beschaffung der Ameisensäure, Ber. dtsh. chem. Ges. 13, 23—33 (1880).

170° und 220° rasch absorbiert wird: Ausbeute im Maximum um 90% der Theorie bei einer Versuchsdauer von 6 bis 10 Stunden, meist aber geringer. Oberhalb 230° tritt Zersetzung ein in Carbonat und Wasserstoff. Die Verfasser glauben, daß es nach ihren Erfahrungen am vorteilhaftesten wäre, wenn ein größerer Bedarf an Ameisensäure bestände, „im Großen Ameisensäure, bezüglich Formiate, aus anorganischem Material darzustellen“.

In demselben Jahre teilte ANTON GEUTHER¹ bei Gelegenheit von Versuchen über die Einwirkung von Kohlenoxyd auf Natriumalkoholate mit, daß trockenes, feingepulvertes Natriumhydroxyd bei 160° durch Kohlenoxyd leicht in ameisen-saures Salz verwandelt wird.

Im Jahre 1894 wurde von M. GOLDSCHMIDT, Köpenick bei Berlin, unter Bezugnahme auf die Versuche von MERZ und TIBIRIÇÁ, ein technisches Verfahren² zur Darstellung von Formiat aus Natronkalk und Kohlenoxyd ausgebildet, nach dem das Gas unter Druck zur Reaktion gebracht wird. Seither wird die gesamte Ameisensäure auf diesem Wege gewonnen, der eine billige Darstellung im Großen ermöglicht³. So ist es dahin gekommen, daß die Ameisensäure, die seinerzeit nach dem BERTHELOtschen Verfahren aus Oxalsäure dargestellt wurde, heute Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Oxalsäure geworden ist⁴.

Die Geschichte der Ameisensäuresynthese ist ein lehrreiches Beispiel für den wirtschaftlichen Wert wissenschaftlicher Arbeit; sie zeigt, wie eine aus rein wissenschaftlichen Gründen durchgeführte Untersuchung nach langer Zeit Veranlassung zur Einführung eines neuen technischen Fabrikationszweiges werden kann: eine Tatsache, auf die, gerade in der heutigen wirtschaftlichen Notzeit, die Jugend nicht nachdrücklich genug hingewiesen werden kann!

Bereits in ihrer ersten kurzen Mitteilung schreiben MERZ und TIBIRIÇÁ: „Die Absorption des Kohlenoxyds durch Natronkalk läßt sich benutzen, um das Hervorgehen einer organischen Substanz aus unorganischem Material im Vorlesungsversuch ad oculos zu bringen“, und 1880 veröffentlichte MERZ mit WILHELM WEITH⁵ die Beschreibung einer Versuchsanordnung. Diese Mitteilung ist in der Folgezeit offenbar vollkommen übersehen worden; der Versuch ist in keines der bekannteren Sammelwerke für Vorlesungs- und Unterrichtsversuche aufgenommen worden. Ich selbst habe die Versuchsbeschreibung erst dieser Tage zufällig aufgefunden, als ich bei dem Literaturstudium für diesen Aufsatz die Arbeiten von MERZ einer Durchsicht unterzog. Aus Gründen historischer Gerechtigkeit sei die Versuchsbeschreibung von MERZ und WEITH hierher gesetzt:

¹ A. GEUTHER, Neue Synthese von Kohlenstoffsäuren, Liebigs Ann. **202**, 288—331 (1880); speziell 317—318. Biographie: Ber. dtsh. chem. Ges. **63 A**, 145—157 (1930); (C. DUISBERG u. K. HESS.)

² Dr. M. GOLDSCHMIDT, D.R.P. 86419 (1894). Vgl. FRIEDLAENDER, Fortschr. d. Teerfarbenfabrikation **4**, 20—22 (1899). Chem. Zbl. **1896 II**, 221. Die weitere Entwicklung des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, daß Ätzalkalien ohne Verteilungstoffe verwendet werden, daß die teueren Ätzalkalien durch Calciumhydroxyd ersetzt werden, daß sich Formiate durch Behandeln von Lösungen der Ätzalkalien mit Kohlenoxyd unter starkem Überdruck erhalten lassen. Vgl. dazu ULLMANN, Enzyklopädie der technischen Chemie I (1928), 330f.; vgl. auch Chem. Zbl. **1924**, I. 2096.

³ Ameisensäure ist heute die billigste organische Säure!

⁴ Durch thermische Zersetzung von Natriumformiat: $2\text{Na}[\text{HCO}_2] \rightarrow \text{Na}_2[\text{C}_2\text{O}_4] + \text{H}_2$, nach einer 1840 von JEAN BAPTISTE DUMAS und JEAN SERVAIS STAS beobachteten Reaktion; Second Mémoire sur les types chimiques, Ann. chim. Phys. [2] **73**, 113—166 (1840), speziell 123; vgl. Liebigs Ann. **35**, 138—139 (1840). Die Reaktion wurde in der Folgezeit genauer untersucht von E. ERLÉNMEYER u. GÜTSCHOW, Über die Umwandlung des ameisen-sauren Natrons in oxalsaures, Chem. Zbl. **1868**, 420—422. — V. MERZ u. W. WEITH, Über synthetische Oxalsäure, Ber. dtsh. chem. Ges. **15**, 1507 bis 1513 (1882). Technisches Verfahren von M. GOLDSCHMIDT 1897; D.R.P. 111078, vgl. FRIEDLAENDER, Fortschr. d. Teerfarbenfabrikation **5**, 29—31 (1901). Über weiteres siehe ULLMANN, Enzyklopädie d. techn. Chem. VIII (1931), 217f.

⁵ V. MERZ u. W. WEITH, Vorlesungsversuche, Ber. dtsh. chem. Ges. **13**, 718—724 (1880); speziell 718—719. Diese Mitteilung enthält übrigens noch eine Reihe anderer interessanter Unterrichtsversuche! Biographie von WEITH: Ber. dtsh. chem. Ges. **15**, 3291—3300 (1882), verfaßt von VICTOR MEYER.

„Wie in diesen Berichten mitgeteilt ist, wird das Kohlenoxyd von genügend erhitztem Natronkalk unter Formiatbildung rasch absorbiert. Diese Reaktion kann dazu dienen, die Bildung eines organischen Körpers aus unorganischem Material im Vorlesungsversuche anzudeuten.

Das ganz reine Kohlenoxyd wird aus einem Gasometer durch Barytwasser geleitet, welches durchaus klar bleiben soll, und gelangt dann auf den Boden einer gut halb oder zu zweidrittel mit Natronkalk gefüllten und im Ölbad auf 200–220° erhitzten Retorte. Die Retorte faßt ca. 250 ccm; sie ist luftdicht mit einer doppelt tubulierten Vorlage verbunden, welche selber durch eine an 6 Fuß¹ lange Steigröhre in tief indigoblaues Wasser taucht. — Anfangs ist die Absorption des Kohlenoxyds — Stromgeschwindigkeit etwa 200 Blasen in der Minute — nur gering, aber sie wächst zusehends, so daß nach 15–20 Minuten auch nicht eine Gasblase mehr durch das vorgelegte, blaue Wasser bricht und dieses eventuell zurückzusteigen beginnt. Sperrt man jetzt den Gasstrom, so steigt die Indigolösung in 1½ bis 2 Minuten die 6 Fuß hoch (weißer Hintergrund empfehlenswerth), strömt in die Vorlage, bald auch in den Retortenhals, und ist nun neues Kohlenoxyd zuzuführen, um einem Bruche der Retorte vorzubeugen.

Wird bei normalem Gasstrom die Steigröhre geschlossen, so zeigt sich die saugende Wirkung des Natronkalks an den fort und fort rasch durch die Waschflüssigkeit brechenden Gasblasen. — Wie selbstverständlich, wirkt der Natronkalk, wenn man das Kohlenoxydgasometer gegen sein Wasser absperrt, in zweifacher Richtung saugend und kann so eine lebhafte Gasblasenfolge erzielt und zugleich die indigoblaue Säule mehrere Fuß hoch gehalten werden.

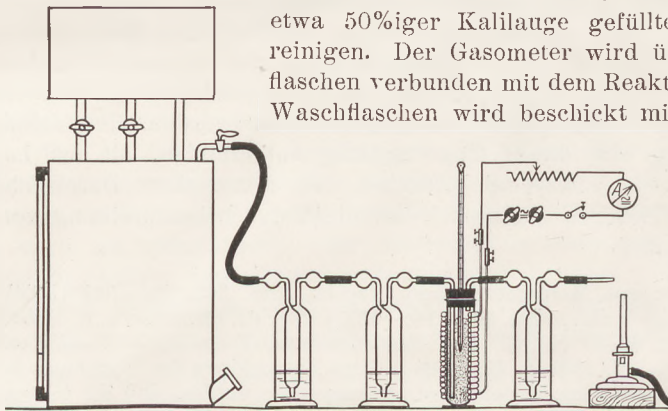
Als bei einem Versuche statt der Indigolösung Quecksilber genommen wurde, hob sich dasselbe, nach erfolgter Sistierung des Gasstromes, in kurzer Zeit auf die nahezu halbe Barometerhöhe, so daß der atmosphärische Überdruck die Kautschukröhren durch Zusammenpressen schloß.

Wie noch erwähnt sei, kann man nicht wohl statt der Absorptionsretorte einen Kolben nehmen, weil hier Wassertropfen zurückfallen, vergasen, Kohlenoxyd hinwegdrängen und so seine Absorption stark beeinträchtigen. Daher soll auch das Heizöl bis dicht unter den Hals der Retorte reichen.“

Nun zu der Beschreibung unserer

Versuchsordnung.

Der Aufbau der Apparatur ist in der Figur dargestellt. Das Kohlenoxyd wird einem geräumigen Gasometer entnommen. Das aus Ameisensäure und konzentrierter Schwefelsäure dargestellte Gas muß völlig frei sein von Kohlendioxyd, ist also während des Füllens des Gasometers durch Hindurchleiten durch mehrere mit etwa 50%iger Kalilauge gefüllte Waschflaschen gründlich zu reinigen. Der Gasometer wird über zwei MÜENCKESche Waschflaschen verbunden mit dem Reaktionsgefäß. Die erste der beiden Waschflaschen wird beschickt mit 50%iger Kalilauge oder mit



Apparatur für Bildung von Natriumformiat aus Natronkalk und Kohlenoxyd.

Barytwasser, die zweite mit schwach (!) gefärbtem Wasser (Indigolösung oder Fuchsin). Das Einleitungsrohr in das Reaktionsgefäß muß fast bis zu dessen Boden reichen. Aus dem Reaktionsgefäß führt ein Ableitungsrohr, das kurz unterhalb des Stopfens beginnt, zu einer MÜENCKESchen Waschflasche, die mit kräftig gefärbtem Wasser

gefüllt wird. An das Ende der Waschflasche wird ein zu einer nicht zu engen Spitze ausgezogenes gerades Glasrohr angesetzt, das mit Glaswolle gestopft wird. Vor die Mündung dieses Rohres wird ein Bunsenbrenner gestellt.

Da bei diesem Versuche die Temperatur gleichmäßig zu steigern und leicht zu regulieren sein muß, ist für das Reaktionsgefäß eine elektrische Heizung vorgesehen. Das Reaktionsgefäß besteht aus einem Präparatenglas mit rundem Boden von 15 cm Länge und 3,5 cm lichter Weite. Um das Gefäß wird zunächst eine Lage von dünnem Asbestpapier herumgelegt, die mit einer Schicht von dünner Asbestschnur umwickelt wird. Zwischen die Asbestschnur wird ein Blumendraht von 0,3 mm Stärke und etwa

¹ = etwa 180 cm.

180 cm Länge in gleichmäßigen Windungen herumgewickelt, so daß sich diese gegenseitig nicht berühren. Am oberen Ende des Gefäßes bleibt ein Stück frei, soweit der später einzusetzende Stopfen in das Gefäß hineinreicht. Über die Drahtwicklung wird eine zweite Lage von Asbestschnur gewickelt. Die Drahtenden werden oben und unten herausgeführt und in Klemmschrauben befestigt.

Die Reaktionsmasse wird bereitet, indem man in einer Porzellanschale 40 g Natriumhydroxyd unter Erwärmen in wenig Wasser löst, 30 g Natronkalk einträgt und unter beständigem Umrühren mit kleiner Flamme erhitzt, bis die Masse wieder fest zu werden beginnt. Dann trocknet man das Produkt möglichst rasch bei 105° bis 110° im Trockenschrank, bis man es — in einer angewärmten Reibschale — gerade pulvern kann. Das gesamte Gemenge wird noch warm in das Reaktionsgefäß eingefüllt, indem man es zwischen Glaswolle verteilt. Gaszuführungs- und Gasableitungsrohr des Reaktionsgefäßes sind sofort zu verschließen und bis zur Ausführung des Versuches verschlossen zu halten.

Ausführung des Versuches.

Man beginnt das Reaktionsgefäß vorsichtig zu erhitzen und leitet gleichzeitig einen kräftigen Kohlenoxydstrom durch die Apparatur, bis die vor die Ausströmungsöffnung gestellte Bunsenflamme eine eindeutige Kohlenoxydflamme anzeigt. Dann wird die Gasgeschwindigkeit gemäßigt, so daß man den Durchgang der Gasblasen durch die Waschflaschen gut verfolgen kann: etwa 60 bis 100 Blasen je Minute. Die Temperatur des Reaktionsraumes wird langsam und regelmäßig gesteigert. Sobald die Anzahl der durch die endständige Waschflasche austretenden Gasblasen geringer wird als die der in das Reaktionsgefäß eintretenden, hält man die Temperatur konstant. Gehen nach einiger Zeit durch die letzte Waschflasche immer noch einige Gasblasen hindurch, so wird die Temperatur wiederum langsam gesteigert, bis eine vollständige Absorption des Kohlenoxyds erfolgt. Wird nunmehr die Temperatur konstant gehalten, so steigt das gefärbte Wasser in der letzten Waschflasche empor, obwohl ein lebhafter Gasstrom dem Reaktionsraum zuströmt.

Nachdem man das Emporsteigen des Wassers in der letzten Waschflasche deutlich beobachtet oder demonstriert hat, reguliert man die Geschwindigkeit des Kohlenoxydstromes so, daß in der endständigen Waschflasche das Wasser im Innen- und Außenraum auf gleichem Niveau gehalten wird. Hält man den Versuch bei konstanter Temperatur etwa eine halbe Stunde in Gang, so kann die Ameisensäure in der mit Wasser ausgelaugten Reaktionsmasse unschwer nachgewiesen werden: Ansäuern einer Probe der Lösung mit Schwefelsäure und Erwärmen mit einer verdünnten Permanganatlösung oder Reduktion einer ammoniakalischen Silbernitratlösung beim Erwärmen mit einer mittels verdünnter Salpetersäure ganz schwach angesäuerten Probe.

Man kann den Versuch auch so durchführen, daß man auf den Nachweis der Ameisensäure verzichtet und dafür die Zersetzung des Formiates bei höherer Temperatur beobachtet. Hierzu sperrt man, wenn die Kohlenoxydabsorption bei konstanter Temperatur eine Zeitlang (etwa 20 Min.) durchgeführt wurde, die Kohlenoxydzufuhr vollkommen ab und steigert die Temperatur allmählich, aber schneller als vorher, gegen etwa 250°, bis plötzlich ein lebhafter Gasdurchgang durch die endständige Waschflasche einsetzt, wobei die Flamme des Bunsenbrenners meist gelblich gefärbt wird. Es handelt sich bei dem Vorgange hauptsächlich um den thermischen Zerfall des Formiates in Wasserstoff, Kohlenoxyd und Carbonat: $2\text{Na}[\text{HCO}_2] \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CO} + \text{H}_2$ oder in Carbonat und Wasserstoff: $\text{Na}[\text{HCO}_2] + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2$.

Bei welcher Temperatur das Optimum der Formiatbildung liegt, läßt sich nicht genau angeben. Die optimale Bildungstemperatur ist abhängig vor allem von der Beschaffenheit des verwendeten Reaktionsgemenges, sie ist daher bei verschiedenen Versuchen verschieden: meist liegt sie zwischen 160° und 210°, mitunter aber bereits tiefer. Deshalb muß in der geschilderten Weise vorgegangen werden, indem man die

Temperatur des Reaktionsraumes langsam steigert, das Einsetzen der Absorption beobachtet und dann die Temperatur konstant hält. Sollte man einmal bis 210° keine Absorption beobachtet haben, so bereitet man am besten ein neues Gemenge von Natriumhydroxyd mit Natronkalk.

Zwecks Beendigung des Versuches läßt man nach Ausschalten des Heizstromes unter langsamem Hindurchleiten von Kohlenoxyd die Apparatur vollkommen erkalten, ehe sie auseinandergenommen wird, wobei man sich hüte vor dem Einatmen von Kohlenoxyd.

Chemisches Institut der Universität Bonn. Anorganische Abteilung.

Die Gefügeänderungen der Metalle.

Von Dipl.-Ing. Paul Beck in Berlin.

Der physikalische Zustand eines im Gleichgewicht befindlichen materiellen Systems wird in der physikalischen Chemie gewöhnlich durch Größen wie Konzentration, Druck und Temperatur beschrieben. Die Phasenregel besagt, daß man immer nur über eine beschränkte Anzahl solcher Größen frei verfügen kann. Die maximale Anzahl frei verfügbarer Zustandsvariablen, der sogenannte Freiheitsgrad, ist: $F = n - r + 2$ in einem System, das n Komponenten enthält und aus r Phasen zusammengesetzt ist. Im einfachsten Fall ist $n = 1$ und $r = 1$, also F gleich zwei. So ist z. B. der Zustand, d. h. alle Eigenschaften eines Metallkörpers, theoretisch eindeutig festgelegt, sobald man den Wert zweier Zustandsvariablen, sagen wir des Druckes und der Temperatur, angibt.

Die Erfahrung lehrt aber, daß man von demselben Metall mit Leichtigkeit einzelne Körper herstellen kann, deren Eigenschaften bei demselben Druck und derselben Temperatur verschieden sind. Erhitzen wir z. B. Stücke eines hartgezogenen Kupferdrahtes bei verschiedenen Temperaturen und während verschieden langer Zeiten, so erhalten wir Drahtstücke, die verschiedene Eigenschaften aufweisen. Ihre elektrischen Widerstände, Dichten, magnetischen Suszeptibilitäten, Hallkoeffizienten usw. sind verschieden. Und zwar sind diese Abweichungen viel größer als die der Meßgenauigkeit entsprechende Streuung. Die Phasenregel ist hier demnach offensichtlich nicht anwendbar.

Die Phasenregel bezieht sich nur auf Gleichgewichtszustände und besagt in unserem Fall bloß, daß bei gegebenem Druck und gegebener Temperatur nur ein einziger Gleichgewichtszustand möglich ist. Wenn also die Eigenschaften unserer Kupferdrähte voneinander abweichen, so ist das mit der Phasenregel nur vereinbar, wenn man annimmt, daß von ihnen sich höchstens einer im Gleichgewicht befindet, die übrigen dagegen diesen Zustand noch nicht erreicht haben. Die Tatsache, daß unsere untereinander verschiedenen Kupferdrähte sich bei Zimmertemperatur nicht verändern und sich keinem gemeinsamen Gleichgewichtszustand nähern, bedeutet keinen Widerspruch zu dieser Auffassung. Es ist in der Chemie und Physik wohl bekannt, daß unter Umständen auch Zustände dauernd bestehen bleiben können, die vom Gleichgewicht stark abweichen. Dieses metastabile Verhalten der betrachteten Kupferdrähte verschwindet aber, sobald sie auf höhere Temperatur erhitzt werden. Dann nähern sie sich alle demselben Gleichgewichtszustand, und man beobachtet dies daran, daß sich ihre physikalischen Kennzahlen nach einer bestimmten Grenze hin ändern. Wir sehen also, daß im Einklang mit der Phasenregel nur ein wirklicher Gleichgewichtszustand existiert. Daneben aber kommen noch Reihen von metastabilen Zuständen vor. Der Unterschied zwischen ersteren und letzteren, vom thermodynamischen Standpunkt aus gesehen, ist der, daß unter allen möglichen Zuständen die freie Energie im Gleichgewichtszustand ein Minimum ist. Wir können also, ohne etwas von den strukturellen Ursachen für die Unterschiede zwischen diesen verschiedenen Zuständen zu wissen, rein phänomenal-energetisch aussagen, daß alle metastabilen Zustände gegenüber dem Gleichgewichtszustande durch einen Überschuß

der im System enthaltenen Energie gekennzeichnet sind. Dieser Schluß ist aber noch etwas zu allgemein, um praktisch verwertbar zu sein. Für die genaue Kenntnis dieser metastabilen Zustände müßten wir weiter noch nicht nur die zahlenmäßigen Werte ihrer Energieaufnahme kennen, sondern auch die Form, in der diese Energiezusätze im System gespeichert werden. Wir müßten über die energetischen Daten hinaus auch den Mechanismus der Energieaufnahme und -abgabe kennen. Wie eingangs gesagt, sind die erwähnten untereinander verschiedenen Zustände dadurch zu erreichen, daß man das Metallstück in vorgeschriebener Weise deformiert und erhitzt. Den Zustand der Probekörper konnten wir an die Gleichgewichtslage wieder durch Erhitzen annähern. Unser Problem läßt sich also folgendermaßen kennzeichnen: Was für Änderungen entstehen in einem Metallstück bei Deformation und Erhitzung, und wie groß ist die mit diesen Änderungen verbundene Energiezunahme, resp. -abnahme?

Es ist bekannt, daß alle unsere Metallgegenstände vom Trauring bis zur Kanone aus kleineren oder größeren Kristallen bestehen. Wenn man z. B. durch das Mikroskop die geschliffene Oberfläche der Metallgegenstände betrachtet (Fig. 1), dann sieht man eine netzartige Zeichnung, deren Linien den Korngrenzen entsprechen. Jedes Korn ist da ein Kristall. Dies bedeutet, daß die innerhalb der Grenzen eines Kornes befindliche Metallmasse in ein zusammenhängendes Raumgitter eingeordnet ist. Im allgemeinen wird die Orientierung der Körner nicht die gleiche sein, also findet man beim Überschreiten einer Korngrenze eine sprunghafte Änderung der Gitterlage. Das kann man gut sehen, wenn man auf einem Metallschliff durch tiefes Ätzen Ätzgrübchen erzeugt (Fig. 2). Die diese Grübchen begrenzenden Kristallflächen sind nämlich innerhalb eines Kornes einander parallel und spiegeln das auffallende Licht in derselben Richtung zurück; in benachbarten Körnern sind aber diese reflektierenden Flächen verschieden orientiert. Auf einem solchen tiefgeätzten Schliff erscheinen also die einzelnen Körner als gleichmäßig reflektierende Gebiete, zwei nebeneinander liegende Körner aber reflektieren im allgemeinen verschieden.

Bei den festen Metallphasen ergibt also schon die mikroskopische Untersuchung einen wichtigen Unterschied gegenüber den gewöhnlich in Betracht kommenden flüssigen und gasförmigen Phasen. Während nämlich bei letzteren eine weitgehende

Homogenität (Strukturlosigkeit) durch die statistisch vollkommene Regellosigkeit der Atomverteilung erreicht wird, ist die bei den kristallinen Metallphasen beobachtbare Körner-Struktur der Träger einer Reihe von Variationsmöglichkeiten. So z. B. kann die durchschnittliche Korngröße variiert werden durch geeignete Deformation und Wärmebehandlung. Es lassen sich auf diese Weise von demselben Metallstoff Körper weitgehend verschiedener Korngröße herstellen. Die praktisch am meisten vorkommenden Korngrößen liegen zwischen 0,001 bis 1 mm; manchmal kommen aber auch Körner von 2 bis 3 cm vor.

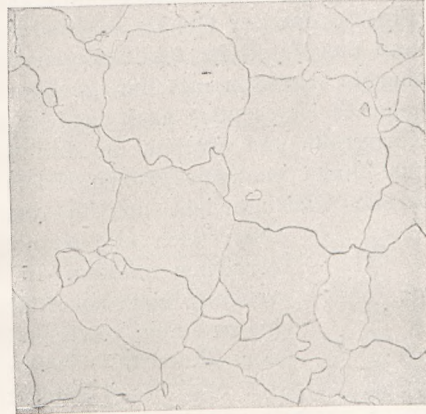


Fig. 1. Korngrenzen einer polykristallinen Metallstruktur (Vergr. etwa 800 mal).

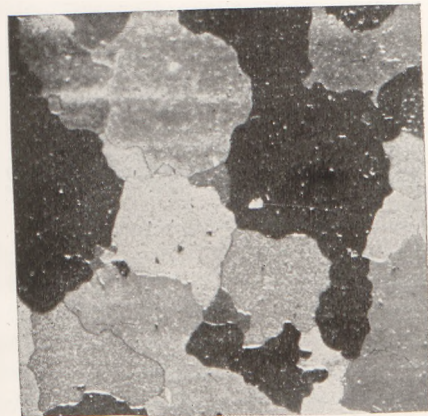


Fig. 2. Reflexionsunterschiede der Körner nach dem Ätzen (Vergr. etwa 800 mal).

Die Metallographen haben oft eine Wachstumstendenz der kleinen Kristalle bei verschiedenen Metallen beobachtet. Je feiner die Struktur ist, um so mehr trachtet sie, gröber zu werden. Solche Beobachtungen wurden sehr ausführlich an Wolfram durch TARJÁN und TURÝ und durch JEFFRIES und ARCHER ausgeführt.

Es ist leicht einzusehen, daß das Metall im feinkörnigen Zustand viel mehr innere Körneroberflächen enthält als dasselbe Metallstück im grobkörnigen Zustand (Fig. 3). Da der Gehalt an Oberflächenenergie der Gesamtoberfläche proportional ist, muß das Metall im feinkörnigen Zustand entsprechend mehr angehäufte Oberflächenenergie besitzen als im grobkörnigen Zustand. Wegen dieses höheren Energiegehaltes ist es aber auch weniger stabil. Die Stabilität wächst also mit zunehmender Korngröße und erreicht ihr Maximum in dem Zustand, in dem der ganze Metallkörper aus einem einzigen großen Kristall besteht. Dies besagt, daß das erwähnte strukturelle Gleichgewicht nur in dem Einkristall-Zustand möglich ist, daß also theoretisch alle Metallgegenstände letzten Endes einen solchen Zustand erreichen müßten. In der Wirklichkeit vollzieht sich dieser Wachstumsvorgang auch bei Erhitzung, die solche inneren Vorgänge erleichtert, nur bis zu einem gewissen Grade. Das vollkommene strukturelle Gleichgewicht, der Einkristall-Zustand, wird auch bei Erhitzung nur ausnahmsweise erreicht. Bei gewöhnlichen Temperaturen können aber die Metalle einen vom Gleichgewicht abweichenden Zustand sogar Jahrtausende lang beibehalten, wie es durch die metallographische Untersuchung von Werkzeugen aus dem Bronze-Zeitalter nachgewiesen wurde.

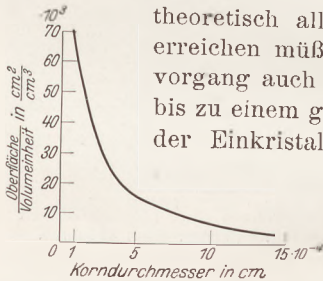


Fig. 3. Abnahme der Gesamtoberfläche der Körner mit wachsender Korngröße.

Diese Neigung zur Metastabilität wird verständlich, wenn wir bedenken, daß die Reaktionswärme der betreffenden Änderungen sehr klein ist. Dies zeigt zum Beispiel folgender Vergleich: während die Reaktionswärme bei der α -Eisen \rightarrow β -Eisen-Umwandlung etwa 51 cal/cm^3 beträgt, geht die Summe der Oberflächenenergie nicht über die Größenordnung von $0,1 \text{ cal/cm}^3$ hinaus, gewöhnliche Korngrößen vorausgesetzt. Interessant ist es aber, daß diese energetisch so geringen Abweichungen praktisch so wichtige Folgen haben.

Der strukturelle Zustand beeinflusst nämlich in starkem Maße die Festigkeitseigenschaften, die Geschwindigkeit der inneren Diffusion und die elektrischen und magnetischen Eigenschaften. Es sind also eben diese technologisch so wichtigen Eigenschaften, die durch die gewöhnlichen physikalisch-chemischen Zustandsvariablen an sich nicht bestimmt werden. Um den Zustand des Metalles auch bezüglich dieser Eigenschaften genau anzugeben, muß man noch eine Strukturbeschreibung hinzufügen. So nimmt zum Beispiel die Festigkeit sehr schnell ab bei der Annäherung an den stabilen Einkristall. Unsere wichtigsten Konstruktionsmaterialien, die Metalle, wären unbrauchbar weiche Stoffe und unsere ganze technische Zivilisation wäre wahrscheinlich auf einer viel primitiveren Stufe stehen geblieben, wenn die Metalle das strukturelle Gleichgewicht: den Einkristallzustand, erreichen könnten. Eine der wichtigsten Aufgaben der Metall-Technologie ist eben die Herstellung von Materialien, die ausreichende Festigkeit aufweisen. Ein Weg in dieser Richtung ist das Verfeinern der Struktur, d. h. die Verkleinerung der Korngröße.

Dagegen war es ein für die Metallphysik sehr bemerkenswertes Resultat, daß man vor etwa 10 Jahren schon aus den meisten Metallen durch die von CZOCHRALSKI, BRIDGMAN, CARPENTER und ELAM ausgearbeiteten Methoden einkristalline Körper von bedeutender Größe herstellen konnte¹. Dadurch sind wir nämlich an den wirklichen Gleichgewichts-

¹ Die CZOCHRALSKISCHE Methode wird bei den leichtschmelzenden Metallen (Zinn, Zink, Cadmium) angewendet. Man taucht in die Schmelze ein Kriställchen des festen Metalles ein und zieht es wieder so langsam heraus, daß es sich von der Schmelze nicht losreißt, sondern sich daraus ernährend weiterwächst. In dieser Weise kann man meterlange Kristalle erzeugen (s. a. diese Zeitschrift 44, 158; 1931. E. HERLINGER, Die neueren Beobachtungsmethoden des Kristallwachstums). — Das

zustand gelangt und können so die wirklichen, durch Metastabilität nicht verfälschten Eigenschaften der Metalle feststellen. Das Interessanteste in dieser Beziehung war freilich eben die Untersuchung der Festigkeit, d. h. des plastischen Verhaltens dieser Metall-Einkristalle. Wir verdanken das Aufschließen dieses wichtigen Gebietes den Arbeiten von M. POLANYI und seinen Mitarbeitern. Unabhängig von ihnen sind auch CARPENTER und ELAM in England, bei abweichender Methodik, im wesentlichen zu den gleichen Resultaten gelangt. Diese Resultate kann man wie folgt darstellen. Untersuchen wir etwa einen langen zylindrischen Zinnkristall: wir können uns durch Röntgenstrahlen leicht überzeugen, daß das Raumgitter wirklich innerhalb des ganzen Stückes die gleiche Orientierung hat. Wenn wir die zwei Enden dieses Kristalls in einen Apparat einspannen, der ihn dehnt und während der Dehnung fortwährend die nötige Kraft registriert, dann sehen wir, daß die zum Deformieren nötige Kraft anfänglich sehr schnell ansteigt. Bei einem gewissen Punkt wird der Widerstand des Kristalls überwunden. Danach läßt sich die Dehnung mit konstanter oder sogar absteigender Kraft weiter ausführen, bis der Kristall endlich zerreißt. Daß in dem Kristall an diesem Grenzpunkt tiefgreifende Änderungen vorgehen, zeigt auch eine andere Erscheinung. Auf der bis dahin glatten Oberfläche des zylindrischen Kristalls erscheinen nämlich Scharen von einander parallelen elliptischen Linien (Fig. 4). Man kann nachweisen, daß diese Ellipsen immer Durchschneidungslinien einer kristallographisch bestimmten Gitterebenschar mit der Zylinderoberfläche sind. Man sieht deutlich, daß der Kristall während der Dehnung, nach dem Erreichen des Grenzpunktes, sich entlang dieser kristallographischen Ebenen in Lamellen aufspaltet, und die weitere Deformation besteht nun darin, daß diese Lamellen in gewissen, kristallographisch bestimmten Richtungen aneinander abgleiten. Während dieses Vorganges wird aus dem anfangs zylindrischen Kristall ein flaches Band, indem sich die ursprünglich allgemeine Lage der Gleitebene mehr und mehr in die Dehnungsrichtung einfügt. Das bedeutet also eine gewaltige Umorientierung des Kristallgitters in Bezug auf die Stabachse. Wenn wir die Komponente der jeweiligen Zugspannung ausrechnen, die in die dazugehörigen Gleitrichtungen fällt und diese Gleitspannung als Funktion der Dehnung auftragen, dann bekommen wir eine anfänglich sehr rapide, von dem Grenzpunkte ab jedoch langsamer ansteigende Kurve (Fig. 5). Die zur Gleitung nötige Kraft wächst also während der Gleitung; der Kristall weist gegen die Deformierung einen wachsenden Widerstand auf; er verfestigt sich.

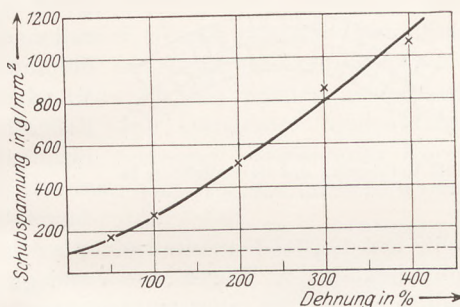


Fig. 4. Dehnungsdiagramm eines Einkristalles.

Während dieses Vorganges wird aus dem anfangs zylindrischen Kristall ein flaches Band, indem sich die ursprünglich allgemeine Lage der Gleitebene mehr und mehr in die Dehnungsrichtung einfügt. Das bedeutet also eine gewaltige Umorientierung des Kristallgitters in Bezug auf die Stabachse. Wenn wir die Komponente der jeweiligen Zugspannung ausrechnen, die in die dazugehörigen Gleitrichtungen fällt und diese Gleitspannung als Funktion der Dehnung auftragen, dann bekommen wir eine anfänglich sehr rapide, von dem Grenzpunkte ab jedoch langsamer ansteigende Kurve (Fig. 5). Die zur Gleitung nötige Kraft wächst also während der Gleitung; der Kristall weist gegen die Deformierung einen wachsenden Widerstand auf; er verfestigt sich.



Fig. 5. Gleitlinien (Spuren von Gleitebenen) auf der Oberfläche eines Einkristalles.

Dieser Mechanismus der Dehnung und auch die Verfestigung tritt im wesentlichen bei allen Metallen ähnlich auf. Auf Unterschiede, die das Bild bei den kubischen Metallen verschleiern, kann hier nur hingewiesen werden: wegen der höheren Symmetrie dieser Kristalle sind hier meistens mehrere Gleitebenen und Richtungen (Gleitsysteme) gleichzeitig in Tätigkeit. Auch besteht die wichtige Beobachtung bei allen Metallen zu Recht, daß die zur Betätigung eines bestimmten Gleitsystems nötige Grenz-

Verfahren von BRIDGMAN besteht in der Abkühlung der Schmelze in einem länglichen Gefäß, das aus dem heißen Teil des Ofens äußerst langsam herausgezogen wird. Die Oxydation kann man hier durch Schmelzen im Vakuum vermeiden. — Nach CARPENTER und ELAM kann man Einkristalle von hochschmelzenden Metallen durch Rekristallisation erzeugen, ohne Schmelzen.

Verfahren von BRIDGMAN besteht in der Abkühlung der Schmelze in einem länglichen Gefäß, das aus dem heißen Teil des Ofens äußerst langsam herausgezogen wird. Die Oxydation kann man hier durch Schmelzen im Vakuum vermeiden. — Nach CARPENTER und ELAM kann man Einkristalle von hochschmelzenden Metallen durch Rekristallisation erzeugen, ohne Schmelzen.

Gleitspannung unabhängig von der Orientierung des Kristalls ist. Diese Grenzspannungen, bei denen die Kristalle sich zu deformieren beginnen, sind kennzeichnend für das Material und sind schon für die meisten Metalle bestimmt worden.

Der Mechanismus der Deformation ist in Wirklichkeit nicht so einfach, wie es hier dargelegt wurde. Ein Unterschied, der eben in diesem Zusammenhang sehr wichtig ist, ist folgender: die Gleitung kann im allgemeinen auch schon bei dem Einkristall nicht ungestört vor sich gehen, sondern die einzelnen Lamellen werden durch die auf sie wirkenden Kräfte außer Gleitung auch noch Verbiegung erfahren (Fig. 6). Der Mechanismus der Deformation ist also im allgemeinen diese sogenannte

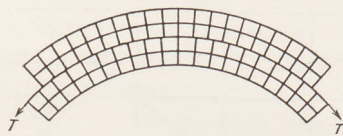


Fig. 6.
Die Verbiegung des Kristallgitters in
den Gleitlamellen. (Nach M. POLANYI.)

Biegegleitung, die durch MÜGGE für bestimmte Mineralien schon in den neunziger Jahren entdeckt wurde, die aber für die Metalle zuerst von POLANYI und seinen Mitarbeitern nachgewiesen wurde. Der deformierte Kristall weicht nach dem Gesagten hauptsächlich in zwei Beziehungen von dem normalen, ungestörten Kristall ab: 1. Es bilden sich in großer Anzahl Gleitflächen, an denen die Regelmäßigkeit des Gitters aufhört. Die Gitterteile auf den beiden Seiten einer solchen inneren Trennungsfläche passen nicht richtig aufeinander. 2. Wegen der Verbiegung der Lamellen sind ihre äußersten Schichten auf Zug und ihre innersten Schichten auf Druck beansprucht. Die einzelnen Lamellen tragen also elastische Spannungen.

Alles dies gilt auch in dem Fall, daß der Einkristall nicht durch Zug, sondern durch eine beliebige andere Deformationsweise verformt wird. Die Vorgänge werden höchstens etwas komplizierter dadurch, daß mehrere Gleitsysteme gleichzeitig tätig sind und ineinander greifen. Es wurde aber auch gefunden, daß die physikalische Grundlage der Verformung von polykristallinen Metallkörpern dieselbe ist. Nur ist hier die Orientierung der benachbarten Kristalle im allgemeinen verschieden, so daß sie bei der Deformation in verschiedenen Richtungen gleiten möchten und deshalb sich gegenseitig hindern. Eine Folge davon ist, daß die innerhalb eines Kristalles auftretenden Spannungen, die Krümmungen der Lamellen, besonders an der Grenze der Körner sehr groß werden. Weiterhin — da die Nachbarkörner einander im Gleiten hindern — wird die zum Deformieren nötige Kraft viel größer: der Polykristall wird schwerer deformierbar, d. h. fester als der Einkristall. Trotzdem besteht aber die Deformation auch hier innerhalb des einzelnen Kristalles im Abgleiten der einzelnen Lamellen. Auch hier werden die einzelnen Kristalle in der Richtung der maximalen Zugspannung gedehnt.



Fig. 7.
Deformierte poly-
kristalline Struktur.
(Nach ADCOCK.)

Die Körner nehmen eine längliche Gestalt an. Das typische Bild der deformierten polykristallinen Struktur besteht aus lauter solchen „fischförmigen“ Körnern (Fig. 7).

Solch eine deformierte Struktur ist erfahrungsgemäß in einem metastabilen Zustand. Nach POLANYI ist die Instabilität eines solchen deformierten Metalles auf die in ihm angehäuften, mit sehr kurzer Wellenlänge periodisch schwankenden inneren Spannungen zurückzuführen. Die elastische Energie, die in einem solchen deformierten Metallkörper in reversibler Form angesammelt ist, die also dessen Energieinhalt erhöht, ist meistens sehr gering. MASING und POLANYI haben aus Elektrolytpotentialmessungen berechnet, daß diese Energie der Größenordnung nach 1% der Reaktionswärme bei Phasenumwandlungen der Metalle beträgt. Aber es ist auch hier die energetisch so geringe Abweichung vom Gleichgewicht mit einer überaus starken Änderung einzelner Eigenschaften verbunden. Daß die Festigkeit während der Deformation anwächst, haben wir schon gesehen. Außerdem ändern sich besonders die übrigen sogenannten strukturempfindlichen Eigenschaften: der elektrische Widerstand, magnetische Suszeptibilität, Löslichkeit usw.

Zusammenfassend läßt sich somit sagen: Ein polykristalliner Metallkörper, der vom Standpunkte der Phasenlehre im Gleichgewicht ist, kann trotzdem instabil sein: 1. wegen einer Anhäufung von Oberflächenenergie, wenn die Körner sehr klein sind; 2. wegen Aufspeicherung von elastischer Energie, wenn der Metallkörper vorher verformt wurde. Welches auch der Grund für eine Instabilität sei, ihr Vorhandensein kann man daran erkennen, daß gewisse Eigenschaften vom Normalen abweichen. Und dann weiter daran, daß diese Abweichungen sich allmählich verringern; der instabile Zustand nähert sich immer mehr dem stabilen, sobald die Temperatur genügend hoch ist.

Wenden wir uns jetzt den Vorgängen zu, die zu einer Stabilisierung des Gefüges führen. Früher, als man die erwähnten zwei Gründe für die Instabilität noch nicht genügend klar auseinanderhalten konnte, hat man infolgedessen auch die beiden Arten von Stabilisierungsprozessen nicht getrennt. Sie wurden gemeinsam als Rekristallisation bezeichnet. Heute ist schon eine verfeinerte Nomenklatur üblich. Man unterscheidet ein mit Oberflächenenergie-Abnahme verbundenes Kornwachstum oder Oberflächenrekristallisation, was also eine Vergrößerung der Struktur bedeutet, von den Vorgängen, die die deformierte Struktur unter Verlust von angehäufter elastischer Energie in einen stabileren Zustand überführen. Diesen letzteren Vorgang nennt man Rekristallisation. Die Unterschiede zwischen diesen zwei Arten von Stabilisierungsvorgängen treten sehr deutlich zutage bei einer näheren Untersuchung, obwohl beide Vorgänge in den meisten praktisch vorkommenden Fällen eng miteinander gekoppelt auftreten. Jedenfalls wird die Oberflächenrekristallisation meistens nur als Folge einer vorangehenden Rekristallisation bemerkbar, welche, wie weiter unten gezeigt wird, das zur Oberflächenrekristallisation nötige feine Korn unter Umständen produzieren kann.

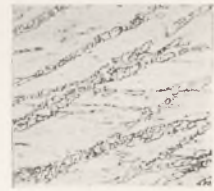


Fig. 8.
Das Auftreten rekristallisierter Körner in der deformierten Struktur.
(Nach ADCOCK.)

Wie verlaufen nun diese Stabilisierungsvorgänge? Ich habe schon erwähnt, daß ein deformiertes Metallstück bei Lufttemperatur sehr lange Zeit in seinem metastabilen Zustand verharren kann. Erfahrungsgemäß werden aber die Stabilisierungsvorgänge durch Temperaturerhöhung wesentlich beschleunigt, so sehr, daß man meistens eine Grenztemperatur angeben kann, in deren Umgebung die nötige Zeitdauer von unmeßbar lang auf Stundengrößenordnung herabfällt. Diese Grenztemperatur ist verschieden je nach dem Metall und der Stärke der Deformation.

Bei einer angemessenen Temperatur kann man dann etwa folgendes beobachten: Im Verlauf der Erhitzung verschwinden zuerst die im LAUESCHEN Röntgendiagramm beobachtbaren Verzerrungen, dann fällt allmählich der elektrische Widerstand auf seinen normalen Wert ab, und endlich, nach einer gewissen Zeit verliert auch der Metallkörper seine gesteigerte Härte: er entfestigt sich. Diese Änderungen setzen teilweise ein, noch ehe die mikroskopische Struktur sich merklich ändert. Diesen Teil des Vorganges, der also noch keine bemerkbaren Gefügeänderungen mit sich bringt, nennt man Erholung. Deren Vorkommen bei Einkristallen hat M. POLANYI entdeckt.

Die durch das Mikroskop beobachtbaren Änderungen hat zuerst der amerikanische Metallograph SAUVEUR im Jahre 1912 verfolgt. Immerhin dauerte es dann noch wenigstens 10 Jahre, bis man durch die mühevollen Forschungen von CHAPPELL, ADCOCK, CZOCHRALSKI, CARPENTER und ELAM, MASING, JEFFRIES und ARCHER zum Wesen dieser Erscheinungen vordringen konnte. Die Resultate dieser lange dauernden, bis ins einzelne gehenden Arbeiten kann man heute folgendermaßen zusammenfassen: Die Körner der deformierten Struktur werden durch die während der Erhitzung entstandenen und wachsenden neuen Kristalle verzehrt (Fig. 8). Diese neuen Kristalle kann man oft daran erkennen, daß sie, im Gegensatz zu den langgestreckten, deformierten Kristallen, nach allen Richtungen ungefähr die gleichen Abmessungen haben. Wenn der Rekristallisationsvorgang zu Ende ist, sind die

deformierten Körner im wesentlichen gänzlich verschwunden. Gelegentliche Ausnahmen können dadurch zustande kommen, daß bei großem Ausgangskorn und geringer Deformation gewisse Teile mancher Kristalle nur sehr wenig deformiert werden. Diese Stellen von minimaler, lokaler Deformation können dann bei nicht sehr hoher Rekristallisationstemperatur von den neuen Kristallen nur sehr viel langsamer verzehrt werden als die übrigen Teile. Sie können also unter diesen speziellen Bedingungen als Reste der deformierten Struktur noch durch lange Glühdauern hindurch erhalten bleiben (Fig. 9). Im normalen Fall erhält man aber durch diese Neubildung des Kornes eine Struktur, die in allen Beziehungen der vor der Deformation bestehenden Ausgangsstruktur ähnlich ist. Darum nennt man diesen Vorgang Rekristallisation. Dieser Name hat sich weitgehend eingebürgert, obwohl vielleicht eine andere Bezeichnung, nämlich „Umkristallisation“, die Sachlage deutlicher beleuchten würde.

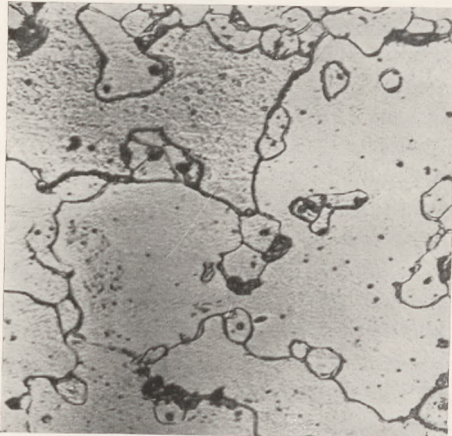


Fig. 9. Reste der deformierten Körner, umgeben vom neuen Korn.

In der Tat laufen diese Vorgänge sehr ähnlich den von TAMMANN seinerzeit untersuchten allotropen Phasenumwandlungen ab. Die deformierten Körner bilden die verschwindende Phase, und die sich bildende Phase, die neuen Körner, wachsen auf deren Kosten. Bei dieser Analogie darf man aber nicht an die gewöhnlichen, sogenannten enantiotropen Phasenumwandlungen denken. Ein wesentlicher Unterschied diesen gegenüber besteht bereits darin, daß es bei der Rekristallisation keine physikalischen Bedingungen gibt, bei denen die zwei sich berührenden Phasen miteinander im Gleichgewicht wären. Die Umwandlung ist in diesem Sinne nicht reversibel. Sie ähnelt sich darin

mehr den sogenannten monotropen Phasenumwandlungen, die nach den Untersuchungen von TAMMANN, z. B. bei den verschiedenen Eismodifikationen, charakteristisch vorkommen. Auch hier gibt es Modifikationen, die innerhalb ihres ganzen Existenzgebietes instabil sind gegenüber den sich aus ihnen bildenden neuen Modifikationen.

Die Verwandtschaft der Rekristallisation mit den oben genannten allotropen Umwandlungen tritt auch darin in Erscheinung, daß die „neue Phase“ auch hier von einzelnen Keimen ausgeht. Diese sind anfangs auch im Mikroskop noch nicht sichtbar, wachsen aber bei der Erhitzung schnell in die deformierten Körner hinein (Fig. 9). Von je weniger Keimen das Wachstum der „neuen Phase“ ausgeht, um so weiter voneinander müssen die einzelnen Keime im Durchschnitt liegen, um so mehr Raum bleibt also für den einzelnen neuen Kristall zur Verfügung. Die Größe der neuen Kristalle ist also nicht direkt mit der der alten Kristalle verknüpft. Sie hängt vielmehr nur von der Anzahl der sich bildenden Rekristallisationskeime ab. Wenn also auf jedes deformierte Korn im Durchschnitt mehr als ein Keim fällt, dann wird die neue Struktur feinkörniger als die alte war; im entgegengesetzten Fall wird sie größer ausfallen. Beide Fälle kommen in der Tat vor.

Das Zunehmen der „neuen Phase“ wird also auch bei der Rekristallisation, ebenso wie zum Beispiel bei dem Auskristallisieren aus einer übersättigten Lösung, durch zwei Faktoren bestimmt: durch die sich in der Zeiteinheit bildende Anzahl von Rekristallisationskeimen und durch deren lineare Wachstumsgeschwindigkeit. In den meisten praktischen Fällen wird die Korngröße der neuen Struktur davon abhängen, welcher dieser in Konkurrenz befindlichen Faktoren die Oberhand gewinnt. Wenn die sich zuerst bildenden Keime sehr schnell wachsen, also einen großen Volumenanteil des deformierten Metalls verzehren, ehe noch die darin verborgenen Keim-

bildungsfähigkeiten zur Auswirkung gelangen können, wird die Struktur grob. Wenn die Keimbildungsgeschwindigkeit überwiegt, muß sie viel feiner ausfallen.

Da die Korngröße ein für die Anwendung der Metalle sehr wichtiges Charakteristikum ist, haben sich viele Forscher damit befaßt, die Wirkung verschiedener Variablen auf sie festzustellen. So haben den Einfluß der Glüh-temperatur und des Deformationsgrades J. CZOCHRALSKI, den der Erhitzungsgeschwindigkeit G. MASING und den der Ausgangskorngröße VAN ARKEL zuerst untersucht. Die beiden ersten von CZOCHRALSKI untersuchten Faktoren üben einen sehr wesentlichen Einfluß aus. CZOCHRALSKI selbst hat sie sogar als ausschließlich maßgebend betrachtet. Dementsprechend hat er in seinen sogenannten Rekristallisationsdiagrammen

die sich bildende Korngröße als eine Funktion der Glüh-temperatur und des Deformationsgrades dargestellt.

Solch ein von CZOCHRALSKI für Zinn bestimmtes Diagramm ist in Fig. 10 dargestellt. Die T -konstanten Schnitte des Raumdiagramms zeigen, daß die Korngröße bei einem bestimmten „kritischen“ Grad der Deformation plötzlich sehr groß wird,

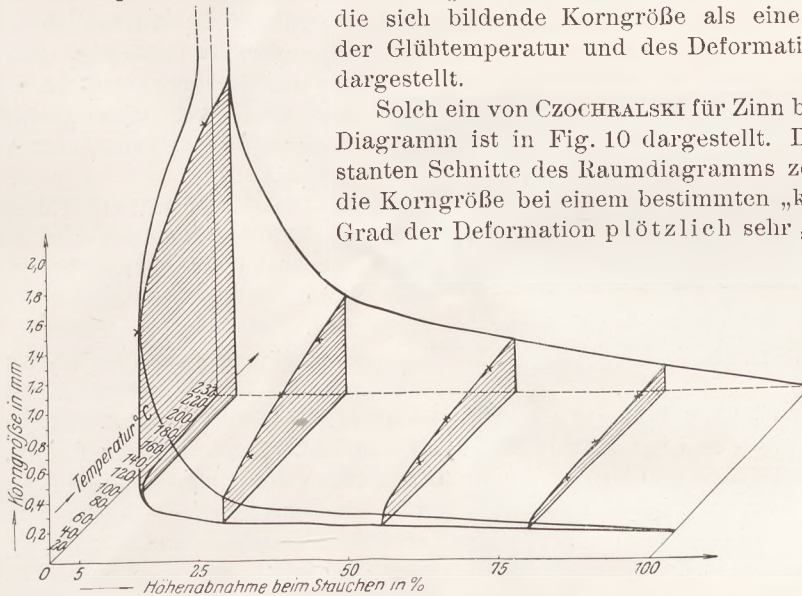


Fig. 10. Rekristallisationsdiagramm von CZOCHRALSKI.

um bei fortschreitender Deformation allmählich wieder abzunehmen. Der sprunghafte Anstieg der Korngröße entspricht den ersten wenigen Rekristallisationskeimen. Bei weiterer Deformation wird die Anzahl der Keime immer größer und größer, die Korngröße dementsprechend kleiner und kleiner. Die kritische Deformation, bei der die Keimbildung, also die Rekristallisation überhaupt einsetzt, ist abhängig von der Rekristallisationstemperatur. Je höher man erhitzt, um so kleinere Deformationen genügen. In den deformationskonstanten Schnitten des Diagramms sieht man, daß auch die Erhitzungstemperatur einen Schwellenwert besitzt. Diese „Rekristallisationstemperatur“ ist ihrerseits wieder vom Deformationsgrad abhängig: je stärker die Deformation war, um so niedrigere Temperatur reicht aus.

Nach den Arbeiten von VAN ARKEL und G. MASING wissen wir, daß die Korngröße bei derselben Verformung noch von der Ausgangskorngröße und bei festgehaltener Glüh-temperatur noch von der Erhitzungsgeschwindigkeit wesentlich abhängt. Dieser Umstand schränkt schon weitgehend die Brauchbarkeit der CZOCHRALSKI-schen Diagramme ein. Eine weitere Unbestimmtheit dieser „Rekristallisationsdiagramme“ soll hier noch diskutiert werden wegen ihrer allgemeineren Gültigkeit und prinzipiellen Bedeutung. Betrachten wir die Tatsache, daß diese Diagramme bei steigender Temperatur wachsende Korngrößen aufweisen. Aus der obigen Überlegung, nach welcher die Korngröße durch die Konkurrenz zwischen Keimbildungsgeschwindigkeit und Wachstumsgeschwindigkeit bestimmt wird, ergibt sich aber, daß die durch Rekristallisation entstandene Struktur sich in entgegengesetztem Sinne mit der Glüh-temperatur ändern muß. Je höher nämlich die Glüh-temperatur ist, um so mehr

Keime werden in Tätigkeit gesetzt (die große Schar „schwächerer“ Keime betätigt sich erst bei höherer Temperatur), um so kleiner werden also die einzelnen Kristalle. Dieser scheinbare Widerspruch ergibt sich daraus, daß die von CZOCHRALSKI beobachteten Strukturen durch Rekristallisation plus nachfolgender Oberflächenrekristallisation entstanden waren. Der letztere Vorgang kann immer eintreten, wenn die durch Rekristallisation entstandene Struktur zu feinkörnig ist, um bei der betreffenden Temperatur beständig zu sein. Auf die Rekristallisation folgend tritt in solchen Fällen noch der andere Stabilisierungsvorgang hinzu, der eine Vergrößerung der Struktur bewirkt. Die resultierende Struktur ist also weitgehend von der Rekristallisationsstruktur, die hier als Zwischenstufe erscheint, verschieden. Die durch Oberflächenrekristallisation entstandene endgültige Struktur ist tatsächlich in der von CZOCHRALSKI angegebenen Weise von der Glüh Temperatur abhängig. (Sie ist außer von der Glüh Temperatur im wesentlichen nur noch von den geringsten Beimengungen von Fremdstoffen stark abhängig.)

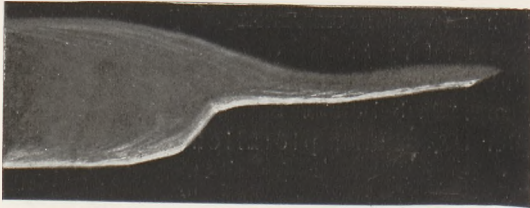


Fig. 11. Übergangsstelle zwischen flachgedehntem und zylindrischem Teil eines gedehnten Zinnkristalles.
(Nach M. POLANYI und E. SCHMIDT.)

Die bisher erwähnten Untersuchungen beschäftigen sich mit den statistischen Durchschnittsdaten der polykristallinen Metallstruktur, die technologisch wichtig sind. Über das physikalische Wesen der Erscheinung geben sie aber wenig Aufschluß. Um die physikalischen Grundlagen übersehen zu können, muß man den Mechanismus der Bildung und des Wachstums des einzelnen Keims untersuchen. Man muß die Bedingungen für Bildung und Wachstum in der unmittelbaren Nähe des Keims auffinden. Über diese wichtigen Fragen gibt es aber noch große Unstimmigkeiten. Nach MASING bilden sich die Keime in der verformten Struktur an Stellen maximaler, elastischer Spannungen. Diese Annahme würde das Zunehmen der Keimzahl mit wachsender Deformation erklären. Außerdem könnte man daraus unter Zuhilfenahme von weiteren spezielleren Annahmen auch die Temperaturabhängigkeit ableiten. VAN ARKEL fand aber, daß der ungestörte Kristall seine Fähigkeit, in den deformierten Kristall hineinzuwachsen, also seine Fähigkeit, ihm gegenüber als Rekristallisationskeim aufzutreten, schon bei sehr geringer Verformung verliert. Von diesem Standpunkt aus ist es also unwahrscheinlich, daß eben die am meisten deformierten Stellen als Keime auftreten können. Eine Synthese dieser beiden Auffassungen hat VAN LIEMPT gegeben. Nach seiner Annahme bilden sich bei der Erhitzung eben an den Stellen maximaler Spannung spontan kleine ungestörte Gitterbezirke, die als Keime in ihre deformierte Umgebung hineinwachsen können. Leider konnte man bisher diese Annahmen noch nicht unmittelbar durch Experimente prüfen.

Es gibt nämlich sehr große experimentelle Schwierigkeiten, die es verhindern, Bildung und Wachstum eines mikroskopischen Kornes innerhalb der Struktur zu verfolgen. Diese Vorgänge spielen sich bei erhöhter Temperatur ab, die mikroskopische Untersuchung erfolgt jedoch bei Zimmertemperatur. Bei erhöhter Temperatur wird die Oberfläche des Metallkörpers oxydiert, folglich muß man sie nach jeder Abkühlung von neuem schleifen und ätzen. Wenn es uns also auch gelingt, zu demselben Korn zurückzufinden, so erhalten wir von ihm doch immer einen anderen Querschnitt. Dies führt freilich bei mikroskopischen Korngrößen zu sehr wesentlichen Fehlern.

Auch hier hat — wie es bei den Forschungen über den Deformationsmechanismus der Fall war — die Untersuchung von Einkristallen Wesentliches geleistet. Es war M. POLANYI, der zum erstenmal (1922) Beobachtungen über die Rekristallisation von Einkristallen mitgeteilt hat. Er fand, daß beim Glühen von gedehnten Zinn-Einkristallen

die Rekristallisation, also die Bildung von neuen Kristallen, nicht im mittleren bandförmigen Teil erfolgt, sondern meistens an den Stellen, wo der bandförmige Teil in die beiden noch ungedehnten zylindrischen Teile übergeht (Fig. 11). POLANYI hat auch erkannt, daß diese Übergangsstellen physikalisch durch die starke Krümmung der Gleitlamellen vor den übrigen Teilen des gedehnten Kristalles ausgezeichnet sind (Fig. 12). Die sich hier befindlichen Lamellen gehören teilweise noch zum ungedehnten

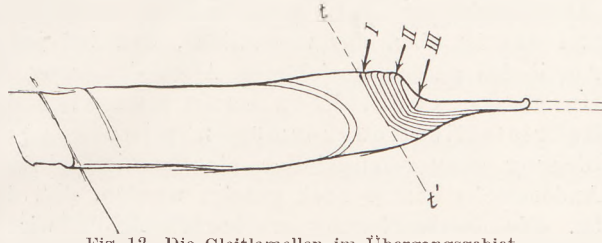


Fig. 12. Die Gleitlamellen im Übergangsbereich.
(Nach M. POLANYI und E. SCHMIDT.)

Teil, teilweise aber zum gedehnten Band. In den beiden Teilen ist die Orientierung des Raumgitters verschieden. Die beim Übergang befindlichen Lamellen vermitteln eine kontinuierliche Verbindung zwischen den beiden Richtungen: sie sind gebogen. Diese Biegung entspricht einer elastischen Verspannung der betreffenden Gleitschichten. Dieselben Lamellen gelangen aber bei fortschreitender Dehnung gänzlich in den flachgedehnten Teil, werden also wieder gerade gerichtet. Die weiter deformierten, aber gerade gerichteten Lamellen, die im Bandteil enthalten sind, neigen weniger zur Rekristallisation, obwohl die Verfestigung in diesem Teil größer ist als in den Übergangsstellen. Die Rekristallisation ist also durch die Verbiegung der Gleitlamellen bedingt und nicht durch die Verfestigung. Dieser Befund scheint im Gegensatz zu sein zu der Auffassung von VAN ARKEL. Nach VAN ARKEL ergeben nämlich polykristalline Metallkörper von verschiedener Korngröße unter sonst gleichen Bedingungen dieselbe Rekristallisationsstruktur, wenn sie bis zu derselben Verfestigung deformiert werden. Entsprechend dieser „Verfestigungsregel“ könnte man der Meinung sein, daß bei polykristallinen Körpern die Verfestigung die für die Rekristallisation maßgebende Begleiterscheinung der Deformation ist.

Um nun diese Streitfrage zu entscheiden, haben POLANYI und BECK Experimente an Aluminium-Einkristallen angestellt. Die Kristalle wurden kreisförmig gebogen und die eine Hälfte jedes Kreises wieder gerade gerichtet. Die so entstandenen hakenförmigen Probekörper wurden dann auf 640°C erhitzt. Es zeigte sich, daß der Probekörper nach dieser Behandlung nicht mehr aus einem einzigen Kristall besteht (Fig. 13 und 14). Seine äußersten und innersten Schichten, die die größte Deformation erlitten haben, bauen sich um in neue, unversehrte Gitter, während die mittleren Schichten das alte, deformierte Gitter bewahren. Je kräftiger die Deformation war, d. h. je schärfer die Biegung, um so

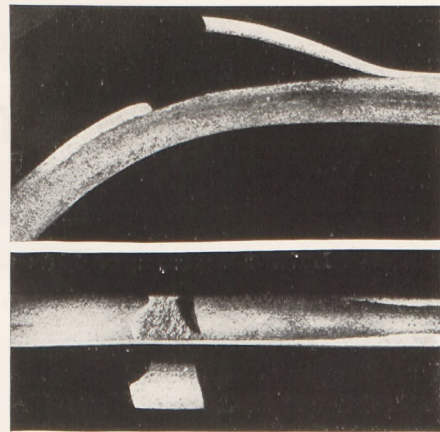


Fig. 13. Sichtbarmachung der Grenzfläche zwischen rekristallisiertem Kern und deformiertem Al-Einkristall.



Fig. 14.
Rekristallisation von gebogenem und gerade gerichtetem Al-Einkristall.

innersten Schichten, die die größte Deformation erlitten haben, bauen sich um in neue, unversehrte Gitter, während die mittleren Schichten das alte, deformierte Gitter bewahren. Je kräftiger die Deformation war, d. h. je schärfer die Biegung, um so

tiefer wachsen die neuen durch Rekristallisation entstandenen Kristalle von beiden Seiten her in den Rest des deformierten Kristalles hinein. Ebenso verhalten sich auch die rückgebogenen, also geraden Teile der Kristalle. Nur darin sind sie verschieden, und das ist eben das wesentliche, daß bei jedem Probekörper der rekristallisierte Anteil des gerade gerichteten Astes durchweg kleiner ist als der des gebogenen. Durch Geraderichten kann man also das durch Biegung erreichte Rekristallisationsvermögen wieder verringern. Hier tritt demnach die Biegung ganz offensichtlich als für die Rekristallisation maßgebender Faktor auf. Andererseits konnte auch gezeigt werden, daß dies für die Festigkeit nicht der Fall ist. Die durch Biegung erhöhte Festigkeit wird bei der Rückbiegung noch weiter erhöht, sie ändert sich also in entgegengesetztem Sinne wie das Rekristallisationsvermögen.

Literatur.

A. SAUVEUR: Metallography and heat Treatment of Iron and Steel 1926. — CHAPPELL: J. Iron Steel Inst. I, 460 (1914); Ferrum 13, 6 (1915). — H. C. CARPENTER and C. F. ELAM: J. Inst. Met., Lond. 2, 112 (1920). — J. CZOCHRALSKI: Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis 1924. — G. MASING: Z. Metallkde. 12, 757 (1920). — G. MASING und M. POLANYI: Erg. exakt. Naturwiss. 2 (1923). — M. POLANYI und E. SCHMID: Z. Physik 32, 684 (1925). — A. E. VAN ARKEL und M. G. v. BRUGGEN: Z. Physik 42, 795 (1927). — A. E. VAN ARKEL: Z. Physik 22, 217 (1930). — P. BECK und M. POLANYI: Z. Elektrochem. 5, 521 (1931).

Kleine Mitteilungen.

Luftstromerzeuger für aerodynamische Versuche in der Schule.

Von F. Ritz in Warnemünde.

Die Luftfahrt nimmt im Leben des heutigen Menschen einen Platz ein, der ihre Behandlung im Schulunterricht ausreichend rechtfertigt. In Deutschland ist die Luftfahrt auf Grund des Versailler Vertrages so eingeschränkt, daß jede Möglichkeit, sich mit ihr zu beschäftigen, weitgehendst ausgenutzt werden sollte. Im Physikunterricht genügen der Jugend nicht mehr bloße Erläuterungen über das Aussehen der Flugzeuge; sie will die Naturgesetze kennen lernen, die das Fliegen ermöglichen. Niemals ersetzen Worte den Versuch, und da die Teilnahme der Jugend an der Luftfahrt sehr groß ist, lassen sich leicht, — neben den üblichen Darbietungen im Unterricht — Arbeitsgemeinschaften bilden, die sich fortlaufend mit Aerodynamik befassen, wenn die geeigneten Geräte dazu vorhanden sind.

Die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin hat zusammen mit dem Institut für technische Strömungsforschung an der Technischen Hochschule Berlin ein Gerät entwickelt, das bei brauchbaren Leistungen (28 cm Strahldurchmesser, 18 m/sec. maximale Strömungsgeschwindigkeit) billig in der Anschaffung und zum größten Teil selbst herzustellen ist. Bevor dieses Gerät kurz beschrieben wird, soll etwas näher auf die Technik der aerodynamischen Versuche, insbesondere auf Windkanäle für Modellversuche, eingegangen werden, da im Bau von Windkanälen von verschiedenen Schulen schon mehr oder weniger erfolgreiche Versuche gemacht worden sind.

Wir wissen, daß z. B. der Widerstand eines Körpers in Luft erfaßt wird durch die Formel

$$W = c_w \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot v^2 \cdot F.$$

Die Luftdichte $\left(\frac{\gamma}{g}\right)$, die Größe des Körpers (eine Bezugsfläche, z. B. die Querschnittsfläche F) und die Geschwindigkeit zwischen Luft und Körper (v) kommen in der Formel selbst vor, während im „Beiwert“ c_w alle übrigen Einflüsse zusammengefaßt werden, also z. B. Körperform, Oberflächenbeschaffenheit, Anstellwinkel u. a. m.,

und es ist nun Aufgabe der aerodynamischen Versuche, z. B. diese Beiwerte zu ermitteln oder den Geltungsbereich der Formel zu prüfen, um festzustellen, mit welchen Kräften man im Betrieb zu rechnen haben wird. Am besten sind natürlich Versuche im Maßstab 1:1, die aber, zusammenfassend gesagt, zu teuer sind. Man muß sich meist auf Modellversuche beschränken. Für Schulversuche kommen selbstverständlich überhaupt nur Versuche am verkleinerten Modell in Frage.

Für Modellversuche gibt es verschiedene Durchführungsmöglichkeiten. An sich ist es gleichgültig, ob man das Modell gegen ruhende Luft bewegt oder Luft gegen

das Modell strömen läßt. Es hat sich aber heute allgemein die Messung am angeströmten Modell durchgesetzt, wobei vor allem die Bestimmung der auftretenden Kräfte einfacher ist. Bei Fallversuchen (EIFFEL, Paris, 1903—1905), am Rundlauf (OTTO LILIENTHAL, Berlin, 1870), oder wenn das Modell auf einem

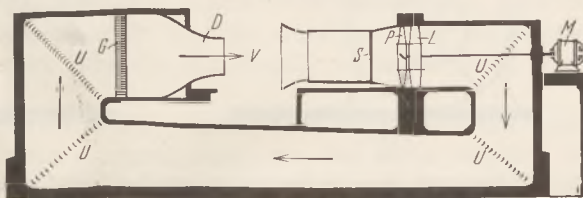


Fig. 1.

Wagen gegen ruhende Luft geschleppt wird (wie im Freien fast nie anzutreffen ist!), treten zusätzliche Beschleunigungskräfte auf, die in Rechnung gestellt werden müssen, oder es ist kompliziert, eine einwandfreie, die Bewegung nicht störende Meßvorrichtung mit dem Körper mitzuschleppen. Beim Rundlauf kommt der Körper außerdem nach dem Anfahren immer wieder in Gebiete, die er vorher schon durchwirbelt hat. Man ist aus diesen Gründen heute, wie schon gesagt, von dieser Art Versuche ganz abgekommen und arbeitet mit Vorrichtungen, bei denen der Körper stillsteht und die Luft ihn anströmt. Man nennt solche Anlagen meist Windkanäle.

Die Aufgabe eines Windkanals ist die zu aerodynamischen Messungen notwendige Erzeugung eines Luftstromes von genügend großem Querschnitt und veränderlicher Geschwindigkeit. Dabei muß verlangt werden, daß die Geschwindigkeitsverteilung zeitlich und örtlich konstant und die Geschwindigkeitsrichtung überall gleich ist, daß der Strahl also weitgehend gleichförmig und wirbelfrei ist. Wichtig ist ferner die gute Zugänglichkeit der Modelle. Diese Forderungen werden sehr gut von den Windkanälen mit Umföhrung erfüllt, bei denen der vom Propeller erzeugte Luftstrom auf einer langen Strecke

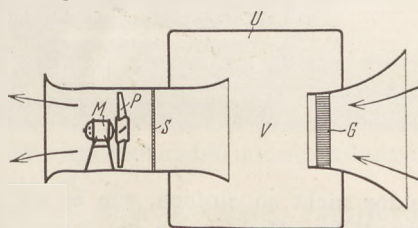
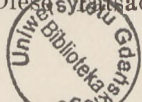


Fig. 2.

bei mäßiger Geschwindigkeit sich weitgehend beruhigt, bis er mit einer in der Düse erhöhten Geschwindigkeit auf das Modell trifft. In Fig. 1 ist als Beispiel der Göttinger Windkanal, bekannt durch die Arbeiten von Professor PRANDTL, dargestellt. Für Schulen kommt eine solche Ausführung nicht in Frage, weil sie erstens in der Ausführung zu teuer wird und zweitens bei genügendem Düsenquerschnitt einen zu großen Platzbedarf hat. Der gelieferte Luftstrahl ist allerdings von fast idealer Gleichförmigkeit und praktisch wirbelfrei. Eine weitere Art von Windkanälen (Fig. 2) vermeidet zwar den langen Beruhigungskanal der Umföhrung, hat aber andere Nachteile. Während bei dem Kanal der Fig. 1 durch entsprechende Dimensionierung der Düse erreicht werden kann, daß der aus der Düse austretende Luftstrahl Atmosphärendruck hat, stellt sich bei der Anordnung Fig. 2 im Strahl, entsprechend der BERNOUILLISCHEN Gleichung, immer ein Unterdruck ein, da die zuströmende Luft unter Atmosphärendruck steht. Deshalb muß der Versuchsraum stets einwandfrei abgedichtet sein, weil sich hier derselbe Druck wie im Strahl einstellt. (Man kann auch umgekehrt sagen: Wenn der Versuchsraum genügend mit der Atmosphäre in Verbindung steht, stellt sich überhaupt kein Strahl ein, sondern die Luft fließt dem Gebläse zu durch den Versuchsraum hindurch.) Diese Tatsache wird für eine den Schulverhältnissen angepaßte



verkleinerte Anlage bedeuten, daß man nur mühsam vorbereitete Versuche (die Hauptschwierigkeit liegt im Messen der Kräfte!) ausführen kann, und ein „fröhliches Laborieren“ überhaupt unmöglich ist, weil sich der Versuch in der gut abgedichteten Unterdruckkammer abspielen muß. Immerhin hat eine solche Anordnung

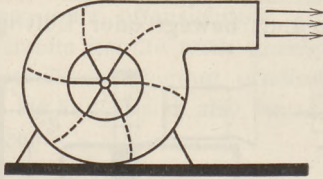


Fig. 3.

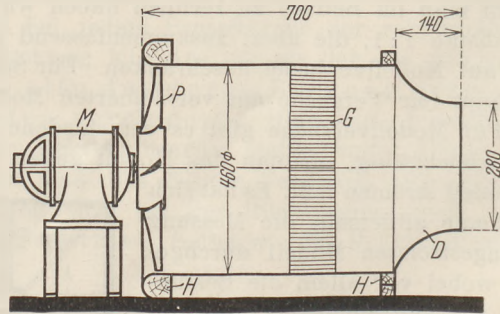


Fig. 4.

für vorbereitete Demonstrationsversuche den Vorteil einer gleichförmigen wirbelfreien Strömung und wird gelegentlich benutzt. Es bleibt also nur noch die Möglichkeit, den

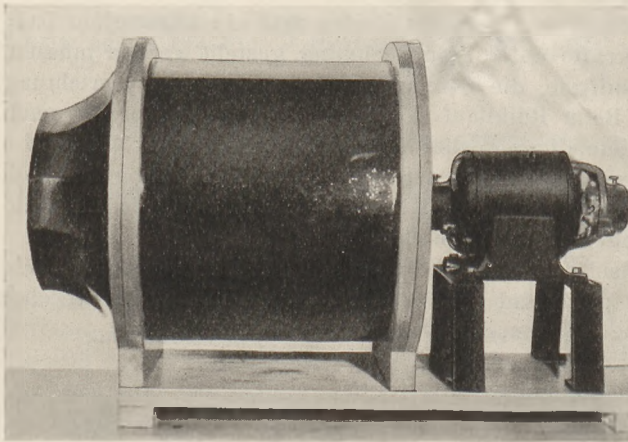


Fig. 5.

von einem Ventilator erzeugten Luftstrom so zu formen, daß er für Versuche geeignet ist. Da nun ein Schraubenpropeller leider keinen gradlinig abfließenden, sondern einen in der Propellerdrehrichtung sich drehenden Strahl liefert, liegt der Gedanke nahe, einen Zentrifugalventilator (Fig. 3) zu verwenden. Verlangt man aber einen genügend großen Strahlquerschnitt (etwa 25×25 cm), so kommt man schon auf recht unbequeme Abmessungen des ganzen Gerätes. Dabei ist die Ausführung beim Selbstbau

leider nicht so einfach, wie es auf den ersten Blick aussieht. Deshalb wurde von der Staatlichen Hauptstelle bei ihrem „Luftstromerzeuger“ (Fig. 4, 5, 6) ein vierflügeliger Propeller verwendet, dessen Luftstrom so weitgehend gleichgerichtet ist, daß brauchbare Messungen in ihm möglich sind. Nach eingehenden Versuchen wurde für das Gehäuse eine Form und Ausführungsart gewählt, die bei sorgfältiger Arbeit einen Selbstbau auch mit bescheidenen Mitteln gestattet.

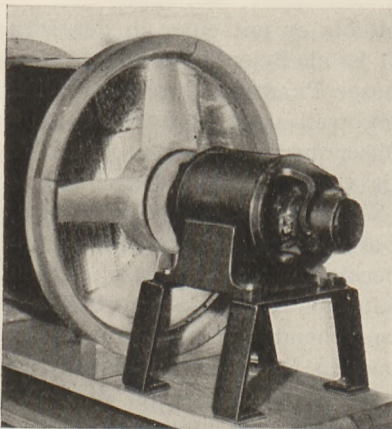


Fig. 6.

Der Propeller — konstruiert vom Institut für technische Strömungsforschung an der Technischen Hochschule Berlin — ist ein Leichtmetallgußstück, welches (ausgewuchtet und mit einer konischen Bohrung, die eine einwandfreie Montage ermöglicht, versehen) von der Staatlichen Hauptstelle zum Preise von RM 18.— geliefert wird; es wäre abwegig, einen solchen Propeller für eine Drehzahl von 2800 U/min selbst herstellen zu wollen. Am besten wird der Propeller auf die Welle des Elektromotors aufmontiert, jedoch ist auch ein Antrieb mit Riemen und Riemenscheibe vorgesehen, etwa von einem für andere Zwecke bereits vorhandenen Motor aus. Die benötigte

motors aufmontiert, jedoch ist auch ein Antrieb mit Riemen und Riemenscheibe vorgesehen, etwa von einem für andere Zwecke bereits vorhandenen Motor aus. Die benötigte

Leistung ist etwa $\frac{3}{4}$ PS (die im Strahl steckende Leistung beträgt bekanntlich $L = \frac{\gamma}{2g} \cdot F \cdot v^3$, d. h. sekundlich erzeugte kinetische Energie bei F m² Strahlquerschnitt, v m/sec Strömungsgeschwindigkeit und dem spezifischen Gewicht $\gamma \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ der Luft). Aber der Wirkungsgrad eines solchen Propellers ist schätzungsweise mit 0,5 anzusetzen; ebenso verzehrt der Gleichrichter durch Reibung reichlich Leistung. Der Mantel des Gehäuses wird aus Blech oder Pappe hergestellt und an den beiden Holzringen befestigt, die auch das Gehäuse mit dem Fundamentbrett verbinden. Die Düse besteht aus 12 zusammengefügten bzw. geleimten Segmenten und ist auch relativ leicht herzustellen, während der Gleichrichter mit seinen fast 3000 Röhrcchen für den einzelnen eine langwierige Arbeit darstellt, die aber von mehreren Schülern mit Geduld verhältnismäßig leicht bewältigt werden wird.

Die Regulierung der Luftstrahlgeschwindigkeit kann entweder durch Drehzahlverminderung des Elektromotors erfolgen, oder, wo das nicht möglich ist, durch „Blenden“ aus verschieden dichter Drahtgaze oder aus Sperrholz (auch Pappe oder Blech), welches mehr oder weniger zum Sieb gebohrt ist. Diese Blenden werden vor den Propeller gesetzt. Durch entsprechende Ausführung kann man auf diese Weise die Geschwindigkeitsverteilung im Luftstrom sogar „retuschieren“, indem man an Stellen größerer Geschwindigkeit stärker abblendet.

Der von diesem „Luftstromerzeuger“ gelieferte Luftstrahl ist natürlich, da im wesentlichen auf einfache und billige Herstellungsmöglichkeit Rücksicht genommen werden mußte, keineswegs ideal, denn die Strömung ist immerhin turbulent, aber doch wenigstens gerade gerichtet und, wie die Erfahrung bewiesen hat, für Versuche durchaus brauchbar¹.

Ein einfacher Oszillograph.

Von P. Nickel in Berlin.

Der Oszillograph, der im Schulunterricht Verwendung findet, ist in den käuflichen Anordnungen immer noch zu teuer. Viele Physiker werden sich, der Not der Zeit entsprechend, darauf angewiesen sehen, selbst ein Gerät zu bauen, das wenigstens die Vorführung von Wechselstromkurven, Phasenverschiebungen, Kondensatorentladungen und akustischen Schwingungen im wesentlichen gestattet.

Wenn man nicht bis zu hohen Schwingungszahlen (über 500 Hertz) vordringen will, ist mit Hilfe eines Hufeisenstahlmagneten, wie er in Radiogeschäften erhältlich ist (0,50 RM), und einer kleinen Drehspule billig eine Anordnung herzustellen, die recht gute Dienste leistet. Das wichtigste Stück, die kleine Drehspule von etwa 3 mm Breite und 20 mm Länge, läßt sich unschwer durch Aufwickeln von etwa 0,13 mm dicken, doppelt mit Seide umspinnenen Kupferdraht auf eine entsprechende Holzdickem, Turbonitleiste, gewinnen, deren Längskanten etwas abgestumpft werden und nicht ganz parallel laufen, sondern einen kleinen Winkel miteinander bilden. Schon 3 Lagen von je 8 bis 10 Windungen reichen aus. Zu Beginn der Arbeit legt man einen Doppelfaden in der Längsrichtung um das Brettchen; die 4 Enden, welche nach Zerschneiden dieser Fäden erhält, dienen nach dem Wickeln zum Abbinden der Spule. Der Anfang des Drahtes wird zunächst um das Wickelbrettchen gebunden, indem man ihn mehrmals um sich selbst schlingt und die entstandene Schleife festzieht; nach jeder Lage wird mit Schellacklösung überstrichen. Nach dem Abbinden an 2 Stellen der Längsseiten läßt sich, solange der Lack noch frisch ist, die fertige Spule von der Schablone abziehen; sie muß dann nötigenfalls noch ausgerichtet und noch einmal tüchtig mit Schellacklösung bestrichen werden. In der Mitte der Spule zwischen den beiden Längsseiten empfiehlt es sich, ein passend geschnittenes Stückchen

¹ Nähere Auskünfte werden von der Staatlichen Hauptstelle gern erteilt.

Hollundermark (mit Schellack) einzukleben, damit der kleine Spiegel gut hält. Der Verf. hat sich ein größeres Stück Schockglas von 0,8 mm Dicke in einer Spiegelbelegerei verspiegeln lassen; davon lassen sich leicht kleine Stückchen von etwa $3,5 \times 3,5$ mm abtrennen; ein solches Spiegelchen wird, wieder mit dicker Schellacklösung, auf den Hollundermarksteg der Spule geklebt. Die fertige Drehspule wiegt nur 0,4 g. Man befestigt sie auf einem Hartholzbrett 20×5 cm von 2 cm Dicke, welches an 2 Stellen der Längsseiten eingekerbt ist und sich mit erheblicher Reibung zwischen die Pole eines Magneten (Pole 23×8 mm, gegenseitiger Abstand 43 mm) pressen läßt. Die Einspannung geschieht ganz einfach mit 2 Gummisträhnen (Gummi, wie er zum Umschnüren von Päckchen benutzt wird), die auf den beiden Schmalseiten durch die Spule gezogen und zwischen zweimal 2 Backen, aus Holz oder Turbonit, von denen die untere 5 mm oder mehr stark sein muß, seitwärts der Mittellinie geklemmt werden (Fig. 1).

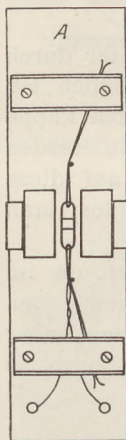


Fig. 1.

Die Spannung des Gummis läßt sich in weiten Grenzen verändern, die Eigenschwingung der Spule kann man außerdem durch Stege (Stifte), die in vorbereitete Löcher in der Mittellinie gesteckt werden, verstellen; die nötige Dämpfung der Schwingungen wird durch den Gummi einigermaßen geliefert. Die beiden Drahtenden der Spule drillt man einige Male lose umeinander, führt sie in Richtung der Achse durch das eine Backenpaar und verbindet sie mit 2 Klemmen oder Buchsen. Um die Streuung des Magnetfeldes herabzudrücken, sind 2 Polschuhe 28×17 mm, geschnitten aus 5 mm dickem Flacheisen, an die Pole gelegt: sie halten ohne besondere Befestigung, können aber auch leicht durch 2 Stifte besonders auf dem Brett angeheftet werden. Die Drehspule spricht überraschend gut auf 0,05 bis 0,1 Amp. an; ihr Widerstand beträgt etwas über 1Ω . Die Empfindlichkeit ließe sich ohne weiteres durch Verwendung besserer Magnete steigern.

Von Wichtigkeit für die Handhabung des Apparates ist die Beleuchtungsvorrichtung; sie wurde hergestellt aus einem dickwandigen (5 mm) Turbonitrohr von 26 mm äußerem Durchmesser und 6 cm Länge, welches an einem Ende eine Zwergfassung aus Messingblech trägt, einem daraufschiebbar Messingrohr von 27 mm äußerem Durchmesser, 0,45 mm Wandstärke, mit aufgelötetem Deckel, der genau in der Mitte eine Blendenöffnung von nur 2 mm Durchmesser besitzt und endlich einem aufsteckbaren Messingrohr von 28 mm äußerem Durchmesser, in welches eine Sammellinse von etwa 4,5 cm Brennweite eingesetzt ist. Als Lämpchen reicht eine 4 Volt, 0,4 Amp. *F*-Taschenbirne von Osram mit Wendel aus, die leuchtende kleine Fläche kann der Blende bis auf 7 mm genähert werden. Die gewöhnlichen Taschenbirnen mit Zickzackfaden sind nicht vorteilhaft, dagegen lassen sich bei größeren Ansprüchen an die Helligkeit auch 4 Volt-Lämpchen, 4 Watt, mit 25 mm Kolbendurchmesser benutzen.

Das Beleuchtungsrohr müßte in einem gesonderten Stativ Aufstellung finden; günstiger ist es aber, wenn es gleich mit dem Brett, welches das schwingende System trägt, verbunden wird. Zu diesem Zweck wurden an dem Brett zu beiden Seiten des einen Magnetpols 2 Messingwinkel, geschnitten aus Winkelmessing $40 \times 20 \times 2$ mm, angeschraubt; zwischen den beiden freien, zum Brett senkrecht stehenden Schenkeln dreht sich um einen 3,5 mm starken Bolzen und geklemmt durch eine Flügelschraube ein Hartholzstab $23,5 \times 22$ cm von 12 cm Länge. Das Beleuchtungsrohr wird zunächst mit einer Schelle aus 0,8 mm starkem Messingblech (Hartblank) von 2 cm Breite versehen und dann in einen Schlitz am anderen Ende des Stabes drehbar und klemmbar eingesetzt. Durch diese Anordnung läßt sich das Licht bequem unter sehr verschiedenen Winkeln auf den Spiegel der Schwingspule richten (Fig. 2). Schon mit einem System lassen sich viele Schauversuche anstellen; für die Vergleichung verschiedener Schwingungen sind 2 oder 3 Systeme erforderlich, sie werden bei *A* in ein Bunsenstativ geklemmt. Aus der Fülle der möglichen Versuche seien nur einige angeführt.

Die Spannung des Gummis und der Abstand der Stifte lassen sich so einstellen, daß die Schwingspule in Resonanz mit der erregenden Schwingung z. B. mit dem 50 Periodenstrom kommt. Für diese niedrige Schwingungszahl konnte die Spule etwas schwerer sein und etwa 40 Windungen erhalten. Nachdem mit stärkerem Strom die Resonanzabstimmung gefunden war, ließen sich 0,1 Milliampere noch gut durch Verbreiterung des Lichtflecks beobachten. In dieser Form ist der Apparat also als Nullzeiger für Wechselstrom zu gebrauchen (Vibrationsgalvanometer). Mit einem System läßt sich recht gut die Entladung eines Kondensators zeigen. Eine Spule mit etwa 900 Windungen aus 0,9 mm starkem Kupferdraht und geschlossenem Eisenkern $3,5 \times 3,5$ cm (Transformatorspule) war mit einem Kondensator von $4 \mu\text{F}$ zu einem Schwingungskreis zusammengeschaltet, in dem auch die Drehspule lag; eine Morsetaste schaltete abwechselnd die Kapazität an 200 Volt und schloß den Schwingungskreis; auf dem Schirm erschien bei passendem Kontaktschluß ein schönes Bild einer mäßig gedämpften Schwingung.

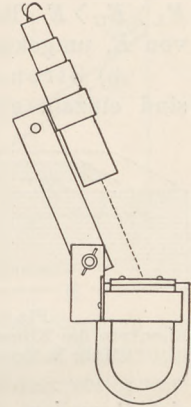


Fig. 2.

Zur Veranschaulichung der Phasenverschiebung wurde ein System zusammen mit 600Ω Vorschaltwiderstand an den 70 Volt-Anschluß eines Transformators gelegt, während ein zweites Gerät einmal in Reihe mit $4 \mu\text{F}$, das andere Mal mit der erwähnten Spule von 900 Windungen mit einem durch Joch veränderlichen Eisenkern an die gleichen Klemmen geschaltet war. Die Lichtflecke müssen am Schirm entweder zur Deckung gebracht oder in einer Vertikalen ausgerichtet werden; bei gedrehtem Spiegel erschienen dann in beiden Fällen die gegen den mit rein OHMSchem Widerstand belasteten Zweig nach verschiedenen Seiten gerichteten Phasenverschiebungen.

Anwendung des Klingeltransformators zu Resonanzversuchen mit Netzwechselstrom.

Von Erich Nies in Rothenburg o. T.

1. Allgemeines.

Aus verschiedenen Gründen ist es wünschenswert, die Erscheinungen der Resonanz mit technischem Wechselstrom ($50 \frac{\text{Per}}{\text{sec}}$) hervorrufen zu können. Es sei nur der Vorzug leistungsfähiger Spannungsquellen und einfacher Meßtechnik genannt. E. HENSEL

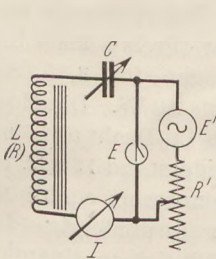


Fig. 1a. Spannungsresonanz.

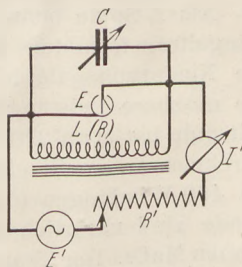


Fig. 1b. Stromresonanz.

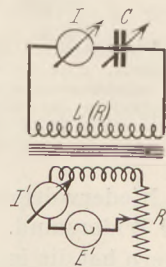


Fig. 1c. Resonanztransformator.

C Variable Kapazität; L Selbstinduktionsspule mit Eisenkern; R deren Ohmscher Widerstand; E' Spannungsquelle; R' Vorschalt- bzw. Leitungswiderstand; I, I' Strommesser; E elektrostatisches Voltmeter.

hat früher¹ eine geeignete Versuchsanordnung angegeben. Doch soll gezeigt werden, daß man sein wesentliches Ergebnis und noch manches andere mit noch einfacheren Mitteln erreichen kann.

Zunächst sei ein kurzer Überblick über die wichtigsten Schaltarten (Fig. 1 a, b, c) und ihre Eigentümlichkeiten vorausgeschickt.

¹ Diese Zeitschrift 39, 21 (1926).

a) Spannungsresonanz. Variiert man die Kapazität C , so hat im Resonanzfall I ein Maximum, E ein Minimum, beide von einer Größe, wie wenn E' einfach durch $R + R'$ kurz geschlossen wäre. Die an L allein liegende Spannung E_L sowie die Kondensatorspannung E_C sind einzeln größer als E (Überspannung!), und zwar $E_L > E_C > E$. Bei kleinem R' ist das Maximum von I ausgeprägt, weniger das Minimum von E , umgekehrt bei großem R' .

b) Stromresonanz. Die Ströme im Kondensatorzweig I_C und im Spulenzweig I_L sind einzeln größer als der Hauptstrom J' . J' hat ein Minimum (Schwingdrossel), E daher ein Maximum. Bei kleinem R' ist das Minimum von I ausgeprägt, weniger das Maximum von E , umgekehrt bei großem R' .

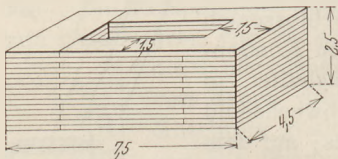


Fig. 2.
Eisenkern des Klingeltransformators
(Maße in Zentimetern).

Man beachte, daß Fall a und b einander weitgehend entsprechen, wobei Strom und Spannung ihre Rollen vertauschen.

c) Resonanztransformator. Diese Schaltung ist didaktisch besonders wertvoll, weil bei ihr der Schwingungskreis als selbständiges Gebilde erscheint. Man denke sich C variiert, von Null beginnend. Bei kleinem C läuft der Sekundärstrom I um nahe 90° der Sekundärspannung voraus, übernimmt also teilweise die magnetische Funktion des primären Leerlaufstroms, d. h. mit beginnender kapazitiver Belastung der Sekundärseite nimmt der Primärstrom I' ab, wenn der Kraftfluß, also auch die an den Primärklemmen liegende Spannung, konstant gehalten wird. Bei weiterer Steigerung von C verringert sich die Phasenverschiebung auf der Sekundärseite, also muß I' wieder zunehmen, d. h. es hat dazwischen ein Minimum (Resonanz). Dieses ist besonders ausgeprägt, wenn R' klein ist, während I in diesem Fall mit wachsendem C monoton zunimmt, bis zu einem Grenzwert für $C = \infty$, der dem Kurzschluß der Sekundärspule entspricht. Ist aber R' groß (man muß dann auch E' höher wählen), so wird I' zwangsweise nahe konstant gehalten, also muß im Resonanzfall der Kraftfluß, damit die induzierte Spannung, damit der Sekundärstrom I ein Maximum erhalten. Das Minimum von I' ist dann weniger ausgeprägt. Der Vorgang im Erregerkreis erinnert an die Stromresonanz, der im eigentlichen Schwingungskreis an die Spannungsresonanz.

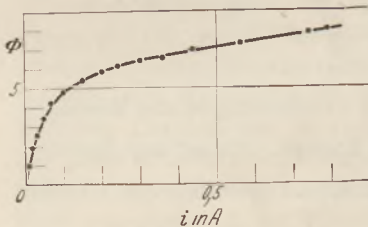


Fig. 3.
Kraftfluß im Eisenkern, abhängig von der Erregung. (Der remanente Fluß ist nicht mitgemessen. i Stromstärke (Gleichstrom) in der Hochvoltspule. Φ gemessen in Skalenteilen des Stoßgalvanometers).

Die nutzbare Leistung beträgt 8 bis 10 W. Die Hochvoltspule hat etwa 2700 Windungen Cu-Draht (0,16 mm Durchmesser, emallackiert) vom Widerstand 122 Ω . Die ganze Niedervoltspule besitzt etwa 460 Windungen (0,6 mm Durchmesser, email) mit 1,44 Ω Widerstand. Die Widerstände sind natürlich stark temperaturabhängig. Der Eisenkern hat die in Fig. 2 angegebenen Maße. Der Transformator läßt sich auseinandernehmen, wenn man nur erst einige Lagen des Kernblechs herausgebracht hat. Zum Zusammensetzen gehört Geduld. Die Sättigungsverhältnisse sind aus Fig. 3 ersichtlich.

Als Kapazität dienen Blockkondensatoren (Prüfspannung 600 V genügt), und zwar $(9 \times 2 + 1 + 0,1) \mu\text{F}$ (Gesamtpreis 10 bis 20 RM). Man sollte noch $(0,2 + 0,2 + 0,5) \mu\text{F}$ dazu haben. Zweckmäßig ordnet man die Kondensatoren so an, daß man sie beliebig parallel schalten kann, ohne den Strom unterbrechen zu müssen.

3. Versuche.

a) Spannungsresonanz (Fig. 1a). Die Messungen sind in Fig. 4 wiedergegeben. R' war verschwindend, also $E = E' = \text{const}$. C wurde variiert, I gemessen. Da die

Spule sich schon bei kurzem Stromdurchgang stark erwärmt — bei normaler Belastung hat sie viel geringere Ströme zu führen, — so muß man rasch ablesen und Pausen zwischen den Messungen einschalten, sonst fälscht die Widerstandsänderung die Lage

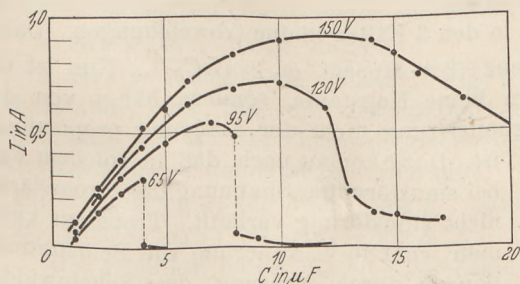


Fig. 4. Spannungsresonanz.

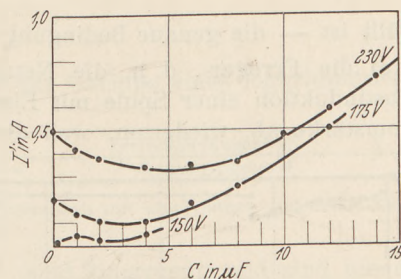


Fig. 5. Stromresonanz.

des Maximums. Die Gefahr des Durchbrennens ist übrigens weniger zu fürchten als die Erwärmung des Isolierlackes. Außerdem kann der Eisenkern bei starker Erhitzung seine magnetischen Eigenschaften sprunghaft ändern, so daß die Resonanz völlig verschwindet. Dann muß man lange Zeit warten, ehe man die Versuche fortsetzt.

Bei $E = 150 \text{ V}$ verläuft die Resonanzkurve regelmäßig, bei geringeren Spannungen wird sie mehr und mehr unsymmetrisch. Die punktierten Linien deuten einen labilen Zustand an. Außerdem verschieben sich die Maxima mehr und mehr nach links. Beides hängt damit zusammen, daß die Magnetisierung nicht linear von der Erregung abhängt (Fig. 3), so daß die Selbstinduktion mit der Belastung wechselt.

Man soll die Mühe nicht scheuen, wenigstens bei einem Maximum die „Teilspannungen“ E_L und E_C mit E zu vergleichen. Ich benutzte dazu ein selbstgebautes

Blättchenelektroskop mit Projektionseinrichtung (Brillenglas). Es zeigt sich deutlich $E_L > E_C > E$. Ein Beispiel: $E = 120 \text{ V}$; $C = 10 \mu\text{F}$; $I = 0,7 \text{ A}$; $E_C = 260 \text{ V}$; $E_L = 320 \text{ V}$.

b) Stromresonanz (Fig. 1b). Fig. 5 gibt die Messungen wieder. R' war verschwindend. Bei der Kurve für 150 V waren die Ablesungen ungenau. Man beachte, daß auch hier die Resonanzminima mit abnehmender Belastung sich nach links verschieben. Es ist sehr lehrreich, außer dem Strom I' in der unverzweigten Leitung auch bei einem Resonanzminimum die „Teilströme“ I_L und I_C zu messen, wobei sich $I_L > I_C > I'$ ergibt. Beispiel: $E = 230 \text{ V}$, $C = 5 \mu\text{F}$, $I' = 0,32 \text{ A}$, $I_L = 0,66 \text{ A}$, $I_C = 0,52 \text{ A}$.

c) Resonanztransformator (Fig. 1c).

In Fig. 6 bis 8 sind Primärstrom I' und Sekundärstrom I in Abhängigkeit von C angegeben. Dabei war in Fig. 6 R' sehr klein, in Fig. 8 besonders groß gewählt, und das zwar in allen 3 Fällen ungefähr so, daß bei $C \rightarrow \infty$ die Ströme gleich wurden. Das früher Gesagte bestätigt sich.

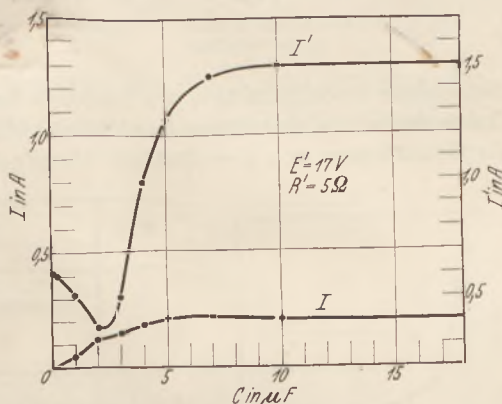


Fig. 6. Resonanztransformator.
Primäre Klemmenspannung nahe konstant.

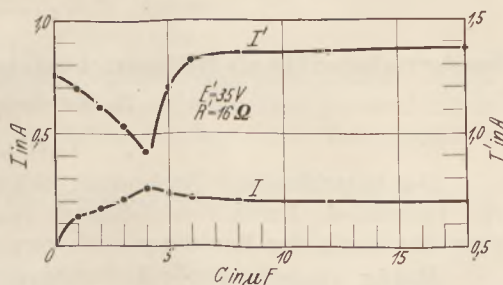


Fig. 7. Resonanztransformator.

4. Resonanzbedingung.

Es läßt sich in allen 3 Fällen theoretisch zeigen, daß die Resonanz eintreten muß, wenn die Bedingung

$$\omega \approx \omega_0$$

erfüllt ist — die genaue Bedingung zeigt in den 3 Fällen kleine Abweichungen. Dabei ist ω die Erreger-, d. h. die Netzfrequenz ($2\pi \cdot 50/\text{sec}$), $\omega_0 = (LC)^{-\frac{1}{2}}$. Nun ist die Selbstinduktion einer Spule mit Eisenkern keine Konstante, sondern hängt von der Stromstärke ab, wiederum, weil die Magnetisierung nicht der Erregung proportional ist. Dazu kommt noch, daß in solchem Fall bei sinusförmiger Spannung die Stromstärke nicht sinusförmig verläuft. Trotzdem kann man wohl in 1. Näherung die Selbstinduktion L durch Messung des Scheinwiderstandes R_s und des OHMSchen Widerstandes R erhalten, nach der Formel

$$L = \frac{1}{\omega} \sqrt{R_s^2 - R^2},$$

wobei R_s durch Strom- und Spannungsmessung bei Wechselstrom, R mit Gleichstrom ermittelt wird. Fig. 9 gibt die so

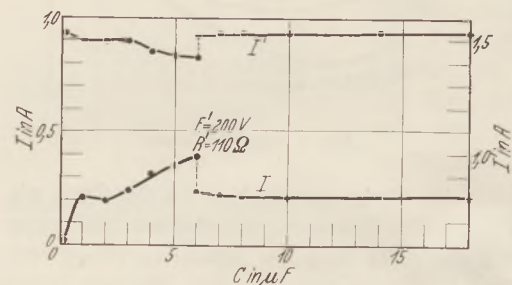


Fig. 8. Resonanztransformator. Primärstrom nahe konstant.

berechnete Selbstinduktion als Funktion des Stromes I . Damit kann man nun für jeden Resonanzfall ω_0 berechnen und erhält die folgenden Werte, die jedenfalls mit der Größenordnung von $\omega = 314/\text{sec}$ übereinstimmen.

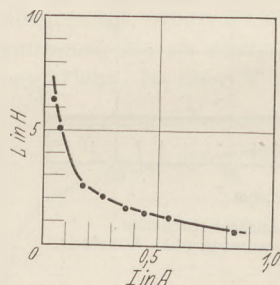


Fig. 9. Selbstinduktion L , abhängig vom Spulenstrom I .

Fig.	Fall	Kurve V	C $\cdot 10^{-6} \text{ F}$	L H	ω_0 sec^{-1}
4	Spannungsresonanz	150	11,5	0,7	352
		120	10	0,9	333
		95	7	1,2	345
		65	4	1,8	372
5	Stromresonanz	230	5	1	457
		175	3	2,2	394
		150	2,5	3,3	348
6	Resonanz- transformator	6	6	1,5	333
7		4	1,9	363	
8		2	4	353	

Sonderrechenstäbe als Hilfsmittel bei chemischen quantitativen Schülerversuchen.

Von H. Matscheck in Heilbronn a. N.

A. Einleitung.

Der logarithmische Rechenstab üblicher Bauart wird bei chemischen Rechnungen viel verwendet. Durch den Gebrauch von Faktoren (Chem. Kalender 1931, Seite 8f.) kann der Gang der Rechnung noch vereinfacht werden.

Häufig wiederkehrende Rechnungen innerhalb einer Funktion (z. B. Nachprüfung der Resultate bei quantitativen chemischen Schülerarbeiten) kann man vorteilhaft mit einer Rechentafel (Nomogramm im engeren Sinn) oder mit einem Sonderrechenstab erledigen.

Sonderstäbe ersparen Überlegungen über Durchschieben der Zunge, Anordnung der Zahlen, Wahl der Skalenpaare, Stellenwert und gestatten in vielen Fällen infolge größerer Zeicheneinheiten ein genaueres, rascheres und vor allem bequemerer Ablesen.

B. Bau der Sonderrechenstäbe.

Auch dem Bau der Sonderrechenstäbe liegt das bekannte Verfahren der Addition und Subtraktion logarithmischer Strecken zum Zweck des Multiplizierens und Dividierens, des Potenzierens und Radizierens zugrunde.

I. Stäbe mit einer Zunge.

1. Stäbe mit einem Spalt¹. Fig. 1 zeigt das Gerippe eines logarithmischen Rechenstabes, der auf der Grundtafel (Grundblatt) und auf der Zunge (Schieb-
blatt) folgende logarithmische Leitern trägt:

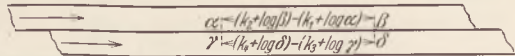


Fig. 1. Rechenstab mit einer Zunge und einem Spalt.

für $\alpha: k_1 + \log a$; für $\beta: k_2 + \log \beta$
für $\gamma: k_3 + \log \gamma$; für $\delta: k_4 + \log \delta$.

Alle 4 Leitern haben dieselbe Zeicheneinheit² (sind kongruent) und sind um die Strecken k_1, k_2, k_3, k_4 verschoben.

Für einander gegenüberstehende Werte von a, β, γ, δ gilt:

$$(k_2 + \log \beta) - (k_1 + \log a) = (k_4 + \log \delta) - (k_3 + \log \gamma).$$

Setzt man $k_1 = \log K_1, k_2 = \log K_2$ usw. und ferner $\frac{K_1 \cdot K_4}{K_3 \cdot K_2} = K$, so erhält man beim

Übergang zu den Zahlen $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\delta}{\gamma} \cdot K$.

Man kann also an einem Rechenstab vom Bau der Fig. 1 eine der Veränderlichen $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ der Funktion $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\delta}{\gamma} \cdot K$ ablesen, wenn die drei andern Veränderlichen gegeben sind.

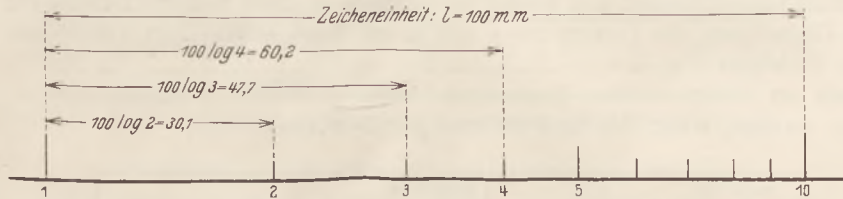


Fig. 2. Logarithmische Leiter mit der Zeicheneinheit $l = 100$ mm.

Beispiel: Sonderstab für die Reduktion eines Gasvolumens:

Funktion: $V_o = \frac{V_t \cdot P \cdot 273}{T \cdot 760}$ (P korrigierter Luftdruck).

Bereiche der Veränderlichen:

$$400 \leq V_t \leq 1000 \text{ cm}^3; 350 \leq V_o \leq 900 \text{ cm}^3$$

$$710 \leq P \leq 750 \text{ mm}; 280 \leq T \leq 300 \text{ Grad.}$$

Teilungslänge: Darunter versteht man die gesamte Länge einer Leiter. Wählt man als gesamte Länge der Sonderstäbe etwa 280 mm (Länge des gebräuchlichen logarithmischen Rechenstabs), so stehen etwa 250 mm nutzbare Länge (Teilungslänge) für die Leitern zur Verfügung.

Zeicheneinheiten: Obere Grenze für die Zeicheneinheit l (vgl. SCHWERDT 7, S. 67):

$$\text{für } V_t: l \cong \frac{250}{\log 1000 - \log 400} \text{ mm; } l \cong 600 \text{ mm}$$

$$\text{für } V_o: l \cong \frac{250}{\log 900 - \log 350} \text{ mm; } l \cong 600 \text{ mm}$$

usw.

¹ Namengebung nach LUCKEY.

² Unter der Zeicheneinheit einer logarithmischen Leiter versteht man den Abstand zweier aufeinanderfolgender Potenzen von zehn (Fig. 2).

Untere Grenze für die Zeicheneinheit l (vgl. SCHWERDT 7, S. 68: „Auf allen logarithmischen Leitern $l > 23$ mm ist die Einschätzung der Zwischenwerte gesichert“).

Unsere Zeicheneinheit: $l = 600$ mm.

Verteilung der Leitern auf Grund- und Schiebeblatt (Fig. 3): Auf das Grundblatt kommen die Leitern für V_t und V_o . Sie decken sich zum Teil. Die Lage der Leitern für P und T auf dem Schiebestreifen ermittelt man nach der Methode des

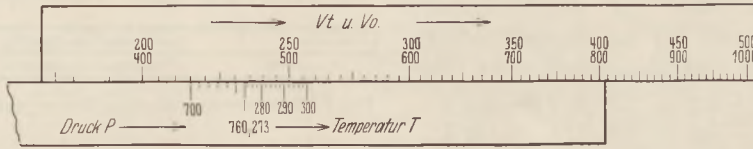


Fig. 3. Sonderstab für die Reduktion eines Gasvolumens.

Beispiels. Für $T = 273$ und $P = 760$ wird $V_t = V_o$. Man legt in der Mitte des Schiebestreifens die Punkte $P = 760$ und $T = 273$ aufeinander und zeichnet nach links und rechts die Leitern für P und T auf¹. Damit berücksichtigt man gleichzeitig den Einfluß der Konstanten. Aus Fig. 3 geht auch

hervor, wie man den Bereich des Sonderstabes erweitern kann.

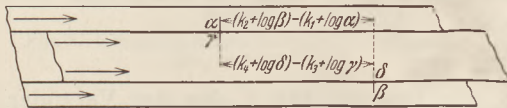


Fig. 4. Rechenstab mit einer Zunge und zwei Spalten.

2. Stab mit einer Zunge und zwei Spalten (Fig. 4). Denkt man sich den Stab mit einer Zunge und einem

Spalt zwischen den Leitern für α und γ einerseits und den Leitern für β und δ andererseits auseinandergebrochen und wieder so zusammengefügt, daß die Leitern für α und β auf dem Grundblatt, die Leitern für γ und δ auf dem Schiebeblatt verbleiben, so entsteht die Stabform Fig. 4.

Auch an einem solchen Rechenstab kann eine der Veränderlichen $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ abgelesen werden, wenn die drei andern gegeben sind.

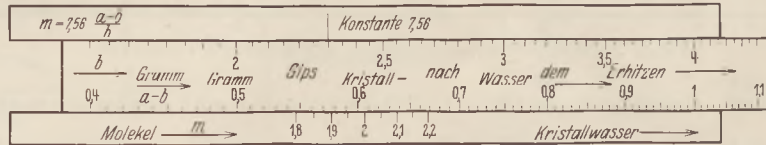


Fig. 5. Sonderstab zur Berechnung der Molekel Kristallwasser im Gips.

Beispiel: Sonderstab für die Berechnung der Anzahl Molekel Kristallwasser im Gips.

Funktion: $m = 7,6 \frac{a-b}{b}$ ($a - b$) Gewicht des Kristallwassers.

Bereiche der unabhängig Veränderlichen:

$$1,6 \leq b \leq 4,4 \text{ g}; 0,4 \leq a - b \leq 1,1 \text{ g.}$$

Zeicheneinheit nach Untersuchung der Grenzen: $l = 600$ mm.

Verteilung der Leitern auf Grundtafel und Zunge vgl. Fig. 5. Man betrachtet die Konstante als vierte Veränderliche und zeichnet für sie an Stelle einer logarithmischen Leiter einen Strich, dessen Lage nach der Methode des Beispiels ermittelt wird. Mit den Versuchsgrößen $a, b, a - b$ kann bei quantitativen chemischen Schulversuchen noch die Aufgabe Prozentgehalt des Gipses an Kristallwasser und

¹ Logarithmische Papiere von Schleicher und Schüll, Düren Nr. 370^{1/2}, Mantissenbereich 300, 400, 500, 600 mm haben an den Rändern aufgedruckte logarithmische Maßstäbe mit obigen Zeicheneinheiten. Abgeschnitten lassen sich die Streifen zum Aufzeichnen von Teilungen für Nomogramme (Stäbe) verwenden. Man kann die Streifen auch an Stelle gezeichneter Teilungen aufkleben (Dehnung der Streifen vermeiden!) und sich so viel Zeichenarbeit ersparen.

Verbindungsgewicht des Ca (vgl. Bestimmung des Verbindungs-Gewichtes des Bors aus kristallisiertem Borax durch BERZELIUS 1824) gelöst werden.

Durch Anbringen einer dreifachen Leiter Fig. 6 an Stelle der einfachen Leiter für m in Fig. 5 lassen sich mit einer Zungenstellung alle 3 Aufgaben auf einmal lösen.

II. Stäbe mit mehr als einer Zunge für Funktionen mit mehr als 4 Veränderlichen. Fig. 7 zeigt, wie man bei folgerichtiger Weiterbildung der Stabform Fig. 4 zu dem Stab mit 2 Zungen für Funktionen mit 5 und 6 Veränderlichen kommt (vgl. 5 und 6 Veränderlichen kommt (vgl. die weitergehenden Ausführungen von LUCKEY 4, Seite 87).

Beispiel: Sonderstab zur Berechnung des Litergewichts vom Sauerstoff (aus KClO_3).

$$\text{Funktion: } G = 2784 \frac{(a-b) T}{V_t \cdot P} \quad (a-b) \text{ Gewicht der } V_t \text{ cm}^3 \text{ Sauerstoff.}$$

Bereiche der Veränderlichen: siehe Fig. 8.

Zeicheneinheit: $l = 600 \text{ mm}$.

Verteilung der Leitern: siehe Fig. 8.

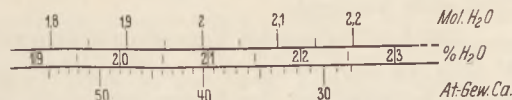


Fig. 6. Dreifache Leiter für Molekel H_2O , Prozent H_2O und Verbindungs-Gewicht des Ca.

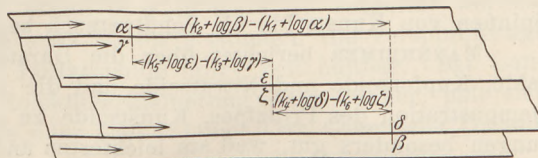


Fig. 7. Rechenstab mit zwei Zungen.

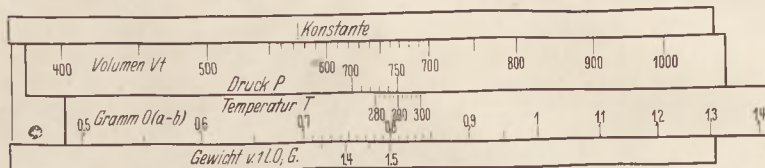


Fig. 8. Sonderstab zur Ermittlung des Litergewichts des Sauerstoffs.

C. Hilfsmittel zum Bau von Sonderstäben.

Von der Erörterung rein technischer Fragen, wie Beschaffung und Herstellung logarithmischer Teilungen (logarithmische Maßstäbe, Harfen) und des Körpers der Rechenstäbe muß hier abgesehen werden. Auskunft erteilt der Ausschuß für Rechen-technik beim A.W.F. Berlin.

D. Schrifttum (ohne Anspruch auf Vollständigkeit).

1. A.W.F. Mitteilungen. Berlin N.W. 6, Luisenstr. 58. (Fortlaufend Berichte über Rechentafeln u. Rechenstäbe.)
2. BAHLECKE: Sonderrechenschieber. Werkstatttechnik 1925, H. 20.
3. LUCKEY: Einführung in die Nomographie. Math. Phys. Bibl. 28, 2. Aufl. Leipzig: B. G. Teubner 1925.
4. LUCKEY: Nomographie. Math. Phys. Bibl. 59/60, 2. Aufl. B. G. Teubner 1927.
5. RUNGE: Graphische Methoden, 3. Aufl., S. 42–46. Leipzig: B. G. Teubner 1928.
6. SCHRUTKA: Theorie und Praxis des logarithmischen Rechenschiebers, 2. Aufl., S. 83 u. 98f. Berlin u. Wien: Franz Deuticke 1929.
7. SCHWERDT: Lehrbuch der Nomographie. (Ausführungen über Teilungslänge, Grenzen. Sonderrechenstäbe werden nicht behandelt.) Berlin: Julius Springer 1924.
8. Ältere Literatur über besondere Arten von Rechenstäben in Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, Bd. 1, 2. Teil. Leipzig: B. G. Teubner 1900–1904.

Das Spinnen von Kunstseide als Schulversuch.

Von Dr. Ing. Hans Römisch in Dresden.

Wenn irgend möglich, soll der grundlegende Schulversuch des Chemie-Unterrichtes so gestaltet werden, daß er einen unvergeßlichen Eindruck hinterläßt.

Führt man den Versuch zur Kupfer-Kunstseide in der Weise aus, daß man ein wenig Watte in Cuoxam löst und dann mit einer Lauge oder Säure ausfällt, so wird

der Versuch zu der Reihe der „namenlosen“ Experimente zählen, die bald vergessen werden. Spinnt man dem Schüler dagegen vor seinen Augen einen meterlangen Faden vor, so wird dieser Faden — der fast geheimnisvoll aus der Düse quillt — auf ihn Eindruck machen und ihm die Anschauung vermitteln, die die Bedeutung der Kunstseide verdient.

Zur Ausführung des Versuches in dem geforderten Sinne „ad oculos demonstrandum“ hat sich die Einhaltung der im folgenden angeführten Konzentrationen der Reagenzien und die Verwendung des folgenden, leicht herstellbaren und widerstandsfähigen Spinnapparates als besonders empfehlenswert ergeben. Erwähnung muß hier zunächst finden, daß E. MANNHEIMER in Gemeinschaft mit H. VOLK zur selben Zeit dem Spinnen von Kunstseide als Schulversuch seine Aufmerksamkeit geschenkt hat¹.

MANNHEIMER berichtet über die Darstellung der Spinnlösungen von Viskose-seide, Kupferseide und Nitratseide und die Ausführung seines Modellversuches. Zur Demonstration des Prinzipes, Kunstseide zu spinnen, eignet sich nach meinen Erfahrungen besonders gut, weil am leichtesten und anschaulichsten ausführbar, die Kupferseide. Zu ihrer Darstellung hat MANNHEIMER früher vorgeschlagen, die Spinnlösung durch Zusammenreiben von Filtrierpapierschnitzeln mit Natronlauge unter Zugabe von Kupfervitriol in konz. Ammoniumhydroxyd zu bereiten. Mit der Begründung, daß man sicherer zu einer homogenen Lösung komme, zieht er es jetzt aber vor, von mit Salzsäure zur Entfernung der Oxydspuren kurz behandelten Kupferspänen auszugehen. Er übergießt dieselben mit konz. Ammoniumhydroxyd (25%ig) und läßt unter öfterem Umschütteln und Öffnen der nur zur Hälfte gefüllten Flasche mehrere Tage stehen. Nach weiterem Einleiten von Ammoniak erhält er die wirksame SCHWEITZERSCHE Lösung. Als Spinnapparat verwendet MANNHEIMER eine sog. Luer-Injektionsspritze aus Glas (Inhalt: 10 ccm, mit Metallkanüle von 0,1 bis 0,2 mm Weite)². In dem Fällbad (40%ige Schwefelsäure) läßt er, durch einen Elektromotor getrieben, ein senkrecht gestelltes, 2 bis 3 cm weites Glasrohr rotieren. Zur Vermeidung der Einzeltropfenbildung sei es notwendig, den Faden in einer bewegten Flüssigkeit, bzw. an einem rotierenden Körper, zu erzeugen.

Während meiner Versuche wählte ich, besonders hinsichtlich des Spinnens u. a. auch Bedingungen, die den von MANNHEIMER veröffentlichten entsprachen. Sie konnten mich jedoch, da sie mir nicht einfach genug erschienen, nicht völlig befriedigen. Weitere Bemühungen ließen aber Bedingungen finden, das Spinnen von Kupferseide so leicht und demonstrativ auszuführen, daß zu hoffen ist, daß in dieser Ausführungsform das Spinnen von Kunstseide sich als Schulversuch einbürgern kann. Die im folgenden angeführte Darstellung der Spinnlösung hat den Vorzug, in einfachster Weise nach einmaliger Herstellung des Kupferhydroxydes, das jahrelang haltbar ist, in $\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden eine hochviskose, homogene Spinnlösung zu erhalten.

Der Spinnapparat zeichnet sich dadurch aus, daß er ohne Mühe mit geringen Mitteln selbst hergestellt werden kann und daß er es ermöglicht, handlich mit höheren und konstanten Drucken zu arbeiten und dadurch die Spinnlösung im Fällbad als Faden herauszudrücken und ein Abziehen durch Bewegen der Säure usw. überflüssig zu machen. (Trotzdem kann man natürlich den Faden durch einen rotierenden Körper abziehen. Der Faden wird dadurch dünner.)

Die Reagenzien:

1. Reine Zellulose, d. h. gute, reine Watte;
2. konz. Ammoniumhydroxyd (D.: 0,910);
3. Kupferhydroxyd, hergestellt durch Versetzen einer Kupfervitriollösung (etwa 4%) mit verdünnter Natronlauge. Die Fällung darf nicht vollständig sein, da die Lösung sauer reagieren muß. (Es empfiehlt sich, eine größere Menge Kupferhydroxyd auf einmal in einer 5- bis 10-Literflasche herzustellen.) Man läßt absetzen und

¹ Unterrichtsblätter f. Math. u. Naturwissenschaften, 37 (1931), Nr. 1, S. 2 u. 3.

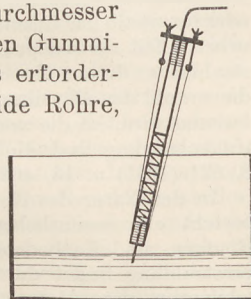
² Preis etwa RM. 3,50.

dekantiert die klare Lösung vorsichtig ab oder einfacher, man saugt sie mit einem Schlauch unter Verwendung der Wasserstrahlpumpe ab. Nach mehrmaligem Auswaschen des Niederschlages in der Flasche mit Leitungswasser und destilliertem Wasser wird filtriert. Der Filtrerrückstand wird nochmals mit destilliertem Wasser gewaschen und dann an der Luft zum Trocknen ausgebreitet. Nach 2 bis 5 Tagen, evtl. unter Verwendung eines Exsikkators, läßt sich die Substanz pulverisieren. Die erforderliche Cuoxamlösung wird durch Auflösen von 6 g Kupferhydroxyd in 100 ccm Ammoniumhydroxyd hergestellt (am besten im Erlenmeyerkolben; Verschuß durch Wattepfropfen). In dieser Lösung kann sofort, auch wenn nicht alles Kupferhydroxyd in Lösung gegangen ist, die Watte (6 g [5 bis 7 g]) aufgelöst werden. Nach mehrmaligem Umrühren wird nach etwa $\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden die verspinnfertige Lösung erhalten. Die Lösung ist unter Luftabschluß lange Zeit haltbar. Bei Luftzutritt wird sie durch Oxydation und Molekülverkleinerung bald dünner, hält sich aber mit geringen Zusätzen von Weinsäure oder Zucker lange (Ostr, Chemische Technologie 1926, S. 551).

4. Konz. Salzsäure 1:1 oder Schwefelsäure 1:3 verdünnt als Fällbad. Die Säure wird bis zur Erschöpfung immer wieder verwendet. Die Filtration von den Fäden geschieht leicht durch einen Trichter, in den ein tütenförmiger, wenige Zentimeter großer Kupferdrahtgaze-Einsatz eingesetzt wird.

Der Spinnapparat (vgl. die Figur).

Ein kräftiges Glasrohr von etwa 1,5 mm Wandstärke und 30 cm Länge und 2,5 cm Durchmesser, das als Behälter für die Spinnflüssigkeit dient, wird beiderseitig mit je einem durchbohrten Gummistopfen verschlossen. In den unteren Gummistopfen wird als Düse ein etwa 6 cm langes Kapillarrohr eingesetzt (äußerer Durchmesser 3 bis 5 mm, innerer Durchmesser $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ mm). Durch den oberen Gummistopfen wird ein Stück Biegerohr eingeführt, durch das man das erforderliche Druckgas zum Ausspritzen der Spinnflüssigkeit leitet. Beide Rohre, besonders das Düsenrohr, müssen fest in ihren Gummistopfen sitzen. Die Stopfenbohrungen werden deshalb möglichst klein gewählt und vor Einführung der Rohre nicht geölt. Die beiden Stopfen werden durch eine Kupferdraht-Bespannung (stärkere Kupferlitze u. a.), die durch eine Schraubenverbindung bequem gespannt werden kann, zusammengehalten. Die Herstellung der Bespannung geschieht vorteilhaft in der Weise: Zwei 1 m lange, 1,5 mm starke Kupferdrähte werden 45 cm von dem einen Ende in den Schraubstock gespannt und etwa 28 cm hoch zusammengedreht. Dann wird die Schraube waagrecht dazu eingelegt; die Drähte werden weitere 2 cm hoch zusammengedreht und abgeknipst. In der entsprechenden Weise werden die Drähte nach der anderen Seite zusammengedreht. Darauf werden die Drähte zurecht gebogen und durch leichtes Pressen im Schraubstock ausgerichtet. Zuletzt werden die Kupferdrahtenden durch eine mehrmalige Fadenumwicklung mit dem betreffenden Schraubenstück fest verbunden. (Gut eignen sich die Schrauben von den bekannten Schneeschuhspannern. Als Querholz verwendet man ein gekürztes Querholz [etwa 9 cm lang] der Schneeschuhspanner, das in der Mitte mit einem 3. Loch — zum Durchstecken des Biegerohres — versehen wird.)



Will man die Düse noch feiner wählen, dann ist es ratsam, zur Vermeidung größerer Reibung, sie zu kürzen und das eigentliche Düsenstück an ein unteres Biegerohrstück durch Schlauchverbindung anzuschließen oder die Düsenmündung über der Flamme entsprechend auszuziehen.

Das Druckgas entnimmt man am vorteilhaftesten einer Gasbombe (Stickstoff, Wasserstoff, Sauerstoff). Für den Fall, daß keine Druckflasche zur Verfügung steht, verbindet man den Spinnapparat mit einer Luftpumpe. In das freie Ende eines Druckschlauchstückes — das mit dem anderen Ende mit dem Spinnapparat verbunden

ist — wird ein Ventil (eines Fahrradschlauches) eingesetzt. (Der Boden des Ventilaußenstückes wird abgesägt, und die Gewindefüge werden abgefeilt.) Es empfiehlt sich, den Schlauch noch mit einer Bindfadenumwicklung zu versehen und an den Enden mit Drahtligaturen festzumachen. Der erforderliche Gasdruck hängt von dem Durchmesser der Kapillare und der Viskosität der Spinnlösung ab. Er schwankt zwischen 0,5 bis 2 (6) Atü.

Das Spinnen selbst geschieht in der Weise, daß nach Einstellung des Druckes die Düsenmündung in die Säure getaucht und im Kreise herumgeführt wird. (In der Luft tropft die Spinnlösung meist nur aus.)

Nach Entfärbung des blauen Fadens wird er in Wasser gewaschen. Seine Zugfestigkeit beträgt in nassem Zustand 5 bis 15 g. Bei Verwendung eines größeren Arbeitsdruckes ist bei diesem sonst vollkommen ungefährlichen Versuch sorgfältiges Arbeiten hinsichtlich der Verspannung erforderlich.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Elektronenbeugung und Molekülbau.

In letzter Zeit werden in den physikalischen Zeitschriften des öfteren Arbeiten veröffentlicht, die sich mit der Beugung von Kathodenstrahlen befassen. Röntgenstrahlen werden schon lange benutzt, um die gegenseitige Orientierung und die Abstände der einzelnen Atome im Kristallgitter oder innerhalb der Gasmoleküle zu bestimmen. In neuerer Zeit verwendet man nun auch Kathodenstrahlen zu diesem Zweck. Eine dieser Arbeiten, die sowohl den Physiker wie den Chemiker interessieren wird, ist die von R. WIERL über „Elektronenbeugung und Molekülbau“ [Ann. Physik 8, 521 (1931) u. 13, 453 (1932)].

In der Natur des elementaren Streuvorgangs besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen Röntgen- und Kathodenstrahlen. Bei der Röntgenstrahlung findet durch das erzwungene Mitschwingen der Atomelektronen eine Emission von Sekundärwellen statt, deren Interferenzbilder eine Abbildung der Lagen der Emissionszentren, also der Atomelektronen, oder nach der neueren Auffassung der kontinuierlichen Verteilung der Ladung im Molekül geben. Der Atomkern ist seiner großen Masse wegen am Streuvorgang unbeteiligt. Die Elektronenstrahlen werden jedoch durch die Elektronenhülle der Atome nur unwesentlich beeinflusst; die streuenden Zentren sind die Atomkerne selbst.

Die Versuchsanordnung ist im wesentlichen folgende: Ein feiner Elektronenstrahl bestimmter Geschwindigkeit und daher auch bestimmter Wellenlänge durchquert einen molekularen Dampfstrahl, und die durch innermolekulare Interferenzen abgelenkten Elektronen werden auf einer senkrecht zum Primärstrahl stehenden Platte photographisch registriert. Die erhaltenen Bilder bestehen in einer Anzahl konzentrischer Kreise von verschiedenem Abstand und verschiedener Schwärzung, deren Schwärzungsgrad photometrisch ermittelt wird; die mathematische Auswertung der erhaltenen Photometerkurven soll hier übergangen werden. R. WIERL wendet das Ver-

fahren auf einfache und verwickeltere Verbindungen an.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die gemessenen Atomabstände sich in der Größenordnung von 1,0 bis 3,8 Å.E. (10^{-8} cm) bewegen. Im besonderen wurde festgestellt, daß der Abstand zweier C-Atome bei einfacher aliphatischer Bindung 1,5 Å.E. und im Benzol 1,4 Å.E. beträgt. Der Abstand C=C ist bei doppelter Bindung (z. B. im Äthylen) 1,3 Å.E., bei dreifacher Bindung C≡C (z. B. im Acetylen) 1,2 Å.E. Der Abstand C—H wurde mit 1,1 Å.E. festgestellt. Für jede Bindungsart wurden verschiedene Verbindungen untersucht, deren Messungen gut übereinstimmten. (Die hier angegebenen Zahlen sind vom Berichterstatter abgerundet!) Weiterhin ließen sich aus den Messungen der Atomabstände Rückschlüsse ziehen auf die räumliche Anordnung der Atome. Das Benzolmolekül hat die Struktur eines ebenen oder nahezu ebenen regelmäßigen Sechsecks. — Das Cyclohexanmolekül ist tetraedisch gewinkelt. — Die Streubilder der gesättigten, kettenförmigen Kohlenwasserstoffe Propan, Butan, Pentan und Hexan ergeben die tetraedische Winkelung der Kohlenstoffvalenzen und den Hinweis auf eine innermolekulare Beweglichkeit.

Es ist vielleicht nicht uninteressant zu erfahren, daß diese Arbeit in einem Industrielaboratorium, und zwar im Hauptlaboratorium der I. G. Farbenindustrie A. G., angefertigt worden ist.

R. Scharf.

Bericht der Atomgewichtskommission der internationalen Union für Chemie.

Die im Verlage Chemie erscheinende Zeitschrift „Angewandte Chemie“ gibt in Nr. 18 des 45. Jahrgangs vom 30. April 1932 auf S. 323/324 einen Auszug aus dem zweiten Bericht der Atomgewichtskommission. In der deutschen Ausgabe der Atomgewichtstabelle wird von jetzt an der Name des Elements 86, bisher Emanation (Em), in „Radon“ geändert mit dem Symbol Rn; sein Atomgewicht ist 222. Die Atomgewichte von

Krypton und Xenon sind von 82,9 auf 83,7 bzw. von 130,2 auf 131,3 heraufgesetzt. Die jetzt geltende Atomgewichtstabelle¹ ist die folgende:

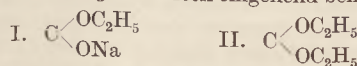
	Symbol	Ordnungszahl	Atomgewicht
Aluminium	Al	13	26,97
Antimon	Sb	51	121,76
Argon	Ar	18	39,944
Arsen	As	33	74,93
Barium	Ba	56	137,36
Beryllium	Be	4	9,02
Blei	Pb	82	207,22
Bor	B	5	10,82
Brom	Br	35	79,916
Cadmium	Cd	48	112,41
Caesium	Cs	55	132,81
Calcium	Ca	20	40,08
Cassiopeium	Cp	71	175,0
Cer	Ce	58	140,13
Chlor	Cl	17	35,457
Chrom	Cr	24	52,01
Dysprosium	Dy	66	162,46
Eisen	Fe	26	55,84
Erbium	Er	68	167,64
Europium	Eu	63	152,0
Fluor	F	9	19,00
Gadolinium	Gd	64	157,3
Gallium	Ga	31	62,72
Germanium	Ge	32	72,60
Gold	Au	79	197,2
Hafnium	Hf	72	178,6
Helium	He	2	4,002
Holmium	Ho	67	163,5
Indium	In	49	114,8
Iridium	Ir	77	193,1
Jod	J	53	126,932
Kalium	K	19	39,10
Kobalt	Co	27	58,94
Kohlenstoff	C	6	12,00
Krypton	Kr	36	83,7
Kupfer	Cu	29	63,57
Lanthan	La	57	138,90
Lithium	Li	3	6,940
Magnesium	Mg	12	24,32
Mangan	Mn	25	54,93
Molybdän	Mo	42	96,0
Natrium	Na	11	22,997
Neodym	Nd	60	144,27
Neon	Ne	10	20,183
Nickel	Ni	28	58,69
Niob	Nb	41	93,3
Osmium	Os	76	190,8
Palladium	Pd	46	106,7
Phosphor	P	15	31,02
Platin	Pt	78	195,23
Praseodym	Pr	59	140,92
Quecksilber	Hg	80	200,61
Radium	Ra	88	225,97
Radon	Rn	86	222
Rhenium	Re	75	186,31
Rhodium	Rh	45	102,91
Rubidium	Rb	37	85,44
Ruthenium	Ru	44	101,7
Samarium	Sm	62	150,43
Sauerstoff	O	8	16,0000
Scandium	Sc	21	45,10

	Symbol	Ordnungszahl	Atomgewicht
Schwefel	S	16	32,06
Selen	Se	34	79,2
Silber	Ag	47	107,880
Silicium	Si	14	28,06
Stickstoff	N	7	14,008
Strontium	Sr	38	87,63
Tantal	Ta	73	181,4
Tellur	Te	52	127,5
Terbium	Tb	65	159,2
Thallium	Tl	81	204,39
Thorium	Th	90	232,12
Thulium	Tm	69	169,4
Titan	Ti	22	47,90
Uran	U	92	238,14
Vanadium	V	23	50,95
Wasserstoff	H	1	1,0078
Wismut	Bi	83	209,00
Wolfram	W	74	184,0
Xenon	X	54	131,3
Ytterbium	Yb	70	173,5
Yttrium	Y	39	88,92
Zink	Zn	30	65,38
Zinn	Sn	50	118,70
Zirkonium	Zr	40	91,22

R. Scharf.

Zweiwertiger Kohlenstoff mit besonderer Berücksichtigung des Kohlenoxyds. Unter diesem Titel erschien in dieser Zeitschrift 45, 227 bis 229; 1932 ein Bericht von HORST BRÜCKNER, ein kritikloser Auszug aus einem zusammenfassenden Aufsatz¹ von H. SCHEIBLER „Kohlenoxyd und zweiwertiger Kohlenstoff“ aus dem Jahre 1927, der eine Verarbeitung der neueren Literatur vollkommen vermissen läßt. Der Bericht ist wertlos, in seinen wichtigsten Angaben überholt und nicht mehr zutreffend, so daß er Lesern, die nicht in der Lage sind, sich durch Verfolgen der laufenden wissenschaftlichen Literatur ein selbständiges Urteil zu bilden, ein völlig entstelltes Bild der tatsächlichen Verhältnisse vermittelt. Da zudem die Gefahr besteht, daß sich auf diesem Wege falsche sachliche Angaben und Anschauungen in den Unterricht einschleichen, sehen wir uns zu einer kurzen Richtigstellung veranlaßt.

Den sachlichen Kernpunkt des Berichtes bildet die Mitteilung über die Entdeckung von Verbindungen mit zweiwertigem Kohlenstoff, disubstituierten Methylenverbindungen, durch HEIMUTH SCHEIBLER. Es wird angegeben, daß „es in der letzten Zeit gelungen ist, verhältnismäßig sehr stabil gebaute ätherartige Verbindungen mit zweiwertigem Kohlenstoff zu isolieren“. Speziell werden angeführt das Natriumoxy-äthoxy-methylen I. und Kohlenoxyd-diäthyl-acetal (Diäthoxy-methylen) II.; es werden Darstellungsmethoden und Eigenschaften eingehend behandelt.



¹ Zu beziehen vom Verlage Chemie, G. m. b. H., Berlin W. 10, Corneliustr. 3, zum Preise von RM. 1.— je Stück.

¹ H. SCHEIBLER, Z. angew. Chem. 40, 1072 bis 1081 (1927). Vgl. darin die Literaturangaben bis zu diesem Zeitpunkt.

Hierzu ist zu bemerken, daß nach wiederholten Versuchen verschiedener Forscher — H. STAUDINGER, F. ADICKES, A. E. ARBUSOW — die Existenz der beiden Verbindungen nicht erwiesen ist; ihre Darstellung konnte von dem Entdecker selbst nicht reproduziert werden.

1. Nach SCHEIBLER soll — wie auch in dem Bericht BRÜCKNERS mitgeteilt wird — durch Einwirkung von Natriumäthylat auf Ameisensäureäthylester die Verbindung I. entstehen und durch Hydrolyse unter Bildung von Kohlenoxyd, Alkohol und Natriumhydroxyd gespalten werden. Nach Untersuchungen von F. ADICKES¹ entsteht jedoch unter den von SCHEIBLER angegebenen Versuchsbedingungen kein Reaktionsprodukt, das bei der Hydrolyse Kohlenoxyd liefert. Diesen Befund hat SCHEIBLER selbst anerkannt². Das Reaktionsprodukt besteht vielmehr aus einem Gemenge von kristallalkoholhaltigem Natriumäthylat mit Natriumformiat und einem Additionsprodukt von Natriumäthylat an Ameisensäureäthylester; unter anderen Versuchsbedingungen besteht das Reaktionsprodukt aus Natriumäthylat und Natriumformiat. Die Additionsverbindung von 1 Mol Natriumäthylat an 1 Mol Ameisensäureäthylester wurde von ADICKES in analysenreinem Zustande isoliert; sie konnte nicht in Kohlenoxyd-diäthylacetal II. übergeführt werden.

Auch A. E. ARBUSOW³ bemühte sich vergeblich, unter Innehaltung der von SCHEIBLER angegebenen Versuchsbedingungen das Natriumoxyäthoxy-methylen zu erhalten.

2. Zu der in dem Bericht angeführten Synthese der Verbindung I. durch Anlagerung von Kohlenoxyd an Natriumäthylat unter hohem Druck, nach der Reaktionsgleichung $\text{CO} +$

¹ F. ADICKES, Über die Anlagerung von Natriumäthylat an Ameisensäure-ester. Ber. dtsh. chem. Ges. **63**, 3012 (1930). Vgl. auch Ber. dtsh. chem. Ges. **60**, 273 (1927).

² H. SCHEIBLER, Ber. dtsh. chem. Ges. **64**, 2914 (1931).

³ A. E. ARBUSOW, Bemerkung zur Darstellung des Kohlenoxyddiäthylacetals. Ber. dtsh. chem. Ges. **64**, 698 (1931).

$\text{NaOC}_2\text{H}_5 = \text{C}(\text{OC}_2\text{H}_5)(\text{ONa})$, ist zu bemerken, daß ein Beweis für diese Reaktionsfolge nicht erbracht worden ist. Nach neueren Mitteilungen von SCHEIBLER¹ konnte nur eine Aufnahme von höchstens 30% der theoretisch erforderlichen Menge Kohlenoxyd erreicht werden!

3. Über die Verbindung I. führt nach SCHEIBLER das „brauchbare Darstellungsverfahren“ des Kohlenoxyd-diäthylacetals II. „Das entstandene Natriumoxy-äthoxy-methylen kann darauf mit Natriumäthylat und Phosphoroxchlorid in zunächst Chlor-äthoxy-methylen und schließlich in Kohlenoxydacetal verwandelt werden“, so heißt es in dem Berichte BRÜCKNERS. Da nach den Ausführungen unter 2. aber die Existenz des Natriumoxy-äthoxy-methylens nicht bestätigt werden konnte, so erklären sich die vergeblichen Versuche von STAUDINGER² und ARBUSOW³ zur Darstellung des Kohlenoxyd-diäthylacetals ohne weiteres.

4. Die von SCHEIBLER⁴ ferner beobachtete Bildung von Kohlenoxyd-diäthylacetal II. aus Diäthoxy-essigester und Natriumäthylat konnte von ihm selbst nicht wieder reproduziert werden⁵.

5. Es sind damit sämtliche seinerzeit angegebenen Darstellungs- oder Bildungsweisen des Kohlenoxydacetals und verwandter Verbindungen nicht bestätigt worden.

Es sind heute noch keine Verbindungen des zweiwertigen Kohlenstoffs mit zwei einwertigen Radikalen, die man als Derivate des Kohlenoxyds oder des Methylens bezeichnen könnte, bekannt. Dieses Resümee ist dem Berichte von HORST BRÜCKNER entgegenzuhalten!

H. Rheinboldt und O. Schmitz-Dumont.

¹ H. SCHEIBLER, Ber. dtsh. chem. Ges. **64**, 2915 (1931).

² Vgl. Ber. dtsh. chem. Ges. **63**, 3017, Anm. 14 (1930).

³ l. c.

⁴ Ber. dtsh. chem. Ges. **59**, 1022 (1926). Diese Bildungsweise ist in dem Berichte von H. BRÜCKNER nicht erwähnt.

⁵ H. SCHEIBLER, J. prakt. Chem. [2] **133**, 131 (1932).

3. Geschichte und Erkenntnistehre.

Stoff und Energie¹. Von RUD. WINDERLICH in Oldenburg/O.

Den grübelnden Faust, dessen sehnlichster Wunsch es ist zu erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält, läßt GOETHE noch Geister beschwören. Faust lebt in dem Glauben, daß die vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde von mächtigen Wesen bewohnt werden, die ihnen eigentümlich sind.

Dieser Dämonenglaube war uralte. Er kehrte in wechselnder Form in den philosophischen und chemischen Lehren dauernd wieder. Wenn wir noch heute von Mercuri- und Mercurio-Salzen

¹ Vortrag, gehalten beim Ferienkurs der Schweizer Gymnasiallehrer am 9. Okt. 1931 in Bern.

sprechen, so schleppen wir ein Überbleibsel aus jenen Tagen mit, die jedes Metall einem Gestirn und zugleich einem Gott zuordneten: das Gold der Sonne, das Silber dem Mond, das Kupfer der Venus, das Zinn dem Jupiter, das Eisen dem Mars, das Blei dem Saturn.

Auch mit anderen Ausdrücken wurzeln wir in der griechischen Philosophie: wir sprechen von einer Verwandtschaft der chemischen Elemente zueinander und erinnern damit unbewußt an die Lehre des Empedokles vom Hassen und Lieben der Elemente als den Urgrund alles irdischen Geschehens. Für unsere klassischen Dichter GOETHE und SCHILLER war dieses Bild noch gefühlsmäßige Wahrheit. GOETHE hat seinem formvollendetsten Roman den Namen

„Die Wahlverwandtschaften“ gegeben und darin die Affinitätslehre TORBERN BERGMANS vom chemischen Gebiet auf das menschliche übertragen.

Gegenüber der vermenschlichenden Denkweise wirkte die alte Atomlehre kalt und nüchtern, die in der Bewegung und im gegenseitigen Stoß der beständig fliegenden Teilchen die Ursache des Werdens und Vergehens sah. Warum die Teilchen sich eigentlich bewegen, darauf blieben die Philosophen die Antwort schuldig.

In all diesen Bildern und Gleichnissen vom Wesen und Wirken der Stoffe steckte die eindringliche Frage: Welche Kräfte halten die Elementarbestandteile zusammen, und welche Kräfte rufen den chemischen Umsatz hervor? In seinem „Skeptischen Chemiker“ hat BOYLE von der Notwendigkeit einer Bewegungsursache gesprochen: „Dieses Prinzip könnte passend ein architektonisches Prinzip oder Kraft genannt werden; ich meine damit jene verschiedenen Richtungsbestimmungen und jene geschickte Leitung der Bewegungen der kleinen Teilchen der universalen Materie durch den allweisen Schöpfer der Dinge, die am Anfang nötig waren, um das wilde Chaos in unsere geordnete und schöne Welt zu verwandeln“¹. Wenige Jahre später hat NEWTON in dem Anhang zu seiner Optik verschiedene Möglichkeiten erwogen, um das gegenseitige Einwirken der Stoffteilchen zu erklären.

„Die Anziehungen der Schwerkraft, des Magnetismus und der Elektrizität reichen bis in merkliche Entfernungen und sind infolgedessen von aller Welts Augen beobachtet worden, aber es mag wohl andere geben, die nur bis in so kleine Entfernungen reichen, daß sie der Beobachtung bis jetzt entgangen sind; vielleicht reicht die elektrische Anziehung, selbst wenn sie nicht durch Reibung erregt ist, zu solchen kleinen Entfernungen“².

Ogleich NEWTON sich nicht auf eine der erwogenen Möglichkeiten festlegte, gehörte seine Liebe der allgemeinen Massenanziehung, denn auf sie kam er immer und immer wieder zurück.

Wie stark der Einfluß der Mechanik NEWTONS war, beweist jener oft genannte Satz des LAPLACE aus der Vorrede seines Buches über die Wahrscheinlichkeit: „Könnte ein Geist für einen bestimmten Augenblick alle Kräfte kennen, von denen die Natur bewegt wird, und die gegenseitige Lage aller Wesen, aus denen sie besteht, wäre er außerdem umfassend genug, um diese gegebenen Bestimmungsstücke der Analyse zu unterwerfen, so würde er mit derselben Formel die Bewegung der großen Himmelskörper und des leichtesten Atoms begreifen; nichts würde für ihn unbestimmt sein, die Zukunft und die Vergangenheit würden wie die Gegenwart offen vor seinen Augen liegen“³.

¹ Ostwalds Klassiker, Nr. 229, S. 89.

² NEWTON: Optik. Ostwalds Klassiker, Nr. 97, S. 125.

³ LAPLACE: Essai philosophique sur les probabilités. 3. ed., p. 3. Paris 1816; 4. ed., p. 4. Paris 1819.

Während des 18. und 19. Jahrhunderts führte die mechanische Naturauffassung die Herrschaft, obgleich sie nicht unbestritten war. Von der dynamischen Theorie, die KANT in seinen metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft im Gegensatz zu den exakten Forschern vortrug, war selten die Rede, weil die Fehler der schlecht begründeten Annahmen zu offenkundig waren. Unter den Chemikern hat nur GREN sich als ihr Anhänger bekannt und ein Lehrbuch geschrieben, einen „Grundriß der Chemie“, in dem er die atomistischen Vorstellungen als durchaus unbrauchbar zurückwies und das dynamische System als einzig brauchbar pries. Mit dem ausdrücklichen Hinweis auf KANT schrieb GREN in der Vorrede seines Buches, „daß das Wesen der Materie in abstoßender und anziehender Kraft bestehe, und daß sie vermöge dieser Grundkräfte ihren Raum erfüllt, . . . daß die Materie ins Unendliche teilbar ist, daß sie ihren Raum mit Stetigkeit als Kontinuum erfüllt, und daß der objektive leere Raum ein Hirngespinnst ist, daß es also keine diskreten Flüssigkeiten gibt, und daß also die Teilchen des Wärmestoffs und Lichts ein Kontinuum bilden. Größere und geringere Dichtigkeit der Materie ist nur ein Ausdruck für größere und geringere Intensität der Grundkräfte, welche das Wesen der Materie ausmachen, und die mit der Extension nach gewissen Gesetzen abnehmen muß“¹.

GRENS Arbeit fand unter den Chemikern keinen Widerhall und brachte keinerlei Fortschritt, weil sie wie KANTS dynamische Lehre keine quantitativen Schlüsse zuließ.

Nach der dynamischen Lehre von KANT und GREN sollte die Materie aus anziehender und abstoßender Kraft bestehen. Im Widerspruch dazu wurden Licht und Wärme als Stoffe bezeichnet. In der Folgezeit wurden sie vollkommen entstofflicht.

BLACK hatte mit seinen grundlegenden Untersuchungen über die Wärme einen gangbaren Weg erschlossen, um Wärmemengen zu messen. LAVOISIER und LAPLACE hatten mit ihrem Kalorimeter diesen Weg weiter gebahnt. Die stoffliche Beschaffenheit der Wärme schien damals so sicher zu sein, daß der Ausdruck Wärmemenge unausrottbar in den Sprachgebrauch übergang.

Einen der ersten beachtenswerten Angriffe auf den Glauben an die stoffliche Beschaffenheit der Wärme unternahm mit jugendlichem Feuereifer HUMPHRY DAVY, als er noch im Pneumatischen Institut des Dr. BEDDOES in Clifton bei Bristol arbeitete. DAVY überlegte, daß bei Annahme eines Wärmestoffes eine Temperaturzunahme nur dann eintreten könne, wenn dem warm werdenden Gegenstand von außen her eine entsprechende Wärmemenge zugeführt wird, oder wenn seine „Wärmekapazität“ — wir sagen seine spezifische Wärme — kleiner wird. Der altbekannte Temperaturanstieg beim Reiben und Stoßen könne hiernach drei verschiedene Ursachen

¹ D. FR. ALBR. C. GREN: Grundriß der Chemie, S. IX u. X. Halle 1796.

haben: die Abnahme der spezifischen Wärme, die Wärmeabgabe der Umgebung oder die Oxydation durch das Sauerstoffgas der Luft; in diesem letzten Falle würde das Sauerstoffgas in Wärmestoff und Oxygenium gespalten werden, das sich mit dem erwärmten Gegenstand verbindet. Um diese Möglichkeiten zu prüfen, rief DAVY bei 29° Fahrenheit, d. h. unterhalb des Eispunktes zwei Eisstücke, die an starken Drähten befestigt waren. Das Eis schmolz, obgleich die spezifische Wärme des Wassers höher ist als die des Eises; von einer Oxydation war nichts zu bemerken. Es blieb noch die Wärmeaufnahme aus der Umgebung als denkmöglich übrig. Darüber gab ein weiterer Versuch Aufschluß. DAVY ließ unter einer luftleer gepumpten Glocke durch ein Uhrwerk ein Metallrädchen an einer Metallplatte reiben; der bewegte Apparat stand auf einer Eisplatte, die eine Grube voll Wasser enthielt. Das Rädchen und die Metallplatte wurden heiß, ohne zu oxydieren, angeklebtes Wachs schmolz ab, und das Wasser gefror nicht, gab also keine Wärme ab. Daraus schloß DAVY, daß die Wärme kein Stoff sein könne, „und daß die Erscheinungen der Wärme von einer besonderen Bewegung der Körperteilchen herrühre“¹. Zur selben Zeit kam Graf RUMFORD zu dem gleichen Ergebnis, als er beim Bohren von Kanonenrohren im Zeughaus zu München 13 kg Wasser in 2½ Stunden zum Sieden brachte, während die Bohrspäne ihre spezifische Wärme unverändert zeigten. Auch RUMFORD kam zu dem Schluß, daß die Wärme unmöglich etwas Stoffliches ist, sondern eine Art Bewegung sein müsse².

Wärme und Licht verloren für die Naturforscher die stoffliche Beschaffenheit. In der modernen Physik wurde dem Licht auch der hypothetische Äther als stofflicher Träger seiner Wellenzüge genommen. Schließlich wurde sogar die „Masse“ der grobsinnlichen Materie angegriffen.

Viele Philosophen des Altertums, besonders DEMOKRIT und seine Nachfolger, haben den Satz verfochten, daß irgendein Ding nicht aus Nichts entstehen kann, und daß etwas wirklich Vorhandenes nicht absolut verschwinden kann. Aus dieser alten Lehre erwuchs der Satz von der Erhaltung der Masse, der gewöhnlich als ein Grundgesetz der Naturwissenschaft gilt. Er besagt, daß bei jedem Vorgang die Gesamtmasse aller beteiligten Körper unverändert bleibt. Masse ist weder erschaffbar noch zerstörbar. So ganz uneingeschränktes Vertrauen hat dieser Satz von der Erhaltung der Masse, den wir stillschweigend voraussetzen, bei Nachdenklichen aber doch nicht gehabt. LANDOLT hat ihn deshalb allerschärfsten Proben unterworfen, indem er

¹ H. DAVY: „Essay on Heat, Light and the Combination of Light.“ In den Contributions to physical and medical knowledge, collected by TH. BEDDOES, p. 1—147. Bristol 1799. Daraus Auszug in GILBERTS Annalen der Physik 12, 546—552 (1803).

² Philosophical Transactions, p. 80—102. 1798. GILBERTS Annalen 12, 553—558 (1803).

mit allen Vorsichtsmaßregeln chemische Vorgänge in geschlossenen Gefäßen auf feinsten Waagen ablaufen ließ. Die Ergebnisse seiner ersten Versuchsperiode sprachen entschieden für die Gültigkeit des Erhaltungssatzes. Die verfeinerten Versuche der zweiten Periode lieferten in einigen Fällen geringe Gewichtsabnahmen, deren bedeutendste für 100 g Reaktionsmasse 0,061 mg betrug. Die dritte Periode, die noch feinere Mittel und Methoden benutzte, schloß wiederum mit dem Ergebnis, „daß eine Änderung des Gesamtgewichtes der Körper sich nicht hat feststellen lassen“¹. Trotzdem war LANDOLT nicht beruhigt, denn er beendete seine Abhandlungen mit dem Hinweis auf den nachdenklich stimmenden Satz, den der Atomgewichtsforscher TH. W. RICHARDS bei seinen Gastvorlesungen 1907 in Berlin gesprochen hatte: „Die Frage, ob die angeblichen Konstanten der physikalischen Chemie in Wirklichkeit Konstanten sind, oder innerhalb kleiner Grenzen schwanken, ist von weitgehendem Interesse und hervorragender Wichtigkeit für die wissenschaftliche Chemie im besonderen sowie für die Naturphilosophie im allgemeinen“².

Tatsächlich ist der Satz von der Erhaltung der Masse als Pfeiler der Wissenschaft etwas unsicher geworden. Die Untersuchungen über die Elektronen haben unzweifelhaft gezeigt, daß ihnen Masse zugeschrieben werden muß; nur durch Einwirken äußerer Kräfte von bestimmter Größe können die gewichtslosen Elektronen bewegt werden, woraus man auf einen Trägheitswiderstand, auf eine Masse schließen muß. Die Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Elektronen haben aber zu der bis dahin unerhörten Forderung geführt, daß ihre Masse mit steigender Geschwindigkeit wächst. Es ist gelungen, den experimentellen Beweis zu erbringen, daß die Masse der Elektronen veränderlich ist. Unter dem Einfluß elektrischer und magnetischer Felder werden die β -Strahlen radioaktiver Stoffe abgelenkt, die Ablenkung hängt deutlich meßbar von der Geschwindigkeit der Teilchen ab, sie wird um so größer, je größer die Geschwindigkeit ist. Mit steigender Geschwindigkeit der Elektronen wächst ihre Masse. Rein theoretisch ist EINSTEIN zu dem Ergebnis gelangt, daß jede Masse von der Geschwindigkeit abhängt, ganz gleich ob sie mechanischer oder elektromagnetischer Art ist wie die Masse der Elektronen.

Wenn wir ernstlich fragen, was „Masse“ denn ist, so müssen wir die Antwort schuldig bleiben, weil wir es tatsächlich nicht wissen, vielleicht niemals erfahren können. Masse ist für die moderne Naturforschung lediglich ein Maßbegriff geworden. Masse ist ein Maß für einen Energieinhalt. Ändert sich die Energie, so ändert sich die Masse in demselben Sinne. Energieabgabe ist gleichbedeutend mit Massenverlust. Bei dem

¹ H. LANDOLT: Über die Erhaltung der Masse bei chemischen Umsetzungen. Abhandlungen der Deutschen Bunsen-Gesellschaft, Nr. 1. Halle 1909.

² A. a. O. S. 46. — Chem.-Ztg 31, 460 (1907).

freiwilligen, unbeeinflussbaren Zerfall der radioaktiven Stoffe wird nachweislich ein Teil der Masse als Energie ausgestrahlt.

Die Versuche LANDOLTS beweisen nichts gegen die Annahme, daß Verlust an Energie und Abnahme der Masse einander entsprechen. Sie beweisen nichts, weil jeder Körper in seinem Innern einen so ungeheuren Vorrat an Energie besitzt, daß die begleitenden Wärmepvorgänge chemischer Reaktionen diesen Energieinhalt nur um einen völlig unmerklichen Bruchteil verändern können. Nach RUTHERFORD ist es wahrscheinlich, daß ein Heliumatom aus vier Wasserstoffkernen und zwei Elektronen aufgebaut ist. Die Masse des Heliumatoms 4,002 in bezug auf $O = 16$ ist jedoch erheblich kleiner als die Masse $4 \cdot 1,008$ von vier Wasserstoffkernen. Der Unterschied ist bedingt durch die Abgabe einer ungeheuren Energiemenge beim Entstehen des Heliumatoms. RUTHERFORD berechnete, „daß die bei der Bildung von einem Pfund Heliumgas entbundene Energie äquivalent ist der Energie, die bei der vollkommenen Verbrennung von etwa 8000 t reiner Kohle ausgesetzt wird¹.“ Wollte man ein Heliumatom zerlegen, so müßte man ihm die gewaltige Energie wieder zuführen.

Der grobkörnigen Materie wurde in der modernen Naturwissenschaft ihr stofflicher Charakter genommen, sie wurde aufgelöst in Energiepakete. Die kritische Arbeit der Philosophen war zwar andere Wege, aber durchaus in der gleichen Richtung, gegangen. Auch sie führte dazu, den Substanzbegriff aufzulösen. JOHN LOCKE hatte darauf verwiesen, daß unsere Sinneseindrücke die Vorstufe der Erkenntnis bilden; wir müssen sie noch durch geistige Tätigkeit, durch Denken bearbeiten und verknüpfen. „Weil wir uns nicht vorzustellen vermögen, wie diese einfachen Ideen für sich bestehen können, gewöhnen wir uns daran, irgendein Substrat voranzusetzen, das ihr Träger ist, und woraus sie hervorgehen, das wir deshalb Substanz nennen².“ Was uns unmittelbar von einem Ding bekannt wird, das ist nach LOCKE lediglich das erfahrungsmäßige Beisammensein einer Anzahl wahrnehmbarer Merkmale. Der innere Grund für das feste Verknüpfen dieser Merkmale ist uns jedoch verborgen. Unter anderen Beispielen führte LOCKE an: „Wir sehen z. B. an einem Stück Gold die gelbe Farbe und stellen durch Versuche die Schwere, Dehnbarkeit, Schmelzbarkeit und Feuerbeständigkeit fest, die sich in demselben vereinigt vorfinden; allein da keine dieser Ideen eine offenkundige Abhängigkeit oder einen notwendigen Zusammenhang mit den andern aufweist, können wir nicht mit Bestimmtheit wissen, daß, wo je vier von ihnen sind, auch die fünfte vorhanden sein wird, so überaus wahrscheinlich das auch

¹ RUTHERFORD: „Die elektrische Struktur der Materie“. Die Naturwissenschaften 12, 1—14 (1924).

² J. LOCKE: Versuch über den menschlichen Verstand. II, 23, 1. — Philosophische Bibliothek, Bd. 75, S. 352.

sein mag. Denn auch die größte Wahrscheinlichkeit kommt noch nicht der Gewißheit gleich, ohne die es kein wirkliches Wissen geben kann¹.“

Wahrscheinlichkeit ist das einzige, was wir annehmen können. LOCKE hat allerdings niemals an der Realität der Außenwelt gezweifelt. Sein Weg führte jedoch zu solchem Zweifel, und BERKELEY hat dann den kühnen Schluß gewagt, daß es außerhalb des empfindenden Subjekts in Wahrheit überhaupt keine Dinge gebe, daß im Gegenteil alles das, was gemeinhin als Ding bezeichnet wird, bloß eine Summe seelischer Erlebnisse sei. HUME lehnte jedes Suchen nach metaphysischen Zusammenhängen grundsätzlich ab; das Trugbild eines stofflichen Trägers der Eigenschaften sollte vernünftigerweise durch eine Funktion ersetzt werden. Mit diesen Gedanken wurde HUME zum Begründer des Positivismus.

Mit dem Aufgeben des Stofflichen mußte zugleich die alte Annahme verlassen werden, daß mechanische Kräfte den Zusammenhalt der Atome bedingen. Weil in der Physik und in der Ultrastrukturchemie die Atome zu elektrischen Gebilden wurden, lag der Gedanke nahe, daß die einzelnen Teilchen einander nach dem COULOMBSCHEN Gesetze anziehen, und daß sie durch den zentrifugalen Trägheitswiderstand der rasend umlaufenden Elektronen gehindert werden, zur völligen Vernichtung ineinander zu stürzen, ebenso wie die Gestirne des Weltalls sich nicht infolge der allgemeinen Massenanziehung zusammenklumpen, weil ihre Bewegung sie auseinander hält. Wir sind damit zu dynamischen Vorstellungen zurückgekehrt, wie sie IMMANUEL KANT vergebens auszugestalten versucht hatte.

BERZELIUS hat als erster ausgesprochen, daß die chemische Affinität elektrischer Natur sei. Sein elektrochemisches System bewährte sich in der anorganischen Chemie, die es vorwiegend mit Salzen zu tun hatte, lange Zeit sehr gut. Als aber in der organischen Chemie sich die Tatsachen häuften, die nicht in das elektrochemische System einzuordnen waren, mußte es fallen. Der Wasserstoff sollte nach BERZELIUS stark elektropositiv sein, das Chlor hingegen negativ. Ein Austausch des Wasserstoffs gegen ein Halogen war nach dem elektrochemischen System des BERZELIUS geradezu undenkbar. Jedoch, es war tausendfältige Tatsache. Die Lehre des BERZELIUS wurde verlassen, und aus der Typentheorie KARL GERHARDTS kristallisierte die Valenzlehre. KEKULÉ hat sie geschaffen und zum Siege geführt. Ohne seine Kohlenstoffketten und ohne seinen Benzolring ist die organische Chemie überhaupt nicht mehr denkbar.

Man faßte die Valenzkraft als eine gerichtete Kraft auf. Das war und ist für beträchtliche Gebiete der Chemie eine brauchbare Annahme. Sie hat namentlich in der organischen Chemie zu großen Erfolgen geführt. Aber die Nebervalenzen,

¹ J. LOCKE: Versuch über den menschlichen Verstand. IV, 3, 14. — Philosophische Bibliothek, Bd. 76, S. 192.

die ALFRED WERNER in seiner Koordinationslehre für die Komplexverbindungen forderte, paßten nicht zu dem gewohnten Bilde. WERNER untersuchte bei Metall-Ammoniak-Verbindungen alle möglichen Isomeriefälle. Dabei fand er die koordinativ gebundenen Gruppen räumlich gleichartig um ein Atom gelagert. Allgemein gesagt, schienen die Gruppen sich so symmetrisch wie irgend möglich zusammenzuordnen. Hier versagten die Bilder von Häkchen oder Armen, die Atom an Atom klammerten. Nach KOSSELS Theorie der Valenz sind in heteropolaren Verbindungen die Atome durch Elektronenaustausch entgegengesetzt geladen und haften durch die elektrostatische Anziehung entsprechend dem COULOMBSchen Gesetz aneinander. Das ist auch in den Koordinationsverbindungen der Fall.

Der Energieinhalt der Stoffe und der Energieumsatz bei chemischen Vorgängen wurde früher, als die Chemie nur Stoffwirtschaft und Lehre vom Stoff war, wenig beachtet. Inzwischen ist die Chemie immer stärker Energiewirtschaft geworden, sowohl durch den zunehmenden Verbrauch gewaltiger Energiemengen als auch durch Erzeugen hochwertiger Energieträger. Da konnte auch die chemische Wissenschaft nicht mehr ohne energetische Gedanken auskommen. Jeder chemische Vorgang ist mit einer Energieaufnahme oder -abgabe verknüpft: es wird Wärme, Licht, elektrische Energie oder mechanische Arbeit verbraucht oder frei gemacht. Für das Leben auf dem Erdball sind die Umsätze der Energie von unermeßlich viel größerem Wert als das eigentlich Stoffliche. Ohne das Aufspeichern der zugestrahlten Sonnenenergie durch die assimilierende Tätigkeit der grünen Pflanzen wäre ein Leben gar nicht möglich. Die Körperwärme der Lebewesen und ihre Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, wird nur durch die chemischen Abbauvorgänge hervorgebracht.

Ausgehend von den Lebensvorgängen kamen JULIUS ROBERT MAYER und HERMANN HELMHOLTZ zu dem Satz von der Erhaltung der Energie: Die Summe der Energien eines geschlossenen Systems bleibt unverändert, wie sehr auch die einzelnen Formen der Energie sich bei den Vorgängen ändern mögen. Energie kann weder aus Nichts erschaffen, noch in Nichts aufgelöst werden.

Mit der Erkenntnis von der Bedeutsamkeit des Energieumsatzes kam der Gedanke, die Größe dieses Energieumsatzes zu benutzen, um die chemische Arbeit, um die chemische Affinität zu messen. Als bequem und zweckmäßig empfahl G. C. HESS hierfür schon vor der Aufstellung des Energieprinzips die Wärmetönung eines Vorganges, weil die chemische Energie am leichtesten und vollständigsten in Wärme verwandelt wird. Er schrieb im Jahre 1840: „Ich habe die volle Überzeugung, daß wir nicht eher eine genaue Idee von den chemischen Erscheinungen haben werden, als bis wir dahin gelangen, in unseren Formeln die Wärmebeziehungen so anzugeben, wie es mit den wägbaren Atomen der Fall ist; wenigstens verspricht so die Thermochemie, noch verborgene Verwandtschaftsätze aufzu-

decken¹.“ Im folgenden Jahre drückte er sich noch deutlicher und entschiedener aus: „Ich wurde in der Meinung bestärkt, daß die Menge der entwickelten Wärme zum Maße der Verwandtschaft würde dienen können².“ HESS war davon überzeugt, weil er experimentell den immer noch gültigen Satz der Konstanz der Wärmesummen gefunden hatte, über den er am 25. April 1840 aus Petersburg an MARCHAND, den Herausgeber des Journals für praktische Chemie berichtete: „Kommt eine chemische Verbindung zustande, so ist die Menge der dabei frei gewordenen Wärme immer konstant, die Verbindung mag unmittelbar vor sich gehen oder mittelbar auf Umwegen und in verschiedenen Zeiträumen³.“

JULIUS THOMPSEN hat diese Gedanken weiter gesponnen und „Die Grundzüge eines thermochemischen Systems“ entwickelt, in denen er als Grundsatz aufstellte: „Die ganze, durch eine chemische Wirkung erzeugte Wärmemenge ist also ein Maß für die durch den Prozeß entbundene chemische Kraft⁴.“ „Um also eine Verbindung zu zersetzen, um die Affinität zu überwinden, ist eine Kraft notwendig, deren Größe durch die Wärmetönung gemessen werden kann, die bei der Bildung der Verbindung aus ihren fraglichen Bestandteilen hervortritt⁵.“ Darauf weiterbauend hat M. BERTHELOT seit dem Jahre 1867 mit mehr Eifer und Beredsamkeit als mit beweiskräftigen Tatsachen die Ansicht verteidigt, daß von zwei möglichen, entgegengesetzt gerichteten chemischen Vorgängen derjenige stattfindet, der am meisten Wärme entwickelt. Dieser Satz ist zwar in vielen Fällen zutreffend, aber in seiner Allgemeinheit nicht richtig, wie bereits J. THOMPSEN erkannte, denn er setzt voraus, daß jeder Vorgang auch wirklich zu Ende geht, was keineswegs immer der Fall ist.

Graf C. L. BERTHOLLET war in seinem Streite mit PROUST unterlegen. Die festen Verbindungsverhältnisse waren eben Tatsachen, die nicht weggeleugnet werden konnten. Aber BERTHOLLET hatte sein Augenmerk eigentlich auf den Ablauf der chemischen Vorgänge gerichtet, weniger auf die Beschaffenheit der Stoffe. BERTHOLLET erkannte, daß der Verlauf eines chemischen Vorganges nicht nur von den Eigenschaften der beteiligten Stoffe und der angewendeten Temperatur abhängt, sondern auch von der Menge der gegenwärtigen Stoffe. Das Endergebnis eines chemischen Vorganges ist weniger durch eine Verwandtschaft, durch eine Affinität, durch eine geheimnis-

¹ Poggendorffs Ann. Physik 52, 118 (1841). Vgl. auch J. prakt. Chem. 20, 123 (1840).

² Poggendorffs Ann. Physik 57, 571 (1842).

³ J. prakt. Chem. 20, 123 (1840). Die grundlegenden Arbeiten von HESS sind in Poggendorffs Ann. veröffentlicht: 50, 385 (1840); 52, 97, 115 (1841); 53, 499, 535 (1841); 55, 463, 593 (1842); 56, 601 (1842); 57, 509 (1842). Zusammengefaßt in Ostwalds Klassikern Nr. 9.

⁴ Poggendorffs Ann. Physik 88, 350 (1853); 90, 261 (1853).

⁵ Poggendorffs Ann. Physik 92, 34 (1854).

volle Liebe einzelner Bestandteile zueinander bedingt, als durch die Unlöslichkeit oder durch die gasförmige Beschaffenheit der Erzeugnisse, die mit ihrem Ausscheiden aus dem Gebiete des Wirkens als Niederschlag oder als Gas für den Ablauf des Vorgangs richtunggebend sind. BERTHOLLET sagte im einleitenden Abschnitt seiner ersten Abhandlung „Über die Gesetze der Verwandtschaft“: „BERGMANs ganze Vorstellungsart beruht auf der Voraussetzung, daß die Wahlverwandtschaft eine unveränderliche Kraft von solcher Beschaffenheit sei, daß ein Stoff, der aus einer Verbindung einen andern abgeschieden hat, nicht wieder selbst durch den verdrängten Stoff abgeschieden werden könne. Man hat die Idee von der Unveränderlichkeit dieser Kraft so weit getrieben, daß berühmte Scheidekünstler versucht haben, die Wahlverwandtschaften der verschiedenen Stoffe durch Zahlen vorzustellen, welche unter einander verglichen ihre Kräfte ausdrücken sollten, und zwar unabhängig von der vorhandenen Menge. Ich habe mir vorgenommen zu beweisen, daß die Wahlverwandtschaften nicht als absolute Kräfte wirken, vermittelst welcher ein Stoff durch einen andern geradezu aus seiner Verbindung verdrängt werden könnte; sondern daß in allen Zusammensetzungen und Zersetzungen, welche eine Wirkung der Wahlverwandtschaft sind, sich die Unterlage der Verbindung, d. h. derjenige Stoff, auf welchen zwei andere Stoffe mit entgegengesetzten Kräften wirken, zwischen diesen beiden Stoffen teile, und daß das Verhältnis der Teilung nicht bloß von der Stärke der Verwandtschaften, sondern auch von der vorhandenen Menge der wirkenden Stoffe abhängig sei, so daß zur Hervorbringung gleicher Grade der Sättigung die Menge ersetzen kann, was der Verwandtschaft an Kraft abgeht. Wenn ich behaupte, daß durch die Menge die Verwandtschaftskraft ersetzt werden könne, so folgt daraus, daß die Wirksamkeit eines Stoffes nach der Menge geschätzt werden müsse, welche erforderlich ist, um einen bestimmten Grad der Sättigung hervorzubringen. Ich nenne diese Menge die Masse eines Stoffes, und sehe sie als das Maß der Sättigungsempfänglichkeit verschiedener Stoffe an¹.“

GULDBERG und WAAGE nahmen die Gedanken und Arbeiten des Grafen BERTHOLLET wieder auf und brachten das Gesetz der Massenwirkung in eine mathematische Form. Sie suchten nach ihren eigenen Worten, „die Kräfte in ihrem Gleichgewichtszustand zu bestimmen. Das heißt, man wird die chemischen Reaktionen untersuchen müssen, in welchen die Kräfte, die neue Verbindungen erzeugen, durch andere Kräfte im Gleichgewicht gehalten werden. Dies ist der Fall bei den chemischen Reaktionen, wo die Reaktion nicht vollständig, sondern partiell ist.“² GULDBERG und WAAGE fanden, daß die chemische Wirkung nicht der

Gesamtmenge des Stoffes proportional ist, sondern der aktiven Masse, d. h. der Stoffmenge in der Raumeinheit oder, wie man heute sagt, der Konzentration.

Über das Wesen der chemischen Kräfte selbst sagten all die mühevollen Untersuchungen gar nichts aus. SCHOPENHAUER behielt recht: „Jede echte, also wirklich ursprüngliche Naturkraft, wozu auch jede chemische Grundeigenschaft gehört, ist wesentlich *qualitas occulta*, d. h. keiner physischen Erklärung weiter fähig, sondern nur noch einer metaphysischen, d. h. über die Erscheinung hinausgehenden¹.“

Wir können nicht einmal mit voller Sicherheit aus den gefundenen physikalisch-chemischen Gesetzen auf ganz eindeutige Ergebnisse schließen, denn das Wesen eines Gleichgewichtszustandes bei chemischen Vorgängen stellen wir uns so vor, daß keiner der denkbaren Vorgänge wirklich zu Ende kommt, daß z. B. fortwährend aus Wasserstoff und Jod Jodwasserstoff gebildet wird, und daß gleichzeitig Jodwasserstoff in Jod und Wasserstoff zerfällt. Bei all den Fragen, die hier auftauchen, sind wir von einer „Lösung noch weit entfernt; der Grund ist offenbar darin zu erblicken, daß man mit den einzelnen Atomen keine Messungen anstellen kann, vielmehr bei jedem chemischen Prozeß es mit einer Unzahl derartiger Elementarwirkungen zu tun hat. Demgemäß sind die auf diesem Gebiete gewonnenen Resultate mehr statistischer Natur, d. h. die uns bekannten Gesetze beziehen sich fast sämtlich auf Reaktionen einer großen Anzahl von Atomen oder Molekülen und geben das mittlere Verhalten derselben an².“ Diesen Gedanken, den WALTER NERNST im Jahre 1913 in seinem Beitrag zu dem Bande „Chemie“ der Sammlung „Kultur der Gegenwart“ an die Spitze stellte, hat er in seiner Berliner Rektoratsrede (15. Okt. 1921) „Zum Gültigkeitsbereich der Naturgesetze“ weiter ausgeführt³. Es handelt sich dabei um nichts Geringeres als um die Frage nach der Allgemeingültigkeit des Kausalsatzes, der seit DAVID HUME alle Philosophen bewegt hat.

HUME hatte durch seine Kritik gezeigt, daß der beliebte beruhigende Hinweis auf die Erfahrung für die Gültigkeit des Kausalsatzes überhaupt nichts beweist, denn, um etwas zu erfahren, müssen wir die gegenwärtigen Wahrnehmungen mit vorausgegangenen und den zu erwartenden verknüpfen, d. h. wir urteilen, so oft wir erfahren. Hierzu müssen wir die Gültigkeit des Kausalsatzes voraussetzen, den wir gerade durch die Erfahrung beweisen wollten. Wir bewegen uns also mit unseren Schlüssen im Kreise herum.

Hier setzte die Gedankenarbeit KANTS ein. Er warf die Fragen auf, aus welchen Quellen die menschliche Erkenntnis zusammenfließt, welche

¹ ARTHUR SCHOPENHAUER: Über die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde. § 20. (Angabe E. GRISEBACH [Verlag Reclam] Bd. 3, S. 59.)

² Kultur der Gegenwart, Chemie, S. 278.

³ Naturwiss. 10, 489—495 (1922).

¹ Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, Bd. 74, S. 4.

² Ostwalds Klassiker Nr. 104, S. 20.

Grenzen der menschlichen Erkenntnis gesteckt sind, ob und wie weit die Dinge dieser Welt überhaupt erkennbar sind. „Wenn gleich alle unsere Erkenntnis mit der Erfahrung anhebt, so entspringt sie darum doch nicht eben alle aus der Erfahrung¹.“ KANT glaubte beweisen zu können, daß in der menschlichen Vernunft a priori, d. h. unabhängig von aller Erfahrung, Erkenntnisbedingungen vorhanden sind: Raum und Zeit als anschauliche Formen und die Stammesbegriffe Einheit, Vielheit, Realität, Substanz, Kausalität, Wechselwirkung als logische Formen.

Raum und Zeit sind in der modernen Naturwissenschaft nicht unangetastet geblieben. Sie gelten nicht mehr als Formen der Anschauung. Sie sind zu einer vierdimensionalen Einheit verschmelzt worden, die niemals losgelöst von den physikalischen Eigenschaften der Materie gedacht werden kann.

Jetzt geht der Kampf um das Kausalgesetz. ERNST MACH wollte die Kausalität, den Zusammenhang nach Grund und Folge, durch den Begriff der Funktion ersetzen. Aber das war undurchführbar, denn eine Funktion ist umkehrbar: die Größe der Oberfläche einer Kugel ist eine Funktion ihres Halbmessers, man könnte auch sagen, der Halbmesser einer Kugel ist eine Funktion ihrer Oberflächengröße. Die Umkehr ist nicht möglich bei kausal zusammenhängenden Vorgängen. Man pflegt zu sagen: das Licht und die Wärme der Sonnenstrahlen bewirken den Aufbau organischer Stoffe durch die Assimilation der grünen Pflanzen; man kann aber niemals behaupten, daß die Assimilation die Ursache für den Sonnenschein sei.

Jetzt wird weit schärfer vorgegangen, als MACH es tat. Es wird die Allgemeingültigkeit des Kausalgesetzes angezweifelt. An die Stelle der kausal begründeten Gesetze sollen statistische Wahrscheinlichkeitsgesetze treten, wobei Wahrscheinlichkeit im mathematischen Sinne die relative Häufigkeit des Geschehens bedeutet.

BOLTZMANN hatte gegen Ende des 19. Jahrhunderts den mathematischen Begriff Wahrscheinlichkeit mit großem Erfolg benutzt, um die thermischen Vorgänge befriedigend zu erklären. Dann wurde in dem freiwilligen Zerfall der radioaktiven Stoffe ein unbeeinflussbares, zufälliges Geschehen gefunden. Welches der vielen vorhandenen Atome zu irgend einem bestimmten Zeitpunkt zerfallen wird, das ist für uns völlig verborgen, aber die relative Häufigkeit des Zerfalls konnte festgestellt werden. Die Zerfallsgesetze sind rein statistische Gesetze, Zufallsgesetze der großen Zahlen. Für die kleinsten Teilchen in der Atomphysik und Ultrastrukturchemie gelten Masse und Ort nicht mehr als etwas genau Bestimmtes und Bestimmbares; man sagt, die Elektronen bilden nur eine „Wahrscheinlichkeitswolke“. Nur für das Geschehen in mittleren Größenbereichen können wir Gesetze feststellen,

während für das elementare Geschehen jede Stetigkeit geschwunden ist. Entgegen der einst gerühmten Ansicht des LAPLACE ist das elementare Geschehen, „die Bewegung des leichtesten Atoms“, nicht berechenbar. Viele Forscher, unter den Physiko-Chemikern z. B. W. NERNST, sind überzeugt, „daß alle unsere jetzigen Naturgesetze statistischen Charakters sind und den letzten Einzelvorgängen gegenüber versagen¹.“ Um zu zeigen, daß die Gesetze trotzdem nicht wertlos sind, auch wenn sie nicht mehr kausal begründet werden können, gebraucht NERNST ein vortreffliches Bild: „Es ist durchaus denkbar, daß eine Lebensversicherungsgesellschaft auf Grund sorgfältiger Statistik und unter wissenschaftlicher Berücksichtigung der gerade herrschenden hygienischen Verhältnisse mit großer Genauigkeit die Zahl der Todesfälle pro Jahr in ihrem Bezirke anzugeben vermag; wendet sich aber das einzelne Individuum mit der Frage an die Gesellschaft, wie lange es noch zu leben hätte, so kann es keine Antwort erhalten.“

Mit dem völligen Aufgeben des Kausalgesetzes würde die Eindeutigkeit des Weltgeschehens zweifelhaft und die Grundlage des naturwissenschaftlichen Forschens verloren sein. MAX PLANCK, der Schöpfer der Quantentheorie, die als Hauptzeuge gegen die Kausalität ins Feld geführt wird, hat gegen den Verzicht auf das Prinzip der strengen Kausalität wiederholt seine Stimme warnend erhoben. Er sagte: „Wenn ein solcher Schritt sich wirklich als notwendig erweisen sollte, so wäre damit das Ziel der physikalischen Forschung um ein Erhebliches zurückgesteckt und damit ein Nachteil in Kauf genommen, dessen Bedeutung nicht schwer genug eingeschätzt werden kann. Denn der Determinismus ist, falls man überhaupt die Wahl hat, nach meiner Meinung unter allen Umständen dem Indeterminismus vorzuziehen, einfach aus dem Grunde, weil eine bestimmte Antwort auf eine Frage immer wertvoller ist als eine unbestimmte. Es bleibt stets die Möglichkeit offen, die Ursache für die Unmöglichkeit, eine bestimmte Antwort zu geben, nicht in der Beschaffenheit der Theorie, sondern in der Beschaffenheit der gestellten Fragen zu sehen².“ Zugleich führte er ein Beispiel an, bei dem „zur vollständigen Determinierung noch wesentliche Daten fehlen“. Auf die Antrittsrede, die SCHRÖDINGER am 4. Juli 1929 in der Berliner Akademie hielt, sagte PLANCK in seiner Antwort: „Wenn das Postulat der unverbrüchlichen Kausalität sich nicht mehr wie bisher als Grundlage eignen sollte, so liegt doch zunächst einmal die Gegenfrage nahe, was denn nun für die „akausale“ Physik als Grundlage eingeführt werden soll³.“

Mit dieser Frage hat PLANCK den Kern der Sache getroffen. Das Kausalprinzip besagt, daß ohne zureichende Ursache keine Änderung eines

¹ Naturwiss. 10, 494 (1922).

¹ Einleitung zur zweiten Auflage der „Kritik der reinen Vernunft“. S. 647. Ausgabe KEHR-BACH. Verlag Reclam.

² MAX PLANCK: Das Weltbild der neuen Physik, 3. u. 4. Aufl., S. 43.

³ Naturwiss. 17, 733 (1929).

Gegenstandes oder Zustandes eintreten kann. Wenn wir die Bedingungen für den Ablauf der Elementarvorgänge nicht mathematisch-naturwissenschaftlich zu fassen vermögen, so ist damit keineswegs der Schluß notwendig oder auch nur erlaubt, daß unsere Unfähigkeit gleichbedeutend ist mit Ursachlosigkeit des natürlichen Geschehens. Auch für die Wahrscheinlichkeit im mathematischen Sinne setzen wir stillschweigend die Gültigkeit des Kausalsatzes voraus. Wenn ein Würfel bei einer großen Zahl von Würfeln nicht durchschnittlich unter sechs Würfeln nur einmal eine Sechsn liefert sondern öfter, so halten wir den Würfel für falsch.

Für diese Probleme von Stoff und Form, von Kraft und Energie, von Raum und Zeit, von Kausalität und Wahrscheinlichkeit sind alle

Naturwissenschaften und die Philosophie zur Mitarbeit berufen und aufeinander angewiesen; sie unterstützen einander und kritisieren einander. Immer wieder zeigt sich dabei, daß die Lösung, die man gefunden zu haben glaubt, nicht ausreicht, daß sich neue Schwierigkeiten türmen, bergehoch. Dann darf kein Enttäuschter mutlos werden. Bei jedem Rückschlag sollte man an das GOETHE-Wort denken: „Der Mensch muß bei dem Glauben verharren, daß das Unbegreifliche begreiflich sei; er würde sonst nicht forschen¹.“

¹ W. v. GOETHE: Zur Natur und Wissenschaftslehre. Maximen und Reflexionen. Aus den „Betrachtungen im Sinne der Wanderer“ 1829.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Das Weltbild der Naturwissenschaften. Von L. R. GROTE, M. HARTMANN, E. HEIDEBROEK und E. MADELUNG. VII und 136 Seiten. Stuttgart 1931. Verlag Ferdinand Enke. Geh. RM. 7,—; geb. RM. 8,60.

Das Buch ist der Niederschlag einer Vortragsreihe, die im Sommer 1931 an der Technischen Hochschule in Stuttgart veranstaltet worden ist. Vier Vortragende kommen zu Wort: ein Physiker, ein Biologe, ein Mediziner, ein Techniker, also zwei Vertreter der forschenden, zwei Vertreter der angewandten, handelnden Naturwissenschaften; zwei Anorganiker, zwei Organiker. Nicht so sehr vom sachlichen Inhalt der Naturwissenschaften ist die Rede, als vielmehr von Ziel und Methode, von den Grenzen der Forschung und von der Gesinnung, mit der die Naturforscher an ihre Aufgabe herantreten.

Den Reigen eröffnet das „Weltbild der Physik“, dargestellt von E. MADELUNG, Professor der Physik in Frankfurt a. M. Er zeigt die Bedeutung des Experiments auf, der Messung, der Zahl. Er untersucht sodann die physikalische Begriffsbildung und das Wesen der Theorie. „Rationelle Begriffsbildungen sind solche, die eine einfache Formulierung quantitativer empirischer Zusammenhänge gestatten.“ Zum Werden einer Theorie gehört einmal die (notwendig unvollständige) Erforschung eines Erscheinungskomplexes, sodann die Aufstellung eines als geeignet vermuteten Modells, drittens die Zuordnungsmethodik, die zunächst das Bekannte mit dem ihm entsprechenden Teil des Modells in Beziehung bringt und sodann die Ergänzung des nicht Bekannten gestattet. Modelle in der Physik sind teils Mechanismen, teils Formalismen (Konstruktionen mathematischen Charakters). Das Programm der exakten Physik läßt sich dahin zusammenfassen: Wir wollen wissen, was wir jemals unter irgendwelchen Umständen beobachten können. Begriffe wie „wahr“, „real“, „wirklich“ gehören nicht mehr in die exakte Physik. Im zweiten Teil der Arbeit führt Verfasser den Leser in den heutigen Stand der physikalischen Erkennt-

nis. Auch bei Besprechung der Quantenmechanik betont er, daß es sich um „Bilder“ handelt. „Sollen wir aus der Beugung der Elektronenstrahlen schließen, daß Elektronen und allgemein Materie, denn auch Kerne werden abgelenkt, Wellen sind? Ich meine: nein! Wir werden uns auch hier mit der vorsichtigeren und ehrlicheren Ausdrucksweise begnügen, die wir vorhin gaben.“

MAX HARTMANN, Professor der Biologie in Berlin, berichtet sodann über die Welt des Organischen. Neben den Prinzipien der Physik kommen in der Biologie Wissenschaftsprinzipien ganz anderer Art, nämlich geschichtliche, zur Geltung. Dazu kommt, daß die Welt des Geistigen untrennbar mit der Welt des Organischen verbunden ist. Diese Welt des Organischen nimmt dadurch „eine eigenartig schwebende Stellung zwischen der Welt der Natur und der Welt des Geistigen“ ein. Erste Aufgabe der Biologie ist es, die ungeheure Mannigfaltigkeit der Lebewesen in ein ordnendes System zu bringen. Darüber hinaus ist die in diesem System sich kundgebende Ordnung und Gesetzmäßigkeit zu erklären. In bezug auf die erkenntnistheoretischen Grundlagen geht Verfasser von KANT aus. Erfahrung ist die Grundlage der Biologie; ihre Forschungsmethoden sind die vergleichende und die experimentelle. Großartige Ergebnisse hat insbesondere die Vererbungswissenschaft geliefert; hier gibt es Gesetze, deren Folgerungen wie in der Physik experimentell prüfbar sind. Sehr große Bedeutung hat die experimentelle Forschung auch für die Selektionslehre (keine Vererbung individuell erworbener Eigenschaften; Erzeugung von Mutanten durch Abänderung der Umweltsbedingungen u. a.). Irgendein Zweckmäßigkeitsprinzip lehnt Verfasser als konstitutives Element durchaus ab; als heuristisches, regulatives Prinzip kann auch Teleologie ihre Berechtigung haben. Mit aller Schärfe wendet sich Verfasser gegen jede Art von Vitalismus, auch in der gemäßigten Form von DRIESCH, die zwar der kausalen Forschung ihre Bedeutung läßt, aber doch meint, es gebe eine vitale Eigengesetzlichkeit, es gebe unräumliche „Werdebestimmer“.

Entelechien. „Der Vitalismus setzt die Grenze der Erkenntnis prinzipiell an falsche Stelle, nämlich zwischen Organisches und Anorganisches, während sie in Wirklichkeit zwischen Rationalem und Irrationalem liegt.“ Zum Schluß, beim Leib-Seele-Problem, wendet sich Verfasser noch einmal gegen die Vitalisten und Ganzheitstheoretiker: „Nicht DRIESCH und UEXKÜLL, und noch weniger RIGNANO und BERTALLANFY sind die geistigen Führer der neuen Biologie, sondern in Forscherpersönlichkeiten wie BOVERI, CORRENS, MORGAN, SPEMANN und O. WARBURG verkörpert sich der Geist der neuen Biologie.“

Im dritten Teil kommt durch LOUIS R. GROTE, Professor in Frankfurt a. M., die Medizin zu Worte. „Sie ist ihrem eigentlichen Wesen nach ein uneinheitliches Gemengsel aus wissenschaftlicher Theorie und reiner theoriefreier Erfahrung, eine Ansammlung von Wissen, dessen praktische Verwendung keineswegs durchweg nach logisch klaren Grundsätzen erfolgt.“ Verfasser bespricht zunächst die Entwicklung der wissenschaftlichen aus der Volksmedizin, das Spezialistentum im Altertum (Bericht HERODOTS über Ägypten) und in der Neuzeit, dann die Wandlung der Anschauung, die sich darin zeigt, daß man nicht mehr nur das „Krankheitsbild“, das „kranke Organ“ aufsucht, wie etwa zu VIRCHOWS Zeit, sondern den ganzen Menschen, seine „Disposition“ zu erforschen trachtet. Die Bedeutung der intuitiven Synthese bei der ärztlichen Diagnose wird hervorgehoben. Auf die ungeheure Zahl ungelöster Probleme wird hingewiesen (z. B. ist ja schon die spezifische Wirkung der Drogen und Heilpflanzen unerklärbar). Die besonderen Aufgaben, die Problematik im ärztlichen Beruf (Vernichtung lebensunwerten Lebens?) werden beleuchtet. „Wir schließen, indem wir die Ansicht noch einmal hervorheben, daß das Weltbild der Medizin nicht nur aus der Suche nach Wahrheit gewonnen wird, wie in den Naturwissenschaften, sondern Wertung einschließt und so letzten Endes in die Gesinnung und das Gewissen des Arztes gelegt ist.“

Der vierte Verfasser, E. HEIDEBROEK, Prof. an der Technischen Hochschule in Dresden, zeigt vor allem den gewaltigen Einfluß der Technik auf das sichtbare Bild der Welt auf, einen Einfluß, der zweifellos immer stärker und stärker wird. Kriegerische Technik (die technisch bessere Ausrüstung entscheidet im allgemeinen den Sieg), gewerbliche Technik (Maschinenarbeit) und Verkehrstechnik beweisen diesen Einfluß in gleicher Weise. Die Pfeiler, auf denen das Gebäude der Technik ruht, sind die Naturwissenschaften und die Wirtschaft. Zu beiden besteht ein Verhältnis gegenseitigen Nehmens und Gebens, wie der Verfasser an Beispielen im einzelnen ausführt. Das Problem „Mensch und Technik“ erfährt eine eingehende Behandlung; Verfasser weist insbesondere darauf hin, daß der Mensch von heute das Instrument der Technik noch keineswegs richtig spielen könne. Als Zukunftsaufgabe des europäischen Menschen sieht Verfasser es an, „mit den in der Technik gezügelten Kräften dem Geist und der sittlichen Vernunft wieder zur Herrschaft zu verhelfen“.

Alles in allem: ein reiches, anregendes Buch! Jeder, Naturwissenschaftler und Nicht-Naturwissenschaftler, wird das Buch mit Genuß und Gewinn lesen, auch wenn er dem einen oder dem andern Gedanken widerspricht. *Lamla.*

Das Naturbild der neuen Physik. Von ARTHUR HAAS. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. V und 129 Seiten, mit 8 Abb. Berlin und Leipzig 1932. Verlag Walter de Gruyter & Co. Geh. RM. 5,—; geb. RM. 6.—.

Die Schrift enthält 7 Vorträge, von denen die 6 ersten zuerst im Winter 1919/20 vor Laien in der Wiener Urania und dann nochmals im Sommer 1920 in einer für Hörer aller Fakultäten bestimmten Vorlesung in Leipzig gehalten worden sind. In der vorliegenden 3. Auflage ist ein Vortrag (die neue Mechanik) neu hinzugekommen; auch in den andern wurde die weitere Entwicklung der Physik seit 1919 berücksichtigt. Die Vorträge behandeln die folgenden grundlegenden Fragen: die elektromagnetische Theorie des Lichtes; Molekularstatistik; Elektronentheorie; Quantentheorie; Theorie der Grundstoffe; Relativitätstheorie; die neue Mechanik. Die Darstellung ist klar und leicht verständlich; sie soll ein anschauliches und übersichtliches Bild von den Aufgaben geben, die jetzt die Physiker bewegen; sie soll nicht in Einzelheiten führen. Mathematische Formeln oder Symbole werden nicht benutzt, Versuchsanordnungen u. dgl. nicht gegeben. In den Anmerkungen am Schluß des Buches werden einige Angaben über Forschungsergebnisse vervollständigt.

Die Lektüre ist nicht nur für den physikalisch interessierten Laien, sondern auch für den eigentlichen Physiker eine Freude und ein Genuß. Zu bewundern ist insbesondere die Klarheit und die Sicherheit, womit der Verfasser den Leser auch durch den für den Laien sehr schwierigen und spröden Stoff der beiden letzten Kapitel hindurchführt. Gerade auch der physikalisch interessierte Nichtphysiker sollte das Buch einmal lesen.

Lamla.

Der Kausalbegriff in der Physik. Von MAX PLANCK. 26 Seiten. Leipzig 1932. Verlag Joh. Ambr. Barth. Brosch. RM. 1,35.

Der Altmeister der Physik nimmt hier das Wort zu einem von ihm schon mehrfach behandelten Problem, das in seinem Umfang weit über den Rahmen der Physik hinausgeht. Er legt den Satz zugrunde: „Ein Ereignis ist dann kausal bedingt, wenn es mit Sicherheit vorausgesagt werden kann.“ Wegen der Kompliziertheit der tatsächlichen Verhältnisse bei allen Versuchen, bei denen immer gewisse unkontrollierbare Einflüsse eine Rolle spielen, tritt der Erfahrungssatz dazu: „In keinem einzigen Falle ist es möglich, ein physikalisches Ereignis genau vorauszusagen.“ Aus dem Dilemma, wohin das gleichzeitige Bestehen beider Sätze führt, gibt es zwei Auswege. Entweder hält man sich an den strengen Wortlaut beider Sätze; dann gibt es keine Kausalität in der Natur. Oder aber man modifiziert den ersten Satz in zweckentsprechender Form. Die

klassische Physik hat den zweiten Weg gewählt: sie hat unter „Ereignis“ nicht einen wirklichen, einzelnen, meßbaren Vorgang verstanden, der stets zufällige Elemente enthält, sondern einen gewissen nur gedachten Vorgang; sie hat an die Stelle der wirklichen eine andere Welt gesetzt: das physikalische Weltbild. Während in der Sinnenwelt ein Ereignis immer mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist, verlaufen im physikalischen Weltbild alle Ereignisse nach bestimmten angebbaren Gesetzen, sie sind kausal streng determiniert. Die Unsicherheit in der Voraussage eines Ereignisses wird dadurch reduziert auf die Unsicherheit in der Übertragung des Ereignisses aus der Sinnenwelt auf das Weltbild oder umgekehrt.

Das Weltbild der klassischen Physik ist nun aber durch die Quantentheorie endgültig zerstört worden. Nach der HEISENBERGSCHEN Unsicherheitsrelation ist es grundsätzlich unmöglich, etwa die gleichzeitigen Werte der Koordinaten und der Impulse materieller Punkte mit beliebiger Genauigkeit in die Sinnenwelt zu übertragen. Es ist jedoch voreilig, daraus zu schließen, daß das Kausalgesetz aufgegeben werden müsse. Es ist zu untersuchen, ob die Frage nach den gleichzeitigen Werten von Koordinaten und Impuls eines materiellen Punktes überhaupt einen physikalischen Sinn hat. Es ist zu bedenken, daß die Wellen- oder Wahrscheinlichkeitsfunktion in der Wellenmechanik durch die Anfangs- und Randbedingungen für alle Orte und Zeiten determiniert ist; auch in dem Weltbild der Quantenmechanik herrscht der Determinismus streng. Freilich, die Übertragung aus dem Weltbild in die Sinnenwelt ist weit schwieriger geworden. Denn die Wellenfunktion liefert ja nicht etwa die Werte der Koordinaten usw. als Funktionen der Zeit, sondern nur die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Koordinaten bestimmte Werte haben. Hier muß man nun daran denken, daß wir alle Messungen mit Instrumenten machen, die auch den Wirkungen der quantenphysikalischen Gesetze unterliegen; denn die Messung beruht auf der Wirkung des untersuchten Vorgangs auf das Meßinstrument. Die gesamte Apparatur einschließlich Meßinstrument muß nun als ein System angesehen werden; dann erst gewinnt die Frage nach der Bedeutung eines Symbols des quantenphysikalischen Weltbildes in der Sinnenwelt einen Sinn. Durch das Wirkungsquantum ist dann eine Schranke gezogen, worüber die Leistungsfähigkeit auch der besten Meßinstrumente nicht hinausreicht. Bei dieser Auffassung ist es dann allerdings nicht mehr möglich, ein physikalisches Ereignis sozusagen „an sich“ zu messen und an ihm das Kausalgesetz zu prüfen.

Schließlich weist PLANCK noch auf eine andere Möglichkeit hin, der zuletzt genannten, etwas unbefriedigenden Folgerung zu entgehen. Man kann den an die Spitze gestellten Ausgangssatz nicht auf der Seite des Objekts, sondern gewissermaßen auf der des Subjekts modifizieren. Man kann einen idealen Geist annehmen, der imstande ist, kommende Ereignisse genau vorauszusagen. Allerdings muß man sich hüten, den idealen Geist

zum Objekt einer wissenschaftlichen Kritik machen zu wollen.

Abschließend sagt PLANCK: „Das Kausalgesetz ist weder richtig noch falsch, es ist vielmehr ein heuristisches Prinzip, ein Wegweiser, und zwar meiner Meinung nach der wertvollste Wegweiser, den wir besitzen, um uns in dem bunten Wirrwarr der Ereignisse zurechtzufinden und die Richtung anzuzeigen, in der die wissenschaftliche Forschung vorangehen muß, um zu fruchtbaren Ergebnissen zu gelangen.“ Männer wie GALILEI, KEPLER, NEWTON und viele andere große Physiker haben an dieser Quelle ihren Forschungsdrang genährt. „Für alle diese Männer war die Hingabe an die Wissenschaft bewußt oder unbewußt eine Sache des Glaubens, des unbeirrbaren Glaubens an eine vernünftige Weltordnung.“

Und so ist diese wunderbar klar geschriebene kleine Schrift weit mehr als eine physikalische oder erkenntnistheoretische Untersuchung; sie ist das Glaubensbekenntnis einer genialen Forscherpersönlichkeit, welches zeigt, daß auch bei den Größten im Reiche der objektivsten aller Wissenschaften letzte entscheidende Antriebe dem Irrationalen entstammen. *Lamla.*

Die Sternenwelt. Erde und Weltall, 2. Teil. Von SVANTE ARRHENIUS. Nach hinterlassenen Aufzeichnungen bearbeitet und ergänzt von KNUT LUNDMARK. X und 359 Seiten, mit 61 Abb. und 1 Tafel. Leipzig 1931. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Kart. RM. 12,—.

SVANTE ARRHENIUS hatte geplant, sein Buch „Werden der Welten“ in erweiterter Form neu herauszugeben. Der erste Teil ist 1924 (in deutscher Übersetzung 1926) unter dem Titel „Erde und Weltall“ erschienen. Vom zweiten Teil hatte ARRHENIUS bei seinem Tode nur einen Entwurf für einige Druckseiten fertig gestellt und außerdem ein paar Aufsätze, die den Stoff behandelten, veröffentlicht. KNUT LUNDMARK, der von ARRHENIUS etwas in den Plan eingeweiht war, hat dann den nunmehr vorliegenden zweiten Teil des Buches geschrieben; er hat dabei, wie er betont, pietätvoll die Gedanken von ARRHENIUS ausgeführt, soweit sie ihm bekannt waren, hat aber andererseits überall der wissenschaftlichen Entwicklung Rechnung getragen.

Der Inhalt des Buches ist außerordentlich reich; es gibt wohl keine Frage der Astronomie, die in den 11 Kapiteln nicht behandelt wird: Bewegungen, Helligkeit und Entfernung der Sterne; ihr physikalischer Zustand; Sterngruppen; veränderliche und neue Sterne; die Milchstraße; die Nebel; Nebel und Sonnen; physikalische Chemie der Sterne; Ausbreitung des Lebens im Weltraum. Es ist verständlich, daß, wenn dieser gewaltige Stoff auf 350 Seiten zusammengedrängt wird, die eine oder die andere Frage etwas kurz behandelt werden muß, für den uneingeweihten Leser vielleicht manchmal etwas zu kurz. Sonst aber ist die Darstellung klar und gut verständlich; sie führt auch den Unkundigen auf das Beste in die vielfältigen Forschungszweige der modernen Astronomie ein. Angenehm und belebend ist es,

wie der Verfasser selbst mehrfach zu den schwebenden Fragen kritisch Stellung nimmt. Jedem Kapitel ist ein historischer Teil vorangesetzt, in dem das Wichtigste über die geschichtliche Entwicklung des betreffenden Problemgebietes gesagt wird. Auf den Inhalt näher einzugehen, ist bei der Fülle des Stoffes leider nicht möglich. Nur darauf sei kurz hingewiesen, daß im letzten Kapitel ein überaus interessantes Problem aufgegriffen wird, die Ausbreitung des Lebens im Weltraum. Nach einem geschichtlichen Abriss über die Behandlung dieser Frage geht Verfasser vor allem auf die von ARRHENIUS vertretene Theorie der Panspermie ein: Lebenskeime (Sporen) werden vor allem durch den Strahlungsdruck durch den Raum transportiert; Untersuchungen über die Lebensfähigkeit der Keime bei extremen Temperaturen werden mitgeteilt.

Alles in allem liegt ein Buch vor, das jedem Interessenten empfohlen werden kann. *Lamla.*

Der Smekal-Raman-Effekt. Von K. W. F. KOHLRAUSCH. Band XII der Sammlung „Struktur der Materie in Einzeldarstellungen“, herausgegeben von M. BORN und J. FRANCK. VIII und 392 Seiten, mit 85 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1931. Preis geh. RM 32,—; geb. RM 33,80.

Es ist erstaunlich, daß über eine Erscheinung, die erst zu Beginn des Jahres 1928 von RAMAN entdeckt worden ist, bereits 3 Jahre später ein Buch von 400 Seiten Umfang geschrieben werden konnte. Schon darüber sind ein paar Worte zu sagen. Es handelt sich um folgendes: Entwirft man mit Hilfe einer Linse ein reelles Bild einer Lichtquelle im Innern eines durchsichtigen Körpers, z. B. eines mit einer klaren Flüssigkeit gefüllten Glases, so beobachtet man schon mit bloßem Auge von der Seite her auch bei Verwendung „optisch leerer“ (d. h. von Fremdkörpern weitestgehend befreiter, homogener) Substanzen einen schwach leuchtenden „Tyndallkegel“. Bildet man, senkrecht zur ursprünglichen Strahlrichtung, die Spitze des Kegels durch eine zweite Linse auf dem Spalt eines Spektrographen ab, so erhält man bei Beleuchtung mit monochromatischem oder spektral diskontinuierlichem Licht (Quecksilberdampfampe) den neuen Effekt, der 1928 von RAMAN in Indien und unmittelbar darauf unabhängig von ihm auch von andern entdeckt wurde; das Spektrogramm enthält außer den Linien des Erregerlichtes noch andere Linien, deren Zahl, Lage und Intensität von der Streusubstanz abhängig ist. (Da das Streulicht sehr schwach ist, muß man 40 bis 100 Stunden exponieren.) SMEKAL hat aus theoretischen Erwägungen heraus schon 1923 auf die Möglichkeit des Effekts hingewiesen; doch hat seine Arbeit keinen unmittelbaren Einfluß auf die Entdeckung gehabt. Verfasser nennt deshalb den Effekt den „SMEKAL-RAMAN-Effekt“; sonst wird er in der physikalischen Literatur allgemein nur als „RAMAN-Effekt“ bezeichnet.

Während bei gewöhnlicher Fluoreszenz die Lage der Fluoreszenzlinien für den betreffenden

Körper charakteristisch ist, ist es hier anders: nicht die absolute Lage der verschobenen Linien, sondern ihre Verschiebung $\Delta\nu$ gegen die erregenden Linien ist für die streuende Substanz charakteristisch. (Diese Verschiebung kann übrigens nach dem roten und nach dem blauen Ende des Spektrums hin erfolgen.) Dieselben Werte $\Delta\nu$ (ν ist das Reziproke der Wellenlänge) treten im Streuspektrum einer Substanz zu verschiedenen Malen, d. h. bei verschiedenen Erregerlinien auf; die Gesamtheit aller Werte $\Delta\nu$ bildet das „RAMAN-Spektrum“ der Substanz, das für die streuende Molekülart typisch ist. Die Werte $\Delta\nu$ hängen nun aufs engste mit den ultraroten Spektrallinien der Substanz zusammen, d. h. mit dem Rotationspektrum des Moleküls. Und hierin liegt die große Bedeutung des RAMAN-Effekts: aus ihm sind weitgehende Schlüsse auf den Aufbau des Moleküls und auf die Kräfteverhältnisse in ihm zu ziehen. Diese Tatsache erklärt die große Zahl von Arbeiten, die seiner Untersuchung in so kurzer Zeit gewidmet worden sind.

Das Buch gibt eine ausführliche Schilderung der experimentellen Anordnungen, der vorgenommenen Messungen (die Tabellen am Schluß geben das RAMAN-Spektrum von etwa 400 bis 500 Substanzen), der theoretischen Schwierigkeiten und der zahlreichen schwierigen Aufgaben, die noch der Lösung harren. Es bietet eine ausgezeichnete Zusammenfassung und Sichtung der bisher vorhandenen einschlägigen Arbeiten; Klarheit des Stils, vorzügliche Abbildungen, gute Tabellen und ein reichhaltiges Literaturverzeichnis sind besonders hervorzuheben. Es ist für jeden, der sich für den molekularen Aufbau der Substanzen interessiert, von größtem Wert. Die Beschäftigung mit dem so bedeutungsvollen neuen Effekt ist jedem Physiker zu empfehlen. *Lamla.*

Molekülstruktur. Leipziger Vorträge 1931. Herausgegeben von P. DEBYE. VIII u. 197 Seiten, mit 44 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. Leipzig: S. Hirzel 1931. Preis kart. RM 10,—.

Seit 1928 veranstaltet DEBYE an der Universität Leipzig alljährlich in kleinem Kreise eine Vortragswoche, in der über ein eng umschriebenes Gebiet der Physik von Spezialisten vorgetragen und diskutiert wird. Während in den früheren Jahren über Quantentheorie und Chemie, Dipolmoment und chemische Struktur, Elektroneninterferenzen gesprochen wurde, beschäftigten sich die Vorträge 1931 mit Problemen des Molekülbaues. Das vorliegende Buch enthält neben einem Vorwort von DEBYE, das das Programm der Tagung umschreibt, die verschiedenen Vorträge.

K. L. WOLF (Kiel) behandelt „Probleme der freien Drehbarkeit bei einfacher und doppelter Kohlenstoff-Kohlenstoffbindung“. Der nächste Vortrag, von R. MECKE (Heidelberg), mit dem Titel „Experimentelle Ergebnisse der Bandenspektroskopie mehratomiger Moleküle“ befaßt sich zum Teil mit den Rotationen der Moleküle als Ganzes, vor allem aber mit den Schwingungen der Atome innerhalb des Molekularverbandes. F. RASSETTI (Rom) zeigt in dem Vortrag „Raman-

effekt und Struktur der Molekeln und Kristalle“, welche Schlüsse aus dem Ramaneffekt bei einzelnen Substanzen (insbesondere bei Kohlendioxyd und bei Flußspat-, Kalkspat- und Steinsalzkristallen) auf den Bau der Moleküle gezogen werden können. G. PLACZEK (Leipzig) untersucht in seinem Vortrag „Ramaneffekt und Molekülbau“ insbesondere die Bedeutung der Intensität und des Polarisationszustandes der Streulinien. Es folgen sodann 3 Vorträge, die sich mit dem Zerfall des Moleküls befassen: H. SPONER (Göttingen), „Bandenspektren und Dissoziation“; VICTOR HENRI (Marseille), „Experimentelle Grundlagen der Prädissoziation der Moleküle“; R. DE L. KRONIG (Groningen), „Über die Prädissoziation“. Der letzte Vortrag endlich, von G. HERZBERG (Darmstadt), behandelt „Elektronenstruktur der Moleküle und Valenz“.

Nach dem, was einleitend gesagt worden ist, ist es selbstverständlich, daß die Vorträge nicht etwa eine erste Einführung in die betreffenden Gebiete geben oder geben wollen; sie setzen die grundlegenden Kenntnisse voraus. Diejenigen aber, die sich mit dem Gebiet bereits beschäftigt haben, werden aus dem Buch größten Nutzen ziehen, da es nicht nur zusammenfassende Referate, sondern auch eigene neue Forschungsergebnisse enthält.

Lamla.

Spektroskopie der Röntgenstrahlen. Von MANNE SIEGBAHN. Zweite, umgearbeitete Auflage. VI u. 575 Seiten, mit 255 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1931. Preis geh. RM 47,—; geb. RM 49,60.

Das zuerst 1923 erschienene Buch des durch seine hervorragenden exakten Messungen von Röntgenwellenlängen bekannten Verfassers liegt jetzt in zweiter, wesentlich erweiterter Form vor. Die ungeheure Entwicklung des behandelten Gebiets seit 1923 hat es mit sich gebracht, daß der Umfang des Buches fast auf das Doppelte angewachsen ist. Nach einer kurzen zusammenfassenden Darstellung unserer Kenntnis von der Röntgenstrahlung bis zur Zeit der LAUESCHEN Entdeckung der Interferenz behandelt Verfasser folgende Abschnitte: Optik der Röntgenstrahlen; Technik der Röntgenspektroskopie; Emissionsspektren; Absorptionsspektren; Systematik und Theorie der Röntgenspektren; Erweiterung der Röntgenspektren gegen größere Wellenlängen; das kontinuierliche Röntgenspektrum.

Das Buch, von einem hervorragenden Experimentalphysiker geschrieben, schiebt das Experimentelle in den Vordergrund und läßt das Theoretische mehr zurücktreten. Wenn auch der Lehrer an höheren Schulen meist gar nicht oder doch nur sehr selten in der Lage ist, quantitative Versuche mit Röntgenstrahlen zu machen, so bietet doch auch ihm das vorliegende Buch eine vorzügliche Übersicht über die gesamte Materie. Auf den reichen Inhalt in einzelnen einzugehen, verbietet der Raum. Aus dem Kapitel „Optik der Röntgenstrahlen“ sei die Behandlung der Brechung und Dispersion von Röntgenstrahlen sowie der Beugungsbilder an Spalten und an Liniengittern hervorgehoben. Die letzteren geben die Möglich-

keit, die Absolutwerte der Wellenlängen und damit der Kristallgitterkonstanten nachzuprüfen. Der aus solchen Messungen berechnete Wert der Elementarladung ist um 0,4% größer als der MILLIKANSCHES; die Differenz ist noch nicht aufgeklärt. Sehr reizvoll ist auch das große Kapitel über die Technik der Röntgenspektroskopie, dessen Verständnis durch vorzügliche Abbildungen unterstützt wird. Während man selbst bei den am besten ausgewählten Kristallen nur bis zu Wellenlängen von etwa 15 bis 20 Å.E., also eben bis in das „ultraweiche“ Gebiet gelangt ist, gestattet das Liniengitter Messungen bis zu etwa 300 Å.E. Das Gebiet zwischen optischen und Röntgenwellen ist somit vollkommen überbrückt.

Das Buch enthält zahlreiche für den Praktiker wichtige Tabellen und Diagramme sowie ein sehr reichhaltiges Literaturverzeichnis (rund 1800 Nummern). Dicses zeigt übrigens, daß die Zahl der jährlich auf dem Röntgengebiet veröffentlichten Arbeiten im Jahre 1926 ein Maximum erreicht hat (über 200).

Das Buch bedarf keiner Empfehlung; es wird für jeden Röntgenspektroskopiker unentbehrlich sein.

Lamla.

Atombau und Spektrallinien. Von ARNOLD SOMMERFELD. 1. Band. 5., umgearbeitete Auflage. VIII und 735 Seiten, mit 151 Abbildungen. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1931. Preis geh. RM 29,—; geb. RM 31,60.

Das wohlbekannte Standardwerk SOMMERFELDS, dessen erste Auflage 1919 erschien und damals als erstes eine grundlegende Zusammenfassung unserer Kenntnis auf dem Gebiete der Quantentheorie gab, liegt nunmehr in fünfter Auflage vor. Seine Veränderungen und die Erweiterung seines Umfangs lassen aufs beste die Entwicklung der Quantentheorie und die ungeheure Arbeit erkennen, die in den letzten Jahren auf diesem Gebiete geleistet worden ist. Und in der Tat hat ja kein anderes Gebiet der Physik so einschneidende Wandlungen durchgemacht wie gerade die Quantentheorie. Die neue Auflage erscheint in zwei Bänden, von denen zunächst der erste vorliegt (er allein ist um rund 200 Seiten stärker als der Gesamtband der ersten Auflage).

Der vorliegende Band behandelt außer den experimentellen Tatsachen die „ältere“, vor der eigentlichen „Wellenmechanik“ liegende Quantentheorie als Vorbereitung auf die Wellenmechanik; der zweite Band soll eine Vervollständigung des bisherigen „wellenmechanischen Ergänzungsbandes“ werden. Die ersten 7 Kapitel sind gegen früher eher verkürzt als erweitert worden; sie behandeln: vorbereitende Tatsachen; das Wasserstoffspektrum (einschließlich Verhalten des Wasserstoff-Atomstrahls im inhomogenen Magnetfeld); das natürliche System der Elemente; die Röntgenspektren; Theorie der Feinstruktur; Polarisation und Intensität der Spektrallinien (einschließlich Stark- und Zeemaneffekt); die Seriengesetze im allgemeinen. Das achte Kapitel (die Komplexstruktur der Serienterme) ist das bei weitem umfangreichste; hier vor allem ist eine starke

Umarbeitung gegen früher durch die eingehende Behandlung des „Elektronenspins“, d. h. der Drehung des Elektrons um eine eigene Achse, und des „Pauli-Prinzips“ bedingt; dieses besagt, daß in einem Atom jeder vollständig (durch die Werte aller vier Quantenzahlen) definierte Quantenzustand nur von einem Elektron besetzt sein kann. Das letzte Kapitel behandelt die Bandenspektren.

Der Stil des Buches ist so klar, eindringlich und gut verständlich, daß der Leser auch in die schwierigsten und verwickeltesten Gedankengänge leicht und sicher eingeführt wird. Die große Zahl vorzüglicher Figuren unterstützt die Anschauung aufs beste. Dem wohl bekannten, auch in der neuen Auflage vortrefflichen Buche eine besondere Empfehlung mitzugeben, ist überflüssig.

Lamla.

Grenzfragen des Lebens. Eine Umschau im Zwischengebiet der biologischen und anorganischen Naturwissenschaft. Von FRIEDRICH RINNE. VII und 128 Seiten, mit 120 Abbildungen. Leipzig: Quelle & Meyer 1931. Preis geh. RM 9,—; geb. RM 10,—.

Das Buch ist der Klärung einer Frage gewidmet, der sich gerade jetzt in immer stärkerem Maße wieder das Interesse der Naturwissenschaftler und aller Gebildeten überhaupt zuwendet, der Frage nach den Beziehungen, nach den Unterschieden und den Ähnlichkeiten zwischen Organischem und Anorganischem. Nach einleitenden Kapiteln über den Aufbau und den Werdegang der Erde vergleicht Verfasser vor allem die Welt der Kristalle und der Kolloide mit der Welt der kleinen Lebewesen und weist auf eine Reihe oft überraschender Ähnlichkeiten im Verhalten hin. Erwähnt seien hier etwa: die morphologischen Unvollkommenheiten in beiden Welten; chemisches und optisches Verhalten der künstlichen flüssigen Kristalle und der Spermien; Wachstum bei Kristallen und bei Lebewesen; Stoffwechsel im Organischen und im Anorganischen (z. B. beim Permutit, der aus eisen-, mangan- und calciumhaltigem Wasser die Metalle auswählt und an Stelle seines Natriums einzubauen vermag); Reizbarkeit; Altern und Vergehen u. v. a.

In seinen Folgerungen ist der Verfasser vorsichtig; er bleibt durchaus auf dem Boden der wissenschaftlich erwiesenen Tatsachen. Die Lehren DRIESCHS lehnt er ab. Er hofft, daß die künstliche Erzeugung von Lebewesen einmal möglich sein wird; denn „die tiefe Kluft, die in gewohnter Weise zwischen der kristallinen Materie als höchster Entfaltung des Anorganischen und den niedersten organischen Formen angenommen wird, existiert nicht. Übergänge vermitteln vom einen zum anderen. Mehr und minder ausgeprägte Anklänge finden sich auf beiden Gebieten in Fülle“.

Das klar geschriebene, anregende, mit vorzüglichen Abbildungen versehene Buch sei jedem aufs beste empfohlen, der sich für die hier behandelten Grenzfragen interessiert. Der Lehrer an höheren Schulen wird darin viel Anregendes für seinen Unterricht finden.

Lamla.

Das Weltbild der Physik und ein Versuch seiner philosophischen Deutung. Von A. S. EDINGTON. Aus dem Englischen übersetzt von MARIE Freifrau RAUSCH von TRAUBENBERG und H. DIESSELHORST. VIII und 356 Seiten, mit 7 Abbildungen. Braunschweig: F. Vieweg & Sohn 1931. Preis geb. RM 12,80.

Das vorliegende Buch enthält weit mehr, als sein Titel erwarten läßt. Es geht zwar von dem Weltbild der modernen Physik aus, aber es begnügt sich nicht mit ihm. Es gibt das Weltbild eines Menschen, der zwar ein hervorragender Physiker und Astronom ist, der aber in seinem Weltbild nicht nur seinen wissenschaftlichen Teil, sondern seinen ganzen, vollen Menschen unterbringen will. Und gerade dieses Beteiligtsein des ganzen Menschen, dieses offene Angreifen und Behandeln schwerwiegender Fragen, die zwar den „reinen Physiker“ nicht bekümmern, die aber doch stets dem Menschen in jedem Physiker auf der Seele brennen, macht das Buch so überaus reizvoll und zwingt den Leser immer wieder in seinen Bann.

Das Buch bringt im wesentlichen den Inhalt von Vorträgen, die der Verfasser zu Beginn des Jahres 1927 an der Universität Edinburgh gehalten hat. Die ersten 11 Kapitel befassen sich in der Hauptsache mit den neueren physikalischen Theorien, mit den Gründen, die zu ihrer Aufstellung geführt haben, und mit den Begriffen, die ihnen zugrunde liegen. Die Überschriften dieser Kapitel sind: der Sturz der klassischen Physik; Relativität; die Zeit; der Ablauf des Weltgeschehens; „Werden“; die Gravitation und ihr Gesetz; die Gravitation und ihre Erklärung; die Stellung des Menschen im Weltall; die Quantentheorie; die neue Quantentheorie; Weltbau. Über das Ziel des Buches heißt es im Vorwort: „Das Ziel ist, das physikalische Weltbild zu beschreiben, wie es sich heute darstellt, und soweit es noch unvollständig ist, die Richtung zu beurteilen, nach der die modernen Ideen zu deuten scheinen. In den letzten vier Kapiteln werde ich die Stellung untersuchen, welche dieser naturwissenschaftlichen Auffassung im Rahmen allgemeiner Weltanschauung, einschließlich der Religion, zukommt.“ Die Titel dieser vier Kapitel sind: Zeigerstellungen; Realität; Verursachung; Wissenschaft und Mystizismus.

Die Physik hat das Ziel, eine Welt zu konstruieren, die der Welt unserer gewöhnlichen Erfahrung symbolisch entspricht; sie beschäftigt sich also mit einer „Welt der Schatten“. In den ersten elf Kapiteln gibt Verfasser eine Darstellung des heutigen physikalischen Weltbildes. Aber man findet da keine der gewohnten populären Darstellungen, obwohl auch der Verfasser auf mathematische Hilfsmittel ganz und gar verzichtet. Charakteristisch ist es, daß sich der Verfasser sogleich mit dem Leser auf einen höheren Standpunkt stellt, und daß er stets und ständig darauf hinweist, welche Konsequenzen die physikalische Entwicklung auf das Denken, Streben und Suchen des Menschen auf außerphysikalischem Gebiet gehabt hat. Relativitätstheorie und Quanten-

theorie sind naturgemäß die beiden Pole, die entscheidend für das Weltbild sind. Nachdem schon der Entropiesatz ein Richtungselement in die Physik gebracht hatte, das den Differentialgleichungen der klassischen Mechanik fremd ist, hat vor allem die Quantentheorie revolutionierend gewirkt. Sie hat zur Folge, daß die Physik nicht mehr wie früher an ein deterministisches Gesetzschema gebunden ist. Sie hat ferner (zusammen mit der Relativitätstheorie) eine ungeheure Wandlung des Ideals einer wissenschaftlichen Erklärung verursacht. Der frühere Physiker hatte eine Sache erst dann „verstanden“, wenn er ein Modell von ihr machen konnte, ein Modell, das im wesentlichen aus Hebeln, Zahnrädern und andern mechanischen Gebilden, also aus Hilfsgeräten des Ingenieurs erbaut war. Heute verlangt man nicht mehr vom Ingenieur den Aufbau der Welt, sondern man erwartet vom Mathematiker, daß er ihn mit seinen Hilfsmitteln errichte. Die Gleichungen lassen eine „anschauliche“ Erklärung im alten Sinne nicht mehr zu.

Mit aller Klarheit zeigt Verfasser die Grenzen der Physik auf; aber er scheut sich nicht, über sie hinüberzublicken. Ich möchte die Art der Betrachtungen durch ein paar Beispiele andeuten. Man kann etwa die Farben eines Gemäldes von der physikalischen Seite her untersuchen; aber „es gibt eine Seite unseres Wesens, die uns zwingt, an Schönheit und andere ästhetische Werte in der Natur und in den Werken der Menschen zu glauben“. Und: „Wir kennen nichts, was dagegen spräche, daß der Atomhaufen, der ein Gehirn bildet, selbst ein denkendes Objekt ist kraft jener Natur, die von der Physik aus unerforscht und unerforschbar ist.“ An anderer Stelle heißt es: „Der auf Tatsachen eingestellte Physiker wird sich nur schwer die Auffassung zu eigen machen, die Grundlage aller Dinge sei letztlich geistiger Natur. Aber niemand kann leugnen, daß der Geist der erste und unmittelbarste Gegenstand unserer Erfahrung ist, und alles andere nur abgeleitete Schlußfolgerungen, seien sie intuitiv oder auf logischem Wege erfolgt.“

Es ist nicht möglich, noch näher auf die reichen Einzelheiten des Buches einzugehen, etwa darauf, wie sich der Verfasser mit den Problemen „Naturwissenschaft und Religion“, „freier Wille und Prädestination“, „symbolische und innere Erkenntnis“ und mit vielem andern auseinandersetzt. Die Grundeinstellung des Verfassers ist durch die Zitate bereits angedeutet. Der Leser möge nun zu dem Buche selbst greifen.

Es muß noch betont werden, daß das Buch in einem glänzenden Stil geschrieben ist. Mit wahrhaft dichterischem Schwung, geistreich und witzig, oft tiefe Wahrheit in einem Scherzwort darbietend, führt der Verfasser den Leser unwiderstehlich weiter; er hält ihn im Bann, auch wenn er etwa innerlich widerspricht. Das Buch ist, wie schon gesagt, keineswegs eine bloße Einführung in das physikalische Weltbild; es ist weit, weit mehr. Es ist ein Buch, das einen nicht wieder losläßt, weil es Probleme kräftig angreift, mit denen wir alle uns herumschlagen. Jeder Physiker sollte

es lesen, vor allem jeder Lehrer an höheren Schulen; er wird für die eigene Klärung und für die Vertiefung seines Unterrichts viel gewinnen.

Lamla.

Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen. Von Dr. OTTO GLASSER, Cleveland Clinic Foundation. Mit einem Beitrag „Persönliches über W. C. RÖNTGEN“ von MARGRET BOVERI, Berlin. Mit 96 Abb. und einem Bildnis. XI, 337 Seiten. (Bildet Bd. III der „Röntgenkunde in Einzeldarstellungen.“) Berlin 1931. Verlag von Julius Springer. Preis RM. 27,—; geb. RM. 29,60.

Das vorliegende, 337 Seiten umfassende Buch bildet den 3. Band des größeren Werkes „Röntgenkunde in Einzeldarstellungen, herausgegeben von H. H. BERG-Dortmund und K. FRIK-Berlin“. Wer sich für die Geschichte der Röntgenstrahlen, insbesondere für die Vorgänge bei der Entdeckung und die Persönlichkeit RÖNTGENS interessiert, dem kann die Lektüre dieses Buches nur wärmstens empfohlen werden. Sein Inhalt beschränkt sich im wesentlichen auf die Schilderung der Entdeckung der Röntgenstrahlen und deren Aufnahme und Verbreitung in der ganzen Welt während des Jahres 1896. Dieses erste Jahr nach der Entdeckung ist als das bedeutendste in der Geschichte der Röntgenstrahlen anzusehen, denn es gibt kaum eine Erweiterung in der Erkenntnis des Wesens der Strahlen oder eine Vervollkommenung ihrer Erzeugungsweise, zu der in diesem Jahre nicht mindestens schon die Grundlage, namentlich durch die Forschertätigkeit des peinlich gewissenhaften Entdeckers, gelegt worden wäre. In bezug auf die Entdeckung selbst wird hier das unbestreitbare Verdienst RÖNTGENS klar gestellt. Es hat Stimmen gegeben, die den Anteil RÖNTGENS an seiner Entdeckung etwa mit dem GALVANIS an seiner umwälzenden Entdeckung auf die gleiche Stufe stellen wollten. Davon kann gar nicht die Rede sein. Auch können Prioritätsansprüche hinsichtlich der Entdeckung berechtigterweise keinesfalls von anderer Seite geltend gemacht werden. Gewiß ist z. B. das Suchen nach der magnetelektrischen Induktion und die dann folgende Entdeckung der Induktionsströme bei FARADAY oder die Erfindung der bekannten Spulen bei PUPIN durch theoretische Überlegungen und planmäßiges Experimentieren herbeigeführt worden. Daß aber bei der Entdeckung seiner Strahlen RÖNTGEN nicht mehr als ein Zufallsverdienst zuerkannt werden könne, ist völlig abwegig. In dem vorliegenden Buche wird gezeigt, daß sicher schon vor RÖNTGEN Erscheinungen beobachtet wurden, die nur durch die Wirkungen von Röntgenstrahlen erklärt werden können, bei denen aber die betreffenden Beobachter absolut nicht auf den Gedanken kamen, daß es sich dabei um eine bis dahin völlig unbekannte Strahlenart handele. Zu der Zeit der Entdeckung der Röntgenstrahlen beschäftigte man sich in ungezählten physikalischen Kabinetten mit dem Studium der Kathodenstrahlen und der von LENARD beobachteten Kanalstrahlen. Und wohl

gerade die besondere Einstellung auf die Erforschung dieser beiden Strahlenarten war vielleicht bei den betreffenden sehr verdienstvollen Forschern ein Hindernis, gewissen Nebenerscheinungen eine entsprechende Aufmerksamkeit zuzuwenden. RÖNTGEN begann mit dem eindringenden Studium der Entladungserscheinungen in hoch-evakuierten Röhren erst im Oktober 1895, wobei er besonders auf den Vorarbeiten von LENARD und HERTZ fußte. Aber gerade die völlige Objektivität bei diesem neu begonnenen Studium der Strahlungserscheinungen war bei RÖNTGEN die Ursache, daß er auf jede Erscheinung achtete, die bei den Versuchen sich zeigte. So fiel ihm bei völlig abgeschirmter Kathodenröhre das Fluoreszieren einiger Kristalle auf, und mit der Gewissenhaftigkeit des gründlichen Forschers ruhte er nicht eher, als bis er zu der Überzeugung kam, daß er die Wirkung einer bis dahin unbekanntem Strahlenart vor sich hatte. Bei dieser ersten grundlegenden Arbeit kam RÖNTGEN längere Zeit überhaupt nicht aus dem Laboratorium heraus, es wurde sogar sein Schlafzimmer. Völlig falsch ist auch das wohl zuerst in Amerika aufgetauchte Gerücht, sein Laboratoriumsdiener habe ihn auf das Leuchten der Kristalle aufmerksam gemacht. Der durchaus sehr gewissenhafte Diener war geistig gar nicht in der Lage, bei den Versuchen Wesentliches und Unwesentliches zu unterscheiden. Bei dem nun allgemein einsetzenden Studium der neuen Strahlen blieb RÖNTGEN der führende Forscher, der, zwar äußerst vorsichtig in seinen Urteilen, doch die richtigen Wege zu finden und die entsprechenden Fingerzeige zu geben verstand. Diese Tatsache läßt einen Vergleich mit GALVANI als absolut ungerechtfertigt erscheinen.

Eine sehr erfreuliche Beigabe ist der Abschnitt „Persönliches über W. C. RÖNTGEN“ von MARGRET BOVERI, worin, namentlich an Hand von Zitaten aus RÖNTGENS Briefwechsel, ein alle Züge umfassendes Bild des Forschers gezeichnet wird.

Verdienstvoll ist das dem Buche angehängte Verzeichnis der literarischen Erzeugnisse über die neue Entdeckung, die in dem in dieser Hinsicht so überaus fruchtbaren Jahre 1896 erschienen.

Bekannt ist wohl allgemein, daß RÖNTGEN nicht im Besitze eines Reifezeugnisses war. Das Buch enthält nun auch eine genaue Darstellung des Vorgangs, der ihm durch einen pädagogischen Mißgriff (er wollte in Obersekunda nicht der Angeber eines Mitschülers sein) die Relegation von dem Gymnasium in Utrecht und damit den Ausschluß von der Reifeprüfung einbrachte. Als er dann in Zürich ohne Reifezeugnis auf dem Polytechnikum studierte, war es sein Lehrer A. KUNDT, der die besonderen Fähigkeiten seines Schülers erkannte und sein Fortkommen in jeder Weise förderte.

Wer das Jahr 1896 als experimentierender Physiker erlebt hat, wird durch die Lektüre des Buches viele angenehme Erinnerungen auffrischen und ergänzen können, und die jüngeren Leser werden eine Vorstellung davon bekommen, wie durch RÖNTGENS Entdeckung die ganze Menschheit in Aufruhr gebracht wurde. *Steindl.*

Physikalisch-Chemisches Taschenbuch. Herausgegeben von C. DRUCKER und E. PROSKAUER. Bd. 1. 546 Seiten, 292 Figuren und 81 Tabellen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft 1932. Brosch. RM 27,50; geb. RM 29,—.

Zur Kennzeichnung des Buches seien einige Sätze aus dem Vorwort entnommen: „Das vorliegende ‚Taschenbuch‘ soll in übersichtlicher Form über Theorien und Meßmethoden berichten. Es enthält die Definitionen der wichtigsten physikalischen und chemischen Begriffe, Entwicklung und Formulierung theoretischer Zusammenhänge, die Prinzipien der Meßmethoden und kurze Beschreibung vieler einzelner Meßanordnungen. Die Unmöglichkeit der Behandlung des gesamten Gebietes der Physik und Chemie auf so engem Raume in gleichartiger Berücksichtigung aller Einzelteile gab Veranlassung zur Beschränkung auf gegenwärtig besonders wichtige Themen.“ Die so gekennzeichnete Absicht ist in einer Weise verwirklicht, zu der man die Herausgeber und ihre Mitarbeiter beglückwünschen kann. Die Darstellung hat einen besonderen Reiz durch die persönliche Art und die Eindringlichkeit, mit der jeder Abschnitt geschrieben worden ist, weil fast immer über eigenes Forschungsgebiet berichtet wurde. Dem Physiker, Chemiker und Physiko-Chemiker wird dieses Buch bald unentbehrlich werden. Es bedeutet eine erhebliche Arbeitserleichterung, sich schnell über irgendein Gebiet knapp und doch klar orientieren zu können und für speziellere Fragen die wichtige Literatur angeben zu finden. Es gehört zu den wenigen Büchern, die man immer griffbereit auf dem Schreibtisch haben will. Es sei übrigens auch eine Verwendung verraten, für die das Buch allerdings nicht geschrieben worden ist. Es läßt sich nämlich vorzüglich als Grundlage für Vorträge und sogar Vorlesungen aus dem Gebiete der chemischen Physik benutzen. Auch für den Naturwissenschaftler, der nicht mehr wissenschaftlich arbeitet, aber sich für das moderne Forschungsgebiet weiter interessiert, dürfte das Taschenbuch sehr wertvoll sein, da es ihm ermöglicht, sich in exakter Form über die aktuellen Forschungsprobleme und ihre Methodik zu orientieren. Dem zweiten Bande des Taschenbuchs wird man mit gespannter Erwartung entgegensehen. *Hiedemann.*

Geschichte der Photographie. Von Prof. Dr. E. STENGER (Schriftenreihe „Deutsches Museum, Abhandlungen und Berichte“, Heft 6). DIN A 5, VI, 44 Seiten mit 10 Abbildungen und 5 Bildnissen. Berlin: VDI-Verlag G. m. b. H. 1929. Brosch. RM 1,— (VDI-Mitgl. RM 0,90).

Die Photographie hat rund hundert Jahre gebraucht, um den heutigen Entwicklungsstand zu erreichen. Die vorliegende Schrift vermittelt einen umfassenden Überblick über den zurückliegenden Entwicklungsgang, von den ersten Lichtkopien angefangen bis zu den heutigen Momentaufnahmen mit kürzesten Belichtungszeiten. Bemerkenswert ist das umfangreiche Literaturverzeichnis, durch das die Schrift zum Leitfaden

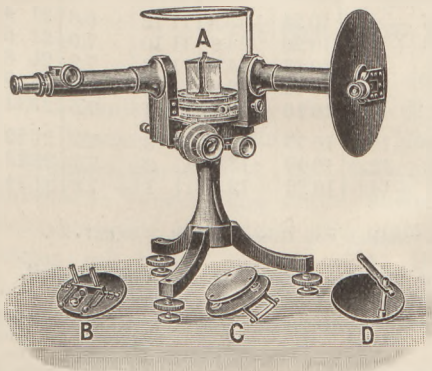
für eingehenderes Studium der Materie wird. Die Fülle des in gedrängtester Form behandelten Stoffes verhindert ein Eingehen auf Einzelheiten. Es wird die Entwicklung der photographischen Kammern einschließlich des Objektivs beschrieben, die Entwickel- und Kopierverfahren usw.

Über die Bedeutung der Photographie für die bildliche Wiedergabe von Geschehnissen, Darstellungen usw. braucht heutzutage kein Wort mehr verloren zu werden.

Die Abhandlung wird das Interesse weiter Kreise finden. *Holm.*

Aus Werkstätten.

Die Firma PAUL STIEGEL in Kassel, Parkstr. 19, stellt einen Universalspektralapparat her, der aus



der Praxis heraus entstanden ist und einen großen Verwendungsbereich besitzt (siehe die Figur). Mit Hilfe verschiedener Einsatztische kann das In-

strument als Goniometer und als Spektrometer verwandt werden.

Die Kreisteilung ist in $\frac{1}{2}$ Gr. ausgeführt, der Nonius gibt 1 Min. an, die Ablesung geschieht mittels fester Lupe. Die Spaltbreite ist auf $\frac{1}{50}$ mm genau ablesbar. Das Fernrohr hat ein 5- und 20fach vergrößerndes Okular. Die Tische sind sämtlich justierbar. Es werden beigegeben: 1 Tisch für und mit einem schweren Flintglasprisma, 1 Tisch für und mit Bi-Prisma und ROWLANDScher Gitterkopie (600 Str. je Millimeter), 1 Tisch mit Nonius, 1 Tisch mit verstellbarem Haltebock für Prismen aller Art, 1 Tisch für und mit Fresnelspiegel, 1 Tubus mit Mikroskopokular und Okularmikrometer zur Messung der Wellenlängen der einzelnen Spektralfarben mit Fresnelspiegel, 1 Kasten zur Aufbewahrung. Ein GAUSS-Okular kann mitgeliefert werden.

Der Universalspektralapparat kann verwandt werden als Prismenspektrometer, Goniometer für Interferenzversuche, Beugungsversuche, als Gitterspektrometer. Er kostet vollständig RM 535,50.

Korrespondenz.

Berichtigung zu dem Aufsatz 45, 196; 1932: O. HOLM: „Beispiele zur Mechanik aus Sport und Spiel“. Infolge einer Verwechslung von r und x beim Einsetzen von Größen der Fig. 2 in die Gleichung (4) ist hier ein Fehler entstanden. Es muß im letzten Gliede der angegebenen Gleichung in der ersten Zeile nicht $d(R \sin \psi)$, sondern $d(R \cos \psi)$ heißen. Damit erhält man für das

Trägheitsmoment der Kugel den Wert $J = \frac{8\pi\gamma R^5}{15g}$. Hierdurch verschiebt sich das Ergebnis der weiteren Untersuchung erheblich, so daß in Gleichung (6) $\frac{E_2}{E_1} = 0,4$ wird und die Geschwindigkeit

der fortschreitenden Bewegung sich im Augenblick des Aufhörens der Drehbewegung auf $v_2 = 0,6 v$ vermindert hat. Bei der dann folgenden Umwandlung der „Rutschbewegung“ in eine reine Rollbewegung sind die Reibungsverluste zu berücksichtigen. Man kann die Lösungsgleichungen auf Grund des Energieprinzips ansetzen. Einfacher und eleganter ist die Lösung jedoch auf Grund der Erwägung, daß die Umfangsgeschwindigkeit der Punkte des Rollkreises in bezug auf die ruhend gedachte Kugeldrehachse einen Zuwachs erfährt, der zum Geschwindigkeitsverlust der fortschreitenden Bewegung im konstanten Verhältnis $\frac{e \cdot r}{b} = \frac{5}{2}$ steht und die Summe beider

gleich v_2 sein muß. Damit ergibt sich unmittelbar:

$$v_3 = \frac{5}{7} v_2 = \frac{5 \cdot 0,6}{7} \cdot v = 0,43 v. \quad O. Holm.$$

Bemerkungen zu der Kleinen Mitteilung 45, 208; 1932: K. HEYER: „Über Eichkurven und Empfindlichkeit der Elektroskope“. Im Fall 1 (Kugel-Doppelpendel) ist angenommen, daß die Ladung sich nur auf den Kugeln befindet; tatsächlich sind auch die Fäden geladen. Über die Kapazität dünner Drähte, die meist unterschätzt wird, vgl. diese Zeitschrift 30, 249; 1917 und 31, 135; 1918.

Im Fall 2 ist angenommen, daß jedes Zentimeter des Blättchens dieselbe Ladung habe; tatsächlich sind die Enden stärker geladen, und die Verteilung der Ladung ändert sich mit der Stellung der Blättchen.

Die wirklichen Eichkurven müssen also von den errechneten in dem Sinn abweichen, daß sie einander ähnlicher werden.

In welchem Sinne die übrigen Kurven zu verbessern sind, erkennt man, wenn man auch hier den Grenzfall betrachtet, daß nur auf den Enden der Blättchen und Stangen Ladungen sitzen. Fig. 6b dürfte dann ihre Erklärung finden.

Auf Elektroskope in Gehäusen sind die Berechnungen kaum anwendbar. *Vn.*

Himmelserscheinungen im März und April 1933.

W.Z.: Welt-Zeit = Bürgerliche Zeit Greenwich. 0h W.Z. = Mitternacht Bürgerliche Zeit Greenwich.
 Stundenzählung von 0h bis 24h. M.E.Z. = Mitteleuropäische Zeit = Bürgerliche Zeit Stargard = W.Z. + 1h.

Oh W.Z.	Sonne ☉				Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
	AR.	Dekl.	Zeitgl. ¹	Sternzeit ²	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.
1933	h m	°	m s	h m s	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°
März 1	22 46	- 7,8	+ 12 38	10 33 23	23 46	- 1,0	21 58	-13,7	10 57	+11,3	11 23	+ 5,6	20 54	-18,1
.. 6	23 5	5,9	11 35	10 53 6	0 9	+ 2,8	22 22	11,6	10 50	12,0	11 21	5,8	20 56	17,9
.. 11	23 23	4,0	10 20	11 12 49	0 21	5,2	22 46	9,3	10 42	12,6	11 19	6,1	20 59	17,8
.. 16	23 41	- 2,0	8 58	11 32 31	0 21	6,0	23 9	7,0	10 35	13,1	11 16	6,3	21 1	17,7
.. 21	0 0	0,0	7 30	11 52 14	0 10	4,9	23 32	4,6	10 29	13,5	11 14	6,6	21 2	17,5
.. 26	0 18	+ 1,9	+ 5 59	12 11 57	23 55	+ 2,5	23 55	- 2,1	10 24	+13,8	11 12	+ 6,8	21 4	-17,4
.. 31	0 36	3,9	4 28	12 31 40	23 44	0,0	0 18	+ 0,4	10 20	14,0	11 10	7,0	21 6	17,3
April 5	0 54	5,8	2 59	12 51 22	23 40	- 1,9	0 41	2,9	10 17	14,0	11 8	7,2	21 8	17,2
.. 10	1 13	7,7	1 33	13 11 5	23 44	2,7	1 3	5,4	10 16	13,9	11 6	7,4	21 9	17,1
.. 15	1 31	9,5	+ 0 14	13 30 48	23 55	2,5	1 26	7,8	10 16	13,7	11 4	7,5	21 11	17,0
.. 20	1 50	+11,3	- 0 57	13 50 31	0 12	- 1,4	1 49	+10,1	10 17	+13,4	11 3	+ 7,7	21 12	-16,9
.. 25	2 8	13,0	1 56	14 10 14	0 32	+ 0,5	2 13	12,4	10 19	13,0	11 2	7,7	21 13	16,9
.. 30	2 27	+14,6	- 2 44	14 29 56	0 56	+ 2,9	2 37	+14,5	10 22	+12,5	11 1	+ 7,8	21 14	-16,8

¹ Zeitgleichung = mittlere Zeit - wahre Zeit.

² Die Korrektion der Sternzeit für einen Ort λ° östlich bzw. westlich von Greenwich ist $\mp 0^m.657 \cdot \lambda^\circ$.

Auf- und Untergänge des oberen Randes der Sonne und des Mondes in mittlerer Ortszeit.
 Breite von Berlin (+ 52,5°), Länge von Stargard (15° östlich v. Greenwich).

	Sonne		Mond			Sonne		Mond			Sonne		Mond	
	Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.
1933	h m	h m	h m	h m	1933	h m	h m	h m	h m	1933	h m	h m	h m	h m
März 1	6 48	17 38	7 55	23 59	März 26	5 50	18 22	5 42	19 8	April 20	4 53	19 6	3 30	14 22
.. 6	6 36	17 47	10 44	4 19	.. 31	5 38	18 31	7 3	0 10	.. 25	4 42	19 14	4 24	20 40
.. 11	6 25	17 56	17 23	6 10	April 5	5 26	18 40	12 10	3 46	.. 30	4 32	19 23	7 24	0 50
.. 16	6 13	18 5	—	7 19	.. 10	5 15	18 49	19 13	4 49					
.. 21	6 2	18 14	4 36	12 24	.. 15	5 3	18 57	1 10	7 28					

Mondphasen 1933 M.E.Z.	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	26. März	4h 20,3m	4. März	11h 23,3m	12. März	3h 45,7m	18. März	22h 4,8m
	24. April	19 38,3	3. April	6 56,4	10. April	14 37,6	17. April	5 17,4
			2. Mai	23 39,1				

Verfinsterungen der Jupitertrabanten in M.E.Z. (E = Eintritt, A = Austritt.)

Trabant I		Trabant II		Trabant III		Trabant IV	
h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
1. März 22 13,1 E	26. März 19 7,9 A	5. März 19 43,4 E	29. März 22 25,2 A	20. April 21 21,9 E			
9. „ 0 6,9 E	2. April 21 2,4 A	30. „ 19 28,6 A		21. „ 0 32,9 A			
10. „ 20 51,0 A	9. „ 22 56,9 A	6. April 22 3,7 A					
17. „ 22 45,1 A	25. „ 21 15,1 A	14. „ 0 38,8 A					

Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin, Zeitangaben in mittlerer Ortszeit.

	Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
1933										
März 1	Da 18,7	U 19,2	—	—	Da 18,8	Dm 5,6	Da 18,7	Dm 5,8	—	—
.. 11	Da 19,0	U 19,6	—	—	Da 19,1	Dm 5,3	Da 19,0	Dm 5,4	—	—
.. 21	—	—	—	—	Da 19,4	Dm 4,9	Da 19,3	Dm 5,0	A 4,7	Dm 4,9
.. 31	—	—	—	—	Da 19,7	Dm 4,5	Da 19,6	Dm 4,6	A 4,1	Dm 4,5
April 10	—	—	—	—	Da 20,0	Dm 4,0	Da 19,9	Dm 4,1	A 3,5	Dm 4,0
.. 20	—	—	—	—	Da 20,4	Dm 3,6	Da 20,3	Dm 3,7	A 2,8	Dm 3,6
März 30	—	—	—	—	Da 20,8	U 3,0	Da 20,6	U 3,3	A 2,2	Dm 3,1

A = Aufgang; U = Untergang; Da und Dm = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

3. März 14h M.E.Z. Mars der Erde am nächsten. 21. März 2h 43m M.E.Z. Frühlingsanfang.

13. April 11h M.E.Z. Mars stationär.

Kohl.

Für die Redaktion verantwortlich: Ministerialrat Professor Dr. K. Metzner, Berlin W 8.

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.

Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg.