

Versuche mit einem Plattenkondensator.

Von H. Kröneke in Berlin.

1. Beschreibung des Kondensators.

Der Kondensator ist eines der Bindeglieder zwischen der strömenden und der ruhenden Elektrizität: er spielt daher nicht nur in dem bisher üblichen Lehrgang der Elektrizität, sondern gerade auch für die seit einigen Jahren vorgeschlagene neuere Betrachtungsweise eine wichtige Rolle. Die einfachste und für den Schüler verständlichste Form des Kondensators ist der Plattenkondensator, der besonders dann wertvoll sein kann, wenn seine Kapazität, d. h. sein Plattenabstand, veränderlich ist und mit einiger Genauigkeit gemessen werden kann. Die bisher gebräuchlichen Kondensatoren dieser Art haben aber eine Reihe Mängel, die zu beheben mit der vorliegenden Ausführungsform versucht wird.

Von einem veränderlichen Plattenkondensator ist zu verlangen, daß man mit ihm einwandfrei den Zusammenhang zwischen Ladung, Spannung und Kapazität sowie die Abhängigkeit der Kapazität vom Plattenabstand nachweisen kann. Erwünscht ist, daß die Messungen sowohl statisch mit einem Elektrometer wie ballistisch mit einem Galvanometer durchgeführt werden können, und auch, daß die Dielektrizitätskonstante einiger Stoffe zahlenmäßig befriedigend bestimmt werden kann.

Im folgenden wird aber gezeigt, daß damit die Anwendungsmöglichkeiten des Kondensators nicht erschöpft sind, man vielmehr auch folgende Aufgaben behandeln kann: Kapazitätsmessung auf rein statischem Wege von Bruchteilen eines Zentimeters bis zu hohen Werten; statische Eichung von Hochspannungsvoltmeters; vielleicht auch statische Messung von kleinen und hohen Spannungen, also Erweiterung des Meßbereichs eines gegebenen statischen Voltmeters. Dabei setzen alle diese Messungen außer den üblichen Volt- und Amperemetern nebst Widerständen nur den Besitz eines besseren statischen Voltmeters (BRAUNSCHE oder WULFSCHES Elektrometer) und eines empfindlichen, nicht zu stark gedämpften Spiegelgalvanometers voraus.

Damit ein Kondensator für die erwähnten Versuche brauchbar sei, muß er beste Isolation, völlig ebene und parallele Platten und eine Vorrichtung zur genauen Messung des Plattenabstandes haben; ferner muß seine Kapazität so weit gesteigert werden können, daß man bei Aufladung mit 220 Volt ballistische Messungen mit einem in der Schule üblichen Spiegelgalvanometer machen kann.

Dagegen kann ohne Bedenken eine Vereinfachung gegenüber den bisher üblichen Plattenkondensatoren angewandt werden: nur die eine Platte braucht isoliert zu werden, da doch die andere stets geerdet wird. Isoliert man nur die ruhende Platte, und verzichtet man auf die Isolation der beweglichen, so läßt sich der Bau des Kondensators wesentlich vereinfachen. Vielleicht ist es überhaupt zweckmäßig, bei der Behandlung des Kondensators nicht von der Kapazität zwischen zwei Platten auszugehen, sondern von der einer einzigen Platte in großem Abstände von anderen leitfähigen Körpern.

Die Kapazität einer solchen Kreisscheibe ist gleich $\frac{2}{3}$ des Halbmessers (genauer $\frac{2r}{\pi}$), in Zentimetern gemessen. Wird die Platte der Erde oder einer zweiten — geerdeten — Platte genähert, so wächst ihre Kapazität umgekehrt mit dem Abstand. So wird die Schwierigkeit vermieden, die sonst leicht dem Verständnis dadurch erwächst, daß

einmal von der Kapazität zwischen zwei Platten und dann wieder von der einer einzigen Platte oder Kugel gesprochen wird: immer handelt es sich eben um die Kapazität des isolierten Körpers „gegen Erde“.

Der für die folgenden Versuche verwendete Kondensator hat Platten von 25 cm Durchmesser. Die feste Platte ist an drei nahe dem Rande liegenden Punkten durch polierte Bernsteinsäulen gehalten, die zur Einstellung der Parallelität der Platten justierbar sind. Diese Befestigung ist weit besser

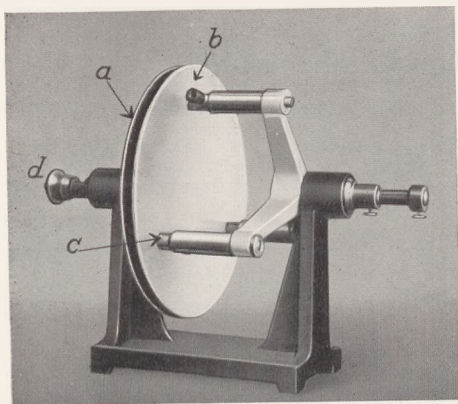


Fig. 1. Ansicht des Kondensators.
a geerdete, b isolierte Platte. c Bernstein-Isolatoren.
d Mikrometerschraube mit Teilung.

als die übliche in der Mitte der Platte, bei der schon eine geringe Änderung des Isolators zu einer erheblichen Änderung der Plattenlage führt. Um eine zweite große Schwierigkeit zu überwinden, die in der Herstellung großer, völlig ebener Platten besteht, wurden die Kondensatorscheiben aus geschliffenem Glas von 3,5 mm Stärke angefertigt und für die ersten Versuche mit einem Überzug von Silber versehen. Später wurden sie in der Art von Leidener Flaschen mit Zinnfolie belegt, was haltbarer ist und, wie die Versuche zeigten, völlig genügt. Gegen die Glasplatten läßt sich zwar einwenden, daß sie leicht zerbrechlich seien; das sind aber viele andere Instrumente auch, und eine zerbrochene Glasscheibe läßt

sich mit Leichtigkeit ersetzen. Der Plattenabstand kann durch eine Mutter mit Teilkopf zwischen 0 und 16 mm verändert und auf 0,1 mm abgelesen werden, wobei Hundertstel Millimeter noch sicher geschätzt werden können (Fig. 1).

2. Eichung des Kondensators.

Die Kapazität eines Plattenkondensators ist $C = \frac{F}{4\pi d}$ elektrostatische Einheiten (Zentimeter), wenn auch die Plattenfläche F und der Abstand d in Zentimetern gemessen sind, was einstweilen als bekannt vorausgesetzt wird. Dabei ist der Einfluß der Verzerrung des Feldes am Plattenrande vernachlässigt. Der hierdurch entstehende Fehler wird weiter unten gesondert betrachtet.

Ein Grundversuch mit dem Kondensator ist der Nachweis, daß bei unveränderter Ladung das Produkt aus Spannung U und Kapazität C konstant ist, oder, wie die obige Formel für die Kapazität zeigt, daß $\frac{U}{d}$ unabhängig von d ist. Um dies zu beweisen, kann man folgendermaßen vorgehen: Die isolierte Platte des Kondensators wird mit dem System eines BRAUNschen Elektrometers von z. B. 300 bis 1500 Volt

Tabelle 1.

d	1,04	1,60	2,20	2,86	3,62	4,98	mm
U	400	600	800	1000	1200	1500	Volt
$\frac{U}{d}$	385	375	364	350	332	302	

Meßbereich verbunden und bei kleinem Plattenabstand (etwa 0,5 mm) mit dem spannungführenden Pole des Gleichstromnetzes von 220 Volt berührt. Führt das Netz Wechselstrom, so nimmt man eine Anodenbatterie oder ein Netzgerät für Verstärker. In die Zuleitung legt man zur Sicherheit einen Widerstand, der etwa 1 Megohm beträgt. Nachdem die Platte durch kurze Berührung aufgeladen ist, vergrößert man den Plattenabstand. Damit sinkt die Kapazität und steigt die Spannung. Als Beispiel ist in Tabelle 1 eine Reihe zusammengehöriger Werte von d , U und $\frac{U}{d}$ verzeichnet.

Daß $\frac{U}{d}$ entgegen der Erwartung nicht konstant ist, kann verschiedene Ursachen haben, die einzeln untersucht werden müssen, bevor weiter mit dem Kondensator gearbeitet werden kann. An solchen Ursachen ist denkbar:

a) Die Kapazität C besteht außer einem mit d veränderlichen Teil aus einem konstanten Anteil, nämlich der Kapazität des Elektrometers nebst Zuleitung und einem konstanten Anteil der isolierten Platte.

b) Nullpunktfehler der Teilung.

c) Feldverzerrung am Rande.

d) Unebenheit oder nicht völlig parallele Stellung der Platten.

e) Mangelhafte Isolation.

f) Fehlerhafte Eichung des Elektrometers.

Um die letzte, für den Anfang schwer abschätzbare Fehlerquelle auszuschalten, wurde einstweilen anstatt des BRAUNschen Elektrometers ein Universalelektroskop von WULF¹ genommen, das einen stark quadratischen Gang hat (Fig. 2), wenn es mit geerdeter Influenzplatte gebraucht wird. Sein Meßbereich ist daher bei fester Influenzplatte gering, aber seine Empfindlichkeit im ansteigenden Teil der Eichkurve sehr groß. So kann bei Projektion des Bändchens und dem Ausschlag 220 Volt eine Änderung der Spannung von weniger als 1 Volt noch sicher erkannt werden. Die Fehlerquellen c) bis f) wurden einer späteren Untersuchung vorbehalten und zunächst die Punkte a) und b) gleichzeitig auf folgende Weise untersucht.

Der Kondensator wurde bei einem Abstand d_1 auf die Spannung 75 Volt aufgeladen, die mittels eines Spannungsteilers dem Netz entnommen und beständig durch ein Drehspulvoltmeter überwacht wurde, um die Schwankungen des Netzes auszugleichen. Dann wurde der Abstand auf den Wert d_2 vergrößert, bei dem die Spannung genau auf 150 Volt angewachsen war, gemessen mit dem Universalelektroskop.

Ist f der Nullpunktfehler der Teilung und k der von d unabhängige Anteil der Kapazität der ganzen Anordnung, endlich $C_1 = 397$ cm der mit d veränderliche Anteil der Kondensatorkapazität für genau 1 mm Plattenabstand, so muß sein:

$$75 \left(\frac{397}{d_1 + f} + k \right) = 150 \left(\frac{397}{d_2 + f} + k \right).$$

Diese Gleichung enthält die beiden Unbekannten f und k . Man könnte wohl durch Wahl von zwei verschiedenen Paaren d_1 und d_2 zwei Gleichungen gewinnen und diese nach f und k auflösen, einfacher kommt man aber auf folgendem Wege zum Ziel. Es leuchtet ein, daß der Anteil k um so weniger ausmacht, je kleiner d und je größer daher der veränderliche Anteil der Kapazität C ist. Hier spielt aber ein etwaiger Nullpunktfehler eine merkliche Rolle, während er bei großen Plattenabständen nicht ins Gewicht fällt. Wir wählen daher aus den Messungen ein Wertepaar bei kleinem Abstand und ein zweites bei großem Abstand aus (Tabelle 2). Unter Vernachlässigung des Fehlers f erhalten wir aus dem Paar $d_1 = 5,0$, $d_2 = 13,43$:

$$\frac{397}{5} + k = 2 \left(\frac{397}{13,43} + k \right) \quad \text{oder} \quad k = 20,2 \text{ cm.}$$

Dieser Wert wird als erste Näherung verwendet, um aus dem Paar $d_1 = 0,7$, $d_2 = 1,31$ den Nullpunktfehler f zu bestimmen, wobei zu beachten ist, daß f sicherlich klein ist und daher f^2 vernachlässigt werden darf. Aus $\frac{397}{0,7 + f} + 20,2 = 2 \left(\frac{397}{1,31 + f} + 20,2 \right)$ ergibt sich $f = -0,124$ mm. Bringt man diesen Wert als Verbesserung der Abstände des zweiten Paares an, so ergibt sich ein verbesserter Wert $k = 21,4$ cm; eine weitere Verbesserung von f ist hiermit, wie die Rechnung zeigt, nicht mehr möglich.

¹ TH. WULF: Elektrostatische Versuche mit Anwendung des Universalelektroskops. Berlin und Bonn: F. Dümmler 1928.

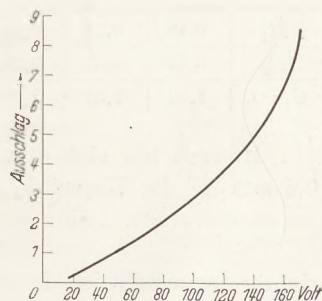


Fig. 2. Eichkurve des WULF'schen Elektroskops.

Tabelle 2.

d_1	0,70	5,00	mm
d_2	1,31	13,43	mm

Die für die Rechnung verwendeten Paare der Tabelle 2 sind einer Meßreihe entnommen, die nach Verbesserung der abgelesenen Abstände d durch den eben gefundenen Wert für f in die wahren Abstände $D = d - 0,12$ in Tabelle 3 vollständig wiedergegeben ist. In der dritten Reihe ist das Verhältnis der Kapazitäten, berechnet nach der Formel $C = \frac{397}{D} + 21,4$, für die darüberstehenden Plattenabstände eingetragen. Da die Spannung verdoppelt wurde, mußte die Kapazität halbiert werden, das Verhältnis also 2:1 sein. Daß dies für die kleinsten Plattenabstände nicht zutrifft, ist vermutlich auf die oben unter c) bis e) angeführten Ursachen zurückzuführen, da im übrigen der Wert 2 mit sehr befriedigender Genauigkeit herauskommt.

Tabelle 3.

D_1	0,18	0,28	0,38	0,58	0,88	1,38	1,88	2,88	3,88	4,88	5,48
D_2	0,33	0,53	0,75	1,19	1,85	2,96	4,20	6,75	10,0	13,31	15,73
$C_1 : C_2$	1,82	1,87	1,94	1,99	2,005	1,99	2,004	1,99	2,03	2,01	2,01

Hiermit hat sich ergeben, daß — mindestens für Plattenabstände von mehr als 0,5 mm — die Kapazität des verwendeten Kondensators durch

$$C = \frac{397}{d - 0,12} + 21,4 \text{ cm}$$

richtig dargestellt ist. In dem konstanten Betrage 21,4 cm steckt natürlich die Kapazität des für diese Messungen verwendeten Universalelektroskops (die aus anderen Gründen hier absichtlich ein wenig vergrößert war). Wir werden weiter unten sehen, wie nunmehr auch die Kapazitäten der verschiedenen Elektrometer einzeln gemessen werden können. Daraus ergab sich, daß bei Benutzung des BRAUNschen Elektrometers der Betrag k nur 20,4 cm ausmachte.

3. Der Einfluß des Randes.

Es erscheint vielleicht auf den ersten Blick erstaunlich, daß, wie Tabelle 3 zeigt, durch die obige einfache Kondensatorformel eine so weitgehende Genauigkeit erreicht wird, obwohl die Feldverzerrung am Rande des Kondensators nicht berücksichtigt ist. Um in Ergänzung der Messungen die Berechtigung der einfachen Formel nachzuweisen, kann man folgendermaßen vorgehen.

Die Krümmung der Kraftlinien am Rande und deren Vermehrung führt zu einer Vergrößerung der Kapazität, für die schon seit langem Formeln angegeben sind, die

auch durch Versuche bestätigt wurden.

Es wurde nun die Korrektur c für verschiedene Plattenabstände ausgerechnet¹ und in Tabelle 4 eingetragen.

Tabelle 4.

d mm	c	C	C_0	Abs. Fehler	Proz. Fehler
15	7,64	43,64	44,7	1,06	2,4
10	8,2	57,2	57,7	0,5	0,88
3	10,1	150,1	148,7	1,4	0,93
1	12,1	412,1	408,7	3,4	0,82
0,3	14,3	1324	1318	6	0,45
0,1	16,5	3926	3918	8	0,2

In der dritten Spalte ist die Gesamtkapazität C unter Berücksichtigung der Korrektur c nebst dem konstanten Beitrag 10 cm für die Kapazität des angeschlossenen Elektrometers mit Verbindungsdraht verzeichnet. Schon die zweite Spalte zeigt, daß die Korrektur viel weniger

stark vom Plattenabstand abhängt als die Kapazität. Setzt man deshalb statt der mit d veränderlichen Korrektur einen konstanten Betrag, etwa 8,7 mm, wie in der vierten Spalte angenommen ist, so ergeben sich Abweichungen gegenüber dem richtigen Wert C , die, wie die beiden letzten Spalten zeigen, im allgemeinen kleiner sind als 1%. Nur bei $d = 15$ mm ist der Fehler etwas größer; hier ist aber auch die Formel für

¹ O. D. CHWOLSON: Lehrbuch der Physik, 2. Aufl.; IV, 1, S. 111 (Verlag Vieweg).

die Korrektur schon nicht mehr völlig richtig. So zeigt die Überlegung, daß die Randverzerrung mit großer Annäherung dadurch berücksichtigt werden kann, daß der konstante Anteil der Kapazität in der obigen Kondensatorformel passend gewählt wird, was durch die Messungen bezweckt wurde, die zur Tabelle 3 führten.

4. Einfluß von Unebenheit und schiefer Plattenstellung.

Trotz größter Sorgfalt in der Herstellung und Justierung ist offenbar ein gewisses Maß von Unebenheit und eine gewisse Abweichung von der parallelen Stellung der Platten unvermeidlich, so daß zu überlegen ist, welche Fehler dadurch entstehen können. Es ist leicht zu erkennen, daß Unebenheit und schiefe Plattenstellung in gleicher Weise die Kapazität beeinflussen müssen. In Fig. 3a sei ein Querschnitt durch den Kondensator schematisch dargestellt, aber, was sicher zulässig ist, alles, was an Unebenheit und schiefer Stellung vorhanden ist, in die eine Platte verlegt. Ferner kann man, wie Fig. 3b zeigt, die einzelnen Teile der unebenen Platte nach ihren Abständen von der ebenen Platte ordnen und durch eine treppenförmige Platte angenähert darstellen. Schon hieraus erkennt man, daß Unebenheit und schiefe Stellung den gleichen Einfluß haben.

Um diesen Einfluß auch zahlenmäßig zu übersehen, machen wir für die Rechnung die Annahme, daß die Platten quadratisch und die Stufen in Fig. 3b gleich hoch und gleich lang seien. Diese Annahmen werden niemals mit praktischen Fällen übereinstimmen, sie genügen aber, um die möglichen Fehler der Kapazitätsmessung abzuschätzen. Der kleinste Plattenabstand sei d , der größte $(d + e)$, die Höhe einer jeden der n Stufen sei s ; also $e = n \cdot s$. Die Kapazität des Kondensators ist dann

$$C = \frac{F}{4\pi n} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d+s} + \frac{1}{d+2s} + \dots + \frac{1}{d+(n-1)s} \right).$$

Setzt man zur Abkürzung $\frac{s}{d} = x$, so kann man schreiben

$$C = \frac{F}{4\pi n d} \left(1 + \frac{1}{1+x} + \frac{1}{1+2x} + \dots + \frac{1}{1+(n-1)x} \right).$$

Unter der Voraussetzung, daß $(n-1) \cdot x < 1$, also $e < d$ ist, kann man die einzelnen Brüche in Reihen entwickeln, nach gleichen Potenzen von x ordnen und dann wieder summieren. Macht man schließlich noch den Grenzübergang zu $n = \infty$, so wird

$$C = \frac{F}{4\pi d} \cdot \frac{d}{e} \cdot \ln \left(1 + \frac{e}{d} \right).$$

Rechnet man als Beispiel etwa die Kapazität eines Kondensators aus, für den $d = 0,3$ und $e = 0,2$ mm ist, der also einen mittleren Plattenabstand 0,4 mm hat, so ergibt sich die Kapazität um 2% größer als bei genau parallelen Platten von 0,4 mm Abstand. Für diesen und alle größeren Plattenabstände gehen also die mechanischen Mängel der Platten in den Nullpunktfehler der Teilung ein und brauchen nicht besonders beachtet zu werden, sofern die Abweichungen kleiner sind als der Plattenabstand.

Anders ist dagegen der Einfluß der mechanischen Mängel bei sehr geringem Plattenabstand ($e > d$). Da dann die der ebenen Platte naheliegenden Teile erheblich zur Kapazität beitragen, obwohl ihr Einfluß auf den mittleren Plattenabstand gering ist, ist die Kapazität wesentlich größer, als sich durch Berechnung mit dem mittleren Abstand ergibt. Dies ist zweifellos die Ursache der Abweichungen bei den kleinen Abständen der Tabelle 3, und es ist der eine Grund, weshalb — leider — der Anwendung des Plattenkondensators mit sehr geringem Plattenabstand Grenzen gezogen sind. Andererseits konnte auf Grund dieser Überlegung statt der empfindlichen Versilberung die einfachere Belegung der Platten mit Zinnfolie gewählt werden; die mitgeteilten Meßergebnisse wurden aber sämtlich mit den versilberten Platten gewonnen.

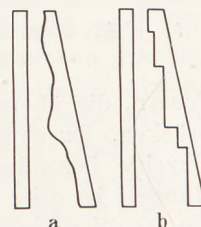


Fig. 3. Unebene (a) und treppenförmige (b) Platte im Querschnitt.

5. Die Isolation des Kondensators.

Der zweite Grund, sehr kleine Plattenabstände zu vermeiden, ergibt sich daraus, daß mit abnehmendem Plattenabstand die Isolation des Kondensators schlechter wird. Da die feste Platte durch polierten Bernstein isoliert war, war an sich die Isolation ausgezeichnet, wenigstens bei Plattenabständen von mehreren Millimetern an aufwärts, wie eine einfache Prüfung mit einem beliebigen, gut isolierten Elektroskop zeigte. Wie die Isolation bei kleinen Abständen war, zeigt Tabelle 5, die angibt, innerhalb welcher

Tabelle 5.

d	0,25	1,0	5,0	mm
t	45	90	mehr als 500	sec

Zeit t die Spannung des Kondensators bei verschiedenen Plattenabständen von 220 auf 214 Volt abfiel, gemessen mit dem Universalelektroskop von WULF.

Die Ursache des Spannungsabfalls bei kleinen Abständen ist, wie man bei geeigneter Beleuchtung sehr wohl beobachten kann, die, daß sich feinste

Fasern, die überall in der Luft schweben, zwischen die Platten legen und sie überbrücken. Durch sorgfältige Reinigung der herausgenommenen Platten kann man wohl einzelne besonders grobe Fasern beseitigen, eine grundlegende Beseitigung dieses Mangels ist aber anscheinend nicht möglich, so daß man zweckmäßig in jedem Fall die Isolation prüft und den Einfluß der etwa verminderten Isolation auf die Messung ermittelt.

Der Grund, mit kleinen Plattenabständen zu arbeiten, ist vor allem der Wunsch, ballistische Messungen der Ladung mit einem Spiegelgalvanometer mäßiger Empfindlichkeit machen zu können. Man muß aber bedenken, daß bei Aufladung mit 220 Volt kleine Plattenabstände zu sehr großen Feldstärken führen — z. B. bei $D = 0,2$ mm schon 11000 Volt/cm. Es ist nicht verwunderlich, daß dabei Entladungsverluste eintreten, selbst wenn die erwähnten Staubfasern die Platten nicht völlig überbrücken.

6. Statische Eichung eines BRAUNSCHEschen Elektrometers.

Wir kommen nunmehr zurück auf Tabelle 1. Berechnen wir die Kapazität C für die verschiedenen Werte von d und bilden die Produkte $C \cdot U$, so sollten diese konstant sein. Tabelle 6 zeigt aber, daß dies noch nicht der Fall ist. Die einzige mögliche Fehlerquelle liegt jetzt in der Teilung des Elektrometers; der Kondensator gibt uns aber das Mittel, die Teilung richtigzustellen — sie muß nämlich so sein, daß $C \cdot U$ konstant ist. Sind also $C_1 U_1$ und $C_2 U_2$ zwei Wertepaare der Kapazität und der Spannung für zwei Abstände d_1 und d_2 , so muß $C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2$ sein, wenn die Ladung sich nicht ändert. Sind drei der Größen bekannt, so ist auch die vierte bestimmt.

Tabelle 6.

d	1,04	1,60	2,20	2,86	3,62	4,98	mm
U	400	600	800	1000	1200	1500	Volt
$C \cdot U$	1,81	1,73	1,69	1,65	1,60	1,53	$\times 10^5$

Um das Elektrometer eichen zu können, muß zunächst ein Punkt der Skala sicher bekannt sein. Zu diesem Zweck wurde der Kondensator bei einem Abstände d_1 mit einer genau bekannten Spannung (150 Volt, mit Drehspulvoltmeter gemessen) aufgeladen. Dann wurde der Plattenabstand so erweitert, daß das BRAUNSCHE Elektrometer einen Punkt in der Nähe der Mitte der Skala anzeigte, und der Plattenabstand d_2 abgelesen. Aus den beiden Abständen ergeben sich die Kapazitäten C_1 und C_2 und damit die Spannung U_2 . So wurde der Punkt 700 Volt der Skala durch eine Reihe Messungen untersucht, aus denen sich mit guter Übereinstimmung der wahre Spannungswert zu 720 Volt ergab.

Von hier ausgehend, konnte dann durch einige Meßreihen ähnlich Tabelle 6 der wahre Spannungswert auch der übrigen Punkte der Elektrometerskala leicht ermittelt werden. Die Teilung war bei kleinen Ausschlägen gut, bei höheren Spannungen war aber der Fehler recht beträchtlich; so entsprach dem vollen Ausschlage 1710 Volt (statt 1500).

7. Ballistische Messung der Ladung.

Die Messung der Ladung eines Kondensators mit dem ballistischen Galvanometer ist nicht nur wegen ihrer Anschaulichkeit und ihrer allgemeinen physikalischen Bedeutung erwünscht, sondern vor allem zur Bestätigung der oben als bekannt vorausgesetzten Kondensatorformel. Bisher erhielten wir zwar die Abhängigkeit der Kapazität vom Plattenabstand, und die Abhängigkeit von der Kondensatorfläche bedarf nicht eigentlich eines Beweises, aber der Faktor $\frac{1}{4\pi}$ ist nicht ohne weiteres klar. Da man durch

ballistische Messung die Ladung und damit auch die Kapazität im technischen oder absoluten Maße erhält, hat man so eine wertvolle Ergänzung der statischen Messungen.

Für die folgenden Versuche wurde das Schul-Spiegelgalvanometer von Leybold verwendet. Seine geringe Dämpfung bei hohen äußeren Widerständen und seine Schwingungsdauer von $4\frac{1}{2}$ Sekunden machen es für ballistische Messungen durchaus brauchbar, trotzdem es ursprünglich nicht dafür gedacht ist. Zur ballistischen Eichung wurden verschiedene Verfahren erprobt. Als besonders zweckmäßig erwies sich das von SPREEN, das vor 4 Jahren in dieser Zeitschrift veröffentlicht wurde¹, und zu dem daher nur gesagt sei, daß $\frac{1}{16}$ des vollen Kreises als Sektor für den Stromschluß genommen wurde. Die Dauer des Stromschlusses betrug etwa $\frac{1}{20}$ Sekunde und war auf wenige Prozent bekannt. Als Mittelwert aus einer Reihe Messungen ergab sich, daß 1 mm Ausschlag auf der 225 cm vom Instrument entfernten Skala der Elektrizitätsmenge $3,48 \cdot 10^{-9}$ Amperesekunden entsprach.

Tabelle 7.

d	1,0	0,6	0,4	mm
A	34	64	111	mm
$A \cdot (d - 0,12)$	29,9	30,7	31,1	

In Tabelle 7 sind einige Werte für den Ausschlag A des Galvanometers bei verschiedenen Plattenabständen d zusammengestellt, die sich bei Aufladung des Kondensators mit 220 Volt ergaben. Daß mit abnehmendem Plattenabstand das Produkt $A(d - 0,12)$, das an sich konstant sein müßte, zunimmt, ist offenbar auf die gleiche Ursache zurückzuführen, wie die Abweichungen bei kleinem d in Tabelle 3.

Wie man sieht, sind die Ausschläge durchaus meßbar, wenn sie auch für die Zwecke des Unterrichts etwas größer erwünscht wären. Ferner ergibt sich aus der ballistischen Empfindlichkeit, daß die Kapazität des Kondensators beim Plattenabstand $D = 0,88$ mm gleich $538 \cdot 10^{-12}$ Farad oder 484 cm ist, während sich nach der Kondensatorformel für denselben Abstand 462 cm ergibt. (Da hier kein Elektrometer parallel liegt, ist der konstante Anteil in der Formel nur 10,7 cm.)

Hier ist die Frage berechtigt, ob es nicht möglich wäre, den Kondensator mit höheren Spannungen aufzuladen, um größere ballistische Ausschläge zu erhalten. In der Tat kann man durchaus den Kondensator mit einer Influenzmaschine aufladen und über das Galvanometer entladen — dies ist sogar ein durchaus erwünschter Versuch. An Ausschlag ist dadurch aber wegen der schon erwähnten Isolationschwierigkeiten bei hohen Feldstärken nicht viel zu gewinnen: will man mit höheren Spannungen arbeiten, so muß man auch größere Plattenabstände wählen. So kann man sagen, daß die höchste noch mögliche Ladung des Kondensators etwa $3 \cdot 10^{-7}$ Amperesekunden für 1 dm² Fläche ist.

8. Messung von Dielektrizitätskonstanten.

Mit dem Plattenkondensator lassen sich die Dielektrizitätskonstanten isolierender Scheiben zahlenmäßig recht befriedigend bestimmen. Am einfachsten ist die ballistische Messung, die daher zuerst besprochen werden möge.

Man bringt die zu untersuchende Platte zwischen die Scheiben des Kondensators und schraubt diese so weit zusammen, daß sie am isolierenden Material fest anliegen.

¹ W. SPREEN: Zeitschr. phys.-chem. Unterr. 45, 76; 1932.

Dann lädt man wie früher mit 220 Volt auf und entlädt ballistisch. Dieser Ausschlag, geteilt durch den entsprechenden Ausschlag mit Luft an Stelle des Isoliermaterials, ergibt dessen Dielektrizitätskonstante, denn die ballistischen Ausschläge sind ja proportional den jeweiligen Kapazitäten.

In Tabelle 8 sind einige Meßergebnisse mit der gleichen Anordnung wie oben wiedergegeben. Zur Berechnung der Dielektrizitätskonstanten ist aus Tabelle 7 ent-

Tabelle 8.

Material	Hartgummi	Zellon, klar			Zelluloid	
Dicke	2	1	0,5	0,3	0,125	mm
Ausschlag	39	220	288	285	415	mm
Dielektr. K.	2,6	7,4	4,8	2,85	1,74	

nommen, daß der ballistische Ausschlag beim wahren Plattenabstand $D = 1$ mm und Luft 30 mm betrug.

An den Messungen fällt auf, daß die Zellonscheiben verschiedener Stärken sehr verschiedene Dielektrizitätskonstanten haben.

Die Ursache liegt laut mündlicher Mitteilung eines Spezialisten darin, daß dem Material zur Herstellung dünner Scheiben ein „Weichmacher“ beigelegt wird, der die Verminderung der Dielektrizitätskonstante zur Folge hat. Ferner überrascht besonders das starke Zellon durch seine hohe Dielektrizitätskonstante. Da es auch gut isoliert und leicht zu beschaffen ist, ist es sicher auch für andere Zwecke gut zu gebrauchen. U. a. kann man damit nun auch die oben vermißten großen ballistischen Ausschläge herstellen, z. B. um die Abhängigkeit der Ladung von der Spannung unmittelbar nachzuweisen. Eine solche Versuchsreihe mit Spannungen zwischen 50 und 220 Volt ergab Fehler von weniger als 2%.

Auch auf statischem Wege läßt sich die Dielektrizitätskonstante messen, und zwar können dafür eine ganze Reihe in der Ausführung verschiedener, der physikalischen Grundlage nach aber gleicher Verfahren angegeben werden, von denen hier nur zwei erwähnt werden mögen. Im voraus sei aber betont, daß die statische Messung leichter zu Fehlern führt als die ballistische, da durch das Einbringen oder Herausnehmen der zu untersuchenden Scheibe die isolierte Platte des Kondensators leicht durch Reibung aufgeladen wird. Aus diesem Grunde sind für solche Versuche die biegsamen Zellonscheiben nicht zu empfehlen.

Bei dem einen Verfahren wird der Kondensator mit eingesetzter Isolierschicht von der Dicke D_1 auf eine Spannung U aufgeladen; dann wird der Abstand so weit vergrößert, daß die Schicht herausgenommen werden kann, und darauf die Platten des Kondensators so weit zusammengebracht, daß die gleiche Spannung U wie vorher angezeigt wird. Man braucht also kein geeichtes Elektrometer und kann die hohe Empfindlichkeit im ansteigenden Teil der quadratischen Eichkurve ausnutzen. Ist der Abstand bei Luft D_2 , so ist die Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = \frac{D_1}{D_2}$. Läßt das Elektrometer die hohe Spannung nicht zu, die sich während der Erweiterung des Plattenabstandes ergibt (z. B. das Universalelektroskop von WULF), so trennt man es vorher ab und legt es erst dann wieder an, wenn die Platten genügend genähert sind, was nötigenfalls durch einen Vorversuch zu klären ist. Zum Abtrennen und Anlegen des Elektrometers genügt ein Hartgummistab mit einfachem Drahtaken.

Als Beispiel sei erwähnt, daß die in Tabelle 7 aufgeführte Hartgummiplatte mit 2 mm Stärke die Zurückführung der Kondensatorplatte auf den Abstand $D = 0,76$ mm mit Luft erforderte, um die gleiche Spannung 220 Volt herzustellen. Daraus ergibt sich $\varepsilon = \frac{2}{0,76} = 2,64$.

Das zweite statische Verfahren setzt ein geeichtes Elektrometer voraus. Der Kondensator wird mit dem Isolator von der Schichtdicke D auf die Spannung U_1 aufgeladen, dann wie oben der Isolator entfernt und der Kondensator wieder auf den gleichen Plattenabstand gebracht. Die Spannung mit Luft sei dann U_2 . Für kleine

Schichtdicken ist mit genügender Annäherung $\varepsilon = \frac{U_2}{U_1}$. Hat man es aber mit dickeren Schichten zu tun, so ist, wie eine einfache Überlegung ergibt,

$$\varepsilon = \frac{U_2}{U_1} + D \cdot \frac{k}{C_1} \cdot \frac{U_2 - U_1}{U_1},$$

worin k wie früher den konstanten Anteil der Kapazität und C_1 die veränderliche Kapazität bei $D = 1$ mm bedeutet. Eine Messung mit der gleichen Hartgummiplatte wie oben ergab nach Aufladung mit 220 Volt den Wert $U_2 = 490$ Volt und daraus den etwas zu kleinen Wert $\varepsilon = 2,50$.

9. Messung kleiner Kapazitäten.

Der geeichte Kondensator in Verbindung mit einem guten Elektrometer ist auch zu zahlreichen anderen Aufgaben verwendbar, so zur Messung kleiner Kapazitäten. Hierfür gibt es wieder zwei verschiedene Verfahren. Beim einen wird die Kapazität des Kondensators, der auf die Spannung U_1 aufgeladen ist, um die zu messende Kapazität vergrößert, so daß die Spannung auf U_2 sinkt. Da wie immer die Ladung sich nicht ändert, ergibt eine einfache Rechnung aus den beiden Spannungen und der bekannten Kapazität des Kondensators die gesuchte Kapazität.

Beim anderen Verfahren wird die gesuchte Kapazität ebenfalls dem Kondensator parallel geschaltet, aber dann der Plattenabstand so weit vergrößert, daß wieder die ursprüngliche Spannung hergestellt wird. Die aus den beiden Plattenabständen leicht zu errechnende Kapazitätsverminderung ist die gesuchte Kapazität.

Bei beiden Verfahren ist aber darauf zu achten, daß die gesuchte Kapazität wirklich zu der des Kondensators voll hinzugefügt wird. Denken wir uns etwa als extremes Beispiel die isolierte Kondensatorplatte als FARADAY-Becher ausgeführt (Fig. 4), und bringen wir einen kleinen Körper, dessen Kapazität gemessen werden soll, in diesen Becher hinein, so würde er sich nicht aufladen, und die Spannung würde nicht zurückgehen. Deshalb wurden die Versuche so durchgeführt, daß auf das Elektrometer ein dünner Draht von etwa 10 cm Länge gesetzt wurde, mit dessen Ende die zu messenden Körper in Berührung gebracht wurden. Berührt man etwa unmittelbar die geladene Kondensatorplatte, so erhält man je nach der Größe des Körpers Fehler bis zu 50% und mehr. Auch durch die Annäherung an den Draht wird die Kapazität des Körpers verändert; der Fehler ist aber, wie die Messungen zeigen, gering.

Das zweite Verfahren eignet sich besonders zur Bestimmung der Kapazität eines Elektrometers. Als Beispiel sind einige Messungen des Universalelektroskops nebst 25 cm Zuleitung in Tabelle 9 wiedergegeben. Die Spannung (etwa 500 Volt) wurde dabei nicht gemessen. Der Kondensator wurde bei $d = 4,38$ aufgeladen, dann das Elektroskop, das selbst zur Beobachtung der Spannung diente, abgetrennt, geerdet und wieder angeschlossen. Die Spannung sank dadurch und wurde durch Vergrößerung des Plattenabstandes auf 4,925 wieder hergestellt. Die den Abständen entsprechenden Kapazitäten C sind in der zweiten Spalte der Tabelle angegeben, und deren Differenz ΔC gibt die gesuchte Kapazität. Das Verfahren wurde zur Erhöhung der Genauigkeit und zur Beurteilung des Fehlers gleich mehrmals hintereinander ausgeführt. Bei der Berechnung der Kapazitäten ist der an sich vorhandene konstante Anteil fortgelassen, weil er bei der Bildung der Differenzen doch herausfällt.

Als Beispiel für das erste Verfahren mögen zum Schluß einige Messungen mit Probekugeln angeführt werden. In diesem Falle ist allerdings die Kapazität so klein, daß die Spannung zu wenig abfällt, um befriedigende Genauigkeit zu erzielen. Man



Fig. 4.
Kondensator-
platte mit
FARADAY-
Becher.

Tabelle 9.

d	4,38	4,925	5,64	6,64	8,16	mm
C	93,3	82,6	72,0	60,9	49,4	cm
ΔC	10,7	10,6	11,1	11,5		cm

wird daher das Verfahren wiederholen, indem man den Körper zehnmal oder auch öfter berührt und jedesmal wieder erdet. Ist C_a die Kapazität des Plattenkondensators, C_b die kleine unbekannte Kapazität, ferner U_o die Ausgangsspannung und U_n die Spannung nach n Entladungen, so ist

$$C_b = \frac{C_a}{n} \cdot \frac{U_o - U_n}{U_n} \quad \text{und} \quad C_a = n \cdot C_b \cdot \frac{U_n}{U_o - U_n}.$$

Dabei ist vorausgesetzt, daß $n \cdot C_b \ll C_a$ ist.

Wie die Formeln zeigen, kann man auf diese Weise nicht nur kleine, sondern auch große Kapazitäten messen, indem man im zweiten Falle den Plattenkondensator zur Entladung des zu messenden Kondensators verwendet. Bei dieser Gelegenheit sei noch darauf hingewiesen, daß es ein besonderer Vorzug des Plattenkondensators ist, daß man seine Kapazität je nach der vorliegenden Aufgabe passend wählen kann. Zur Messung einer Kapazität von etwa 1 cm wird man mit großem Plattenabstand arbeiten, bei der Messung größerer Körper (Leidener Flaschen) mit geringem Abstand.

Als Beispiel sei die Messung einer Probekugel erwähnt, die nicht genau kugelförmig war; ihr größter Durchmesser war 12,7 und ihr kleinster 11,0 mm. Der Kondensator wurde bei $d = 7,06$ auf 1065 Volt geladen, dann zehnmal mit der Probekugel entladen, und die Spannung zu 990 Volt abgelesen. Hieraus errechnet sich die Kapazität der Probekugel zu 0,59 cm. Eine sofort anschließende Messung mit der Ausgangsspannung 610 Volt und 20 Entladungen ergab 0,57 cm. Ähnlich ergaben drei aufeinanderfolgende Messungen einer Kugel mit 30 mm Durchmesser bei völlig verschiedenen Spannungen, Plattenabständen und Entladungszahlen die Kapazitäten 1,55; 1,57; 1,45 cm (statt 1,50).

Man könnte noch an manche andere Aufgabe denken, zu deren Lösung der Plattenkondensator verwendbar erscheint, insbesondere an die Messung kleiner und hoher Spannungen auf statischem Wege. Die statische Messung kleiner Spannungen mit dem Kondensator — also eine quantitative Ausführung des altbekannten Kondensatorelektroskops — könnte vielleicht für die Schule von Interesse sein. Man erhält aber nur mit einer Isolierschicht zwischen den Platten die notwendige Spannungserhöhung, und dabei waren die Versuchsergebnisse, wahrscheinlich infolge Aufladung durch Reibung, nicht genügend genau. Schließlich ist es ein zweifelhafter Vorteil eines Apparates, ein „Universalapparat“ zu sein. Deshalb wird man im allgemeinen den Plattenkondensator nicht zur Messung großer Kapazitäten verwenden, die man bequem mit einer Wechselstrombrücke messen kann. Nur eine Möglichkeit mag zum Schlusse noch angedeutet werden: man kann den Plattenkondensator natürlich auch in Schwingungskreisen zur Messung von Selbstinduktionen usw. gebrauchen.

Es war nicht meine Absicht, mit den gemachten Ausführungen Vorschläge über die didaktische Behandlung des Plattenkondensators zu bieten: dafür liegen schon ausgezeichnete Arbeiten von berufener Seite vor. Der Zweck der Versuche war vielmehr zu klären, wie weit die Leistungsfähigkeit — d. h. die Genauigkeit und die Verwendbarkeit — des Plattenkondensators bei guter, aber doch einfacher Ausführung zu bringen ist, und wo ihr Grenzen gesetzt sind.

Kleine Mitteilungen.

Kraftlinienbilder mit Hilfe des Kurzschlußsammlers.

Von Dr. Hermann Knoll in Graz (Steiermark).

Kraftfelder von permanenten Magneten. Wie schon die Fig. 1 und 2 zeigen, läßt sich die bisher übliche Art, magnetische Kraftlinien mit Hilfe von Eisenfeillicht auf Pappendeckel sichtbar zu machen, merklich verbessern. Man verwendet statt des Eisenfeillichts Eisenpulver (*ferrum limatum*), das in jeder Apotheke erhältlich ist. Statt des Pappendeckels benutzt man Glasscheiben, auf die man Papier klebt. Für

schwache Felder nimmt man Glanzpapier, für Felder, in denen die Feldstärke an manchen Stellen schon erheblich ist, gewöhnliches Schreibpapier, und endlich klebt man für Felder mit Stellen exzessiver Feldstärke, wie etwa in der unmittelbaren Nähe eines starken elektrischen Stromes, weißen Löschkarton auf die Glasscheibe, von dem man schließlich sogar die raue Seite benutzen kann. Würde man nämlich in den letzteren Fällen glatte Aufstreulflächen für das Eisenpulver haben, dann liefen beim Klopfen die kleinen Eisenpartikelchen gegen die Pole hin oder setzten sich an die stromführenden Drähte an, und dann wären gerade dort, wo die Feldstärke am größten ist, leere Stellen im Kraftlinienbilde.

Zum gleichmäßigen Bestreuen der Papierflächen verfertigt man sich einen Streuer; man schneidet ein rechteckiges Blechstück, 5 cm hoch und 15 cm lang, und biegt es zu einem Zylinder mit fast 5 cm großem Basisdurchmesser, lötet die ein bißchen übereinander greifenden Enden zusammen und feilt sie glatt. Dann lötet man einen passenden Blechboden an. Hierauf biegt man sich aus einem 6 cm · 16 cm großen Blech einen zweiten Zylinder, der über den ersten mit leichter Reibung geschoben werden kann und verlötet ihn ebenfalls. Am oberen Rande börtelt man ihn mit einer Flachzange ein wenig nach außen um. Darüber breitet man ein feinmaschiges Gewebe, Organdin, Tüll oder Futterstoff (Leinwand wäre zu undurchlässig) in mehreren Lagen und bindet es mit dünnem Spagat am umgebörtelten Rande fest, so daß dieser Überzug die obere Fläche des Zylinders bildet. Nun füllt man den ersten Zylinder mit Eisenpulver und schiebt dann den zweiten über ihn, wobei man zur besseren Abdichtung einen Papierstreifen zwischen beide einlegt. Schließlich braucht man noch ein feinmaschiges Drahtsieb (Mehlsieb).

Dann schneidet man sich Glasplatten im beiläufigen Ausmaße von 20 · 14 cm². Sehr gut eignen sich auch gereinigte Platten von photographischen Negativen im Formate 13 · 18 cm². Auf eine solche Platte wird mit Kleister ein wesentlich kleineres, etwa 12 · 8 cm² großes Stück Glanzpapier aufgeklebt. Dann breitet man einen großen Bogen Packpapier aus, legt die überklebte Glasscheibe drauf und hält das Sieb 25 cm hoch darüber und den Streuer wieder 25 cm über das Sieb. Er wird vornüber geneigt gehalten und mit dem Finger leicht geklopft, so daß eine fast unsichtbare Wolke von Eisenpulver austritt. Gleichzeitig wird das Sieb mit der anderen Hand rasch hin und her bewegt. Die dadurch entstehende Luftunruhe unterhalb des Siebes zerteilt den Staub so fein, daß das Pulver sich nicht an einer eng begrenzten Stelle des Papieres ansetzen kann. Wenn man dann beim weiteren Klopfen den Streuer weiter bewegt, erhält man einen recht gleichmäßigen Staubüberzug des Papieres. Das Einstauben soll aber nicht zu lange fortgesetzt werden, denn es darf schließlich

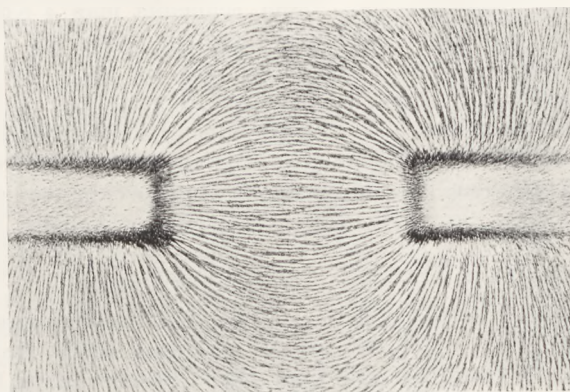


Fig. 1. Feld zwischen den ungleichnamigen Polen zweier Magnetstäbe.

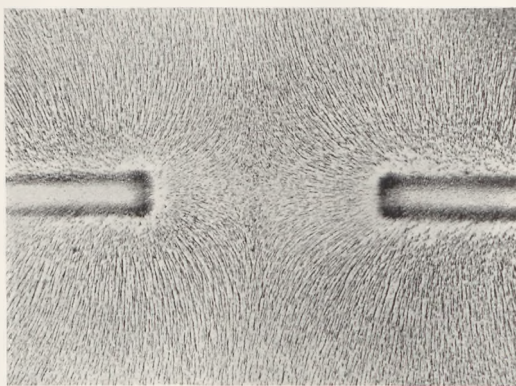


Fig. 2. Feld zwischen den gleichnamigen Polen zweier Magnetstäbe.

keineswegs ein dichter grauer Belag auf dem Papier entstehen. Je zarter der Überzug, desto schöner werden die Kraftlinienbilder.

Jetzt kann man zwei Magnetstäbe hochkant auf den Tisch legen und entweder wie in Fig. 1 die freundlichen Pole einander gegenüberstellen oder wie in Fig. 2 die gleichnamigen. Dann schneidet man 4 Korkstöpsel so hoch ab, daß sie, neben die liegenden Magnetstäbe gestellt, diese um 1 mm überragen. Sie werden von den Stäben so weit weggerückt, daß die über die Magnetstäbe gelegte, bestreute Glasplatte mit ihren 4 Ecken auf den Korken aufruhet. Sie liegt dann 1 mm über den Magnetstäben und wird mit einem Holzhämmerchen geklopft, und zwar schwach, wenn sie dünn ist. Allzulanges Klopfen bewirkt, daß sich die ursprünglich große Zahl feiner Kraftlinien in eine geringere Zahl weiter voneinander abstehender, gröberer Kraftlinien verwandelt. Die besten Ergebnisse werden erzielt, wenn stets an derselben Stelle des Glasplattenrandes geklopft wird.

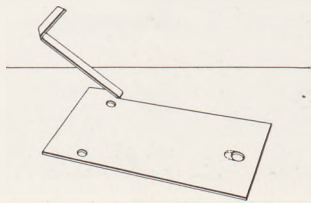


Fig. 3. Eine der Bleiplatten mit ihrer Durchlochung und der seitlichen Falne.

Elektromagnetische Kraftfelder. Da die Schulen einerseits selten die Möglichkeit haben, Stromstärken von der Größenordnung 10^2 Amp zu benutzen, anderseits aber diese Stromstärken für die Kraftfelderherstellung nur jedesmal kurze Zeit gebraucht werden, so eignet sich für unsere Zwecke hervorragend der Jungsche Kurzschlußakkumulator¹. Er kann mit wenigen Hilfsmitteln leicht selbst

hergestellt werden. Als Gefäße eignen sich die Glaströge von alten Tauchbatterien. Hat die Bodenfläche eines solchen Troges die innen gemessenen Ausmaße a cm mal b cm, wobei a die größere der beiden Zahlen sein soll, und ist die Höhe c cm, so bestimmt man sich die Zahl der in ihm unterzubringenden Bleiplatten, indem man $10(b-1)$ durch 3 dividiert. Die Zahl der Platten ist dann die ungerade Zahl, die diesem Quotienten am nächsten liegt. Ist also z. B. $b = 6$ cm, so kann man $\frac{50}{3} = 17$ Platten, 8 positive und 9 negative, unterbringen. Nun schneidet man aus 1 mm dickem Bleiblech die berechnete Zahl Rechtecke aus in der Größe $(a-3)$ cm $\cdot$ $(c-4)$ cm. In jedes Blech macht man einen zur Seite c parallelen, von ihr um $1\frac{1}{2}$ cm abstehenden Schnitt, der $(c-6)$ cm lang ist, wie Fig. 3 ersichtlich macht. Die dadurch entstandenen seitlichen Bleifahren werden zweimal umgebogen und bilden die Zuleitungen. Dann werden die Platten so aufeinander gelegt und zur Deckung gebracht, daß bei den ungeradzahligen die Bleifahren links herausstehen, bei den geradzahligen rechts. Durch vorläufig herumgelegte Karton- oder Eisenblechstreifen werden die Platten am gegenseitigen Verschieben gehindert und gemeinsam an den drei aus der Figur zu entnehmenden Stellen durchlocht, so daß sich 6 bis 10 mm dicke Glasröhren hindurchstecken lassen. Wenn die Bohrungen nicht ganz parallel ausgefallen sind, muß man die Platten beim Auseinandernehmen numerieren. Unerläßlich ist es, bei den geradzahligen Platten, die später die positiven sein werden, das untere Loch nach oben zu etwas zu erweitern, wie dies die punktierte Linie andeutet. Es wachsen ja beim Laden die positiven Platten und würden sich sonst verbiegen und Kurzschlüsse im Inneren des Akkumulators bewirken. Die 3 Glasröhren müssen je $(b-\frac{1}{2})$ cm lang gemacht werden. Nun braucht man noch Beilagscheibchen, die aus einer $2\frac{1}{2}$ mm dicken Hartgummischeibe oder Kautschukplatte herausgeschnitten und so durchlocht werden, daß sie sich über die Glasröhren schieben lassen. Man braucht von ihnen für jeden Plattenzwischenraum 3 Stück. Die Glasröhren werden mit flüssig gemachtem DUBOISSCHEN Kitt (Kolophonium mit Wachs zusammengeschmolzen) ausgefüllt, und an das eine Ende jeder Glasröhre wird ein Ebonitscheibchen d (siehe Fig. 4) angesetzt, das einen Stiel hat, der in das Röhrchen eingeschoben wird, solange der

¹ Zeitschr. Physik u. Chemie, 1928, H. 4, 83 u. 1929, H. 6, 121. Deutscher Verlag für Jugend und Volk, Wien I, Burgring 9.

Kitt noch weich ist. Diese Endscheibchen können auch aus Holz hergestellt werden, nur muß man sie erwärmen und mit dem Kitt tränken, damit sie später nicht von der Akkumulatorensäure zerstört werden.

Jetzt kann man mit dem Zusammensetzen des Plattensatzes beginnen, indem man die 3 Röhrchen durch die Löcher der ersten Negativplatte *n* steckt, die Platte sodann auf den Tisch legt, so daß die Röhrchen nach aufwärts stehen, über jedes Röhrchen ein Beilagscheibchen *e* schiebt und dann die erste Positivplatte *p* auflegt. Dann kommen wieder 3 Beilagscheibchen, die zweite Negativplatte usw., bis die letzte Negativplatte aufgesetzt ist. Es schauen nunmehr bloß die äußersten Enden der Röhrchen hervor.

Diese werden ein wenig erwärmt und in jedes wieder der Stiel eines Endscheibchens *d* eingeschoben, so daß nun der Anfang und das Ende jedes der Glasröhrchen mit einem Endscheibchen armiert ist. Hierauf kann der Plattensatz aufgestellt und in den Glastrog *g* eingesetzt werden, in den man links und rechts je eine (*b*—1) cm breite und (*c*—4) cm hohe Glasplatte *h* als Stützen für den Bleiplattensatz eingesetzt hat. Um der Gefahr aus dem Wege zu gehen, daß die oberen Ränder der Bleiplatten sich berühren, schiebt man zwischen sie Glas- oder Zelluloidplatten ein, die (*a*—1) cm breit und 3 cm hoch sind und dann auf den oberen zwei Glasröhrchen aufliegen. Außerdem erhalten die Fahnen der geradzähligen Platten, soweit sie über dem Plattensatz herausstehen, einen Schutzüberzug aus Paraffin, das flüssig gemacht und mit einem kleinen Pinsel auf beiden Seiten der Fahnen aufgestrichen wird. Nur die äußersten Enden bleiben frei. Sie werden zu je 4 zusammengedrückt, wobei man zwischen je zwei ein dünnes Messingblech einlegen kann. Die 4 ersten Fahnenenden werden durch eine Messingklemme *f*, wie sie von den Kohlenplatten der alten Leclanché-Elemente her bekannt sind, zusammenschraubt, doch müssen Messingklötzchen *i* vorgelagert werden, damit die Schraube nicht ins Blei eindringen kann. Das eine Messingklötzchen ist übrigens der eine Schenkel eines U-förmig gebogenen Streifens *k* aus dickem Messingblech, dessen anderer Schenkel in die Klemme *f* eingelegt wird, die die 4 anderen positiven Fahnen zusammendrückt. Dadurch werden die beiden Gruppen der Bleistreifenenden parallel geschaltet. Ähnlich werden die 5 ersten und die 4 letzten Fahnenenden der negativen Platten parallel geschaltet, der Trog hierauf mit Akkumulatorensäure gefüllt und diese auf eine Schichte Vaselineöl aufgegossen, damit das Verspritzen von Säure durch die aufsteigenden Gasblasen vermieden wird.

Der Akkumulator wird hierauf mit Stromstärken bis zu 10 Amp geladen und bleibt auch während der Stromentnahme unter Ladespannung. Durch dicke Kupferdrähte können einem solchen Sammler, wenn er aus recht großen Platten besteht, Ströme bis gegen 1000 Amp einige Sekunden hindurch entnommen werden. Gewöhnliche Leitungsdrähte werden dabei geschmolzt. Nach einigen Minuten, je nach der Ladestromstärke, kann eine neuerliche Stromentnahme erfolgen.

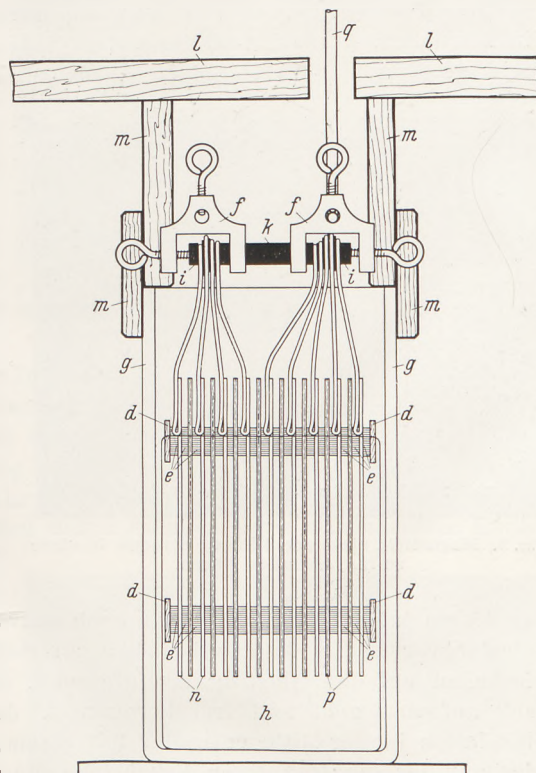


Fig. 4.
Seitenansicht des Jungschen Kurzschlußakkumulators.

Der Bau dieses Akkumulators würde sich aber trotzdem nicht lohnen, wenn er nur für unsere Zwecke geeignet wäre. Seine Verwendungsmöglichkeit ist aber eine viel weitere. Er hat sich nämlich beim AMPERESchen Gestell und beim Funkeninduktor sehr bewährt, weil ohne Vorschaltwiderstand, also mit enormen Stromstärken, gearbeitet werden kann, ohne daß die ins Quecksilber tauchenden Spitzen der rotierenden Stromleiter des AMPERESchen Apparates und die Platinspitzen des Quecksilberunterbrechers am Funkeninduktor bei der niedrigen Spannung 2 Volt gefährdet wären. In den in der Fußnote S. 108 angegebenen Abhandlungen sind auch noch eine Reihe effektvoller, elektrodynamischer Wirkungen beschrieben.

Zum Sichtbarmachen von elektromagnetischen Feldern brauchen wir vorerst noch ein Tischchen, das auf den Rand des Troges g aufgesetzt wird und dessen Fläche l recht groß sein soll, vielleicht 20 cm · 30 cm. Sein Bau ist auch aus der Fig. 4

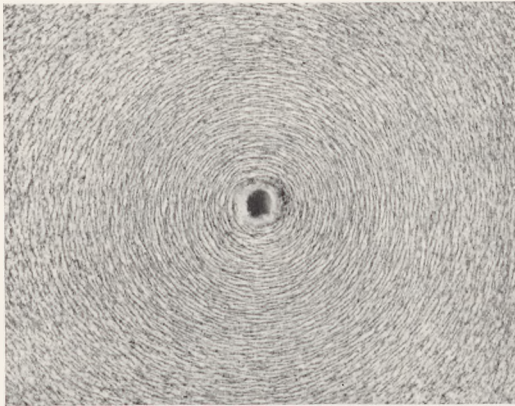


Fig. 5. Magnetfeld eines geradlinigen Stromes in einer zu ihm normalen Ebene.

erkennbar. Sein Fußgestell m muß mindestens 5 cm hoch sein, so daß man bequem an die Klemmschrauben des Akkumulators heran kann. Als Leitungsdraht wird ein mindestens 3 mm dicker, also mindestens 7 mm² im Querschnitt fassender Kupferdraht benutzt, den man bei Elektroinstallateuren bekommen kann. 1 m eines solchen Drahtes hat bei 18° C den Widerstand $24 \cdot 10^{-4}$ Ohm.

Das Feld eines geradlinigen Leiters. Man schneidet von dem dicken Kupferdraht ein 20 cm langes Stück ab, biegt die letzten 5 cm rechtwinklig um und setzt dieses kurze Ende, während das Tischchen abgehoben ist, in die eine noch freie Batterieklemme ein, so daß

das 15 cm lange Stück g lotrecht nach aufwärts steht. Dann wird mit dem 10-mm-Spiralbohrer in das Aufsatz Tischchen an richtiger Stelle ein Loch gebohrt und das Tischchen auf den Glastrog so aufgesetzt, daß der Draht durch das Loch lotrecht nach aufwärts geht und frei herausragt. Jetzt wird eine der eingangs erwähnten Glasplatten in der Mitte entweder mit einem scharf geschliffenen 5-mm-Spiralbohrer oder mit der scharfkantigen Bruchstelle einer abgebrochenen Feile aus freier Hand unter Anwendung von Terpentinöl oder Glyzerin als Schmiermittel durchbohrt, was immerhin einige Zeit in Anspruch nimmt und nur gelingen kann, wenn die Glasplatte auf einer dicken Papierunterlage liegt und auf sie nie ein Druck ausgeübt wird. Dann durchlocht man ein 10 cm · 10 cm großes Stück weißen Löschkartons, indem man seine raue Seite auf ein Hartholzbrett legt, in der Mitte mit einem 4-mm-Locheisen, bestreicht die Glasplatte mit Kleister und klebt die glatte Seite darauf, so daß sich die Löcher decken. Der Rand des Loches im Löschkarton ist etwas aufgeworfen, und das ist für das Erzielen schöner Kraftlinienkreise in der unmittelbaren Nähe des Stromes nur von Vorteil. Nach dem Trocknen wird die Glasplatte mit Eisenpulver angestäubt, vorsichtig über den aus dem Tischchen herausschauenden Draht geschoben und auf das Tischchen aufgelegt. Sodann wird ein wieder möglichst 7 mm dickes und 60 bis 70 cm langes, biegsames Kupferkabel aus Litzen draht in das letzte noch freie Loch der Batterieklemmen am noch nicht benutzten Pol mit seinem Ende eingeklemmt und das andere Ende in einen wärmeisolierenden Griff eingesteckt oder mit Papier in mehreren Lagen festsitzend umhüllt. Mit der einen Hand nähert man dieses Ende dem freien Ende des ersten Drahtes, mit der anderen hält man das Holzhammerchen bereit, und nun stellt man durch Andrücken des biegsamen Drahtes den Kurzschluß her und beginnt gleichzeitig auf den nicht

beklebten Rand der Glasplatte zu klopfen. Da der starke Strom nur einige Sekunden dauert, würde zu langes Klopfen die entstandene Ordnung wegen Verschwindens des Magnetfeldes wieder zerstören. Auf diese Weise wurde Fig. 5 hergestellt.

Das gemeinsame Feld paralleler Ströme (Fig. 6a und 6b). Um das durch zwei parallele, aber in entgegengesetztem Sinne fließende Ströme erzeugte Feld zu bekommen, kann man gleich einen einzigen Strom benutzen, der in dem einen Draht auf- und im parallelen absteigt. Zu diesem Zwecke durchbohrt man eine Glastafel zweimal so, daß die Löcher voneinander $3\frac{1}{2}$ bis 4 cm entfernt sind und setzt in die Klemme *f* des anderen Poles des Kurzschlußakkumulators einen dem Drahte *q* gleichen Draht ein, so daß der Abstand der parallelen Drähte *q* gleich wird dem Abstände der Löcher auf der Glasplatte, durchbohrt dann das Tischchen *l* noch ein zweites Mal und setzt es auf den Trog *g*. Dann windet man das eine Ende eines 20 cm langen, dicken Litzendrahtes in eng anliegenden Windungen um das obere Ende des einen Drahtes *q* und läßt den nicht aufgewundenen Teil waagerecht frei heraustehen. Hierauf wird die Glasplatte mit einem ebenso durchlochten Löschkarton so beklebt, daß abermals die rauhe Seite außen ist. Nach Einstauben der Platte zieht man den um *q* gewundenen Draht wieder ab, schiebt die Platte über die Drähte *q* und legt sie auf das Tischchen *l*. Dann wird die Wendelspirale wieder aufgeschoben. Der Kurzschluß wird durch Anlegen ihres waagerechten Endes an den anderen Draht *q* hergestellt. Man klopft bloß ein- oder zweimal und wartet mit dem weiteren Klopfen, bis der Akkumulator wieder aufgeladen ist.

Um dies beurteilen zu können, schließt man an die beiden Polklemmen *f*, zu denen die Ladestromdrähte führen, gleichzeitig die von einem Voltmeter kommenden Leitungsdrähte an, so daß das Voltmeter dem Kurzschlußstrom parallel geschaltet ist. Wollte man die Stärke des letzteren auch noch messen, dann müßte man die Zuleitungsdrähte des Voltmeters an den Anfang und an das Ende eines der beiden Drähte *q* legen. Liest man nämlich während der Kurzschlusses den

vom Voltmeter in diesem Augenblick angezeigten Spannungsabfall ab und berechnet sich aus dem spezifischen Widerstand des Kupfers, aus der Länge und dem Querschnitt von *q* dessen Widerstand, dann liefert die Division der abgelesenen kleinen Voltzahl durch die noch kleinere, berechnete Ohmzahl den großen Wert des Kurzschlußstromes.

Da beide Drähte *q* vom selben Strome durchflossen werden, ist die erhaltene Kraftlinienfigur zweifach symmetrisch. Sie kann gleichzeitig als ebener, durch die Achse gehender Schnitt des elektromagnetischen Feldes eines Kreisstromes angesehen werden.

Die Fig. 7a und 7b geben darüber Aufschluß, wie dieses Feld mit genügender Genauigkeit und in die Augen springender Übereinstimmung mit dem experimentell erzeugten durch Konstruktion erhalten werden kann aus den kreisförmigen Einzelfeldern

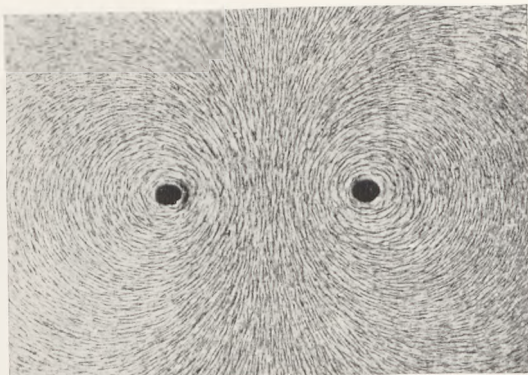


Fig. 6a. Gemeinsames Magnetfeld von zwei parallelen, in entgegengesetzten Richtungen durchflossenen, zur Bildebene normalen Stromleitern.

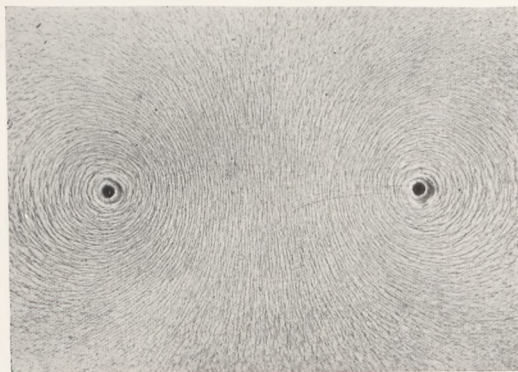


Fig. 6b. Dasselbe Feld wie Fig. 6a, aber mit 9 cm Drahtabstand statt 4 cm der Fig. 6a.

der beiden zur Zeichenebene normalen Drähte; und zwar nach einem von R. W. POHL in seiner Einführung in die Elektrizitätslehre angegebenen Verfahren¹, indem wir die kleine Fläche $ABCD$ ins Auge fassen, welche begrenzt ist einerseits von zwei benachbarten Kreisbogen BA und CD der einen Kreisschar und andererseits wieder von zwei benachbarten Kreisbogen DA und CB der anderen Schar. Diese kleine Fläche kann,

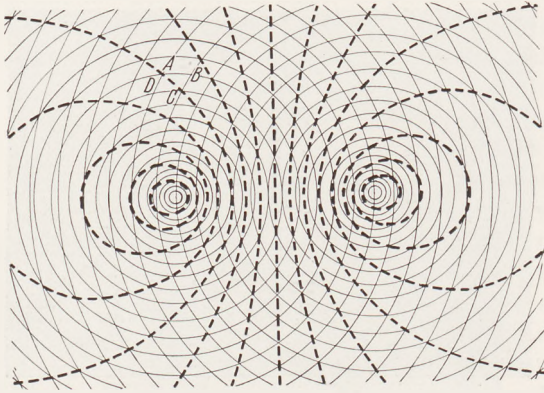


Fig. 7 a. Konstruktion des Magnetfeldes der Fig. 6 a aus den Einzelfeldern der beiden Stromleiter.

Kraftlinie. Es müssen also die gestrichelt gezeichneten Kraftlinien des resultierenden Feldes durch die Schnittpunkte der Kraftlinien der beiden zusammenzusetzenden Felder hindurchgehen.

Das Kraftfeld zweier paralleler, im gleichen Sinne durchflossener Drähte wird erhalten, wenn wir uns noch einen 3. L-förmig gebogenen Draht q mit seinem kurzen Schenkel auf den kurzen Schenkel eines der ersten beiden Drähte q aufsetzen und ihn dort festlöten. Dabei wird der Abstand der beiden nun parallelen, längeren

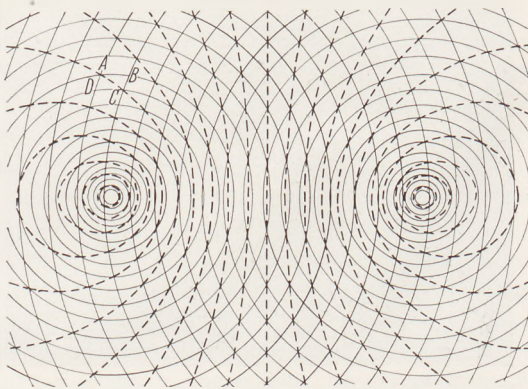


Fig. 7 b. Konstruktion zu Fig. 6 b.

besonders dann, wenn die Zahl der gezeichneten Kreise immer größer, der Abstand benachbarter Kreise daher immer kleiner werdend gedacht wird, als Parallelogramm aufgefaßt werden. Suchen wir von seinen 4 Ecken diejenige C heraus, von der die Seiten CD und CB beide im richtigen Umlaufssinn ausgehen — und das ist der Fall, wenn wir uns den elektrischen Strom im linken Draht als nach aufwärts steigend, im rechten als absteigend denken —, dann kann die Diagonale CA als Resultierende der beiden Feldkomponenten CB und CD angesehen werden und ist somit ein Stück einer resultierenden

Kraftlinie. Es müssen also die gestrichelt gezeichneten Kraftlinien des resultierenden Feldes durch die Schnittpunkte der Kraftlinien der beiden zusammenzusetzenden Felder hindurchgehen.

Das Kraftfeld zweier paralleler, im gleichen Sinne durchflossener Drähte wird erhalten, wenn wir uns noch einen 3. L-förmig gebogenen Draht q mit seinem kurzen Schenkel auf den kurzen Schenkel eines der ersten beiden Drähte q aufsetzen und ihn dort festlöten. Dabei wird der Abstand der beiden nun parallelen, längeren Enden gleich dem der Löcher unserer letzterwähnten Glasplatte gemacht. Das eine herausragende Ende der beiden zusammengelöteten kurzen Schenkel kommt in die eine Polklemme, so daß die langen Enden nach aufwärts ragen, dann kommt wieder das darüber geschobene Tischchen und darauf die Glasplatte mit dem Löschkarton. Hierauf schiebt man das wendelförmig gewickelte Ende des Litzendrahtes über das obere Ende eines der Paralleldrähte, windet den Litzendraht dann auch um den anderen Paralleldrath und hat somit

durch diesen Verbindungsbügel ein geschlossenes Drahtviereck hergestellt. In die andere Polklemme kommt das schon bei Fig. 5 gebrauchte biegsame 70-cm-Kabel, mit dessen anderem Ende der Kurzschluß durch Berühren des Verbindungsbügels erzeugt wird.

Das so erhaltene, in Fig. 8 wiedergegebene Feld ist nun aber keineswegs, nicht einmal einfach symmetrisch, erstens deswegen, weil es nie gelingt, in den beiden Parallelzweigen gleiche Stromstärken zu erzielen; die Übergangswiderstände an den Berührungsstellen der Wendeln mit den Drähten q sind unberechenbar. Zweitens kommt zu dem Felde der Paralleldrähte noch hinzu das vom ganzen Stromkreis,

¹ Vgl. auch H. EBERT: Magnetische Kraftfelder, Teil II, Fig. 89 bis 92. Leipzig: J. A. Barth 1897.

der durch die Paralleldrähte und den biegsamen Schließungsdraht gebildet wird. Das stört die Symmetrie bezüglich derjenigen Achse, die die Symmetrale der beiden, in der Figur als schwarze Kreise erscheinenden Durchstoßstellen ist. Die Konstruktion des Feldes der Fig. 8, dargestellt in der Fig. 9, ist aus den zur Fig. 7 gegebenen Erläuterungen selbstverständlich; man braucht bloß zu bedenken, daß jetzt die beiden Kreisscharen denselben Umlaufssinn haben und daher in jedem kleinen Parallelogramm die andere Diagonale BD als Resultierende gewählt werden muß.

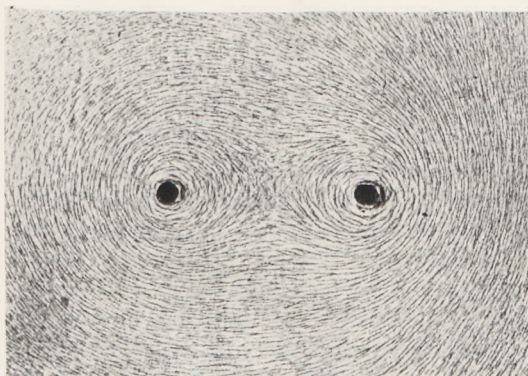


Fig. 8. Gemeinsames Magnetfeld von zwei parallelen, im selben Sinne durchflossenen, zur Bildebene normalen Stromleitern.

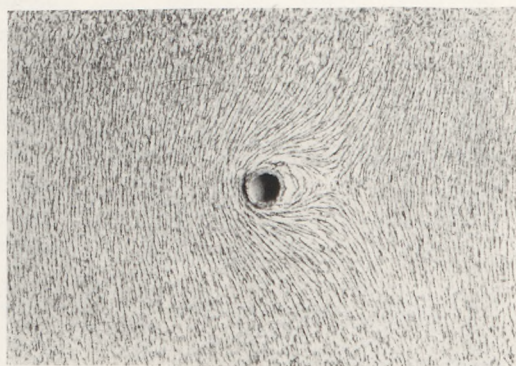


Fig. 10. Feld eines stromführenden Drahtes, der ein homogenes Magnetfeld normal durchsetzt.

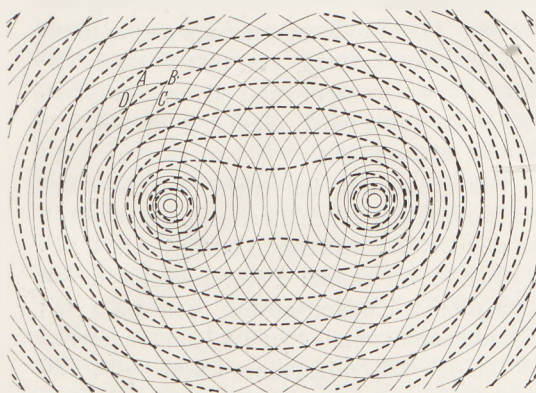


Fig. 9. Konstruktion des Magnetfeldes der Fig. 8 aus den Einzelfeldern der beiden Stromleiter.

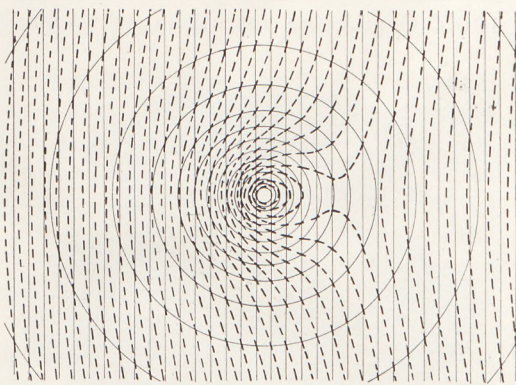


Fig. 11. Konstruktion der Fig. 10 aus dem homogenen Magnetfeld und dem kreisförmigen des stromführenden Drahtes.

Zu dem zuletzt abgebildeten Felde der Fig. 10 ist zu bemerken, daß man nur einen sehr schwachen Hufeisenmagnet direkt so verwenden könnte, daß man ihn auf das Tischchen l legt, seine Schenkel zu beiden Seiten des Drahtes q anordnet und dann die einmal durchlochte Glasplatte über q schiebt. Ist der Magnet kräftig, dann würde sein Feld vom Felde des Drahtes nicht genügend deformiert werden. Man dämpft daher das homogene Feld dadurch, daß man zwei Weicheisenstäbe mit rechteckigem Querschnitt, wie sie die Eisenstäbe der hydraulischen Presse sind, zwischen denen die Holzstücke geknickt werden, zu beiden Seiten des Drahtes q legt und dann auf der einen Seite ihre Enden durch den daraufgestellten Hufeisenmagnet überbrückt. Alles Übrige ist ebenso wie bei Fig. 5. Sehr einfach und lehrreich ist die Konstruktion der Fig. 11; sie bedarf keiner besonderen Erklärung.

Nachweis einiger Wechselstromgesetze mittels Wechselstroms hörbarer Frequenz.

Von Karl Stork in Dessau.

Die Versuche, über die im folgenden berichtet werden soll, knüpfen an den in dieser Zeitschrift (47, 145; 1934) erschienenen Aufsatz von Dr. FRIEDRICH MOELLER an. Die hierzu nötigen Apparate wurden alle selbst angefertigt, zum Teil nach eigenen Entwürfen, zum Teil den von MOELLER gemachten Angaben getreu nachgebaut. Ich

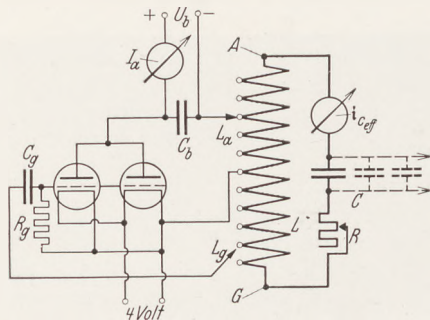


Fig. 1. Generatorschaltung.

bin der Ansicht, daß die hier gebotene Art der experimentellen Herleitung der mathematisch formulierten Wechselstromgesetze den Anforderungen der Schule gerecht wird. Da es mir in meiner Darstellung allein auf das Prinzipielle ankommt, sollen auch nur möglichst reine Versuchsbedingungen zugelassen sein. Ich beschränke mich daher auf die Herleitung der Wechselstromgesetze: a) bei induktiver Belastung, b) bei rein kapazitiver Belastung.

Der Wechselstromgenerator unterscheidet sich in seinem Aufbau nicht von dem von MOELLER angegebenen. Es wurden lediglich an Stelle der Röhre RE 604 die kleinere Type 2 RE 304 in Parallelschaltung benutzt. Fig. 1 gibt die Schaltung des Generators wieder. Der Gitterableitungswiderstand R_g dürfte mit 10000 Ohm bei zwei RE 304 richtig gewählt sein. Eine Drossel in Serie mit dem Gitterableitungswiderstand erübrigt sich, da die Gitterwechselspannung bei 10000 Ohm keine merkliche Schwächung erfährt. Als Anodenspannungsquelle dient die städtische Leitung von 220 Volt Gleichstrom ohne Drosseln und Kondensatoren. Der Heizstrom wird einem 4-Volt-Akkumulator entnommen.

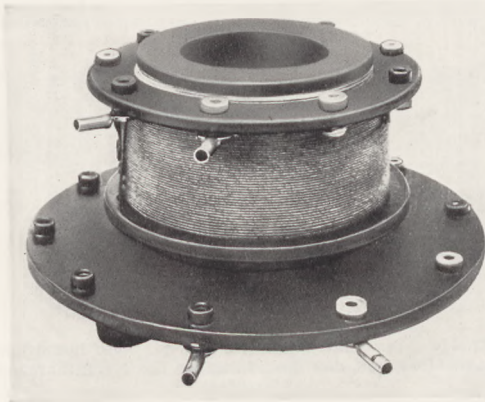


Fig. 2. Primär- und Sekundärspule.

Die Kapazität ist variabel. Sie stellt eine Kombination von Becherkondensatoren dar der Größenordnung $0,005 \mu\text{F}$ bis $1 \mu\text{F}$. Es wurden verwandt: 2 Kondensatoren von $0,005 \mu\text{F}$; 2 Kondensatoren von $0,05 \mu\text{F}$; 1 Kondensator von $0,1 \mu\text{F}$; 3 Kondensatoren von $0,5 \mu\text{F}$; 3 Kondensatoren von $1 \mu\text{F}$. Ein Kondensator von $0,005 \mu\text{F}$ bleibt fest mit der Spule L verbunden, die übrigen können mittels Kurzschlußstecker beliebig hinzugeschaltet werden. Im übrigen sei auf den erwähnten Aufsatz von MOELLER verwiesen,

in dem auch ausführliche Angaben über die Betriebsinduktivität L sowie über die sachgemäße Bedienung des Generators zu finden sind. Dasselbe gilt für die Sekundärspule, die eine einlagige Spule darstellt und über die Generatorspule geschoben werden kann (Fig. 2); sie ist die eigentliche Spannungsquelle für die folgenden Versuche.

Die Spule, die als induktive Belastung dienen soll, weicht von der von MOELLER beschriebenen erheblich ab, und soll deshalb hier näher angegeben werden. Länge des Spulenkörpers: l gleich 68,5 cm; äußerer Durchmesser des Spulenkörpers: $2r = 3,5$ cm; Dicke der Wandung: etwa 1,5 mm; Material: schellackiertes Papprohr. Der Spulenkörper ist mit zweimal baumwollumspunnenem, 0,8 mm dicken Kupferdraht einlagig bewickelt, 500 Windungen. Diese Form der Spule ist für die quantitative Behandlung deshalb zweckmäßiger, weil ihre Selbstinduktion sich angenähert berechnen läßt. Für

eine gerade, einlagige Spule mit n Windungen gilt unter der Voraussetzung, daß der Halbmesser r klein ist gegen die Länge l , angenähert die Formel:

$$L = 4 \pi^2 r^2 n^2 \left(\sqrt{l^2 + r^2} - r \right) \cdot \frac{r^2}{l^3} \cdot 10^{-9} \text{ Henry.}$$

Hieraus berechnet sich die Selbstinduktion der angegebenen Spule zu $L = 4,3 \cdot 10^{-4}$ Henry.

Eine Hauptaufgabe der Physik besteht darin, nach Konstanten zu suchen. Der Inhalt des physikalischen Gesetzes wird dann häufig durch die Konstante und ihre Dimension beschrieben. Die mathematische Formulierung des Gesetzes vollzieht sich meistens ohne Schwierigkeit. Wenn man z. B. aus einer genügend langen Meßreihe erkannte, daß der Geschwindigkeitszuwachs bei einem frei fallenden Körper immer eine Konstante darstellt, so könnte man zu der mathematischen Formulierung des Gesetzes etwa dadurch kommen, daß man die gesamte Meßreihe als Punkte in ein Koordinatensystem einträgt und unter der Voraussetzung der Stetigkeit durch eine stetige Kurve verbindet. Die bekannten Parabeleigenschaften führen dann ohne weiteres zu dem mathematischen Ausdruck des Gesetzes, der ja in der Sprache der analytischen Geometrie nichts weiter bedeutet als die Gleichung der Kurve, und die physikalische Konstante erscheint als eine Konstante der Kurve, die im allgemeinen noch mit einem Faktor behaftet ist.

Das OHMSche Gesetz für Gleichstrom findet seinen Ausdruck in der Tatsache, daß der Quotient aus der Spannung zwischen zwei festen Punkten eines Leiters und der Stromstärke im Leiter eine Konstante darstellt. Es ist von praktischer Bedeutung, wenn man diesen Quotienten mit Widerstand bezeichnet; der Satz, der Quotient aus der Spannung zwischen zwei festen Punkten eines Leiters und der Stromstärke im Leiter heißt Widerstand, ist die Definition des Begriffes Widerstand. Jedoch der Satz, der Widerstand zwischen zwei festen Punkten eines Leiters (d. h. eben der Quotient aus Spannung und Stromstärke) ist konstant, ist erst der Inhalt des OHMSchen Gesetzes. (Das OHMSche Gesetz für Gleichstrom sei hier nur innerhalb seines Gültigkeitsbereiches betrachtet.) Betrachtet man einen festen Leiter von beliebiger Form, so kann man nicht schlechthin von einem Widerstande dieses Leiters reden; erst wenn man sich darüber einigt, zwischen welchen zwei Punkten dieses Leiters die Spannung gemessen werden soll, ist der Widerstand bestimmt und eindeutig definiert, nämlich derjenige, der zwischen diesen beiden Punkten des Leiters herrscht. Wählt man zwei andere Punkte des Leiters, so wird auch der Widerstand im allgemeinen ein anderer sein. Für zwei, ein für allemal fest gewählte Punkte ist aber der Widerstand (d. h. also der Quotient aus Spannung und Stromstärke) eine konstante Größe.

Wenn man das OHMSche Gesetz für Gleichstrom auf dieser Grundlage behandelt¹, so kommt aus den Reihen der Schüler selbst der Vorschlag, auch für Wechselstrom den Quotienten aus der Spannung zwischen zwei festen Punkten des Leiters und der Stromstärke im Leiter als Widerstand zu bezeichnen. Da der OHMSche Widerstand (d. h. also der durch eine Gleichstrommessung bestimmte Widerstand) nur unter gewissen Voraussetzungen eine Konstante darstellt, wird auch der Wechselstromwiderstand im allgemeinen, wenn also gewisse Voraussetzungen nicht zutreffen, keine Konstante sein. Es entsteht die Frage: Ist der Wechselstromwiderstand unter denselben Voraussetzungen wie der OHMSche Widerstand eine Konstante?

Die Messungen. Die Schaltung für induktive Belastung wird durch Fig. 3 wiedergegeben. Der Effektivwert der Spannung zwischen den Enden der Spule L wird mit

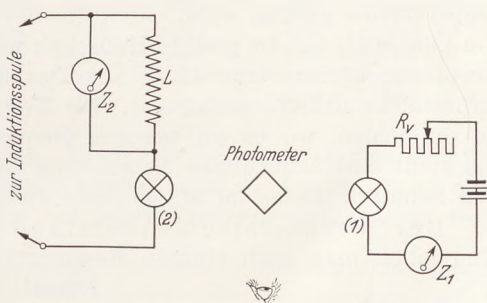


Fig. 3. Schaltung für induktive Belastung.

¹ Gg. HEUSSEL: Elementare Elektrizitätslehre, 1. Teil, S. 53 u. f.

Hilfe eines der gebräuchlichen Mavometer gemessen, das durch Vorschalten eines frequenz-unabhängigen Vorsatzgerätes zur Spannungsmessung von Wechselstrom beliebiger Frequenz benutzt werden kann. Die 7fache Unterteilung der Sekundärspule hat den Vorteil, daß beliebige Spannungen in genügend weiten Grenzen zur Verfügung stehen.

Die Messung der Effektivstromstärke geschieht am zweckmäßigsten auf photometrischem Wege. Man benutzt hierzu zwei völlig gleiche Glühlämpchen 4 bis 6 Volt, 0,3 Amp und zwei andere 4 bis 6 Volt, 0,04 Amp, wie sie im Handel erhältlich sind. (Zur Prüfung auf ihre Gleichheit schaltet man sie zweckmäßig mit einem veränderlichen Widerstand hintereinander in den Stromkreis einer 4-Volt-Sammlerbatterie und bestimmt bei mehreren Stromstärken mittels eines Photometers ihre relative Lichtstärke.) Beide Lampen ordnet man auf einer Photometerbank so an, daß sie von dem Photometer gleichen Abstand haben und auf verschiedenen Seiten davon stehen (Fig. 3). Die eine Lampe ist mit der Spule L in Reihenschaltung verbunden, während die andere von einem 4-Volt-Sammler über einen veränderlichen Widerstand R_v und ein Drehspulampereometer geheizt wird. Mit Hilfe des veränderlichen Widerstandes R_r bringt man die Lampe (1) auf die gleiche Helligkeit wie die Lampe (2) und liest am Amperemeter Z_1 die dazugehörige Stromstärke ab. Das ist aber gerade die zu bestimmende Effektivstromstärke des Wechselstroms. Die Messung ist auf $1/100$ Amp genau und überall da zu empfehlen, wo es an teuren, frequenzunabhängigen Wechselstrommessern fehlt. Sie stellt eine brauchbare Anwendung der Photometrie dar und ist deshalb geeignet, den Schülern dieses im allgemeinen spärlich behandelte Gebiet näher zu bringen.

Der Wechselstromwiderstand der Spule bei konstanter Frequenz. Nun bildet man nach einigen Messungen bei Wechselstrom konstanter Frequenz rein formal in Analogie zum OHMSchen Gesetz für Gleichstrom den Quotienten U_{eff}/J_{eff} und nennt ihn den „Wechselstromwiderstand“ der Spule.

Tabelle 1.
 $f = 7200$ Hertz. $L = 4,3 \cdot 10^{-4}$ Henry.

U_{eff} in Volt	J_{eff} in Amp	$\beta L = \frac{U_{eff}}{J_{eff}}$ in Ohm	R in Ohm
2,23	0,12	18,6	2,84
2,79	0,15	18,6	2,84
3,00	0,16	18,65	2,84
3,15	0,17	18,5	2,84
3,72	0,20	18,6	2,84

Der Quotient U_{eff}/J_{eff} erweist sich hier wohl als konstant, ist aber verschieden von dem OHMSchen Widerstand der Spule, und zwar größer als er. Wir nennen ihn zur Unterscheidung von diesem den „Scheinwiderstand β der Spule“ (Tabelle 1).

Frage: Welche Größe wird wohl für die Verschiedenheit des Gleich- und Wechselstromwiderstandes verantwortlich sein? Die Antwort kann nur lauten: Die Frequenz!

Die Frequenzmessung. Die Messung der Frequenz geschieht auf rein akustischem Wege. Man greift auf der Geige (oder dem Monochord) gerade den Ton, den der Lautsprecher als Frequenzanzeiger angibt (vgl. den erwähnten Aufsatz von MOELLER). Das Verschwinden der Schwebung überzeugt uns von der Gleichheit beider Töne. Damit ist der Ton in der Tonleiter genau festgelegt. In einer Tabelle (KOHLEAUSCH), die zu jedem Ton der Tonleiter die Frequenz angibt, liest man diese ab. So ist eine Frequenzmessung möglich, die mit einem Fehler von höchstens 0,1% behaftet ist. Diese Art der Frequenzmessung stellt eine gute Anwendung der Akustik dar.

Der Wechselstromwiderstand der Spule bei veränderlicher Frequenz. Legt man nun den Messungen Wechselstrom veränderlicher Frequenz zugrunde, so wird β entweder größer oder kleiner als vorher, je nachdem die Frequenz größer oder kleiner ist. Der Scheinwiderstand ist also bei Verwendung von Wechselstrom veränderlicher Frequenz eine variable Größe; er ist wegen der obigen Bemerkung eine wachsende Funktion der Frequenz f .

$$\beta = f(f) \quad (1)$$

Für $f_1 > f_2$ ist auch $\beta_1 > \beta_2$.

Tabelle 2 gibt die Verhältnisse quantitativ wieder. Der eingetragene Quotient U_{eff}/J_{eff} jeder Zeile ist das arithmetische Mittel aus mehreren Messungen bei konstanter

Frequenz (vgl. Tabelle 1). In Spalte 1 ist die an den Enden der Spule gemessene Spannung in Volt eingetragen, in Spalte 2 die Stromstärke in Ampere, in Spalte 3 die Frequenz in Hertz. In Spalte 4 findet man den Quotienten U_{eff}/J_{eff} in Ohm und in Spalte 5 den Quotienten $\mathfrak{Z}/f$ in Voltsec/Amp. Der Quotient $\mathfrak{Z}/f$ wurde deshalb gebildet, weil die Schüler in der Funktion $\mathfrak{Z} = f(f)$ sehr häufig eine lineare Funktion vermuten. Die Tabelle zeigt, daß diese Vermutung für hohe Frequenzen nahezu zutrifft; für niedrige Frequenzen jedoch weicht die Funktion von der Linearität wesentlich ab. Auf Meßfehler ist diese Abweichung wohl nicht zurückzuführen; sie muß also in der Funktion selbst begründet sein. Um uns über die Art der Funktion Klarheit zu verschaffen, versuchen wir, sie graphisch darzustellen (Fig. 4). Auf der Abszissenachse ist die Frequenz in Hertz, auf der Ordinatenachse der Scheinwiderstand in Ohm aufgetragen. Unter der Annahme, daß es sich um eine stetige Funktion in dem betrachteten Intervall handelt, sind die Punkte durch eine stetige Kurve verbunden. Die Bemerkung, daß bei hohen Frequenzen Linearität festzustellen ist, läßt eine Asymptote vermuten. Es zeigt sich, daß die vermutete Asymptote durch den Koordinatenanfang geht. Die Kurve selbst erweist sich dann als eine Hyperbel, deren Hauptachse die Ordinatenachse ist. Die Gleichung der Hyperbel hat also die Form:

$$\frac{\mathfrak{Z}^2}{a^2} - \frac{f^2}{b^2} = 1. \quad (2)$$

Welche physikalische Bedeutung kommt den Konstanten a und b zu? Bei abnehmender Frequenz nähert sich der Scheinwiderstand $\mathfrak{Z}$ dem OHMSchen Widerstande R . Die Konstante a ist also der schon von früher her bekannte OHMSche Widerstand R .

Aus der Kurve liest man ohne Schwierigkeit die angenäherte Proportion ab (Fig. 4):

$$b : R = f : \mathfrak{Z}, \quad (3)$$

oder

$$b = \frac{R}{\mathfrak{Z}/f} \text{ sec}^{-1}. \quad (4)$$

Da b für die Hyperbel eine Konstante ist, muß für diese Hyperbel wegen $R = \text{const}$ der Nenner ebenfalls konstant sein. Für sehr hohe Frequenzen ist $\mathfrak{Z}/f$ wegen des asymptotischen Verhaltens der Kurve annähernd konstant, nämlich $= 2,6 \cdot 10^{-4}$ Voltsec/Amp. Der Nenner sei allgemein mit $\mathfrak{Q}$ bezeichnet. Dann geht (4) über in:

$$b = \frac{R}{\mathfrak{Q}} \text{ sec}^{-1}. \quad (5)$$

Die Gleichung (2) nimmt also die Form an:

$$\frac{\mathfrak{Z}^2}{R^2} - \frac{f^2}{\left(\frac{R}{\mathfrak{Q}}\right)^2} = 1 \quad (6)$$

oder

$$\mathfrak{Z} = \sqrt{R^2 + (f \cdot \mathfrak{Q})^2} \text{ Volt/Amp.} \quad (7)$$

Tabelle 2.
 $R = 2,84 \text{ Ohm. } L = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ Henry.}$

U_{eff} in Volt	J_{eff} in Amp	f in Hertz	$\mathfrak{Z}L = \frac{U_{eff}}{J_{eff}}$ in Ohm	$\frac{\mathfrak{Z}L}{f}$ Voltsec/Amp
4,17	0,175	9300	23,9	$2,6 \cdot 10^{-4}$
2,79	0,15	7200	18,6	$2,6 \cdot 10^{-4}$
1,63	0,26	2200	6,27	$2,8 \cdot 10^{-4}$
1,88	0,30	2200	6,27	$2,8 \cdot 10^{-4}$
1,54	0,27	1953	5,70	$2,9 \cdot 10^{-4}$
1,22	0,26	1463	4,69	$3,2 \cdot 10^{-4}$
0,86	0,225	977	3,82	$3,9 \cdot 10^{-4}$
0,77	0,21	922	3,67	$4,0 \cdot 10^{-4}$
0,73	0,20	896	3,65	$4,1 \cdot 10^{-4}$
0,94	0,29	615	3,24	$5,2 \cdot 10^{-4}$
1,00	0,32	517	3,13	$6,1 \cdot 10^{-4}$

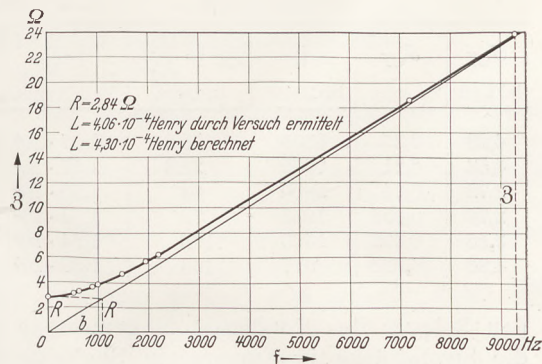


Fig. 4. Abhängigkeit zwischen Frequenz und Scheinwiderstand.

Diese Ableitung des OHMSchen Gesetzes für Wechselstromdurchgang durch eine Spule ist insofern von Bedeutung, als hier der Inhalt eines physikalischen Gesetzes von einer Kurve beschrieben wird, der bei der üblichen Behandlung wenig Realität zukommt. Der wesentliche Inhalt des Gesetzes wird durch die beiden Bemerkungen beleuchtet, daß der Wechselstromwiderstand einer Spule bei konstantem OHMSchen Widerstand mit der Größe $\mathfrak{L}$, die die Dimension einer Selbstinduktion besitzt, und mit der Frequenz f wächst. Die Konstante $\mathfrak{L}$ ist ebenso wie R der Spule eigen. Für den Inhalt des Gesetzes ist es belanglos, wenn man von $\mathfrak{L}$ den Faktor 2π abspaltet und $\mathfrak{L} = 2\pi L$ setzt. Es ist üblich, den Faktor 2π zur Frequenz f zu schlagen, um so die Kreisfrequenz ω in unsere Formel eingehen zu lassen. Die Gleichung (7) ändert sich dann in:

$$\frac{U_{eff}}{J_{eff}} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \text{ Volt/Amp.} \quad (8)$$

Es zeigt sich, daß die Größe L gerade die schon auf andere Weise bestimmte Selbstinduktion der Spule darstellt. Der Fehler beträgt etwa $\pm 2,5\%$.

Der Wechselstromwiderstand eines Kondensators. Man ersetzt in der Schaltung der Fig. 3 die Spule L durch einen Kondensator C von $1 \mu\text{F}$. Die Messung der Spannung, der Stromstärke und der Frequenz geschieht auf dieselbe Weise wie bei der Ableitung des Gesetzes für eine Spule.

Legt man auch hier den Messungen Wechselstrom verschiedener Frequenz zugrunde, so macht man die Beobachtung, daß der Quotient U_{eff}/J_{eff} (also der Scheinwiderstand des Kondensators) mit wachsender Frequenz kleiner wird; er ist also ebenfalls bei

Tabelle 3. $C = 1 \mu\text{F}$.

U_{eff} in Volt	J_{eff} in Amp	f in Hertz	$\mathfrak{Z}C = \frac{U_{eff}}{J_{eff}}$ in Ohm	$f \cdot \mathfrak{Z}C$ Volt/Ampsec
4,23	0,25	9300	16,9	$1,57 \cdot 10^5$
4,58	0,21	7200	21,8	$1,57 \cdot 10^5$
2,72	0,04	2200	68	$1,50 \cdot 10^5$
2,76	0,035	1953	79	$1,54 \cdot 10^5$
3,35	0,032	1463	105	$1,54 \cdot 10^5$
4,80	0,030	977	160	$1,56 \cdot 10^5$

Verwendung von Wechselstrom veränderlicher Frequenz eine variable Größe. Wegen der obigen Bemerkung ist er eine fallende Funktion der Frequenz f .

$$\mathfrak{Z} = f(f). \quad (9)$$

Für $f_1 > f_2$ ist also $\mathfrak{Z}_1 < \mathfrak{Z}_2$.

Tabelle 3 gibt die Verhältnisse quantitativ wieder. Der eingetragene Quotient U_{eff}/J_{eff} jeder Zeile ist das arithmetische Mittel aus mehreren Messungen bei konstanter Frequenz. In Spalte 1 ist die an

den Belegen des Kondensators gemessene Spannung in Volt eingetragen, in Spalte 2 die Stromstärke in Ampere, in Spalte 3 die Frequenz in Hertz. In Spalte 4 findet man den Quotienten U_{eff}/J_{eff} in Ohm und in Spalte 5 das Produkt $f \cdot \mathfrak{Z}$, das sich als eine Konstante erweist.

$$f \cdot \mathfrak{Z} = \text{const Volt/Ampsec.} \quad (10)$$

Welche physikalische Bedeutung kommt dieser Konstante zu? Da ihre Dimension Volt/Amperesec sein muß, ist es zweckmäßig, das Produkt $f \cdot \mathfrak{Z} = \frac{1}{\mathfrak{C}}$ zu setzen, wobei $\mathfrak{C}$ dann die Dimension einer Kapazität erhält. Wählt man an Stelle des Kondensators von $1 \mu\text{F}$ solche von 2 und $3 \mu\text{F}$, so erhält man die Beziehungen:

$$f \cdot \mathfrak{Z}_2 = \frac{1}{2\mathfrak{C}} \text{ Volt/Ampsec,} \quad (11)$$

$$f \cdot \mathfrak{Z}_3 = \frac{1}{3\mathfrak{C}} \text{ Volt/Ampsec.} \quad (12)$$

Aus (10), (11) und (12) folgt:

$$\mathfrak{Z}_2 = \frac{1}{2} \mathfrak{Z}, \quad (13)$$

$$\mathfrak{Z}_3 = \frac{1}{3} \mathfrak{Z}; \quad (14)$$

in Worten: Der Wechselstromwiderstand eines Kondensators ist umgekehrt proportional der Kapazität.

$$\mathfrak{Z} \sim \frac{1}{C}. \quad (15)$$

Aus (10) folgt:

$$\mathfrak{Z} = \frac{1}{f \cdot \mathfrak{C}} \text{ Volt/Amp.} \quad (16)$$

Also gilt diese Proportionalität:

$$\mathfrak{Z} \sim \frac{1}{f \cdot C}, \quad (17)$$

oder

$$\mathfrak{Z} = \frac{1}{p \cdot f \cdot C} \text{ Volt/Amp,} \quad (18)$$

wobei p einen Proportionalitätsfaktor ohne Dimension bedeutet. Aus (16) und (17) folgt:

$$\mathfrak{C} = p \cdot C \text{ Ampsec/Volt} \quad (19)$$

oder

$$p = \frac{\mathfrak{C}}{C} = 2\pi. \quad (20)$$

Also ist der Wechselstromwiderstand eines Kondensators gegeben durch die Formel:

$$\mathfrak{Z} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \text{ Volt/Amp,} \quad (21)$$

oder auch

$$\mathfrak{Z} = \frac{U_{\text{eff}}}{J_{\text{eff}}} = \frac{1}{\omega \cdot C} \text{ Volt/Amp.} \quad (22)$$

Der Inhalt des OHMSchen Gesetzes für Wechselstromdurchgang durch einen Kondensator wird durch die Aussage beleuchtet, daß der Wechselstromwiderstand eines Kondensators umgekehrt proportional ist der Frequenz und der Kapazität. Die quantitative Ableitung des OHMSchen Gesetzes bei Hintereinanderschaltung von Selbstinduktion und Kapazität ist in Vorbereitung und soll einer späteren Mitteilung vorbehalten bleiben.

Herstellung von Kunstseide nach dem Kupferverfahren.

Von R. Scharf in Berlin.

Die bisher zu diesem Verfahren in der Literatur¹ angegebenen Arbeitsweisen führen wohl zu einem nassen Faden, jedoch nicht zu einem trockenen, der auch nur ungefähr das Aussehen von Kunstseide hat. Dies liegt meines Erachtens hauptsächlich an der Art des Fällbades. In der Technik wird nur für ganz dünne Fäden Schwefelsäure oder Wasser als Fällbad genommen. Werden dickere Fäden, wie wir sie mit unseren bescheidenen Laboratoriums-Hilfsmitteln nur erzeugen können, mit Säure gefällt, so werden diese Fäden nach dem Trocknen so hart und brüchig, daß man bei seinen Schülern wenig Glauben finden wird, wenn man dieses Produkt als Kunstseide bezeichnet. Bei unseren dickeren Fäden muß man mit Natronlauge fällen, die zweckmäßig Zusätze enthält, die eine noch größere Weichheit des Fadens bewirken. Außerdem ist die Nachbehandlung des Fadens, die sich durchaus im Schullaboratorium mit einfachen Mitteln ausführen läßt, von großem Einfluß auf die Beschaffenheit des Fadens.

Versuchs-Beschreibung. 3 g aufgelockerte Verbandwatte werden in 90 ccm SCHWEITZERS Reagens (Schering-Kahlbaum) gut verteilt und in verkorkter Flasche unter gelegentlichem Umschütteln mindestens 24 Stunden bei Zimmertemperatur stehen gelassen. Nach dieser Zeit ist die Baumwolle vollständig gelöst zu einer zähen dunkelblauen Flüssigkeit. Die Lösung ist jetzt schon spinnbar, besser jedoch erst nach 3 Tagen; sie kann aber auch bis 14 Tage aufbewahrt werden, wobei sie deutlich dünnflüssiger wird.

Zum Spinnen füllt man die Lösung in ein 8 mm weites Glasrohr von 20 bis 30 cm Länge, das am unteren Ende möglichst kurz zu einer feinen Spitze von 0,1 bis 0,5 mm lichter Weite ausgezogen ist. Zweckmäßig wird die Spitze im rechten Winkel zum Glasrohr nach der Seite gerichtet, um ein glatteres Entweichen des Fadens zu gestatten (s. Figur). Eine dickwandige Kapillare erhält man, wenn man das Glasrohr in der



Spinn-
düse.

¹ H. RÖMISCH, Diese Zeitschr. 46, 27 (1933). — E. MANNHEIMER, Unterrichtsblätter f. Math. u. Naturw. 37, 3 (1931).

Flamme recht weich werden und etwas einfallen läßt und dann erst vorsichtig auf nicht zu große Länge auszieht.

Erst wenn die blaue Lösung unter ihrem eigenen Druck aus der Glasspitze auszutreten beginnt, wird das Glasrohr mit der Düse in das Fällbad getaucht, das sich in einer flachen Glasschale befindet. Das Fällbad enthält auf 90 ccm technischer, 33-prozentiger Natronlauge 10 ccm wasserfreies Glycerin. Die blaue Lösung entweicht in dünnem Strahl langsam aus der Glasdüse und erstarrt bald zu einem blauen, unregelmäßig geformten Faden aus Kupfernatronzellulose.

Die technischen Verhältnisse lassen sich noch besser nachahmen, wenn der aus der Düse austretende Faden gereckt wird. Das kann man erreichen, indem man mit einer Pinzette den aus der Düse ausgetretenen Faden ergreift und diesen im Fällbad nicht zu schnell von der Düse wegzieht. Der Faden wird auf diese Weise erheblich feiner.

Nachdem der Faden 2 bis 10 Minuten (je nach Dicke des Fadens!) im Fällbad gelegen hat, wird er mit einem Glasstab herausgenommen und 2 mal je 5 Minuten in dest. Wasser gespült; danach wird er in 2-prozentige Schwefelsäure gebracht, bis er seine blaue Färbung vollständig verloren hat. Jetzt wird der Faden wieder mit dest. Wasser tüchtig gespült, kommt noch in ein heißes glycerinhaltiges Seifenbad (etwa 1% Seife, 1% Glycerin, dest. Wasser) und wird ohne nachfolgende Spülung getrocknet.

In noch feuchtem Zustand lassen sich die Fäden einigermaßen ordnen; man sucht dabei einige längere Fäden herauszuholen, die nach dem Trocknen durch einen Wasserdampfstrahl unter leichter Spannung (Teekessel!) gezogen werden, wobei sie gerade gereckt werden können.

Die entstandenen Fäden besitzen einen leichten Glanz und können bei entsprechender Streckung im Bade ziemlich dünn sein (in der Kunstseide-Industrie würde man sie wohl noch nicht als „dünn“ bezeichnen!). Die Fäden haben allerdings einen kleinen Schönheitsfehler: Beim Strecken im Bade muß man bei der primitiven Weise, wie das hier absichtlich beschrieben ist, mit der Pinzette immer wieder nachgreifen, wenn der Faden die Länge der Schale erreicht hat. Während dieser kurzen Zeit tritt der Faden mit stärkerem Durchmesser aus der Düse heraus, und es bilden sich kleine Knötchen, die auch nach dem Trocknen des Fadens noch zu sehen sind.

Die Reißfestigkeit dieser Fäden war befriedigend. Fäden von etwa 0,02 mm Stärke hielten eine Belastung von 20 g aus.

Für die Praxis.

Gerät zur Veranschaulichung der Wurfparabel. Von G. Vogel in Königsberg i. Pr. Bei der HAGENBACHSchen Vorrichtung zur Parabel-Nachbildung (Periodische Blätter 2, 142, 1895; vgl. auch G. VOGEL: Im Reiche der Physik, S. 44, W. Vobach, Berlin: 1923) ist ein 1 m langer Stock an zehn Stellen in 10 cm Abstand durchbohrt, und in den Durchbohrungen sind an Fäden, die der Reihe nach 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81 und 100 cm Länge haben, Kugeln aufgehängt.

Um Wurfbahnen mit verschiedenen Anfangsgeschwindigkeiten zur Anschauung bringen zu können, befestigt man die beschwerten Fäden nicht an dem Stock selbst, sondern an einem Gummiband. Dieses wird mit dem einen Ende an den Stock genagelt oder angeschraubt; das andere Ende befestigt man an einer Ringöse mit Griffband, wie sie zum Zusammenhalten des gerollten Regenschirms benutzt werden, so daß es an passend eingeschlagenen Nägeln aufgehakt werden kann, wenn das Gummiband mehr oder weniger stark ausgereckt ist. Man kann auch einen Stift mit Griff an dem freien Ende des Gummibandes befestigen und diesen Stift in geeignete Durchbohrungen des Stockes einstecken.

Das Gummiband kann durch eine längere Spiralfeder ersetzt werden. Steckt man den Stab durch die Spiralfeder hindurch, so vermeidet man noch das Durchhängen, das bei dem Gummiband eintreten kann.

Cellophan-Klebestreifen als Hilfsmittel für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Von Dr. Rudolf Lips in Berlin.

Seit längerer Zeit schon wird Cellophan zu staubsicherer und hygienischer Verpackung benutzt. Jetzt verarbeitet die Firma Kalle & Co. A.G., Wiesbaden-Biebrich, Cellophan auch zu Klebestreifen. Diese werden in 10-m-Rollen hergestellt und kleben fest, ohne daß man sie anfeuchten muß. Sie werden glasklar durchsichtig, schwarz und rot in den Breiten 10, 15 und 20 mm geliefert. Wie Versuche ergaben, sind die schwarzen und roten Streifen lichtundurchlässig.

Ihr Verwendungszweck ist für den naturwissenschaftlichen Unterricht sehr vielseitig. Als Befestigungsmittel von Tafeln auf dem Reißbrett, zum Aufziehen von Vorlagen, zum Ausbessern von Büchern, Landkarten, Wandtafeln usw., als luftdichter Verschuß von Chemikalien, zum Schutz von Etiketten in Sammlungsräumen und vor allem auch als ein vorteilhaftes Photo-Hilfsmittel. So lassen sich die schwarzen Streifen zum Bändern von Diapositiven benutzen. Der Vorteil gegenüber den schwarzen Papierstreifen besteht darin, daß Cellophanklebestreifen ohne Anfeuchten sich sofort an die Glasplatten anheften und auch später nicht abplatzen. Ein weiterer Vorzug ist der, daß diese Klebestreifen einen wirksamen Schutz gegen Feuchtigkeitseinwirkung darstellen. Wenn z. B. Diapositive aus kalten in geheizte Räume gebracht werden, so beschlagen die äußeren Glasplatten, und oft gelangt die Feuchtigkeit auch durch die Papierstreifen auf die Schichtseite. Bei der Projektion werden die Diapositive stärker erwärmt, und es kommt dann häufig zum Schmelzen der Gelatine. Bei Diapositiven, die mit Cellophanklebestreifen gebändert sind, ist ein Eindringen von Feuchtigkeit nicht möglich. Es lassen sich hier Streifen in 10 mm und 15 mm Breite verwenden.

An Stelle einer Maske kann man ebenfalls rote und schwarze Klebestreifen benutzen. Sie sind vollständig lichtundurchlässig und haben den Vorteil, daß diese „Masken“ ohne Schwierigkeit und ohne Hinterlassen von Klebspuren von der Schichtseite des Negativs wieder abgelöst werden können.

Ich habe auch seit längerer Zeit diese Klebestreifen zum Überkleben von Flaschenetiketten benutzt. Sie bilden einmal einen wirksameren Schutz gegen Verschmutzung als das Lackieren der Etikette mit Etikettenlack und verhindern auch beim Reinigen der Flaschen das Ablösen des Etikettes. Sollten sie durch Staub schmutzig geworden sein, so lassen sie sich durch leichtes Überfahren mit einem angefeuchteten Lappchen säubern.

Die Preise sind:

	Farblos je Rolle	Farbig (rot oder schwarz) je Rolle
10 m lang, 10 mm breit, Bestell-Nr. 552	0,60 Mk.	0,80 Mk.
10 m „ 15 mm „ „ „ 553	0,85 „	1,05 „
10 m „ 20 mm „ „ „ 554	1,10 „	1,35 „

Zu beziehen sind diese Cellophan-Klebestreifen in größeren Papierhandlungen oder von der Kalle-Vertretung, Berlin W 8, Friedrichstr. 62.

Berichte.

1. Apparate und Versuche.

Die Herstellung wellenmechanischer Atommodelle und ihre Anwendung zur Veranschaulichung des Atombaues. Von BERTHOLD VOGEL in Karlsruhe.

In neueren Lehrbüchern der Physik für den Schulunterricht findet man an den Stellen, wo auf die einfachen Vorstellungen vom Bau der

Atome und ihre bekannten Folgerungen für das periodische System der Elemente eingegangen wird, das BOHRsche Atommodell. Seitdem aber die BOHRsche Atomtheorie zu dem umfassenderen System der Wellenmechanik verallgemeinert worden ist, und die experimentellen Tatsachen der Physik und Chemie wellenmechanisch erfaßt

werden, besteht kein Anlaß mehr, am BOHRschen Atommodell festzuhalten. Meist hat zwar eine neue Theorie das Vorurteil zu überwinden, daß sie schwieriger sei als die ältere, welche sie ablöst. Es wird sich aber im Verlaufe der Arbeit zeigen, daß die Wellenmechanik zu Ergebnissen führt, die anschaulicher und leichter faßlich sind als diejenigen Vorstellungen, die aus der BOHRschen Theorie gewonnen werden können. Die einzige Schwierigkeit, die noch zu überwinden ist, besteht darin, daß man sich jetzt neue Atommodelle schaffen muß. Diese müssen ebenso anschauliche Vorstellungen von der Wellenmechanik vermitteln wie die bekannten BOHRschen Atommodelle von den BOHRschen Atomen.

Im folgenden soll beschrieben werden, wie man sich mit einfachen Mitteln derartige wellenmechanische Atommodelle herstellen kann. Daran anschließend wird ein Überblick gegeben, der zeigt, welche Vorteile diese neuen Modelle bei einer Behandlung des Atombaus und des periodischen Systems der Elemente bieten, wie viel weiter mit ihrer Hilfe der Kreis der Erkenntnisse wird, die man aus anschaulichen Überlegungen schöpfen kann, und wie schließlich die wellenmechanischen Atommodelle die BOHRschen an eindringlicher Überzeugungskraft übertreffen. Zunächst sei der für die Modelle wichtige mathematische Apparat der Wellenmechanik kurz angedeutet.

Behandelt man das BOHRsche Atommodell wellenmechanisch, so erhält man folgende Grundgleichung für das Wasserstoffatom:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \psi = 0.$$

Hierin bedeuten: m die Masse des Elektrons, e seine Ladung, h die PLANCKsche Wirkungskonstante, E die Gesamtenergie der betreffenden Konfiguration, $-\frac{e^2}{r}$ die potentielle Energiefunktion, ψ^2 die mittlere örtliche Elektronendichte.

Aus dieser Gleichung hat man die mittlere Dichte ψ^2 jedes einzelnen Elektrons, das sich an dem Bau eines Atoms beteiligt, als Funktion des Ortes r auszurechnen. Denn jedes Elektron hat seine ihm eigentümliche Dichteverteilung. Diese läßt eine Einteilung der Elektronen in gewisse Elektronentypen zu, in die sogenannten s -, p -, d - usw. Elektronen. Innerhalb dieser Typen, welchen, wie wir sehen werden, im Atombau jeweils eine besondere Rolle zukommt, unterscheiden sich die Elektronen bekanntlich ebenfalls noch, so daß man die s -Elektronen in $1s, 2s, \dots, ns$, die p -Elektronen in die $2p, 3p, \dots, np$ -Elektronen usw. unterteilt. Diese eigentümliche Dichteverteilung eines jeden Elektrons hängt von seinem jeweiligen energetischen Zustand ab, bedingt durch seine Lage zu dem Atomkern und zu den Nachbar-elektronen. Hiervon abhängig sind dann weiterhin gewisse Eigenschaften des Elektrons, die ihrerseits wiederum in Eigenschaften des Atoms zum Ausdruck kommen. Zur Berechnung der Funktionen $\psi^2(r)$ sei auf die einschlägigen Lehrbücher¹

verwiesen. Für diejenigen Elektronen, die zum Bau der hier beschriebenen Atommodelle gebraucht werden, lautet das Ergebnis der Rechnung:

Zustand des Elektrons	Elektronendichte ψ^2
$1s$	$\frac{e^{-\frac{2r}{a}}}{a^3 \pi}$
$2s$	$\frac{e^{-\frac{r}{a}} (2a - r)^2}{32 a^5 \cdot \pi}$
$3s$	$\frac{e^{-\frac{2r}{3a}} \left(1 - \frac{2r}{3a} + \frac{2}{27} \cdot \frac{r^2}{a^2} \right)}{27 a^3 \pi}$
$2p$	$\frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5 \pi} x^2; \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5 \pi} y^2; \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5 \pi} z^2.$

Es bedeuten: e die Basis der natürlichen Logarithmen, r den Abstand vom Atomkern, a eine Konstante, die aus der empirischen Abtrennungsarbeit des betreffenden Elektrons errechnet wird, wobei für die Berechnung der Konstanten a die

Beziehung $a = a_H \cdot \frac{1}{n} \sqrt{\frac{E_H}{E_Z}}$ gilt. Darin ist n die Hauptquantenzahl, E_H die Ionisierungsarbeit des Wasserstoffs, E_Z die Ionisierungsarbeit eines Elementes bei der Kernladung Z , $a_H = -\frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{n^2 E_H}$

der Wert der Konstanten a bei Wasserstoff (e bedeutet hier Ladung des Elektrons).

Außer den angegebenen vier Elektronentypen kommen bei den ersten 12 Elementen des periodischen Systems und ihren Ionen, solange sie sich im Grundzustande befinden, keine anderen vor. Sie genügen also bereits, um Modelle der Atome und Ionen von den Elementen H bis Mg im Grundzustande herzustellen. Um die bekannten Aufbauregeln des periodischen Systems und ihre Zusammenhänge mit chemischen Eigenschaften der Elemente aus dem Atombau zu veranschaulichen, kommt man aber schon mit Modellen der Elemente H, He, Li, Be, B, C, Ne und Na zum Ziele, wie weiter unten kurz gezeigt wird. Wichtig ist, daß die Funktionen $\psi^2(r)$ für die s -Elektronen kugelsymmetrisch, für die p -Elektronen noch rotationssymmetrisch sind. Da die Modelle bei den verwendeten Mitteln Schnitte durch die Atome darstellen, so ergeben nur diese Elektronen ein anschauliches Bild. Die Funktionen $\psi^2(r)$ der d -Elektronen und der auf sie folgenden Elektronentypen sind nicht mehr kugelsymmetrisch oder rotationssymmetrisch, weshalb sich Atommodelle der nach Ca folgenden Elemente mit Hilfe des angegebenen Verfahrens nicht mehr herstellen lassen.

demische Verlagsgesellschaft m. b. H. — G. Joos: Lehrbuch der theoretischen Physik, 2. Aufl. 1934. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. — A. SOMMERFELD: Atombau und Spektrallinien. Wellenmechanischer Ergänzungsband. Braunschweig: F. Vieweg 1929.

¹ Vgl. z. B. A. HAAS, Materiewellen und Quantenmechanik, 4. und 5. Aufl. 1934. Leipzig: Aka-

Geht man so weit, daß man auch die Entstehung der Spektrallinien bei der Behandlung des Atombaues in die Betrachtung mit einbezieht, so wird man, um bei einem einfachen Beispiele zu bleiben, etwa einige Elektronenzustände der Balmerseerie des Wasserstoffs, z. B. ($nS \rightarrow 2P$) herstellen. Für die bekannte H_{α} -Linie $3s \rightarrow 2p$ sind die $\psi^2(r)$ angegeben, für H_{β} und H_{γ} wären noch die Funktionen $\psi^2(r)$ für $4s$ und $5s$ zu berechnen.

Bau der Atommodelle.

Die Atommodelle bauen wir aus den Modellen derjenigen Elektronen zusammen, die sich an dem Aufbau der betreffenden Atome beteiligen. Folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Elektronenanordnung einiger Elemente und die zugehörigen Werte der Konstanten a .

Element	1s	$\frac{a}{a_H}$	2s	$\frac{a}{a_H}$	2p	$\frac{a}{a_H}$	3s	$\frac{a}{a_H}$
H	1	1						
He	2	0,745						
Li	2	0,459	1	0,794				
Be	2	0,299	2	0,604				
B	2	0,229	2	0,435	1	0,639		
C	2	0,187	2	0,407	2	0,549		
Ne	2	0,107	2	0,265	6	0,397		
Na	2		2		6	0,268	1	0,542

Die Ionisierungsarbeiten, die zur Berechnung der Konstanten a gebraucht wurden, sind spektroskopischen Tabellen entnommen (BACHER and GOUDSMITH, Atomic Energy States; International series in physics). Bei den 1s-Elektronen sind diese Werte nicht mehr für alle unionisierten Atome bekannt. Dort wurden sie durch die Ionisierungsarbeiten der betreffenden Ionen ersetzt, z. B. bei Bor durch die Ionisierungsarbeit $B^{++} \rightarrow B^{+++}$. Schon aus diesem Grunde muß bei den Modellen eine kleine Abweichung vom wirklich exakten Atombild in Kauf genommen werden. Dazu ist man aber auch dort gezwungen, wo die Ionisierungsarbeiten der unionisierten Atome bekannt sind. Denn hierbei ist die abschirmende Wirkung der Elektronen auf den Kern berücksichtigt, aber keine feinere gegenseitige Wechselwirkung untereinander. Da jedoch, wenn wir diese beiden Vernachlässigungen in die Rechnung miteinbeziehen könnten, ihr Ergebnis nur um wenige Prozent verbessert würde, so dürfen wir darauf verzichten. Die Modelle können daher zwar keinen Anspruch auf volle Exaktheit erheben, was sie aber als Anschauungsmaterial nicht weniger wertvoll macht.

Das Modell des 1s-Elektrons (Wasserstoffatom).

Das einfachste Modell ist das des Wasserstoffatoms. Zur Berechnung der Funktion $\psi^2(r)$ ist hier wie bei allen Modellen $a_H \pi = 1$ cm genommen.

Wir zeichnen zunächst die Funktion $\psi^2(r)$ für Wasserstoff auf. Dabei hat sich folgender Maßstab als praktisch erwiesen: r wird direkt in cm auf der Abszissenachse, $\psi^2(r)$ auf der Ordinaten-

achse aufgetragen, und zwar so, daß 1 cm dem Werte $\psi^2 = 0,001$ entspricht. Man erhält dann die Kurve Fig. 1, die ein unmittelbares Bild der Dichteverteilung des Elektrons in Abhängigkeit vom Kernabstand gibt. Ein anschauliches Modell dieser Kurve erhalten wir folgendermaßen. Die verschiedenen Werte der Elektronendichte in den verschiedenen Kernabständen veranschaulichen wir mit Hilfe verschieden durchsichtigen Papiers. Der Dichteänderung um den Betrag 0,00025 entspricht dabei zweckmäßig die Durchsichtigkeit eines dünnen, möglichst wenig matten Ölpapiers. Die Dichte 0,00025 liegt bei $r = 4,2$ cm. Sie steigt auf 0,0005 bei $r = 3,8$ cm. Wir schneiden also Papierscheiben von $r = 4,2$ cm und von $r = 3,8$ cm Radius aus, legen sie konzentrisch aufeinander usw. Da die Kurve schnell steiler wird, so unterscheiden sich die Radien der Kreisscheiben immer weniger, was schon nach 5 Scheiben das Weiterarbeiten erschwert. Man geht deswegen nicht mehr um den Betrag 0,00025, sondern um das Fünffache weiter, also um den Betrag 0,00125 und schneidet die Scheiben jetzt aus einem Papier, das nur noch etwa so viel Licht durchläßt, wie 5 Scheiben der ersten dünnen Papierart zusammen. Man nimmt z. B. dünnes mattiertes Pergamentpapier. Die Anschaulichkeit des Modells leidet dabei durchaus nicht. Werden auch jetzt die Radien der Scheiben zu klein, dann geht man noch einmal um das Fünffache, also jetzt um den Betrag $\psi^2 = 0,00625$, weiter und nimmt entsprechend dichteres Papier, etwa weißes Schreibmaschinenpapier. Hat man so viele Papierscheiben ausgeschnitten, daß sie aufeinandergelegt undurchsichtig geworden sind, so ist das weitere Ausschneiden unnötig. Man klebt die Scheiben nun konzentrisch auf den Mittelpunkt einer Glasscheibe (20 · 20 cm) zusammen, indem man im Mittelpunkte jeder vorhergehenden Papierscheibe ein möglichst kleines Fleckchen mit Klebstoff betupft, die folgende darauflegt usw. Sind alle zusammengeklebt, so wird das Ganze mit einer zweiten Glasscheibe bedeckt. Die Ränder der beiden Scheiben klebt man mit Klebband zusammen. Das fertige Modell zeigt, gegen das Licht gehalten, unmittelbar die Dichteverteilung des Elektrons beim Wasserstoffatom und gibt ein direktes Bild des Schnittes durch seinen Mittelpunkt. Ein vollständiges Bild entsteht durch Drehung des Modells um seine Achse. Nach diesem Verfahren werden alle Modelle hergestellt.

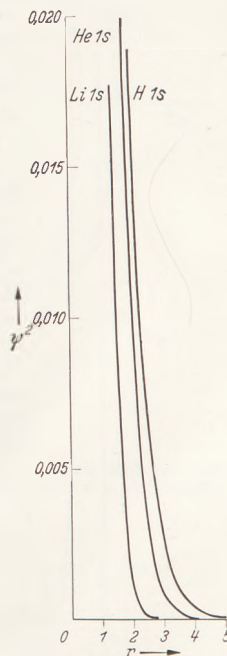


Fig. 1. Dichteverteilung ψ^2 des 1s-Elektrons bei H, He, Li in Abhängigkeit vom Kernabstand r .

Das Modell des Heliumatoms.

Helium und die folgenden Elemente haben zwei 1 *s*-Elektronen. Wir werden wieder die Kurve $\psi^2(r)$ für das 1 *s*-Elektron dieser Elemente aufzeichnen (Fig. 1). Da zwei Elektronen der gleichen Art im Atom sind, so ist jede Papierscheibe zweimal auszuschneiden. Beim Helium ist das Atommodell damit bereits fertig. Bei den darauffolgenden Elementen sind aber noch weitere Elektronenmodelle herzustellen, zunächst beim Lithium von einem 2 *s*-Elektron.

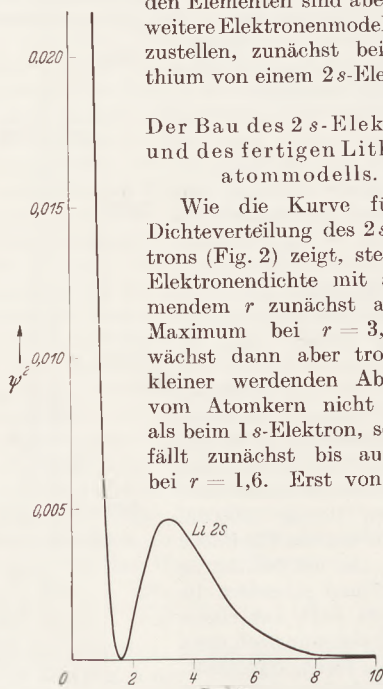


Fig. 2. Dichteverteilung ψ^2 des 2 *s*-Elektrons bei Li in Abhängigkeit vom Kernabstand *r*.

Stelle an steigt sie wieder in einer Weise, die der des 1 *s*-Elektrons sehr ähnlich ist. Infolgedessen erhalten wir für alle $r > 1,6$ cm nicht Kreisscheiben, sondern Kreisinge, deren äußere Durchmesser auf dem aufsteigenden Aste mit etwa $3,2 < r < 9$ cm liegen, während die inneren Durchmesser sich auf dem absteigenden Aste mit $1,6 < r < 3,2$ cm befinden. Auch sie werden konzentrisch wie die Kreisscheiben aufeinandergelegt. Für alle $r < 1,6$ cm geschieht der Aufbau natürlich in der schon bei 1 *s*-Elektronen besprochenen Weise.

Hat man so das Modell der beiden 1 *s*-Elektronen und das des 2 *s*-Elektrons für das Lithium hergestellt, so erhält man das Bild des fertigen Lithiumatoms einfach durch Übereinanderdecken der beiden Elektronenmodelle. Die Ionisierung des Lithiums als Alkalimetall geschieht durch Abtrennung des äußersten Elektrons, des 2 *s*-Elektrons. Wir sehen, daß das Modell der beiden 1 *s*-Elektronen zugleich das Modell des Lithiumions ist. Der Vorgang der Ionisierung kann also am Modell gezeigt werden. Als Beispiel eines fertigen Modells gibt Fig. 3 das 2 *s*-Elektron des Lithiums wieder.

Das Modell des Berylliumatoms.

Wir haben zwei Elektronenmodelle zu fertigen, eines für die 1 *s*-Elektronen, ein zweites für die beiden 2 *s*-Elektronen. Man hat hier jede Kreisscheibe und jeden Kreisring entsprechend zweimal auszuschneiden. Diese Arbeit kann dadurch vereinfacht werden, daß man bei der Zeichnung der Funktion $\psi^2(r)$ von vornherein das Doppelte von ψ^2 gegen *r* aufträgt und dann jeweils nur eine Scheibe oder einen Kreisring auszuschneiden braucht. Zudem wird so die Dichteverteilung, die das Modell zeigt, eine stetigere.

Das Modell des 2 *p*-Elektrons und das Modell des Boratoms.

Für 2 *p*-Elektronen hängt die Dichteverteilung nicht nur vom Kernabstand *r* ab, sondern von den Koordinaten *x*, *y*, *z*. Wir verwenden daher $\psi^2(r)$

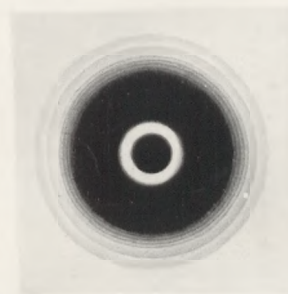


Fig. 3. 2 *s*-Elektron des Lithiums. Schalenform des Elektrons.

in einer Ebene *x*, *r* als eine Schar von Kurven jeweils gleicher Flächendichten dar (Fig. 4). Dabei sind zur Zeichnung Kurven derjenigen Flächendichten auszuwählen, die wir direkt zum Ausschneiden aus dem Papier verwenden können, also ganzzahlige Vielfache der Dichten $0,00025 = D$.

Wir schreiben demnach $\psi^2 = n D = \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5} \cdot x^2$.

Mit der Auswahl dieser Kurven ist das *n* der Gleichung festgelegt. Jetzt setzen wir noch eine Reihe von *x*-Werten fest, und zwar so viele, daß sich genügend Punkte ergeben, um die Kurven genau genug zeichnen zu können. Praktisch reichen ungefähr folgende *x*-Werte aus: $x = 0,5; 1; 2; 3; 4; 5$ und 6 . Für *n* wählt man zweckmäßig die Zahlen $1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 50; 75$. Nachdem wir über *n* und *x* verfügt haben, bleibt *r* die abhängige Variable, nach der die Gleichung

$n D = \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5} \cdot x^2$ aufzulösen ist. Wir schreiben zu-

nächst $e^{-\frac{r}{a}} = D \cdot (2a)^5 \frac{n}{x^2}$ und erhalten durch

Logarithmieren $r = 2a \cdot \ln x - a \ln D (2a)^5 - a \ln n$. Diese Gleichung gestattet ein einfaches Bestimmen von *r* als Differenz zweier Strecken, deren Länge durch *x*, *n* und die Konstante $D \cdot (2a)^5$ gegeben ist. Man trägt (Fig. 5) an einer Geraden vom

Nullpunkt an die Strecken $2a \ln x - a \ln D(2a)^5$ für die gewählten x -Werte an, ebenso in der gleichen Richtung für $a \cdot \ln n$. Mit dem Stechzirkel lassen sich nun Längen r zu jedem markierten n für die in Betracht kommenden x -Werte direkt abgreifen. Für ein bestimmtes n liegen die Punkte einer Kurve auf den Schnittpunkten der Kreise mit dem Radius r mit den Senkrechten, welche die x -Achse in den zugehörigen x -Werten schneiden. Da die Kurvenscharen für negative wie positive x -Werte die gleichen sind, so zeichnet man nur die eine Seite (z. B. für positive x -Werte).

Um das Modell des $2p$ -Elektrons anzufertigen, paust man die einzelnen Kurven auf das entsprechende Papier so viele Male durch, wie es die Dichte erfordert, und klebt die ausgeschnittenen Flächen in der Reihenfolge der Kurven zusammen. Das Modell hat eine Form, die etwa der eines Schmetterlings ähnelt. Das räumliche Bild des $2p$ -Elektrons entsteht durch Drehung um die x -Achse.

Die Modelle der 3 Elektronenarten, also des Modells der $1s$ -Elektronen, der $2s$ -Elektronen und des $2p$ -Elektrons bilden übereinandergelegt das Modell des Boratoms.

Das Modell des Kohlenstoffatoms.

Zunächst können wir uns hier den Bau des Modells der $1s$ -Elektronen sparen. Ihr Durchmesser ist so klein und die Dichte der $2s$ - und $2p$ -Elektronen in ihrer Umgebung so groß, daß durch Hinzufügen der $1s$ -Elektronen das Bild des fertigen Kohlenstoffatoms nicht weiter verändert wird. Das Modell der beiden $2p$ -Elektronen wird hergestellt, wie es bei dem Bor beschrieben worden ist. Natürlich müssen doppelt so viele Scheiben geschnitten werden wie dort. Neu ist hier nur ihre Anordnung, da das eine $2p$ -Elektron symmetrisch zur x -Achse, das andere symmetrisch zur y -Achse angeordnet ist. Zuerst klebt man die Scheiben des einen Elektrons in der angegebenen Weise zusammen. Hierüber klebt man das zweite, aber so, daß es wegen der gegenseitigen Lage der beiden $2p$ -Elektronen um 90° gegen das erste im Mittelpunkt des Modells gedreht ist.

Das Modell des Neonatoms.

Hier betrachten wir zunächst die sechs $2p$ -Elektronen, weil sich dabei zeigt, daß sich eine besondere Arbeit mit den restlichen Elektronen

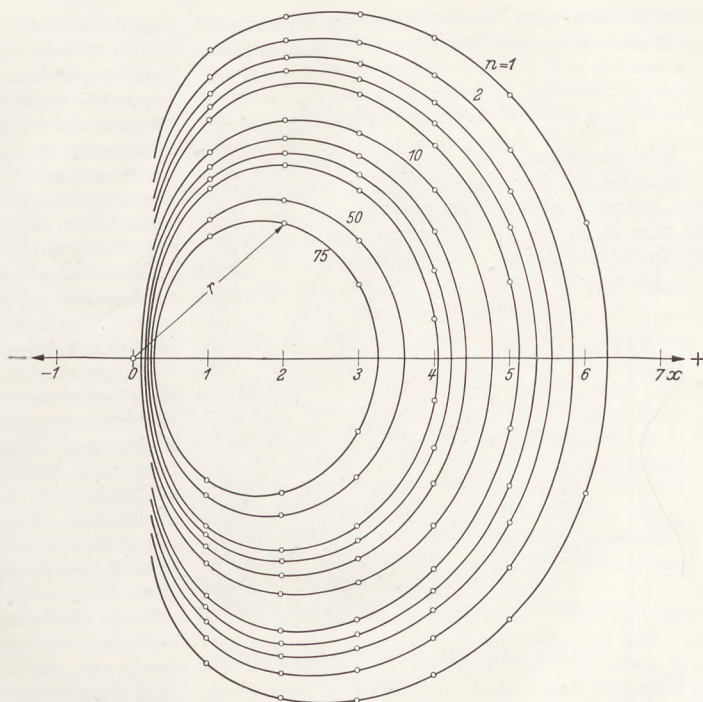


Fig. 4. Schar von Kurven gleicher Dichte ψ^2 in Abhängigkeit von der Koordinate x und dem Kernabstand r für das $2p$ -Elektron des Kohlenstoffs.

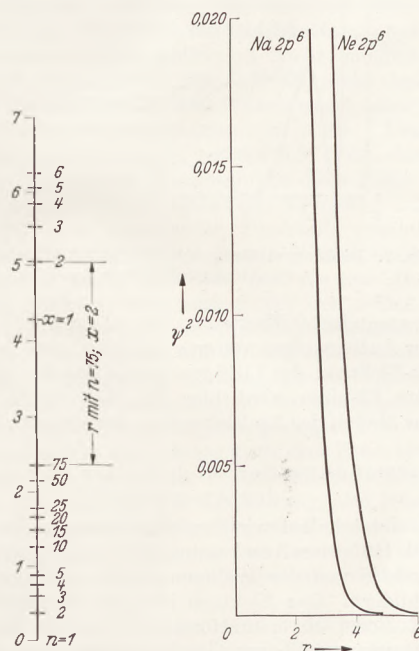


Fig. 5.

Fig. 5. Darstellung der Gleichung $r = 2a \ln x - a \ln D(2a)^5 - a \ln n$ zum Entnehmen von r bei gegebenen Werten von x und n .

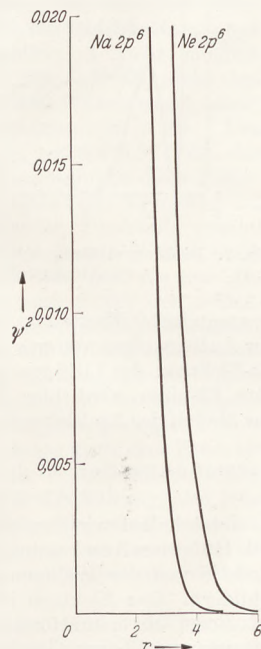


Fig. 6.

Fig. 6. Dichteverteilung ψ^2 von sechs $2p$ -Elektronen bei Ne und Na in Abhängigkeit von r .

erübrigt. Für die Dichte aller 2 *p*-Elektronen des Neons zusammen erhalten wir den Ausdruck

$$\psi^2 = 2 \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5} (x^2 + y^2 + z^2), \text{ also } \psi^2 = 2 \frac{e^{-\frac{r}{a}}}{(2a)^5} \cdot r^2.$$

Wie wir sehen, sind die Koordinaten *x*, *y*, *z* vollständig in den Kernabstand *r* eingegangen. Das bedeutet aber nichts anderes, als daß sich bis zum Neon die 2 *p*-Elektronen zur Kugelsymmetrie ergänzt haben. Entsprechend erhalten wir eine Kurve der Funktion $\psi^2(r)$, die der des 1 *s*-Elektrons ähnlich ist (Fig. 6). In gleicher Weise wie dort ist dieses Modell zu bauen. Eine Rechnung zeigt, daß bei den *s*-Elektronenmodellen der Durchmesser der geringsten Dichte, die wir mit unseren Modellen darstellen, kleiner ist als derjenige Durchmesser des *p*-Elektronenmodells, bei dem dieses schon undurchsichtig ist. Also kann durch Hinzufügen jener Modelle das Bild des Neonatoms nicht ergänzt werden, weshalb wir auf sie verzichten dürfen.

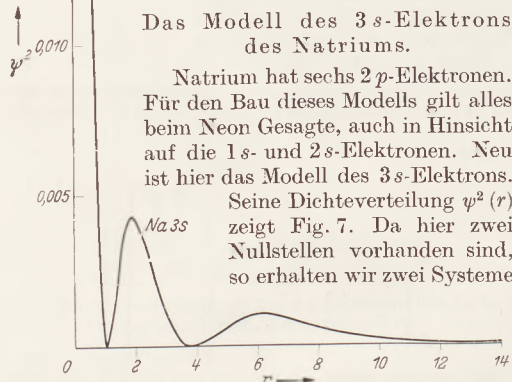


Fig. 7. Dichteverteilung ψ^2 des 3 *s*-Elektrons bei Na in Abhängigkeit von *r*.

konzentrischer Kreislänge. Im übrigen ergibt sich der Aufbau ohne weiteres aus dem, was bei dem 2 *s*-Elektron des Lithiums gesagt wurde. Ähnlich dem Lithium wird hier das Natriumion durch das Modell der 2 *p*-Elektronen dargestellt (Fig. 6).

Verwendung der Modelle zur Erklärung des Atombaus.

Jetzt haben wir zunächst kurz den Atombau mit Hilfe der Anschauung, die uns die gebauten Modelle von der Wellenmechanik vermitteln, zu schildern. Das Elektron ist hier nicht mehr wie bei Bohr ein punktförmiges Gebilde, das sich mit unvorstellbarer Geschwindigkeit auf schwer begreiflichen Bahnen bewegt. Denn wir haben hier kein dynamisches, sondern ein statisches Modell, dessen sich die Anschauung viel leichter bemächtigt. Das Elektron ist ein ruhendes Gebilde. Es ist eine Masse, die ohne die Einwirkung eines Kraftfeldes ins Unendliche auseinanderfließen würde, jeden Raum erfüllend, ähnlich

einer Gasmasse, die in einen unendlichen leeren Raum gebracht ist. Das COULOMBSche Feld des positiv geladenen Kerns erzeugt jene zunächst sonderbaren Elektronenformen, die wir durch die Modelle dargestellt haben. Die Form der 1 *s*-Elektronen ist die selbstverständlichste von allen, da sie ein unmittelbarer, anschaulicher Ausdruck des ungestörten COULOMBSchen Gesetzes ist. Die elektrischen Kräfte nehmen mit dem Quadrat der Entfernung vom Kraftzentrum radial nach allen Seiten ab, was ein kugelförmiges, von innen nach außen an Dichte abnehmendes Elektronengebilde zur Folge haben muß, genau wie es das Modell des Wasserstoffatoms zeigt. Wegen ihrer Kugelsymmetrie noch unmittelbar erklärlich sind die Formen der 2 *s*- und 3 *s*-Elektronen. Die 2 *s*-Elektronen treten dann auf, wenn bereits 1 *s*-Elektronen vorhanden sind. Auf sie wirken demnach zwei in der Richtung verschiedene Kräfte, die anziehende des Kerns, die abstoßende der 1 *s*-Elektronen. Die ersteren haben zur Folge, daß das Elektron teilweise direkt in den Anziehungsbereich des Kerns kommt, dargestellt durch die Kreisscheiben im Inneren des Modells. Infolge der anderen aber wird sich das Elektron auch teilweise außerhalb der 1 *s*-Elektronen befinden, dargestellt durch die Kreislänge (Fig. 3). Dabei zeigt das Modell außerordentlich schön, daß sich die abstoßende 2 *s*-Elektronenmasse tatsächlich wie eine Kugelschale um das kugelförmige Gebilde der 1 *s*-Elektronen herumlegt. Der Anschauung bietet es keinerlei Schwierigkeit, daß die 1 *s*- und 2 *s*-Elektronen in der Nähe des Kerns beide denselben Raum erfüllen, sich also gegenseitig durchdringen. Man denke z. B. an die gegenseitige Durchdringung von Gasmassen. Die Rechnung zeigt im übrigen, daß bei Lithium 2 *s* nur etwa 4% seiner Elektronenmasse im Inneren des Atoms sitzen und 96% die äußere Schale bilden. Bei der Betrachtung des Li-Atommodells wird ohne weiteres einleuchten, daß das im Vergleich zu den 1 *s*-Elektronen so locker aufliegende 2 *s*-Elektron verhältnismäßig leicht abtrennbar ist, Lithium also leicht Ionen bilden wird.

Eine dem 2 *s*-Elektron sehr verwandte Elektronenform ist die des 3 *s*-Elektrons, nur daß es zwei Kugelschalen bildet statt einer. Die innere Kugelschale und die besondere kugelförmige Verdichtung um den Kern haben genau den gleichen Grund, wie für das 2 *s*-Elektron ausgeführt wurde. Die zu vollständiger Kugelsymmetrie angeordneten 2 *p*-Elektronen des Natriums haben nun ihrerseits die gleiche abstoßende Wirkung auf das 3 *s*-Elektron, wie die ebenfalls kugelsymmetrischen 1 *s*-Elektronen auf das 2 *s*-Elektron. Daher sind auch sie mit einer Zone besonders geringer Elektronendichte umgeben. Die Hauptmasse des 3 *s*-Elektrons wird durch sie in Form einer umhüllenden Kugelschale nach außen gedrängt. Auch dieses Elektron wird leicht abtrennbar sein. Daher die starke Neigung des Natriums, Ionen zu bilden.

Nur die Form der 2 *p*-Elektronen läßt sich mit Hilfe einfacher anschaulicher Überlegung nicht mehr begreiflich machen. Lassen wir im Modell des 2 *p*-Elektrons des Bors den Schnitt um die

x -Achse rotieren, so erhalten wir das räumliche Gebilde. Es hat etwa die Form zweier von links und rechts her zusammengeschobener Ellipsoide. Nehmen wir zwei Plastilinkugeln und schieben sie mit leichtem Druck zusammen, so bekommen wir ein der $2p$ -Elektronenform sehr ähnliches Gebilde, was die räumliche Vorstellung außerordentlich erleichtert. Bei dem Modelle zweier $2p$ -Elektronen war das eine gegen das andere um 90° zu drehen. Die Achsen beider Elektronen, um welche die Modelle zur Erzeugung des räumlichen Bildes rotieren müssen, stehen also senkrecht aufeinander. Entsprechend muß das gefertigte Modell zweimal in aufeinander senkrecht stehenden Richtungen gedreht werden. Hier erleichtert das Plastilinmodell ganz besonders die räumliche Vorstellung. Wir erhalten nämlich das Plastilinmodell zweier $2p$ -Elektronen, indem wir zwei weitere Plastilinkugeln den ersten beiden Plastilinkugeln hinzufügen in einer Richtung, die auf der linksrechts Richtung senkrecht steht, also z. B. von oben und unten her. Dabei gelangen diese Kugeln in die das Modell rings umziehende Nut geringer Elektronendichte. Dies läßt sich nun wieder in einfacher und natürlicher Weise begreifen. Das neu hinzutretende Elektron wird naturgemäß denjenigen Raum erfüllen, an dem sich möglichst wenig Elektronenmasse befindet. Ein drittes $2p$ -Elektron würde schließlich mit seiner Rotationsachse in eine zu den beiden schon vorhandenen Rotationsachsen senkrechte Richtung gelagert werden. Das bedeutete am Plastilinkugelbeispiel, daß zwei weitere Plastilinkugeln jetzt von hinten und vorn her zu den schon vorhandenen herangebracht werden müßten. Dadurch wären die letzten Lücken der obenerwähnten Nut geringer Elektronendichte nun ebenfalls ausgefüllt. Ferner sehen wir, wenigstens grob modellmäßig, wie sich auf diese Weise ein gewisser Kugelraum immer vollständiger mit $2p$ -Elektronen erfüllt. Diese vollständige kugelsymmetrische Raumerfüllung ist nach Anbau von sechs $2p$ -Elektronen, wie wir bei Betrachtung der Funktion $\psi^2(r)$ für die $2p$ -Elektronen des Neons bemerkten, tatsächlich erreicht.

Es mögen nun einige Eigenschaften von Elementen besprochen werden, die aus den Modellen durch die Anschauung gleichsam herausgelesen werden können.

Wir beginnen mit den Edelgasen. An Hand der beiden Modelle, die wir vom Helium und Neon gebaut haben, läßt sich folgendes sagen. Die Elektronen, aus denen die beiden Atome aufgebaut sind, erfüllen so lückenlos und so dicht einen gewissen Raum, daß ein weiteres Elektron nach Erhöhung der Kernladung nicht mehr vollständig in diesen schon mit Elektronen erfüllten Raum eindringen kann. Bei Lithium konnten dies z. B. nur 4% des neuen Elektrons. Die Bildung eines negativen Ions durch Anbau eines Elektrons ohne Änderung der Kernladung können wir dann überhaupt nicht erwarten und ebensowenig ein positives Ion. Denn es wird schwer gelingen, aus einem gleichmäßig lückenlosen und dichten Gebilde von Elektronen ein Elektron zu entfernen.

Mit anderen Worten: das Modell zeigt, daß Helium und Neon keine Ionenverbindungen bilden können. Hier wie in allen folgenden Fällen dürfen wir unsere Schlüsse auf alle Elemente der gleichen Gruppe des periodischen Systems ausdehnen, indem wir gleiches chemisches Verhalten als Folge der gleichen Eigentümlichkeit des Atombaues erklären. In übertragenem Sinne können wir auch bei den wellenmechanischen Modellen die durch die BOHRsche Theorie eingebürgerte Bezeichnung beibehalten, daß Edelgase eine vollständig aufgefüllte Schale besitzen, welche die chemische Indifferenz bedingt. Diese aufgefüllten Schalen sind eben jene für neu hinzukommende Elektronen nicht mehr verfügbaren Raumteile, die durch die Edelgas-elektronen vollständig erfüllt sind. Dieses Aufgefülltsein der Edelgasschalen, das bei dem BOHRschen Modell in keiner Weise anschaulich zu begreifen war, ist in der Form des wellenmechanischen Modells sichtbar ausgedrückt. Überdies sind die Schalen selbst direkt zu sehen, da sie bei den Li- und Na-Atommodellen vom äußeren s -Elektron durch eine Zone geringer Elektronendichte auffallend geschieden sind.

Die Modelle der Alkalimetalle Li und Na lassen schon aus der Anschauung erwarten, daß das eine neu hinzugetretene Elektron aus den oben besprochenen Gründen jedenfalls leicht abtrennbar ist, also einwertig positive Ionen dieser Elemente auftreten.

Allerdings genügt diese Tatsache allein noch nicht. Denn die Abtrennung des äußersten Elektrons entgegen den positiven Kernkräften ohne ein besonderes Hilfsmittel wird nicht möglich sein, sonst wäre ja ein Alkalimetall nicht beständig. Dieses Hilfsmittel ist Wasser wegen seiner hohen Dielektrizitätskonstante $d = 80$. Das Ionisationspotential des Li beträgt 5,37 Volt, das des Na 5,12 Volt. Im Wasser sinken diese Potentiale auf den 80. Teil: Li 0,067 Volt, Na 0,064 Volt. Jetzt erst, wenn diese beiden Umstände zusammenwirken können, nämlich das in Wasser stark erniedrigte Ionisationspotential und die zur Abtrennung günstige Lage und Form der s -Elektronen, kommt die Ionisation infolge intramolekularer Kräfte zustande, die zu den stürmischen Auflösungsvorgängen der Alkalimetalle im Wasser führen. Die zurückbleibenden Edelgasschalen müssen gegenüber den Edelgasen geringere Durchmesser aufweisen, also stärker nach dem Kern hin verdichtet sein, wegen der erhöhten Kernladung. Mit dem Fortschreiten der Kernladung, also beim Weitergehen zum Beryllium, Bor, muß auch diese Verdichtung weiterschreiten, wie die weiter abnehmenden Durchmesser der Modelle der Heliumschale zeigen.

Beryllium und die Erdalkalien bilden noch zweiwertige positive Ionen, wie sich am Beryllium zeigen läßt. Mit dem Auftreten der $2p$ -Elektronen bei Bor und den folgenden Elementen bis zum Neon hört aber die Fähigkeit, positive Ionen zu bilden, auf. Dies kann im Gegensatz zum BOHRschen Modell an unseren Modellen wenigstens noch einigermaßen veranschaulicht werden. Man sieht nämlich, wie durch

die 2 *p*-Elektronen die neue noch unfertige Edelgasschale ein dichter gefügtes Gebilde wird. Das Kohlenstoffatommodell zeigt, neben das Bormodell gehalten, wie diese Verdichtung in dem Streben nach edelgasähnlicher Elektronenverteilung durch die runderen Formen des Kohlenstoffatoms mit gleichmäßigerer Dichteverteilung deutlich zum Ausdruck kommt. Diese Verdichtung hat zur Folge, daß ein einzelnes Elektron mit Hilfe unserer chemischen Mittel nicht mehr abtrennbar ist. Und alle Elektronen, die noch keiner fertigen Edelgasschale angehören, gegen die Anziehungskraft des Kernes abzutrennen, ist chemisch unmöglich. Es ist deswegen falsch, die positive Wertigkeit dieser Elemente einfach durch Abgabe aller derjenigen Elektronen zu erklären, die keiner fertigen Edelgasschale angehören, weil die Edelgaskonfiguration angestrebt werde. Man könnte im Gegenteil eher sagen, daß eben aus diesem Grunde nach Hinzutreten von 2 *p*-Elektronen eine Elektronenabgabe nicht mehr stattfindet. Jene falsche Erklärung der positiven Wertigkeit wurde im Zusammenhange mit dem BOHRschen Atommodelle gegeben. Sie ist nach der Wellenmechanik und ihren Modellen nicht mehr möglich. Eine Erklärung der Wertigkeit aller Elemente, die in wässriger Lösung keine Ionen mehr bilden, ist eine besondere Aufgabe der Wellenmechanik, deren Ergebnisse nicht in einfache, anschauliche Erklärungen gekleidet werden können. Das gleiche gilt für die negative Wertigkeit. Sie entsteht nicht durch Aufnahme von Elektronen bis zur Vollendung einer angefangenen Edelgasschale. Denn die positiven Kernkräfte können eben nur so viele Elektronen binden, wie die Kernladungszahl beträgt. Nur dort besteht eine Ausnahme, wo tatsächlich in wässriger Lösung negative Ionen beständig sind, was bei den einwertig negativen Halogenionen und z. B. dem zweiwertig negativen Schwefelion der Fall ist. Bei diesen sind noch so viele positive Kernkräfte vorhanden, daß ein bzw. zwei Elektronen ohne Änderung der Kernladungszahl festgehalten werden können.

Der auffällige Zusammenhang zwischen Wertigkeit eines Elementes und seiner Stellung im periodischen System bleibt davon unberührt, wenn er auch nicht mehr unter Anwendung der BOHRschen Theorie einfach aus der Elektronenzahl erklärt werden darf.

Bis jetzt können wir zusammenfassend mit Hilfe der Modelle erklären, daß die in die zweite und dritte Periode des Systems der Elemente gehörenden Atome aus Edelgasschalen bestehen und aus Elektronen, die solche Formen annehmen, daß nach Anbau von zwei *s*-Elektronen und sechs *p*-Elektronen eine in sich geschlossene Edelgasschale fertig ist. Diese Tatsache bedingt zugleich je acht Elemente in den beiden Perioden. Die *s*-Elektronen im besonderen sind wegen ihrer Form bei allen denjenigen Elementen leicht abtrennbar, wo noch keine *p*-Elektronen gleicher Hauptquantenzahl vorhanden sind.

In der 4. und 5. Periode stehen nicht 8, sondern 18 Elemente. Hier führen also erst 10 Elektronen mehr als bei der 2. und 3. Periode zur Vollendung

einer Edelgasschale. Diese 10 Elektronen sind *d*-Elektronen, bei denen wir oben schon erklärt haben, warum sie sich mit unseren Mitteln nicht anschaulich darstellen lassen. Trotzdem reichen unsere Modelle zu anschaulichen Erklärungen aus.

Zunächst halten wir fest, daß alle Elemente der beiden neuen Perioden, die in ihrem chemischen Verhalten mit Elementen der 2. und 3. Periode vollkommen verwandt sind, genau wie diese aus den uns bekannten *s*- und *p*-Elektronen aufgebaut sind. In der 4. Periode zeigen Kalium und Calcium und die Elemente von Gallium bis Krypton diese Verwandtschaft. Die 10 Elemente, welche sich zwischen Ca und Ga einschieben, bauen also die zehn *d*-Elektronen an. Merkwürdigerweise bilden die meisten unter ihnen zweiwertige positive Ionen in wässriger Lösung, z. B. Fe^{++} , Co^{++} usw. Das bedeutet aber nichts anderes, als daß das Modell des Berylliumatoms in seinem wesentlichsten Bestandteil, nämlich den beiden leicht abtrennbaren *s*-Elektronen, für alle diese zehn dazwischen geschobenen Elemente typisch bleibt. Die *d*-Elektronen haben demnach die Eigenschaft, sich im Inneren der schon vorhandenen Elektronen derartig einzubauen, daß sie die beiden *s*-Elektronen nicht wesentlich stören.

Von diesen zehn Elementen macht Kupfer insofern eine Ausnahme, als es auch einwertig auftreten kann. Sobald dieser Fall eintritt, kann nur ein solches Kupferatom vorgelegen haben, das statt zweier *s*-Elektronen nur ein einziges *s*-Elektron besitzt. Da die Kernkräfte sich dabei nicht geändert haben, so muß sich eines der beiden *s*-Elektronen in ein anderes verwandelt haben, und zwar, wie man weiß, in ein *d*-Elektron. Dieses ist dadurch der Möglichkeit, abgetrennt zu werden, entzogen worden. Verwandelt sich ein *d*-Elektron in ein *s*-Elektron zurück, so hat das Atom die Fähigkeit, zweifach zu ionisieren, zurückgewonnen. Eine derartige Rückwandlung findet bei Silber, das sich hier genau wie das Kupfer verhält, nicht statt. Deshalb tritt Silber nur als einwertiges Ion auf.

Diese Überlegungen gelten in gleicher Weise für alle Perioden des Systems. In die 6. Periode schieben sich nicht nur zehn, sondern vierundzwanzig neue Elemente ein. Zehn dieser Elemente haben *d*-Elektronen. Bei den anderen vierzehn beteiligt sich eine vierte, neue Elektronenart, die *f*-Elektronen, am Aufbau. Diese haben die Eigenschaft, den chemischen Charakter der Elemente wenig zu verändern, in noch höherem Maße als die *d*-Elektronen. Die Ursache ist die gleiche wie dort. Die Elemente mit den *f*-Elektronen sind die seltenen Erden. Sie ähneln sich in ihrem chemischen Verhalten so sehr, daß sie nur schwer analytisch zu erkennen und zu trennen sind.

Man sieht an diesen Beispielen, wie weit man an Hand der wenigen wellenmechanischen Modelle, die wir gebaut haben, in der Erklärung des periodischen Systems vordringen kann, bis zu Erkenntnissen, bei denen das BOHRsche Modell schon längst versagt. Die zahlreichen anschaulichen Anwendungen der wellenmechanischen Modelle

sind so viel ergiebiger als bei den BOHRschen Modellen, weil nicht nur die Zahl der Elektronen, sondern auch ihre Formen berücksichtigt werden, die ja, wie wir sahen, eine ganze Reihe Erscheinungen bedingen. Man braucht deshalb nur so viele Modelle anzufertigen, daß auch die Rolle, welche die Elektronenformen spielen, anschaulich erkannt werden kann.

Um prinzipiellen methodischen Einwänden zu begegnen, sei bemerkt, daß zur einführenden Behandlung des wellenmechanischen Atombaues keine anderen Voraussetzungen gemacht zu werden brauchen als die, welche zur Behandlung der BOHRschen Modelle notwendig waren. Denn die durch beide Hypothesen erklärten Tatsachen werden durch die grundlegend verschiedene Vorstellung, die man sich in beiden Fällen vom Elektron macht, in keiner Weise berührt.

Die Darbietung des Stoffes wird erst an der Stelle verschieden, wo es sich darum handelt, eine Vorstellung vom Elektron zu vermitteln. Durch nichts läßt es sich hier rechtfertigen, vom Elektron die falsche Vorstellung eines Massenpunktes zu erzeugen, die das alte BOHRsche Modell fordert, auch nicht durch den Umstand, daß schnellbewegte Elektronen in Kathodenstrahlen als solche behandelt werden müssen. Da die Elektronen in den Atomen stationäre Gebilde sind, besitzen sie Ausdehnung und Form, die, wie durch Beispiele belegt, zur Erklärung interessanter Tatsachen sogar gefordert werden müssen.

Herrn Prof. W. WEIZEL danke ich herzlich für seine Anregung und seine dauernde Unterstützung bei dieser Arbeit.

*Institut für theoretische Physik der
Technischen Hochschule Karlsruhe.*

2. Forschungen und Ergebnisse.

Elektrizität und lebender Organismus¹. Von HANS LULLIES in Köln.

Es ist 150 Jahre her, daß GALVANI² zum ersten Male über seine berühmten Versuche an Froschchenkeln berichtete und damit der Erforschung der elektrischen Erscheinungen überhaupt einen entscheidenden Anstoß gab. Wurden bei einem frisch enthäuteten Froschschenkelpräparat der Wadenmuskel und sein Nerv durch einen Metallbügel verbunden, so traten regelmäßig Zuckungen im Muskel auf. Es war bekannt, daß solche Zuckungen durch die elektrische Entladung einer Leydener Flasche bewirkt werden konnten, also, folgerte GALVANI, ist hier Elektrizität im Spiele: Woher kann sie anders kommen als aus dem Muskel? Es gibt demnach eine „tierische Elektrizität“. Die vorzüglichsten Behälter dieser Elektrizität sind die Muskeln, sagte GALVANI, die Organe, in denen sie vor allem wirkt, sind die Nerven. Das wichtigste Absonderungsorgan ist das Gehirn.

Diese Mitteilung erregte ungeheures Aufsehen. Die Physiologen glaubten endlich die geheimnisvolle Lebenskraft in Händen zu haben. Allerlei Nervenkrankheiten, Ischias, Starrkrampf, Epilepsie, schienen erklärt und heilbar. Sehr bald aber drohte das ganze Gebäude zusammenzubrechen, als der Physiker VOLTA ganz eindeutig zeigte, daß bei den Versuchen GALVANIS nicht das tierische Gewebe, sondern das Metall — besser nimmt man ja zwei verschiedene Metalle — für das Auftreten von Elektrizität verantwortlich zu machen ist. Man nennt diese Metallelektrizität auch heute galvanische Elektrizität. Die „tierische Elektrizität“ GALVANIS schien abgetan.

Es ist erstaunlich, aber lehrreich für die Wissenschaftsgeschichte, wenn man sieht, wie GALVANI trotzdem an seiner Idee festhält, seine

Versuche hundertfach abwandelt und schließlich wirklich die „Zuckung ohne Metalle“, wie man sagte, und damit seine tierische Elektrizität entdeckte: Der Froschmuskel zuckt auch, wenn sein Nerv, ohne jede Beteiligung eines Metalls, in bestimmter Weise mit dem eigenen Muskel in Berührung gebracht wird. Hier ist es in der Tat tierische Elektrizität, eine Spannungsdifferenz zwischen verschiedenen Geweben, die als Reiz wirkt, die den Nerven erregt und damit den Muskel zum Zucken bringt.

Wir entnehmen diesem einfachen Versuch von GALVANI, der gerade in seiner Einfachheit so eindrucksvoll ist, eine grundlegende Erkenntnis. Elektrizität ist in zweierlei Weise mit Lebenserscheinungen verknüpft: Lebende Gewebe, hier der Muskel, produzieren Elektrizität. Gewebe, in diesem Fall der Nerv, werden aber auch durch Elektrizität in Tätigkeit versetzt, „erregt“. Das Auftreten von Elektrizität ist also sowohl Grund als auch Folge von Lebenstätigkeit, und damit muß, glaube ich, auch dem Fernerstehenden schon die ganz große Bedeutung elektrischer Vorgänge, sowohl für das Lebensgeschehen, wie auch für die Erforschung dieses Geschehens zum Bewußtsein kommen.

Wir haben in dem elektrischen Strom einmal das schonendste Mittel, in den Ablauf der normalen Lebenstätigkeit eines Gewebes oder Organes einzugreifen, zu reizen oder zu hemmen. Dabei kann der Eingriff leicht und ohne jede Schädigung wieder rückgängig gemacht werden. Der elektrische Reiz scheint dem meist unbekannten natürlichen Reiz besonders nahe zu kommen. — Andererseits ermöglichen uns die elektrischen Erscheinungen an tätigen Organen, die sogenannten Aktions- oder Tätigkeitsströme, die man nicht nur am Muskel, sondern bei der Tätigkeit aller Zellen und Gewebe ableiten kann, Einblicke in Lebensvorgänge, die wir auf keine andere Weise erhalten könnten. Wir sind in der Lage, an Hand der elektrischen Vorgänge, mit denen jede Veränderung in dem so fein ausbalancierten Gleichgewicht der lebenden Substanz einhergeht, diese Lebens-

¹ Nach einer öffentlichen Einführungsvorlesung bei der Übernahme des Lehrstuhles für Physiologie an der Universität Köln.

² Vgl. DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen über tierische Elektrizität, Bd. I. Berlin 1849.

vorgänge zu verfolgen, ohne in das feine Gleichgewicht ihres Ablaufes mit zerstörender Hand einzugreifen und damit den Vorgang von Grund auf zu verändern, oder gar das Leben, das wohl nichts anderes ist als dieser unaßbare Gleichgewichtszustand, zu zerstören.

Gerade in dieser Richtung sind im letzten Jahrzehnt wichtige neue Erkenntnisse gewonnen durch die Fortschritte der modernen Verstärkertechnik, die dem Physiologen in ähnlicher Weise neue Möglichkeiten eröffnet, wie seinerzeit die Erfindung des Mikroskops dem Anatomen. Die Spannungsdifferenzen und die Elektrizitätsmengen, die bei der gewöhnlichen Tätigkeit der Muskeln oder gar der Nerven auftreten, sind sehr klein, und der Ablauf der Vorgänge ist äußerst rasch. Der elektrische Vorgang, der in bestimmten Nervenfasern den Erregungsvorgang begleitet, erreicht in wenig mehr als 0,1 m sec sein Maximum, die Spannung, die man nach außen hin ableiten kann, beträgt oft weniger als 0,1 m Volt. Erst die Verstärkung durch die Elektronenröhre macht es möglich, derartig unscheinbare Prozesse so zu vergrößern, daß man sie nicht nur nachweisen, sondern in allen Einzelheiten verfolgen kann.

Umgekehrt genügen geringste elektrische Energiemengen der gleichen Größenordnung, um eine Wirkung auf das lebende Gebilde auszuüben. Ein Froschnerv, der einige 1000 Fasern enthält, wird unter günstigen Bedingungen durch eine Elektrizitätsmenge von rund 10^{-10} Coulomb erregt, bei einer Spannung von etwa 1/100 Volt an den entscheidenden Orten. Der Energieaufwand für die Reizung einer einzelnen Faser beträgt also weniger als 10^{-15} Watt-sec. In die Sprache des täglichen Lebens übersetzt heißt das: Man könnte mit dem Strom, der eine gewöhnliche Glühlampe von 25 Watt eine Sekunde lang zum Leuchten bringt, eine Nervenfasern 80 Millionen Jahre reizen; denn zehn Impulse in der Sekunde und weniger reichen aus, um im Zentralorgan eine Empfindung auszulösen oder eine Gruppe Muskelfasern zur Verkürzung zu bringen.

Und doch ist trotz dieser scheinbar so winzigen Beträge die notwendige Energie für die künstliche Reizung eines Nerven immer noch riesengroß im Vergleich zu der Energie, die unter natürlichen Bedingungen den Nerven, oder gar Nervenendapparate, Sinnesorgane, zu erregen vermag. Der natürliche Impuls, der den Nerven bei der Erregung passiert, läuft wahrscheinlich mit einer noch hundertmal so kleinen Energieentwicklung ab, wie man aus Messungen der Wärmebildung bei der Nerventätigkeit festgestellt hat. Und bei den Sinnesorganen ist die Empfindlichkeit tatsächlich bis an die Grenze des Denkbaren gesteigert: Ein einziges Lichtquant, das das Auge trifft, scheint zu Impulsen in einer Sehnervenfaser und zu einer Lichtempfindung zu führen (v. KRIES, WEISS und LAQUEUR¹). Und das menschliche Ohr ist imstande, Energiemengen

von der Größenordnung 10^{-13} erg in Nervenimpulse umzuwandeln (M. WIEN)¹. Das ist der hunderttausendste Teil der Energie, die wir zur künstlichen Reizung einer Nervenfasern brauchen.

Wie in einem modernen Rundfunkempfänger sehen wir auch im Organismus Verstärker-Stufen relaisartig hintereinander geschaltet: vom Sinnesorgan aus, der höchstempfindlichen Eingangsstufe, die auf die Energie einiger Quanten oder die kinetische Energie einiger Moleküle anspricht, geht es über den Nerven und die Nervenzelle zum Muskel, der Endstufe, bei der die ausgelöste Energie nach Meterkilogramm gemessen wird. Ein Einblick in die Vorgänge auf den einzelnen Stufen ist uns offenbar nur mit Meßeinrichtungen möglich, deren Empfindlichkeit mindestens so groß ist wie die der untersuchten Stufe. Zur Zeit verfügen wir über solche Einrichtungen für die Vorgänge im Nervensystem. An deren Aufklärung wird daher heute besonders eifrig gearbeitet.

Es drängt sich natürlich die Frage auf, wie dieser Zusammenhang zwischen den elektrischen Vorgängen und den Lebensvorgängen in den Zellen und Geweben zu denken ist: Wie wirkt der elektrische Reiz, und wie führen Vorgänge im Gewebe zu elektrischen Spannungsdifferenzen und Strömen? Die Antwort auf diese Frage muß hier etwas summarisch ausfallen: Das Lebensgeschehen ist ja letzten Endes ein chemisches Geschehen. Es müssen also schließlich stoffliche, chemische Prozesse sein, die der elektrische Reiz auslöst, und es müssen wohl stoffliche Prozesse sein, die zu den elektrischen Veränderungen, den Aktionsströmen führen.

Wir wissen, daß viele Substanzen, Salze, Säuren und Basen, die sogenannten Elektrolyte, in wässriger Lösung in elektrisch geladene Teilchen zerfallen sind, z. B. ist das Kochsalzmolekül in positive Natrium- und negative Chlorionen zerfallen oder dissoziiert. Diese Teilchen wandern, wenn ein elektrischer Strom durch die Lösung fließt, und werden auch in einem Gewebe wandern, wenn ein Strom hindurchgeschickt wird. Jedes Gewebe besitzt aber eine gewisse Struktur. Es sind Membranen und Grenzflächen vorhanden, die sich den verschiedenen Ionen gegenüber verschieden verhalten: Sie lassen die einen hindurch, die andern nicht, sondern halten sie fest. Es werden sich Ionen an solchen Grenzflächen stauen, wie Fische an einem engmaschigen Netz. Es tritt eine Konzentrationsänderung (Polarisation) durch den elektrischen Reiz auf, die der Anlaß ist für weitere physikalische oder chemische Veränderungen, und diese bedeuten den Erregungsvorgang oder lösen ihn aus.

Umgekehrt werden alle Prozesse, die zu Änderungen der Ionenkonzentration an solchen Grenzflächen führen, besonders aber auch Veränderungen der Grenzflächen selbst, Änderungen der Potentialdifferenzen an den Grenzflächen bewirken. Auf solchen Änderungen beruht der

¹ v. KRIES: Z. Sinnesphysiol. **41**, 373 (1907). — WEISS u. LAQUEUR: Beitr. z. Physiol. (Festschrift für L. HERMANN) Stuttgart 1908, S. 189.

¹ WIEN, M.: Pflügers Arch. **97**, 1 (1903); vgl. auch GILDEMEISTER: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 11, S. 538.

Aktionsstrom, der uns Nachricht von jedem derartigen Vorgang gibt. Solche Vorstellungen, die auf NERNST¹ zurückgehen, haben sich durch zahlreiche genaue Messungen gut begründen lassen und machen uns die meisten Beobachtungen verständlich.

An einigen Beispielen soll jetzt gezeigt werden, einmal was die Elektrizität in der angedeuteten Weise im Organismus zu wirken vermag, und zweitens, was sie uns über sonst unzugängliche Vorgänge mitteilen kann.

Elektrische Reize werden in Medizin und Forschung, wie man einteilen könnte², in dreierlei Absicht angewandt. Man reizt erstens aus praktischen Gründen, wenn der Arzt etwa einen gelähmten Muskel durch elektrische Reizung vor der Atrophie, dem Hinschwinden, schützen will. Man kann auch durch einen geeigneten elektrischen Strom die Erregbarkeit eines gelähmten Gebildes steigern, wohl auch die gesteigerte Erregbarkeit eines anderen herabzusetzen versuchen. Beides ist je nach der angewandten Stromrichtung möglich.

Man gebraucht elektrische Reize zweitens aus diagnostischen Gründen: Kranke Nerven und Muskeln verhalten sich vielfach elektrischen Reizen gegenüber anders als gesunde, besonders sehr kurz dauernden Reizen gegenüber. Wenn die Prozesse in einem geschädigten Nerven sich langsamer abspielen als in einem normalen, dann wird er auf eine bestimmte Elektrizitätsmenge, die in einer gewissen kurzen Zeit ins Feld geführt wird, im Gegensatz zum normalen Nerven nicht mehr ansprechen. Jedes Gewebe hat seine sogenannte Kennzeit oder Chronaxie (GILDEMEISTER, LAPICQUE³). Sie ist durch die Dauer eines bestimmten Stromstoßes definiert, bei der das Gewebe eben noch anspricht. Diese Zeit ist für den motorischen Nerven eines Menschen äußerst kurz, sie beträgt weniger als 1 msec. Für den Muskel einer Schnecke ist sie tausendmal so lang. In diesem Verhältnis stehen offenbar die Geschwindigkeiten, mit denen die Erregungsvorgänge in den beiden Organen ablaufen. Diese Tatsachen leiten schon über zu dem dritten Anwendungsgebiet elektrischer Reize.

Man reizt drittens aus theoretischen Gründen. Der Physiologe wendet elektrische Ströme, deren Verlauf er genau kennt und beherrscht, an, um über die Prozesse bei dem Erregungsvorgang selbst etwas zu erfahren. Aus solchen Untersuchungen haben sich dann oft wieder praktisch wichtige Gesichtspunkte ergeben.

Wenn Wechselströme zur Reizung benutzt werden, also Ströme, die rasch ihre Richtung wechseln, so stellt man fest, daß bei steigender

Wechselzahl immer größere Stromstärken nötig sind, um eine Reizwirkung zu erzielen. Das ist ohne weiteres verständlich: Die Elektrizitätsmenge, die in einer Wechselstromperiode für die Einwirkung zur Verfügung steht, wird mit abnehmender Dauer immer kleiner. Bei hohen Frequenzen, bei 100000 Wechseln pro sec und mehr, tritt die Reizwirkung schon völlig zurück gegenüber der Wärmewirkung derartig starker Ströme. Man kann mit solchen hochfrequenten Wechselströmen lebende Gewebe direkt heizen, wie den Draht in einer Glühlampe oder in einem elektrischen Kocher, ohne sie zu erregen. Diese innere Durchwärmung oder Diathermie ist ein ganz gebräuchliches Heilmittel bei allerlei Erkrankungen des menschlichen Körpers geworden.

Wenn man die Frequenz noch viel höher steigert, der Strom nicht millionenmal in der Sekunde seine Richtung wechselt, sondern fast milliardenmal, dann braucht man den Strom dem Körper gar nicht mehr durch aufgesetzte Elektroden zuzuleiten, sondern ein Körperteil erwärmt sich bereits in dem Luftraum zwischen zwei Metallplatten, wie das Dielektrikum eines schlechten Kondensators. Man treibt dann „Ultrakurzwellentherapie“ (SCHLIEPHAKE¹), wie es heißt, im Prinzip dasselbe wie die Diathermie, aber die Strom- und damit die Wärmeverteilung kann anders sein als bei der Diathermie: Sie hängt nicht mehr allein von dem elektrischen Widerstand der Gewebe ab, sondern auch von einer anderen Eigenschaft, ihrer Dielektrizitätskonstante.

Vielleicht steckt aber doch noch etwas mehr hinter diesen „Ultrakurzwellen“. Es handelt sich dabei um elektrische Schwingungen, um Wellen von einigen Metern Länge. Wir wissen, daß elektromagnetische Schwingungen, wenn sie auf kleine Materieteilchen treffen, dort Schwingungen anregen, deren Frequenz von Eigenfrequenzen in den Teilchen abhängt. Auf Schwingungen, deren Frequenz von der Größenordnung der Schwingungszahlen des sichtbaren Lichtes ist, sprechen die verschiedensten organischen und anorganischen Moleküle an. Ihre Lösungen zeigen bei der Untersuchung mit dem Spektrographen bei bestimmten Frequenzen oder Wellenlängen anomale Dispersion als Ausdruck solcher Resonanzerscheinungen im Molekül. Im lebenden Gewebe treten uns nun ungeheuer komplizierte Moleküle gegenüber, von solcher Größe und derartigem Aufbau, daß sie sehr wohl Eigenfrequenzen besitzen könnten, die um mehrere Zehnerpotenzen tiefer liegen als die Frequenz der langwelligsten untersuchten ultraroten Strahlen und damit in die Größenordnung der Frequenz solcher Kurzwellen fallen. Man hat vor kurzem eine solche Resonanzstelle bei einem fettartigen Stoff, dem Sphingomyelin, bei einer Wellenlänge von etwa 5 m gefunden (HAUSSER, KUHN und GIRAL²). Bei dieser Frequenz geraten also Bestandteile dieses Moleküls

¹ NERNST, W.: Pflügers Arch. **122**, 275 (1908); vgl. auch CREMER: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 8, 2, S. 999 und Bd. 9, S. 252.

² LULLIES, H.: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 5 A, S. 937f.

³ GILDEMEISTER, M.: Münch. med. Wschr. **58**, 1113 (1911). — LAPICQUE, L.: L'excitabilité en fonction du temps. Paris 1926.

¹ SCHLIEPHAKE, E.: Kurzwellentherapie, 2. Aufl. Jena 1935.

² HAUSSER, J., R. KUHN u. F. GIRAL: Naturwissensch. **23**, 639 (1935).

in lebhafte Mitschwingungen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß durch solche Schwingungen im Molekül oder in seiner Umgebung Veränderungen irgendwelcher Art eingeleitet werden. Das Sphingomyelin ist ein wichtiger Bestandteil aller Zellen, besonders aber des Nervensystems. Es eröffnen sich jedenfalls der weiteren Forschung hier ganz eigenartige, reizvolle Ausblicke.

Wenn man umgekehrt die Frequenz eines rasch seine Richtung wechselnden Stromes immer weiter herabsetzt, nimmt die Reizwirkung zu. Es sind immer kleinere Stromstärken notwendig, um einen Nerven zu erregen. Bei einer bestimmten Frequenz jedoch durchläuft diese eben wirksame Stromstärke ein Minimum. Das Fließen eines konstanten Stromes, die Frequenz Null, ist wieder ganz unwirksam. Dieses Frequenzoptimum für die Reizwirkung hängt offenbar wieder mit der Geschwindigkeit der Vorgänge im Gewebe zusammen, die der Reiz auslöst. Das Optimum liegt für den peripheren Nerven bei einer Frequenz von 100 bis 200 Wechseln pro Sekunde, beim Skelettmuskel und auch bei den erregbaren Gebilden des Herzens bei etwa 50 Wechseln. Es ist dies offenbar auch eine Art Resonanz zwischen dem Reizstrom und der „Eigenfrequenz“ des Gewebes.

Bei der Einwirkung starker Ströme wird umgekehrt ein Wechselstrom derartiger Frequenz besonders verderblich wirken. Bei elektrischen Unfällen¹ durch Berühren einer Starkstromleitung wirkt der Wechselstrom von 50 Perioden, der bei der allgemeinen Elektrizitätsversorgung am gebräuchlichsten ist, gerade optimal in dieser Bedeutung auf die Muskulatur und vor allem auf den Herzmuskel. Er wirkt deshalb oft bei viel geringeren Spannungen tödlich als ein Gleichstrom, zumal die Stromstärke eines Gleichstroms durch die Polarisation der Haut nach Bruchteilen einer Sekunde beträchtlich abnimmt. Jedenfalls ist die Ursache des Todes bei solchen Unfällen in vielen Fällen die Wirkung des Stromes auf das Herz. Das Herz „flimmert“, es kontrahiert sich viele hundert Mal in der Minute und fördert kein Blut. Auch diese Stromwirkung ist aber reversibel. Noch nach längerer Zeit kann das Herz wieder in seinen normalen Rhythmus zurückfallen, so daß gerade bei elektrischen Unfällen Wiederbelebungsversuche nie lange genug fortgesetzt werden können.

Eine eigenartige Wirkung elektrischer Ströme auf das Zentralnervensystem wäre schließlich in diesem Zusammenhang noch zu nennen: Die sogenannte Elektro-Narkose (LEDUC²). Wenn man einen Gleichstrom, der in der Sekunde etwa 100mal rhythmisch unterbrochen wird, durch den Kopf leitet und ganz allmählich verstärkt, sich mit ihm

einschleicht, wie der Fachaussdruck lautet, so schwindet bei einer gewissen Stromstärke das Bewußtsein. Tiere und Menschen schlafen ein, reagieren nicht auf sensible Reize und wachen erst nach Ausschalten des Stromes wieder auf. So beschrieben wäre dieser Strom ein ideales Verfahren der Betäubung, z. B. bei operativen Eingriffen. Leider ist diese Narkose aber nicht ungefährlich. Bei nicht ganz sorgfältigem Einschleichen, oft auch ohne ersichtlichen Grund, schlägt die Lähmung plötzlich in eine Erregung um, es treten Krämpfe auf. Eine praktische Anwendung der Elektronarkose beim Menschen kommt jedenfalls vorläufig nicht in Frage.

Die Möglichkeit, durch einen solchen Eingriff, also durch Reizung in bestimmter Frequenz, das Großhirn auszuschalten, wirkt aber ein interessantes Licht auf die normalen Vorgänge im Zentralnervensystem. Auch bei der normalen Tätigkeit der Zentren spielt die Blockierung eines Abschnitts durch die Tätigkeit anderer Gebiete eine große Rolle. Auf solche Fragen gerade hat man neuerdings direkt Antwort erhalten können durch die Beobachtung der aktiven elektrischen Vorgänge, also der Aktions- oder Tätigkeitsströme, denen wir uns damit zuwenden.

Recht bekannt ist ja, daß der Arzt die Aktionsströme des Herzens aufzeichnet und aus dem sog. Elektrokardiogramm wichtige Schlüsse auf die Tätigkeit des Herzens ziehen kann. Man braucht nur von beiden Händen eines Menschen zu einem empfindlichen, rasch reagierenden Galvanometer, z. B. einem „Saitengalvanometer“, abzuleiten, dann zeigt das Instrument durch Ausschläge im Rhythmus der Herztätigkeit Potentialschwankungen an, die offenbar mit der Herztätigkeit zusammenhängen (EINTHOVEN¹). Wichtig ist die Erkenntnis, daß diese Ströme nichts mit dem Kontraktionsvorgang des Herzmuskels, sondern nur etwas mit dem Erregungsvorgang zu tun haben. Damit entfällt leider die Möglichkeit, aus dem Elektrokardiogramm etwas über die Kraft und Leistungsfähigkeit des Muskels auszusagen. Die Möglichkeit, sich über die zeitlichen Verhältnisse bei der Ausbreitung der Erregung im Herzmuskel genauestens zu orientieren, ist aber schon äußerst wichtig für den Kliniker.

Auch von jedem anderen willkürlich kontrahierten Muskel lassen sich Aktionsströme ableiten. Es handelt sich bei der andauernden Kontraktion eines Körpermuskels, z. B. des Bizeps eines Armes, nicht etwa um einen entsprechend lange andauernden elektrischen Vorgang, sondern um zahlreiche Stromschwankungen, etwa 50 bis 100 in der Sekunde, während der ganzen Dauer der Verkürzung. Es ist bei kräftiger Kontraktion etwa diejenige Frequenz, mit der man auch den Muskel optimal reizen konnte. Die Verkürzung des Muskels setzt sich also aus einer Reihe sehr rasch aufeinanderfolgender Einzelprozesse zusammen. Ganz ebenso zeigt der Nerv, der die

¹ Übersicht bei ROSENBERG: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 8, 2, S. 956.

² LEDUC, St.: C. r. Acad. Sci. Paris 85, 199 (1902); vgl. auch ROSENBERG, H.: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 8, 2, S. 979.

¹ EINTHOVEN: Die Aktionsströme des Herzens. Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 8, 2, S. 785.

Impulse vom Zentralnervensystem zum Muskel leitet, durch seine Aktionsströme an, daß auch er rhythmisch tätig ist. Bis zu 200, ja 300 solcher Impulse in der Sekunde sind in einer Nervenfasernachweisbar. Gerade über den Nerven und das Nervensystem haben wir durch die Untersuchung der Aktionsströme im letzten Jahrzehnt eine Menge Neues erfahren¹. Man kann ja einem Nerven seine Tätigkeit nicht von außen ansehen, wie etwa einem Muskel oder einer Drüse. Nur der Aktionsstrom gibt uns die Möglichkeit, den geheimnisvollen Erregungsvorgang wirklich zu verfolgen.

So hat man sich von der außerordentlichen Verschiedenheit der Nervenfasern, die in einem Nerven verlaufen, überzeugen müssen. Man kann nicht schlechthin von Eigenschaften eines Nerven, etwa des Ischiasnerven, sprechen, von seiner Leitungsgeschwindigkeit oder seiner Empfindlichkeit, seiner Reizschwelle. Ein solcher Nerv besteht aus einer großen Menge verschiedener Fasern, die sich nicht nur anatomisch unterscheiden lassen — sie sind z. B. sehr verschieden dick —, sondern auch ganz verschiedene Eigenschaften, und wie sich weiter herausstellte, auch ganz verschiedene Aufgaben haben.

Die dicksten Fasern, etwa 15 bis 20 μ Durchmesser, leiten am schnellsten — beim Warmblüter 80—100 m in der Sekunde —, und sind schon durch die schwächsten und kürzesten Reize zu erregen. Es sind die Bewegungs- und Empfindungsfasern für die flink arbeitende Körpermuskulatur. Die dünnsten Fasern von 1 bis 2 μ Durchmesser arbeiten in jeder Beziehung langsam, leiten nur $\frac{1}{2}$ bis 1 m in der Sekunde und brauchen starke und langdauernde Reize, um erregt zu werden. Es sind die Fasern, die die Blutgefäße und andere glatte, langsam arbeitende Muskeln versorgen, die sogenannten efferenten sympathischen Fasern. Dazwischen gibt es alle möglichen Stufen und Gruppen. Fasern von 10 μ Durchmesser und etwa 30 m Leitungsgeschwindigkeit scheinen die Erregungen des Schmerz- und Temperatursinnes zu vermitteln. Fasern von 2 bis 6 μ Durchmesser und etwa 10 m Leitungsgeschwindigkeit bilden einen wichtigen Teil des autonomen Parasympathikus. Praktisch wichtig ist vielleicht die sehr verschiedene Empfindlichkeit der verschiedenen Fasergruppen gegenüber narkotisch wirkenden Substanzen, die sich bei der örtlichen Betäubung bemerkbar machen müßte.

Welche Fragen die Forschung durch solche Untersuchungen an peripheren Nerven zu klären vermag, kann nur an einem Beispiel erläutert werden.

Von der Teilungsstelle der großen Halsschlagader gehen Nerven aus, deren Bedeutung für die Regulation des Blutdruckes vor etwa 10 Jahren im Kölner physiologischen Institut (HERING, KOCH²) erkannt ist. Eine Steigerung des Blut-

druckes an dieser Stelle setzt auf dem Weg über das Zentralnervensystem die Mechanismen in Tätigkeit, die den Blutdruck wieder senken: Die Herztätigkeit wird gehemmt, die Gefäße in der Körperperipherie erweitern sich. Andererseits wurde später, wenn auch nicht ohne Widerspruch behauptet, daß von dieser Stelle aus auch die Atmung beeinflußt werden kann, und zwar sollte es vor allem ein erhöhter Kohlensäuregehalt des Blutes sein, der hier, von der Teilungsstelle der Halsschlagader aus, die Atembewegungen steigert.

Bei der Ableitung der Aktionsströme von dem Nerven, der von dieser Stelle ausgeht, dem Carotissinusnerven, erhält man nun tatsächlich, wie kürzlich gezeigt werden konnte (ZOTTERMANN¹), zwei Arten von Aktionsströmen: Die einen stimmen überein mit denen, wie sie von einem Drucksinnesorgan der Haut in einem Nerven bewirkt werden, und erfolgen salvenartig im Rhythmus der Herztätigkeit. Ihr Maximum fällt mit dem Maximum des Blutdruckes zusammen. Es ist keine Frage, daß diese der Ausdruck der blutdruckregulierenden Impulse sind. Zweitens kommen aber auch kleinere Potentialschwankungen vor, die stark zunehmen, wenn die Atmung behindert wird, und der Kohlensäuregehalt des Blutes steigt. Sie sind sehr ähnlich denen, die man bei Reizung der Geschmackskörperchen der Zunge im Geschmacksnerven erhält, also offenbar Ausdruck der Erregung von Chemorezeptoren. Solche liegen, wie die weitere Analyse zeigte, in einer kleinen Blutdrüse, die an der Teilungsstelle der Schlagader liegt und Nervenfasern in den gleichen Nerven abgibt wie die Gefäßwand. Nimmt man hinzu, daß in der Wand des Blutgefäßes Gebilde liegen, die den Drucksinnesapparaten der Haut entsprechen, in der kleinen Carotiddrüse Gebilde, die den Geschmackskörperchen der Zunge ähnlich sind, so scheint die Bedeutung dieser wichtigen Gegend für die Regulierung von Kreislauf und Atmung — der Einfluß auf die Atmung kann übrigens normalerweise keine große Rolle spielen — vollständig geklärt.

Außer der Dicke ist für die Geschwindigkeit des Arbeitens einer Nervenfasern noch ein anderes anatomisches Merkmal von entscheidender Bedeutung, die sogenannte Markscheide. Fasern, die eine solche Hülle aus Myelin besitzen, arbeiten etwa 10mal so schnell wie gleich dicke Fasern ohne Markscheide und unterscheiden sich vielleicht noch in einer weiteren grundsätzlich wichtigen Eigenschaft: Der Impuls in der markhaltigen Nervenfasern gehorcht dem sogenannten Alles- oder Nichts-gesetz, das für die dünnen marklosen Fasern scheinbar nicht gilt. Das heißt: der Erregungsvorgang pflanzt sich über den markhaltigen Nerven — das sind beim Wirbeltier alle rasch arbeitenden Nerven —, wenn er sich überhaupt fortpflanzt, mit einer bestimmten maximalen Stärke fort. Der Nerv leistet also bei der Fortleitung eines Impulses alles oder nichts. Er verhält sich auf einen Reiz wie eine angezündete

¹ Vgl. z. B. SCHAEFER, H.: *Erg. Physiol. u. Pharmak.* 36, 157 (1933).

² HERING, H. E.: *Die Carotissinusreflexe*. Dresden 1927. — KOCH, E.: *Die Selbststeuerung des Kreislaufs*. Leipzig 1930.

¹ ZOTTERMANN, Y.: *Skand. Arch. f. Physiol.* 72, 73 (1935).

Lunte, die einmal angezündet, abbrennt, mit einer Geschwindigkeit und einer Intensität, die durch die örtlichen Bedingungen gegeben ist, ganz ohne Rücksicht auf den Vorgang, der den Prozeß eingeleitet hat, also ohne Rücksicht auf die Größe des Reizes.

Das führt zu einer interessanten Frage, auf die auch die Untersuchung der Aktionsströme Antwort gegeben hat: Wie ist es denn unter diesen Umständen möglich, daß eine Nervenfasern, die wie eine Lunte funktioniert, trotzdem feinste Abstufungen übermittelt? Ein Tastkörperchen der Haut z. B. steht durch eine einzige Nervenfasern mit dem Zentrum in Verbindung. Ein Druck auf das Körperchen ruft, je nach seiner Stärke, eine entsprechend abgestufte Empfindung hervor. Wie ist das mit der Tatsache vereinbar, daß der Nerv nur Impulse bestimmter unveränderlicher Stärke zu leiten vermag? Die Antwort lautet: Die Nervenfasern leistet das durch Änderung der Frequenz der Impulse. Man findet bei einem schwachen Druckreiz einige wenige Aktionsströme in der Sekunde; mit Zunahme des Druckes nimmt ihre Zahl zu und kann bei höchster Reizstärke mehrere hundert in der Sekunde erreichen. Diese Tatsache ist zuerst von ADRIAN¹ festgestellt, und ähnliches ist an allen bisher untersuchten Organen gefunden worden. Man hat außer den Druckpunkten auch die Wärme-, Kälte- und Schmerzpunkte der Haut gereizt; man hat die sensiblen Endorgane in der Muskulatur, die Geschmackskörperchen der Zunge, auch die Netzhaut des Auges untersucht, stets nimmt mit Zunahme der Reizgröße die Zahl der Erregungswellen im zugehörigen Nerven zu. Das Zentralnervensystem ist es, das offenbar diese Impulse summiert. Um ein Bild zu gebrauchen: Der einzelne Impuls in der Nervenfasern vermittelt wie das einzelne Geschöß eines Maschinengewehres dem Zentrum einen bestimmten unveränderlichen Eindruck. Der Gesamteindruck wird jedoch bei 20 Treffern in der Sekunde größer sein als bei 10.

Die Intensität einer Empfindung wächst, wie man lange weiß, nicht etwa proportional der Größe eines Reizes, sondern ist eine logarithmische Funktion des Reizes, wie es das WEBER-FECHNERSche Gesetz formuliert. Tatsächlich ergibt sich für die Abhängigkeit der Frequenz der Aktionsströme in einem Nerven von der Reizgröße die gleiche logarithmische Abhängigkeit: Bei schwachen Reizen bewirken kleine Unterschiede Frequenzänderungen, die bei starken Reizen erst durch entsprechend größere Unterschiede in der Reizstärke hervorgerufen werden.

Noch ein anderer Umstand gibt Veranlassung, die Frequenz der Impulse in der Nervenfasern direkt proportional der Intensität des Vorganges in der Nervenzelle zu setzen, um nicht zu sagen, der Empfindungsgröße: Wir wissen, daß bei einem andauernden Reiz gleichbleibender Stärke, der ein Sinnesorgan trifft, die Empfindung allmäh-

lich abklingt. Man gewöhnt sich an einen Schmerz-, Geschmacks- oder Geruchsreiz und empfindet ihn schließlich überhaupt nicht mehr. In ganz ähnlicher Weise nimmt die Frequenz der Impulse im Nerven ab (ADRIAN). Die Pausen zwischen den einzelnen Wellen werden immer größer, schließlich hören die Aktionsströme ganz auf, trotz unveränderter Reizgröße, also etwa bei einem konstanten unveränderten Druck auf ein Tastkörperchen der Haut. In allen diesen Fällen gewöhnt sich also nicht das Zentralorgan an den Reiz, sondern das Aufnahmeorgan in der Peripherie. Die Empfindungsgröße scheint ganz eindeutig abhängig zu sein von der Frequenz der Impulse in der Nervenfasern.

Diese Erfolge bei der Analyse der Vorgänge im peripheren Nervensystem ermutigen dazu, mit ähnlichen Methoden auch die Vorgänge in den Zentren selbst, im Rückenmark und Gehirn, weiter zu verfolgen. Man hat kürzlich die Aktionsströme einer und derselben Nervenfasern ableiten können vor ihrem Eintritt in das Rückenmark und nach ihrem Austritt aus einem anderen Rückenmarksniveau (BARRON und MATTHEWS¹). Sie leitete Impulse von einem sensiblen Endorgan im Muskel dem Zentrum zu. Ein anderer Ast der Fasern ging weiter zum Gehirn hinauf. Die ganz regelmäßigen Aktionsströme, die die Fasern vor ihrem Eintritt in das Rückenmark aufwies, zeigten nun nach dem Passieren des Markes ganz regelmäßige Pausen. Die Fasern wurde offenbar im Rückenmark zeitweise in einem bestimmten Rhythmus blockiert, vielleicht durch Impulse von anderen Nervenzellen, die mit den ursprünglichen zusammenfallen, interferieren. Wir haben hier einen greifbaren Ausdruck für einen Hemmungsvorgang im Zentrum, wie er uns bei vielen Reflexen entgegentritt. Man kann ja z. B. den Reflex des Niesens unterdrücken, wenn man sich auf die Zunge beißt oder einen anderen sensiblen Reiz dem Zentrum zuleitet. Im Zusammenhang mit der Elektronarkose wurde diese Möglichkeit der Hemmung durch Erregung schon in Betracht gezogen.

Seit längerer Zeit ist es schließlich bekannt, daß man auch von der Großhirnrinde Aktionsströme ableiten kann, aber erst die moderne Verstärkertechnik hat auch hier neue Möglichkeiten geschaffen. Man kann durch einen geeigneten Verstärker den Verlauf der Potentialschwankungen der Hirnrinde mit einem Tintenschreiber direkt auf ein Papier aufschreiben (TÖNNIES, KORNMÜLLER²) und findet dabei kurz gesagt, daß sich von bestimmten Gegenden der Hirnrinde ganz charakteristische Spannungsschwankungen ableiten lassen.

Von gewissen Feldern erhält man Ströme bei Reizung der verschiedenen Sinnesorgane. Es sind dies die schon lange bekannten sensiblen Rindenfelder. Man konnte auf diese Weise z. B. fest-

¹ ADRIAN, E. D.: The mechanism of nervous action. Oxford 1932. Ausführlicher Bericht (WINTERSTEIN) in Naturwiss. 21, 702 (1933).

¹ BARRON, D. u. B. C. MATTHEWS: J. of Physiol. 85, 73 (1935).

² TÖNNIES, J. F.: Naturwiss. 20, 381 (1932). — KORNMÜLLER, A. E.: Naturwiss. 22, 414 (1934).

stellen (HASAMA¹), daß beim Kaninchen verschiedene Geschmacksreize an bestimmten Stellen der Zunge zu elektrischen Strömen in einem bestimmten Feld der Hirnrinde führen. Die Potentialschwankungen waren am größten bei Bitterreizen, am kleinsten bei Süßreizen. Schlußfolgerungen auf die Beschaffenheit der zugehörigen Empfindungen liegen in solchen Fällen sehr nahe.

Ein großer Teil der Hirnoberfläche zeigt jedoch auch bei möglichster Fernhaltung aller Sinnesreize mehr oder weniger regelmäßige Potentialschwankungen. Diese Schwankungen haben an verschiedenen Bezirken verschiedenen, für den betreffenden Abschnitt typischen Verlauf. Die Grenzen von Gegenden, die man so durch ihr elektrisches Verhalten festlegt, fallen etwa zusammen mit den Grenzen, die die anatomische Untersuchung bereits früher festlegen konnte (KORNMÜLLER).

Am Menschen sind solche Ströme vom intakten Schädel zum ersten Male schon vor etwa 10 Jahren mit einem einfachen Galvanometer abgeleitet (BERGER²). Diese Ableitung gibt nur einen Gesamtüberblick über die Vorgänge, ohne die Möglichkeit zu lokalisieren. Es besteht aber kein Zweifel, daß auch diese Ströme zum größten Teil von der Tätigkeit der Hirnrinde herrühren. Es handelt sich um 8 bis 10 Schwingungen in der Sekunde, die durch äußere Einflüsse verringert werden, z. B. durch jeden beachteten Sinnesreiz. Durch jeden derartigen Reiz wird trotz der örtlichen Erregung die allgemeine Tätigkeit gehemmt; ebenso wirkt geistige Arbeit. Auch in der Narkose und im Schlaf werden die Schwingungen schwächer, hören aber im Schlaf nie ganz auf. Durch Medikamente, die die Tätigkeit des Bewußtseins beeinflussen, werden auch die Ströme verändert. Man könnte mit BERGER

in diesen Strömen die elektrischen Begleiterscheinungen derjenigen materiellen Vorgänge in der Gehirnrinde sehen, die man als die psychophysischen zu bezeichnen pflegt, da sie mit Bewußtseinsvorgängen verbunden sein können.

Damit hat uns die Elektrizität bis an eine Grenze geführt, an der der Physiologe Halt macht. Es bestehen keine prinzipiellen, sondern nur experimentelle Schwierigkeiten, die Linienführung in dem ungeheuren Selbstanschlußamt des Zentralnervensystems aufzuklären, vielleicht auch zu ergründen, wie die Leitungen besetzt, blockiert sein, oder plötzlich Kurzschluß mit einer anderen Leitung haben können. Was dahinter kommt, steht auf einem anderen Blatt.

Daß aber die elektrischen Vorgänge uns bis an diese Grenze führen und gerade mit den Vorgängen im Nervensystem besonders eng verknüpft sind, hat wohl seinen guten Grund: Wenn irgendwo in der lebenden Substanz, dann handelt es sich im Nervensystem um feinst ausgewogene Gleichgewichtszustände. Es handelt sich bei seiner Tätigkeit um Änderungen solcher Gleichgewichtszustände, wo die stofflichen Umsetzungen völlig hinter den energetischen Änderungen zurücktreten, und diese sind anscheinend elektrischer Natur.

Die Kenntnis der Stoffe im Organismus und die Kenntnis ihrer Umsetzungen, die uns heute die physiologische Chemie in raschem Fortschreiten vermittelt, ist die natürliche Voraussetzung für jede weitere Erforschung der Vorgänge im lebenden Organismus. Das Leben spielt sich ja am Stoff ab und ist an die Materie gebunden. Die beherrschenden Kräfte aber, die den Stoff modellieren, die mit ihm spielen, kann nicht die Chemie erfassen — ich brauche nicht Mephistopheles zu zitieren —, Kräfte können nur durch physikalische Methoden untersucht werden, und die engsten Beziehungen zu den Lebensvorgängen hat von allen uns bekannten Energieformen zweifellos die Elektrizität. Das versuche ich an einigen Beispielen auseinanderzusetzen.

¹ HASAMA: Pflügers Arch. ges. Physiol. **236**, 36 (1935).

² BERGER, H.: Naturwiss. **23**, 121 (1935).

4. Unterricht und Methode.

Heinrich Bohn zum Gedächtnis. Von Dr. W. KOELLE in Berlin-Treptow.

Am 17. Februar 1936 starb HEINRICH BOHN in Rethwisch bei Bad Doberan im Alter von 77 Jahren. Mit ihm ist ein Mann von uns gegangen, der BERNHARD SCHWALBE in seinem Kampfe für die Reform des naturwissenschaftlichen Unterrichts zusammen mit FRIEDRICH POSKE und HERMANN HAHN, mit HEINRICH BÖTTGER und ROBERT LÜPKE treu zur Seite stand. Es ist eine Dankspflicht, wenn wir in der POSKESchen Zeitschrift, an der er so freudig mitgearbeitet hat, versuchen, uns seine Persönlichkeit, sein Werden und Wirken noch einmal vor Augen zu führen.

HEINRICH BOHN wurde am 8. Dezember 1858 in Demern in Mecklenburg als sechstes Kind des dortigen Lehrers und Küsters geboren. Beide Eltern stammen aus alten Mecklenburger Bauern- bzw. Fischerfamilien.

Bis zu seinem elften Lebensjahre wurde er von seinem Vater unterrichtet und kam dann auf die Realschule in Schönberg. Schon in dieser Zeit entwickelte sich in ihm die Liebe zu den Naturwissenschaften, und die in jener Zeit erworbene Kenntnis der heimatischen Pflanzenwelt kam ihm später gut zu statten. Um die Abiturientenprüfung ablegen zu können, besuchte er von 1877 ab das Katharineum in Lübeck und erwarb hier Ostern 1879 das Reifezeugnis. Nach dem Wunsche des Vaters sollte er sich für den höheren Postdienst ausbilden lassen. Aber das lag ihm gar nicht; sein Ziel war, Lehrer für Mathematik und Naturwissenschaften zu werden. Mit Hilfe der verständnisvollen Mutter wurde die Einwilligung des Vaters dazu erlangt, obwohl die Aussichten, in diesem Beruf in absehbarer Zeit zu einer selbständigen Lebensstellung zu kommen, denkbar ungünstig waren.

BOHN bezog nun die Universität Jena. Hier hörte er bei STRASBURGER Botanik, bei HACKEL

Zoologie und bei SCHÄFFER mathematische und physikalische Vorlesungen. HERMANN SCHÄFFER hat von allen seinen Lehrern den größten Einfluß auf BOHN ausgeübt, und seiner hat er stets in tiefer Dankbarkeit und Verehrung gedacht. Er war sich bewußt, daß er die Kenntnisse und Handfertigkeiten, die ihn später zu seinen Übungs- und Ausbildungskursen befähigten, zum guten Teil seinem Lehrer SCHÄFFER verdankte und sagt selbst in seiner auf ministerielle Veranlassung herausgegebenen Schrift „Physikalische Apparate und Versuche einfacher Art aus dem SCHÄFFER-Museum“: Er sah seine Hauptaufgabe nicht darin, als Forscher die Wissenschaft zu bereichern, sondern einzig und allein darin, als Lehrer zu wirken und Lehrer heranzubilden. Unermüdlich war er bestrebt, seinen Hörern die mathematischen und physikalischen Gesetze auf die einfachste Weise klar zu machen. Er war darauf bedacht, einfache Apparate zu ersinnen; die teuren waren ihm ein Greuel. Von ihnen sagte er, daß man „vor lauter Messing oft die Wahrheit nicht sehe“, und er bemühte sich um Apparate, die sich jeder selbst mit den einfachsten Mitteln und ohne besondere Kosten herstellen kann.

Nach dem dritten Semester verließ BOHN Jena und studierte in Berlin weiter. Hier hörte er bei KUMMER, WELERSTRASS und WANGERIN mathematische und bei HELMHOLTZ und KIRCHHOFF physikalische Vorlesungen. Nach fünf Semestern meldete er sich zum Examen und erhielt im Mai 1884 die Lehrbefähigung in Mathematik und Physik für die erste, in Botanik und Zoologie für die zweite Stufe. Um die trostlosen Aussichten für ein Unterkommen im Lehramt zu verbessern, unterzog er sich im Januar 1889 einer Nachprüfung in Erdkunde. Es ist bezeichnend für die Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit seiner Vorbereitung, daß die Prüfungskommission zu dem Beschluß kam: Es kann daher dem Kandidaten nicht nur die erstrebte Lehrbefähigung für die mittleren, sondern auch für die oberen Klassen zugesprochen werden.

Im Herbst 1884 kam er als Probekandidat an das Dorotheenstädtische Realgymnasium zu Berlin. BERNHARD SCHWALBE war Direktor dieser Anstalt. BOHN, der schon bei SCHÄFFER für die experimentelle Seite der Physik besondere Teilnahme gewonnen hatte, wurde nun von diesem hervorragenden Fachmann in die Lehrpraxis eingeführt. Er mußte vom ersten Tage an bei der Vorbereitung der Versuche helfen. Was er in Jena gelernt hatte, war ihm nun außerordentlich nützlich, so daß ihm SCHWALBE schon nach sechs Wochen die experimentelle Vorbereitung allein überließ. Kurz danach wurde ihm selbständiger Physikunterricht in O II und dann auch in anderen Klassen übertragen. Trotz der hohen Anforderungen waren seine ausbildenden Lehrer sehr mit ihm zufrieden, und in dem Bericht an die Aufsichtsbehörde wird er schon im ersten Jahre seiner Lehrtätigkeit so geschildert, wie ihn fast 40 Jahre lang die Schüler vor sich sahen: Der Kandidat hat die ihm obliegenden Pflichten gewissenhaft erfüllt, die Handhabung der Disziplin

macht ihm weder in den oberen noch in den unteren Klassen Schwierigkeiten. Durch sein sicheres Auftreten und seine gleichmäßige Ruhe gelingt es ihm, auch ohne Strafen die Schüler zu leiten.

1886 wird er Hilfslehrer mit 144 Mk. Vierteljahresgehalt. Durch Unterricht an Privatschulen und Nachhilfestunden muß er sich das Fehlende für eine bescheidene Existenz hinzuverdienen. Aber die Fähigkeit und Liebe zu rastloser, unermüdlicher Arbeit liegt ihm von seinen Ahnen her im Blut. Er läßt sich nicht klein kriegen, ja er hat sogar 1889 den Mut zu heiraten. Endlich wird 1891 eine neue Stelle bewilligt, und SCHWALBE sorgt dafür, daß BOHN sie bekommt. Nun hat alle Not ein Ende, und seine Persönlichkeit kann sich jetzt frei entfalten.

BOHN war mit Leib und Seele Lehrer. Mit tiefem, reichem Wissen verband sich in ihm das, was den wahren Lehrer ausmacht, Liebe zur Jugend, methodisches Feingefühl, hohes Lehrgeschick und Begeisterung. Er sah die Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts nicht lediglich darin, Kenntnisse zu übermitteln und Einzelwissen anzuhäufen, sondern sein Ziel war Erziehung zur Erkenntnis und damit zur Wahrheithaftigkeit. Seine Apparate mußten einfach sein, die Vorführung geschah mit der nötigen Ruhe, nicht in überstürzender Eile. Es kam ihm nicht darauf an, einen Überblick über das gesamte Gebiet der Physik zu geben, sondern die Schüler zum Beobachten, zur Selbständigkeit und zum Denken anzuregen. An welchem Teile der Physik sie das lernten, hielt er für gleichgültig, wenn sie es nur überhaupt lernten. Neben seinem Streben nach Anschaulichkeit bemühte er sich, auch die geschichtliche Entwicklung und die kulturell bedeutsamen Seiten der Naturwissenschaft zum Ausdruck kommen zu lassen, guten deutschen Ausdruck zu pflegen und in steter Verbindung mit dem staatlichen und wirtschaftlichen Leben des deutschen Volkes zu bleiben.

Seine besondere Zuneigung gehörte der Physik, und auf diesem Gebiet entwickelte er unter SCHWALBES Einfluß bald eine vielseitige und segensreiche Tätigkeit. SCHWALBE hielt damals physikalische und chemische Praktika für Volksschullehrer ab. BOHN war hier jahrelang sein Assistent. SCHWALBE regte ihn auch zu Vorträgen im Berliner Verein für den physikalischen Unterricht an und veranlaßte ihn später, als er genügend Erfahrung gesammelt hatte, für wissenschaftliche Zeitschriften zu schreiben. Es sind dann in den folgenden Jahren fachliche, methodische und populäre Aufsätze von ihm erschienen.

Als SCHWALBE die Forderung erhob, den Schülern müßten die Gesetze der Physik durch praktische Übungen auf Grund persönlicher Anschauung und unter selbsttätigem Zugreifen zur Einsicht gebracht werden, nahm BOHN sofort an diesen Reformbestrebungen lebhaften Anteil und trat in Wort und Schrift für die physikalischen Schülerübungen ein. Wenn heute der Wert dieser Übungen allgemein anerkannt wird und ihnen kaum noch jemand ablehnend gegenübersteht, so muß man bedenken, daß das vor 45 Jahren

wesentlich anders aussah. Auf Grund theoretischer Erwägungen wurde die neue Methode vielfach abgelehnt oder angegriffen. Man übersah, daß zu jedem Unterricht eine gewisse Erfahrung gehört und gelegentliches Probieren, das fast stets zum Mißerfolg führt, nicht genügt, um über den Wert eines neuen Unterrichtsverfahrens zu entscheiden. SCHWALBE und seine Mitarbeiter ließen sich auch nicht beirren. Ihre Bestrebungen fanden weit über die engeren Fachkreise hinaus Widerhall und schließlich auch die gebührende Anerkennung und Förderung durch die Schulverwaltungen. Um erst einmal die Lehrer für diese Art des Unterrichts auszubilden, wurden vom Kultusministerium praktische Kurse eingerichtet, zuerst in den Ferien, bald auch das ganze Jahr hindurch. Hier erhielt BOHN wieder Gelegenheit, das von SCHÄFFER und SCHWALBE Gelernte weiterzugeben. Er leitete in dem von VOGEL und SCHWALBE eingerichteten Fortbildungsinstitut für Lehrer höherer Schulen in Berlin praktische Kurse in der alten Urania, und zwar Übungen in physikalischen Schulversuchen und Übungen für physikalische Schülerversuche, in solchem Umfange, daß er von sich sagen konnte, es hätten bei Ausbruch des Krieges ungefähr die Hälfte aller preußischen Oberlehrer für Physik von ihm gelernt.

Durch diese Kurse und seine Aufsätze in den Fachzeitschriften wurde BOHN weithin bekannt. So war es kein Wunder, daß man ihn aufforderte, ein Physikbuch für die Schule zu schreiben. 1907 erschien im Verlage Nägele, der in den Verlag Quelle und Meyer in Leipzig aufging, die Unterstufe seines Leitfadens der Physik. Die Besprechung der 1909 erschienenen Oberstufe in dieser Zeitschrift [24, 56 (1911)] enthält folgende Sätze: „Die Stärke des BOHNSchen Buches liegt in der geschickten Auswahl der Versuchsanordnungen, die größtenteils nur einfache Hilfsmittel voraussetzen; zahlreiche der von SCHÄFFER in Jena und SCHWALBE in Berlin herrührenden Versuche sind im Lehrbuch verwertet worden. Wegen der geschickten Verknüpfung derartiger Versuche mit den aus ihnen folgenden Gesetzen wird das BOHNSche Buch dem Lehrer bei der Vorbereitung für den eigenen Unterricht vorzügliche Dienste leisten. — Da das Buch den Anforderungen an Anschaulichkeit in hohem Maße gerecht wird, so wird es auch in der Hand des Schülers nutzbringend wirken.“ Das Buch fand vielerorts eine günstige Aufnahme, und von der Oberstufe sind bisher 10, von der Unterstufe 17 Auflagen erschienen.

39½ Jahre war es BOHN vergönnt, an der Anstalt zu wirken, an der er 1884 als Probekandidat eingetreten war und die Ostern 1936 ihr hundertjähriges Bestehen feiern konnte. Am 1. 4. 24 wurde er wegen Erreichung der Altersgrenze in den Ruhestand versetzt. Seine Befürchtung, nun nichts mehr zu tun zu haben und überflüssig zu sein, wurde bald widerlegt. Die Humboldthochschule, die Handelshochschule, das Bismarckpädagogium und andere Einrichtungen in Berlin bemühten sich um seine Arbeitskraft, so daß er schließlich mehr zu arbeiten hatte als vorher.

1925 zog er mit seiner Gattin zu seinem Sohn in das stille Pfarrhaus zu Alt-Rehse am Tollensesee und von dort 1930 wieder mit seinem Sohne nach Rethwisch bei Doberan. Aber auch fern der Großstadt, in dem Frieden der mecklenburgischen Dörfer, gönnte er sich keine Ruhe. Vornehmlich widmete er sich jetzt der Erforschung der Geschichte seiner Heimat, an der er mit heißem Herzen hing. Es erschienen von ihm eine Reihe Aufsätze, meist in den Mitteilungen des Heimatbundes für das Fürstentum Ratzeburg. Er war einer der wenigen, die noch die Ratzeburger Mundart beherrschten; um seine Heimatsprache auch für die Zukunft festzuhalten, schrieb er viele dieser Aufsätze in plattdeutscher Mundart. Nur einige seien angeführt, um ein Bild ihrer Vielseitigkeit zu geben: Hausmarken im Fürstentum Ratzeburg; Wie ist unsere Heimat entstanden? Unsere Kirchspiele und Kirchen; As de Landwirtschaft sick bi uns ümstellte; Snei; Meckelbörger Dörpnamn; Von Flöh un Lüs; Woher kamt de Stein? Die Moore bei Demern; Vom Wasser; Wie ist der Boden unserer Heimat entstanden? Von Sweit und Küll; Vom Zufall u. a.

Mit seinen ihm näher getretenen Kollegen, mit seinen Jugendfreunden aus der Heimat und aus der Studentenzeit, namentlich mit seinen Bundesbrüdern aus der Burschenschaft Saravia, blieb er bis zu seinem Tode in naher Verbindung. Obwohl er geräuschvollen Festen abhold war, hatte er einen großen Freundeskreis. Wer ihn kennen lernte, fühlte sich zu ihm hingezogen, einmal durch seinen fröhlichen Humor, und dann durch die Tatsache, daß er es in seiner Bescheidenheit vermied, seine eigene Person in den Vordergrund zu stellen. Selbst seine nächsten Bekannten hatten oft nur eine unvollkommene Vorstellung von seiner Vielseitigkeit und der Arbeitslast, die er auf sich nahm.

Zusammenfassend läßt sich von HEINRICH BOHN sagen: Alle, die das Glück hatten, ihm näher zu treten, müssen dankbar anerkennen, in ihm einem Manne begegnet zu sein, der durch sein lebenswürdiges Wesen, seine treue Heimat- und Vaterlandsliebe, seine selbstlose Pflichterfüllung, seine persönliche Anspruchlosigkeit und seine tiefe Religiosität eine wertvolle, in sich geschlossene Persönlichkeit darstellte.

Es seien schließlich noch BOHNS größere Veröffentlichungen zusammengestellt, denn auch aus ihnen erhalten wir ein lebendiges Bild seiner Schaffenskraft und Arbeitsfreude.

1. Über geographische Lehrmittel. (Unterricht f. Math. u. Naturwiss. 1896.) — 2. Die geographische Lehrmittelsammlung des Dorotheenstädtischen Realgymnasiums (Programme des Dorotheen-G. 1899—1903). — 3. Mitteilungen über Schülerübungen am Dorotheenstädtischen Realgymnasium in Berlin. (Z. phys.-chem. Unt. 1899.) — 4. SCHWALBES Versuche zur Geschichte der Dampfmaschine. (Z. phys.-chem. Unt. 1901.) 5. Arbeitsleistung beim Elektrophor. (Z. phys.-chem. Unt. 1902.) — 6. Über die Behandlung des Quecksilbers in physikalischen Kabinetten. (Z.

phys.-chem. Unt. 1902.) — 7. Zur Physik der Strömungen in Meeresengen. (Festschrift der Humboldtakademie. Berlin: Weidmann 1902.) — 8. Über Telegraphie ohne Draht. (Die Neuzeit, Illustrierte Chronik der Gegenwart 1902.) — 9. Physikalische Versuche und Apparate einfacher Art aus dem Schöffermuseum. (Herausgegeben auf ministerielle Veranlassung. Berlin: O. Salle 1902.) — 10. Das Schöffermuseum in Jena, ein Vorläufer des Deutschen Schulmuseums. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1902.) — 11. Einfache Versuche über die Schwingkraft. (Natur u. Schule, 1903.) — 12. Praktische Vorschläge über die Errichtung eines Deutschen Schulmuseums. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1904.) — 13. Eine Auskunftsstelle für die naturwissenschaftlichen Lehrfächer. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 14. Versuche über Standfestigkeit und Schwerpunkt. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 15. Physikalische Beobachtungen. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 16. Methodische Bemerkung zur Einleitung in die Elektrizitätslehre. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 17. Ankauf der Ambergschen Sammlung durch den Staat. (Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 18. Ergänzungsversuch zur Demonstration der Erwärmung der Flüssigkeiten durch Strömung.

(Monatsschr. f. höh. Sch. 1905.) — 19. Ein neues Monochord. (Z. phys.-chem. Unt. 1906.) — 20. Geschichtliche Entwicklung des Elektroskops. (Z. für Lehrmittelwesen u. pädagogische Literatur, Wien 1906.) — 21. Betrachtungen über die Hebung des naturwissenschaftlichen Unterrichts an den höheren Schulen. (Natur u. Schule, 1907.) — 22. Leitfaden der Physik, Unterstufe. (Leipzig: E. Nägele 1908.) — 23. Leitfaden der Physik, Oberstufe. (Leipzig: Quelle u. Meyer 1909; dort auch die folgenden Auflagen der Unterstufe.) — 24. Beitrag zur Umkehrung der Natriumlinie. (Aus der Natur, 1910.) — 25. Grundriß der Physik. (Leipzig: Quelle u. Meyer 1911.) — 26. Der Saugheber. (Die Arbeitsschule, 1913.) — 27. Technik und Schule. (Die Post, 1919.) — 28. Deutschland und der Weltmarkt. (Betriebsrätezeitung, 1921.) — 29. Südamerika und der Weltmarkt, insbesondere seine Wirtschaftsbeziehungen zu Deutschland. (Betriebsrätezeitung, 1922.) — 30. Die Mittelmeerländer als Versorger und Abnehmer der Deutschen Volkswirtschaft. (Betriebsrätezeitung, 1922.) — 31. Sammlung physikalischer Aufgaben. (Leipzig: Quelle u. Meyer, 1922.) — 32. Leitfaden der Physik. Verkürzte Ausgabe. (Leipzig: Quelle u. Meyer 1930.)

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Nachrichten-ABC. Ein Hilfsbuch für Fernsprecher, Funker und Blinker. Zusammengestellt und bearbeitet von W. VON DUFAIS. 2., verbesserte und erweiterte Auflage. VII und 89 Seiten. Mit 90 Abbildungen. Berlin: E. S. Mittler & Sohn 1935. Preis RM 1,—.

Das Büchlein stammt von dem gleichen Verfasser wie die „Physikalisch-chemischen Grundlagen des Nachrichtenwesens“ [vgl. diese Zeitschrift 48, 230 (1935)]. Es behandelt das Fernsprechwesen, die Funktelegraphie und das Funkfernsprechen sowie das Blinkwesen, und zwar Bau und Wirkungsweise der Apparate, ihre theoretischen Grundlagen, ihre Leistungsfähigkeit und ihre militärische Verwendung. Es ist für seinen Zweck, „dem Anfänger im Nachrichtendienst... ein technisches Lern- und Nachschlagewerk, dem Lehrer ein Hilfsmittel für den Unterricht in die Hand zu geben“, gut geeignet. *E. Lamla.*

Der Dienstunterricht im Heere. Ausgabe für den Nachrichtenmann. Ein Handbuch für den deutschen Soldaten. Unter Mitwirkung von Nachrichtenfachleuten zusammengestellt und bearbeitet von W. REIBERT. 7., neu bearbeitete Auflage. XVI und 464 Seiten. Mit über 500 Abbildungen und 5 mehrfarbigen Tafeln. Berlin: E. S. Mittler & Sohn 1935. Preis RM 3,—.

Das Buch enthält das vorstehend besprochene „Nachrichten-ABC“ als einen besonderen, etwa $\frac{1}{5}$ des ganzen Umfanges ausmachenden Teil in sich. Darüber hinaus aber vermittelt es den gesamten Stoff der Ausbildung im inneren und äußeren Dienst des Soldaten. Die Tatsache, daß das Buch, dessen erste Auflage 1929 herauskam,

jetzt bereits in der 7. Auflage erscheint, zeigt, daß es wirklich einem dringenden Bedürfnis entgegenkommt, und daß es den im Vorwort angegebenen Zweck, ein Instruktionsbuch für das neue Heer zu schaffen, wie es das alte in dem „Transfeldt“ gehabt hat, auf das beste erfüllt.

E. Lamla.

Die Bausteine der Körperwelt. Eine Einführung in die Atomphysik. Von THEODOR WULF. Band 25 der Sammlung „Verständliche Wissenschaft“. VI und 186 Seiten. Mit 40 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1935. Preis geb. RM 4,80.

Das Büchlein behandelt alle Tatsachen und Erscheinungen, die für die Auffassungen der Atomphysik grundlegend und wesentlich sind: Elektrolyse, Kathodenstrahlen, periodisches System der Elemente, Isotopie, Radioaktivität, Röntgenstrahlen, Elektronen und Licht, Neutronen, Positronen usw. Bücher des gleichen Inhalts gibt es sehr zahlreiche; was das vorliegende Büchlein vor vielen anderen auszeichnet, ist zweierlei: die vortreffliche Darstellungskunst des Verfassers und die Anlehnung der Darstellung an die geschichtliche Entwicklung. Beides zusammen verleiht dem Buch eine ganz besondere, eigenartige Note. Die geschichtliche Orientierung erweist sich (wie oft) als ein großer Vorzug. Von ARISTOTELES geht der Weg über LAVOISIER, DALTON und viele andere Forscher zu PLANCK und BOHR. (Die Quantenmechanik wird nicht behandelt.) Mit fast dramatischer Spannung rollt die Entwicklung der Atomistik vor unseren Augen ab; wir erkennen, wie langsam ein Stein nach dem andern eingefügt wird in den großen Bau

des Erkennens und Forschens, und wie jedes höhere Stockwerk auf dem unteren ruht. Die Lektüre ist ein Genuß, und ich glaube, daß auch gerade der Lehrer an höheren Schulen aus dem Buch sehr viel für die Gestaltung des eigenen Unterrichts auf dem nicht einfachen Gebiete gewinnen kann und gewinnen wird. *E. Lamla.*

Die im Innern erdähnliche Sonne. Eine neue Anschauung von Äther, Schwerkraft und Sonne. Von HERMANN FRICKE. 73 Seiten. Mit 10 Abbildungen. Weimar: R. Borkmann 1934. Preis RM 1,25.

Das Büchlein enthält „die Darstellung einer neuen Auffassung von Sonne und Weltäther, also ein neues Weltbild“ (S. 5). Dieses Weltbild „steht in einem schroffen Gegensatz zu der sogenannten modernen Physik und Astrophysik, die sich an die Namen LORENTZ, PLANCK, EINSTEIN und EDDINGTON knüpft“; aber auch der „sogenannten klassischen Physik eines NEWTON“ steht der Verfasser kritisch gegenüber (S. 5). Er wendet sich vor allem gegen den Verzicht auf ein mechanisch-anschauliches Bild des Äthers und gegen das mit diesem Verzicht verknüpfte „LORENTZ-PLANCK-EINSTEIN-Chaos“.

Der Äther erfüllt den ganzen Raum; er ist eine inkompressible, aber (und das ist wesentlich) nicht reibungslose Flüssigkeit (S. 13 und 16). Ähnlich wie andere Kraftlinien wird z. B. eine Schwerkraftlinie „als ein überaus feiner durchdringender Strömungsfaden aufgefaßt, der mit der Lichtgeschwindigkeit c in die Masse M hineinfließt“. Durch eine Art Reibung sucht er benachbarte Massen nach M hin mitzureißen (S. 20). Der vom Verfasser betonte Gegensatz gegen die übliche Physik zeigt sich an den verschiedensten Punkten, z. B. auch bei den Definitionen. So wird z. B. über die Reibung folgendes gesagt: „Die Reibung ist nach der Definition in AUERBACHS Wörterbuch der Physik der Widerstand gegen eine Verschiebung benachbarter Schichten gegen einander, das ist aber dasselbe wie Zusammenhang oder Kontinuität. Dieser Zusammenhang bewirkt, daß die Bewegung ihre Form und Richtung fortgesetzt ändert, ohne ihre Größe an sich zu ändern. Die Bewegungsgröße bleibt konstant“ (S. 13). „Anscheinend wird die in einer Wirbelströmung vorhandene Bewegungsenergie zu einem Teil zur Erzeugung der Wärme durch Bremsung verbraucht“ (S. 37). „Die Urphänomene der Welt sind Strömung und Reibung im Äther. Da aber Ätherströmung dasselbe wie Kraft ist, kann man auch sagen, Kraft und Widerstand“ (S. 32). „Der Einwand, beim Vorhandensein einer Reibung müßte die Bewegung im Äther allmählich aufhören, ist unrichtig, da die Reibung nur Form und Richtung, nicht die Energie oder Bewegungsgröße beeinflusst. Energievernichtung durch Reibung gibt es nicht in der Natur. Alle scheinbaren Hemmungen werden durch gleich große Beschleunigungen ausgeglichen, die Energie des Weltalls bleibt konstant“ (S. 18). Ein rechnerisch durchgeführter Beweisgang bezieht sich auf die Herleitung des 3. KEPLERSchen Gesetzes (S. 30);

er hat mit den sonst in der Physik üblichen Gedankengängen und Schlußweisen wenig zu tun, wie ja auch sonst die Begriffe (etwa Bewegungsgröße u. a.) vielfach vom Verfasser anders gebraucht werden als sonst in der Physik.

Von der Sonne entwirft der Verfasser folgende „im ersten Augenblick paradox erscheinende Vorstellung“ (S. 42): die eigentliche Oberfläche der Sonne ist erdähnlich kühl und dunkel; den festen Kern bedeckt ein Meer von Wasser, dessen Tiefe etwa gleich dem halben Sonnenradius ist. Außen dagegen befindet sich die heiße Photosphäre. Zwischen ihr und dem Wasser ist eine „Schutzschicht“, eine „Eis erzeugende elektrische Schicht entgegengeschaltet.“ In den Sonnenflecken erkennen wir Teile des dunklen Sonneninnern (die Temperatur der Flecken liegt ja allerdings immer noch zwischen 4000° und 5000°). Bei diesen Vorstellungen von der Sonne handelt es sich nach Ansicht des Verfassers „nicht um eine neue Hypothese, sondern einfach um die Feststellung einer Tatsache“. Der letzte Teil des Büchleins behandelt „GOETHE als Entdecker einer neuen Meteorologie“; es wird hier die Frage erörtert, ob die Schwankungen des Luftdrucks durch eine Art Ebbe und Flut der Lufthülle der Erde hervorgebracht werden.

Es würde zu weit führen, noch auf weitere Einzelheiten einzugehen. Das Gesagte zeigt, daß der Verfasser in der Tat „in einem schroffen Gegensatz zu der sogenannten modernen Physik“ und auch zu der „sogenannten klassischen Physik eines NEWTON“ steht. *E. Lamla.*

Aus der Geschichte der Berliner Physik. Herausgegeben von der Bild- und Filmsammlung Deutscher Physiker. 8 Seiten Text und 24 Physikerbilder in Mappe. Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1935. Preis RM 2,—.

Die kleine Sammlung, die die Bilder von 24 verstorbenen Mitgliedern der Berliner Physikalischen Gesellschaft enthält, wurde bei der Feier des 90jährigen Bestehens der genannten Gesellschaft im Januar 1935 herausgegeben. Unter jedem Bild findet sich der Namenszug des Dargestellten und eine kurze Lebensbeschreibung. Es sind viele berühmte Namen vertreten, die auch jedem Schüler geläufig sind, z. B. MAGNUS, W. VON SIEMENS, HELMHOLTZ, CLAUSIUS, KIRCHHOFF, KUNDT, LUMMER, RUBENS, HABER u. v. a. Die Wiedergabe der Bilder ist ausgezeichnet, so daß in Anbetracht des niedrigen Preises die Beschaffung auch für das physikalische Kabinett einer Schule empfohlen werden kann.

E. Lamla.

Lehrbuch der organischen Chemie. Von A. F. HOLLEMAN. 20. Auflage, bearbeitet von F. RICHTER. 546 Seiten mit 78 Figuren. Berlin u. Leipzig: W. de Gruyter & Co. 1935. Preis geb. RM 14,—.

Der „Holleman“ ist so allgemein bekannt und geschätzt, daß sich eine Besprechung eigentlich erübrigen sollte. Es sei nur kurz darauf hingewiesen, daß seit dem Erscheinen der 19. Auflage 5 Jahre verflossen sind und dementsprechend in

der 20. Auflage vielerlei Ergänzungen vorgenommen werden konnten. Diese betreffen hauptsächlich die Konstitutionsaufklärung wichtiger Naturstoffe und die Anwendung physikalisch-chemischer Untersuchungsmethoden auf dem Gebiete der organischen Chemie. Eine ganze Reihe Abschnitte ist neu bearbeitet worden, so z. B. die über ungesättigte Verbindungen, freie Radikale, Kohlenhydrate, Polysaccharide, alkoholische Gärung, Sterine, Vitamine, Blut- und Blattfarbstoffe, Anthocyane und Pyridin. Eingeschaltet wurden Kapitel über Dipole, Röntgeninterferometrie und thermochemische Messungen.

Scharf.

Chemie der Kohlenstoffverbindungen oder Organische Chemie. Von RICHTER-ANSCHÜTZ. 12. Auflage. Herausgegeben von R. ANSCHÜTZ. II. Band, 1. Hälfte. Alizyklische Verbindungen und Naturstoffe. 636 Seiten. Leipzig: Akadem. Verlagsgesellschaft 1935. Preis geb. RM 40,—.

Die 12. Auflage dieses Standardwerkes der organischen Chemie steht dicht vor dem Abschluß, denn Band I und III sind bereits erschienen, und die zweite Hälfte des zweiten Bandes erscheint in Kürze. Es erübrigt sich, empfehlende Worte zu diesem Werke zu sagen, denn jeder auf organischem Gebiet arbeitende Chemiker kennt es und weiß es zu schätzen. Die einzelnen Abschnitte sind wieder von hervorragenden Vertretern ihres Faches bearbeitet worden (A. BUTENANDT, M. LIPP, K. NIEDERLÄNDER, F. REINDEL, F. ROCHUSSEN), so daß für die Zuverlässigkeit der Angaben vollste Gewähr gegeben ist.

Scharf.

Anorganisch-chemisches Praktikum. Von W. MANCHOT. 103 Seiten (einseitig bedruckt) mit 15 Abbildungen. Dresden: Theodor Steinkopff 1935. Preis RM 4,30.

Dieses Praktikum beschreibt eine große Zahl Versuche (in der Mehrzahl Reagensglasversuche), die den Anfänger in das Gebiet der qualitativen Analyse einführen sollen. Die Anweisungen sind bis in die kleinste Einzelheit ausgearbeitet; die Apparate und Chemikalien, die der Saalassistent ausgibt, und diejenigen, die von der Materialienverwaltung zu beziehen sind, werden angegeben; die elektrischen Schaltungen werden, allerdings ausschließlich für 110 Volt Gleichstrom, genau beschrieben. Diese Äußerlichkeiten zeigen schon, daß dieses Buch hauptsächlich auf den Hausgebrauch im Institut des Verfassers, dem anorganischen Institut der Technischen Hochschule München, zugeschnitten ist. Neben den Anleitungen werden auch einige theoretische Erläuterungen gegeben, die allerdings nicht immer ausreichen. So werden z. B. auf S. 14 zwei Versuche beschrieben: 1. Einwerfen von Calciumchlorid in syropöse (!) Phosphorsäure und Erhitzen. Es entweichen Ströme von HCl. 2. Eintragen von Tricalciumphosphat in Wasser und Zusatz von Salzsäure, worauf Lösung des Phosphates eintritt. Am Ende der einzelnen Versuchsbeschreibung finden sich die kurzen Sätze: 1. Austreibung von Salzsäure durch Phosphorsäure! 2. Austreibung von Phosphorsäure durch Salz-

säure! Ein Hinweis auf die Hitzebeständigkeit der Phosphorsäure und die Bedeutung des Löslichkeitsproduktes (das erst später, auf S. 49, besprochen wird) wäre hier wohl angebracht gewesen.

Ebenso ist auf S. 39 für den Anfänger der Gegensatz nicht zu verstehen: „Das massive (!) Aluminium bleibt beim Liegen an der Luft fast unverändert. Das fein verteilte Aluminium verbrennt dagegen beim Erhitzen im Sauerstoffstrom heftig unter sehr starker Wärmeentwicklung.“ Es fehlt ein Hinweis auf die fest zusammenhängende Oxydhaut des Aluminiums, die das Metall vor weiterem Angriff schützt.

Auf einige Ungenauigkeiten muß noch hingewiesen werden: Eine molare Lösung von Natriumacetat (S. 38) ist eine solche, die 13,6 g des kristallisierten Salzes in 100 cm³ Lösung und nicht auf 100 cm³ Wasser enthält.

Der Beschlag von Zinkoxyd auf Kohle ist in der Hitze gelb, nicht weiß.

Die Verbindung PbO₂ wird im ganzen Buch als Bleisuperoxyd bezeichnet, obgleich auf S. 64 richtig das vierwertige Bleion geschrieben wird. Man ist schon seit langer Zeit übereingekommen, nur solche Oxyde als Superoxyde zu bezeichnen, die sich vom Wasserstoffsuperoxyd ableiten lassen. Es muß also immer Bleidioxid geschrieben werden; MnO₂ ist dagegen richtig als Mangandioxid aufgeführt worden.

Scharf.

Qualitative chemische Analyse, nebst Abriß der Grundlagen der allgemeinen Chemie. Von WILHELM AUTENRIETH †. 3. völlig umgearbeitete Auflage von C. A. ROJAHN. VIII, 238 Seiten. Mit 12 Abb. Dresden: Theodor Steinkopff 1935. Preis geb. RM 10,—.

Das Buch, das hauptsächlich für den Unterrichtsbetrieb in chemischen und pharmazeutischen Hochschullaboratorien bestimmt ist, umfaßt drei Hauptteile. Teil I behandelt die Vorprüfungen, das Auflösen und Aufschließen der Analysesubstanz und gibt weitere Anweisungen einschließlich Tabellen für qualitative Analysen. In Teil II werden die analytisch wichtigen Reaktionen der Metall- und Säurerestionen besprochen; hervorzuheben ist, daß auch eine größere Anzahl organischer Säuren behandelt werden.

Diese beiden Teile behandeln in der herkömmlichen Form (es finden sich auch die anscheinend nicht auszumerkenden o- und i-Verbindungen) das Rüstzeug zur qualitativen Analyse.

Teil III hängt mit den beiden anderen Teilen inhaltlich kaum zusammen. Er bringt auf 70 Seiten einen kurzen Abriß der theoretischen Chemie. Der Verfasser verfolgte damit die Absicht, „den Anfänger zu veranlassen, an Hand dieser kurzen Angaben etwas intensiver und nicht, wie oft üblich, erst in späteren Semestern über die wohl im allgemeinen in den beiden ersten Semestern gehörte große chemische Vorlesung nachzudenken...“

So nötig dieses Nachdenken und Nacharbeiten auch ist, so erscheint mir dieser Weg, es erzwingen zu wollen, recht ungeeignet. Es ist meines Er-

achtens selbstverständlich, daß der Anfänger, der eine chemische Vorlesung hört, sich ein geeignetes, neueres Lehrbuch anschafft, in dem er alles findet, was in der Vorlesung zur Sprache kommt, also auch Gesetzmäßigkeiten in der Chemie, nun allerdings nicht aus dem Zusammenhange herausgerissen. Eine allgemeine Chemie für den Anfänger kann nur dann Wert haben, wenn die Gesetze durch geeignete Versuche abgeleitet werden.

Scharf.

Tabellen zur qualitativ-chemischen Analyse. Von S. OEHLINGER. 42 Seiten. Prag: Selbstverlag des Verfassers 1934. Preis RM 10,—.

Dieses Tabellenwerk ist zum unmittelbaren Gebrauch im Laboratorium bestimmt. Die Benutzung eines größeren Werkes über analytische Chemie soll dadurch nicht überflüssig werden, sondern diese Tabellen sollen nur ein Hilfsmittel während der rein praktischen Tätigkeit im Laboratorium sein. Alles, was den Analytiker angeht, ist in Form von Tabellen in diesem Buche erfaßt: Konzentration der wichtigsten Reagentien, Vorproben, Reaktionen und Trennungsgang der Kationen und der Anionen, Löslichkeitstabellen, mikrochemische Nachweise, Reaktionen zum Nachweis organischer Substanzen. *Scharf.*

Die Chemie der Kampfstoffe. Von M. SARTORI. Aus dem Italienischen übersetzt von H. KLUMB. 259 Seiten mit 19 Abbildungen und vielen Tabellen. Braunschweig: Friedrich Vieweg u. Sohn 1935. Preis Ganzleinen RM 18,—.

Der chemische Krieg hat in den letzten Jahren mehr oder weniger umfangreiche Beschreibungen gefunden, die sich jedoch in erster Linie mit biologischen, medizinischen, militär- und luftschutztechnischen Fragen beschäftigten. Es gibt im deutschen Schrifttum nur wenige Arbeiten, in denen man sich über die rein chemischen Probleme informieren kann. Wenn dieser Mangel zunächst eine gewisse Verwunderung hervorruft, so muß man sich doch daran erinnern, daß nach den Bestimmungen des Versailler Vertrages sich die deutschen Chemiker nicht mehr mit der kriegstechnischen Verwendung von Giftgasen usw. beschäftigen durften. Im Auslande dagegen wurde auf diesem Gebiete weitergearbeitet. Viele Arbeiten wurden aus verständlichen Gründen nicht veröffentlicht, andere Arbeiten stehen an sehr unzugänglichen Stellen.

Das vorliegende Buch wird vielen Chemikern willkommen sein; gibt es ihnen doch eine Möglichkeit, die chemische Darstellung der fünfzig wichtigsten Kampfstoffe im gasförmigen, flüssigen und festen Zustand eingehend zu studieren. Daß nur eine gewisse Auswahl getroffen wurde, erscheint dann erfreulich, wenn man liest, daß in Amerika 4000 Substanzen auf ihre Verwendungsmöglichkeit im Krieg untersucht wurden; von diesen Stoffen wurden tatsächlich nur rund fünfzig praktisch im Felde erprobt. Am Ende des Krieges wurden etwa 12 Kampfstoffe regelmäßig verwendet.

Im einführenden Teile des Buches werden die physikalischen Eigenschaften der Kampfstoffe, Dichte, Dampfdruck, Flüchtigkeit, Siede- und Schmelzpunkt und Seßhaftigkeit beschrieben. Unter Flüchtigkeit eines Stoffes ist diejenige Gewichtsmenge dieses Stoffes zu verstehen, die in einem Kubikmeter gesättigten Dampfes bei einer gegebenen Temperatur enthalten ist. Die Seßhaftigkeit ist ein Maß für die Zeit, in der eine Substanz an einem offenen Ort verbleibt und dort ihre schädigende Wirkung ausübt. Nach der Behandlung der Beziehungen zwischen chemischer Struktur und schädlicher Wirkung wird die Einteilung der chemischen Kampfstoffe nach taktischen, biologischen und chemischen Gesichtspunkten besprochen.

Der Hauptteil des Buches ist als ein ausführliches Handbuch spezieller giftiger Substanzen aufzufassen mit vielen Schrifttumshinweisen, Abbildungen und Tabellen. Für die einzelnen Substanzen werden außer der chemischen Darstellung im Laboratorium die deutschen und ausländischen praktischen Herstellungsverfahren angegeben, ferner werden die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie Reiz- und Unverträglichkeitsgrenzen, Tödlichkeitsprodukte erwähnt und die verschiedenen Nachweisverfahren eingehend beschrieben. Die elf Kapitel des Hauptteiles behandeln Halogene, Phosgen, halogenierte Äther, halogenierte Ester organischer Säuren, Ester der aromatischen Reihe, Acrolein, halogenierte Ketone und Nitroverbindungen, Cyan-, Schwefel- und Arsenverbindungen. Es sind dies zum größten Teile Verbindungen mit sehr hohem Molekulargewicht, etwa zwischen 100 und 200.

Man findet viele historische Daten verzeichnet, die sich zum Teil auf die Entdeckung der einzelnen Substanzen, zum Teil auf ihre erstmalige Verwendung während des Weltkrieges beziehen. Im April 1915 fand an der Westfront der erste vorbereitete Gasangriff mit Chlorwolken statt, am Ende desselben Jahres benutzte man Phosgen.

Gegen die Gesamtdarstellung des Buches kann kein Einwand erhoben werden. Einige kleine Schönheitsfehler sind jedoch zu erwähnen. So sollte grundsätzlich einer Abbildung eine kurze erläuternde Unterschrift gegeben werden, auch wenn der dargestellte Gegenstand im Text eingehend berücksichtigt ist. Wenn der Verfasser den Begriff „Kampfstoffe“ für die verwendeten gasförmigen, flüssigen und festen Stoffe prägt, so versteht er darunter, daß alle diese Stoffe für den menschlichen Organismus schädlich sind. Ref. würde jedoch in die chemischen Kampfstoffe wenigstens noch diejenigen Substanzen einbeziehen, die zur Vernebelung und Tarnung dienen. Ferner hätten in dem einführenden Teile die Genfer Abkommen über die Verwendung chemischer Kampfstoffe kurz erwähnt werden sollen. Die genannten Unebenheiten ändern jedoch nichts daran, daß das Buch ein unentbehrliches Nachschlagewerk für die Laboratorien der Hochschulen und Industrie sowie für den Luftschutz sein wird, und daß der Übersetzer dieses Buches sich das Verdienst erworben hat, die deutsche chemische Forschung

über den Stand der ausländischen Kampfstoffchemie aufzuklären. Die im Buch angeschnittenen, noch nicht gelösten Fragen und Probleme werden Anregung zu neuen Arbeiten und Untersuchungen geben. Auch wird der Chemielehrer manche Anregung für seinen Schulunterricht darin finden.

J. Böhme.

Die homöopolare Bindung. Eine allgemein anwendbare Elektronentheorie der Valenz. Von G. HAHN. 96 Seiten. Frankfurt a. M.: W. Isensee 1934. Preis RM 2,50.

In dem Buche wird der Versuch gemacht, die Mannigfaltigkeit der organisch-chemischen Reaktionen durch verfeinerte Valenzvorstellungen zu erklären. Hauptbestandteil der aufgestellten Theorie sind sog. „Elektronen-Akzeptoren“ und „Elektronen-Donatoren“. Die Einteilung erscheint etwas willkürlich, zumal auch Unsicherheiten über die Zuordnung der Akzeptor- und Donator-Eigenschaft vorhanden sind. Die Theorie wird an einer großen Reihe von Beispielen erläutert; ob die Theorie leistungsfähig ist, kann sich erst zeigen, wenn auf Grund dieser Theorie neue Voraussetzungen gemacht werden, die sich bei späterer experimenteller Prüfung bestätigen.

Scharf.

Unsere Verbrauchsgüter und ihre Herstellung. Ein technisches Lesebuch. Von K. W. GEISLER. 177 Seiten mit 117 Abbildungen und 13 Tafeln. Berlin: VDI-Verlag 1935. Preis brosch. RM 3,90 (für VDI-Mitglieder RM 3,50).

Aus dem Vorwort gebe ich folgende Sätze wieder: „Dieses Buch erhebt weder den Anspruch darauf, ein hochwissenschaftliches Unternehmen zu sein, noch den, Rezepte für die Fabrikation zu geben. Es beabsichtigt vielmehr, einen Querschnitt durch das große Gebiet der chemischen (gelegentlich auch der mechanischen) Technik unserer Zeit zu legen und so in seiner Weise diese wichtige Seite der heutigen Kultur widerzuspiegeln. Überall wurde nur das Grundsätzliche gegeben.“

Damit ist in großen Umrissen das Buch bereits gekennzeichnet. Fast alle Gebiete der chemischen Technologie werden behandelt: Apparatebau, Metalle, Glas, Tonwaren usw., Kunstseide, Kunstharze, Brennstoffe, Nahrungs- und Genußmittel, Farben, Fette usw., Säuren, Laugen, Salze, Sprengstoffe und vieles andere.

Aus dieser gedrängten Übersicht ist bereits zu erkennen, daß dieses Buch eine gute Ergänzung zu vielen Schullehrbüchern sein wird. Besonders wertvoll wird das Buch für die Schule durch die vielen eingestreuten schematischen Zeichnungen von Fabrikationsverfahren, die sich mittels episkopischer Projektion leicht der ganzen Klasse vorführen lassen.

Scharf.

Lehrbuch der Mineralogie. Von WALTER SCHMIDT und E. BAIER. VI und 320 S.; mit 214 Abbildungen im Text und 1 Farbentafel. Berlin 1935; Gebr. Borntraeger. Preis geb. RM 14,—.

Seit bald zwei Jahrzehnten besteht in der Mineralogie ein dringendes Bedürfnis nach einem zeitgemäßen einführenden Lehrbuch von ange-

messenem Umfang und Preis. Das große, auf drei Bände berechnete Lehrbuch von P. NIGGLI, von dem bisher zwei Bände erschienen sind (Verlag Gebr. Borntraeger, 2. Aufl., I: 1924, II: 1926), hatte trotz seiner anerkannten Güte dem Mangel nicht recht abgeholfen. Erfahrungsgemäß schreckten Umfang und Preis den Anfänger, und er griff dann doch zu einem kleineren Buche, wenn auch von minderm Wert. Hier aber kam hinzu, daß NIGGLIS ausgezeichnetes Werk, das jedem Vorgeschnittenen als trefflicher Führer immer wieder anzuraten ist, dem Anfänger doch eine unnötig erdrückende Fülle Stoff (einschließlich neuester, nicht immer restlos gesicherter Forschungsergebnisse) bietet, dem er noch ohne auswählendes Vermögen gegenübersteht; ferner enthält es im 2. Band, der speziellen Mineralogie, einen „neuen und neuartigen“ Versuch einer Systematik, mit dem sich die Fachgenossen erst selbst auseinanderzusetzen hatten und der, mindestens für die lehrbuchmäßige Darstellung, nicht einhellige Zustimmung fand.

Nun sind binnen weniger Wochen nicht weniger als drei Lehrbücher mit der gleichen Zielsetzung, die gekennzeichnete Lücke zu schließen, erschienen. Die Verfasser des vorliegenden ersten wenden sich bewußt sowohl an den Anfänger im Mineralogiestudium als auch an denjenigen, der, in Nachbarfächern tätig, in die Mineralogie als Hilfsfach einen genügend gründlichen Einblick zu erhalten wünscht. Sie geben dementsprechend technologisch bedeutsamen Erscheinungen wie auch technisch-wirtschaftlichen Belangen in dem gesteckten Rahmen gebührend Raum (Kapitel: „Verformung“, „Oberflächenerscheinungen und Schwimmaufbereitung“, technische und wirtschaftliche Angaben und Daten bei der Einzelbeschreibung der Mineralien). Der Inhalt entspricht in jeder Hinsicht dem neuesten Forschungsstand; genannt seien beispielsweise die Behandlung von Beanspruchung und Verformung der Kristalle oder die Gliederung der Silikate nach dem Feinbau samt Richtigstellungen vieler älterer chemischer Formeln. Die Anordnung des Stoffes innerhalb der Kristallphysik im allgemeinen Teil ist gegenüber noch gebräuchlicheren älteren Lehrbüchern geschickt verändert, die Darstellung schwungvoll und anregend, die Entwicklung der Hauptgedanken in den einzelnen Kapiteln vielfach geradezu elegant. So wird z. B. auch wieder dargetan, wie klar und schön die Kristalloptik entwickelt werden kann, wenn man von der Indikatrix ausgeht, der Bezugsfläche, bei der in der Schwingungsrichtung (natürlich nach beiden Seiten) die Maßzahlen der Brechungsindizes als Vektoren aufgetragen werden. Die „Mineralchemie“ ist eigentlich nur eine Kristallchemie; ihre Darstellung ist nicht gleich befriedigend, zumal kristallchemische Zusammenhänge etwas auseinandergerissen erscheinen (S. 46 ein weit vorangestelltes Kapitel „Kraftwirkungen im Raumgitter“ zwischen Feinbau und Kristallphysik, an sich flüssig geschrieben und sich dort gut einfügend!). — Das offensichtliche Bestreben, auf knappstem Raum den notwendig zu vermittelnden Stoff darzustellen, hat aber nach Ansicht

des Referenten leider vielfach doch zu einer Kürze der Darstellung geführt, die im Interesse des Stoffes zu bedauern ist und dem Anfänger das Verständnis fraglos erschwert. Gewiß trägt übrigens hierzu der oft eigenartige Stil und Satzbau bei. Es führt dies nur zu leicht auch zu einer ungleichen Behandlung des Stoffes. Genannt seien in dieser Beziehung beispielsweise das Kapitel über die Zwillingsgleitungen, wo man erläuternde Abbildungen, auch den so anschaulichen BAUMHAUERSchen Versuch am Kalkspat vermißt, die Geochemie und Paragenesis. Die Folge sind dann in der Verknappung auch mancherlei unsaubere Begriffsbestimmungen bzw. Unterscheidungen, wie beispielsweise gleich eingangs die von „Mineral“ und „Kristall“, „Homogenität“ und deren „Beweise“ oder Erklärungen, wie die über „physikalische Eigenschaften...“, die wir als Vektoren bezeichnen“, oder, daß man „eine Richtung parallel sich selbst verschieben“ dürfe, oder vom Röntgenstrahl als einem „Rohr von endlichem Querschnitt“. Bei der Verformung hätten wohl die Schlagfiguren mit Abbildungen gebracht werden können, zumal auf sie bei den Glimmern, auch dort zu knapp und ohne Angabe der kristallonomischen Lage, Bezug genommen wird. Grundsätzlich dürfte viel Widerspruch erregen, daß die Verfasser bewußt „auf eine eingehende Behandlung der kristallographischen Formenlehre verzichtet“ haben. Zwar ist die nun sehr stark verkürzte Darstellung der Kristallmorphologie wie die der anschließenden Feinbaulehre elegant. Aber sie erscheint angesichts des Zweckes des Buches so wenig ausreichend, daß der Anfänger dann später bei der Mineralbeschreibung gegenüber den durch zusätzliche Erklärungen im Text kaum unterstrichenen Figuren, insbesondere von Zwillingen, recht ratlos sein dürfte. Der Raumbedarf der Formenlehre kann in einem Lehrbuch eben keineswegs nur nach „dem inneren Gewinn... für den Leser“ bemessen werden.

Im „besonderen“ Teil ist die Systematik nur nach methodischen Bedürfnissen eingerichtet. Daß dies keine Schwäche bedeutet, erweist die recht zweckmäßige Durchführung. Oberste Einteilung bleibt die nach dem Chemismus; die weitere Gliederung ist wechselnd. Bei den Silikaten ist es die modernste nach dem Feinbau, bei den Sulfiden wieder die ganz alte in Kiese, Glanze, Fahle und Blenden usw. Die organischen C-Verbindungen sind grundsätzlich fortgelassen. Jeder Gruppe ist eine im allgemeinen sehr geschickte Charakteristik vorangestellt. Die Einzeldarstellung ist auch hier flüssig und anregend geschrieben; nur könnte die Stoffeinteilung öfter etwas straffer sein.

Folgende Angaben seien u. a. im einzelnen beanstandet: Es widerspricht seiner Definition, daß „ein Raumgitter aus einem oder mehreren ineinandergestellten Translationsgittern“ besteht (S. 32 und Fig. 27); aber es ist wohl auch ein SCHÖENFLESSches Punktsystem gemeint. In der Durchführung ist dadurch das Kapitel „Symmetrie und Feinbau“ etwas unsauber. — Die verbreitete fehlerhafte Ausdrucksweise: die und die Kristallart „hat“ „gerade Auslöschung“ oder

„schiefe Auslöschung“ findet sich mehrfach. — Man darf wohl nicht behaupten (S. 177), daß der Nickelgehalt der Lagerstätten vom Typus Sudbury, im Pentlandit, als Entmischungsprodukt primär Ni-haltigen Magnetkieses aufträte; bekanntlich trifft dies nur für einen verschwindend kleinen Teil zu. — Auch stimmt nicht, daß das Schweizer Gesetz bei Quarz „gerade“ in feinlamellarer Ausbildung „fast stets“ an den Umwandlungszwillingen des Tief-Quarzes aufträte (S. 206) oder daß für den Asterismus des Korunds eine feinlamellare Zwillingsbildung nach (1011) verantwortlich sei (S. 211). Die Umwandlungstemperatur des Leucits liegt bei wenig über 600° C, nicht bei 800°. Es ist unbewiesen, daß Edelopale mit Farbenspiel „stets“ Pseudomorphosen nach Kalkspat seien (S. 210). Man erstaunt, S. 255 zu lesen, daß die Glimmer bei der Verwitterung chemisch besonders widerstandsfähig sein sollen, und daß zwar Biotit seinen Fe-Gehalt leicht abgebe, aber sich in den übrigen Eigenschaften nicht wesentlich ändere (Katzengold!); ebenso (S. 269), daß bei den Feldspäten Albit- und Periklinlamellen „fast immer“ „nur als Auswirkung eines nachträglichen Zerfalls ursprünglich einheitlicher Kristalle gedeutet“ werden könnten. — Im allgemeinen Teil wird empfohlen, für die Hauptbrechungsindizes statt n_α , n_β , n_γ stets nur α , β , γ zu schreiben; im speziellen Teil wird dies aber nicht durchgeführt, ja sogar auch für optisch einachsige Kristalle statt ω , ε stets die verfängliche und mißverständliche Schreibweise n_α , n_γ gesetzt; die Angabe $\omega = \dots$, $\varepsilon = \dots$ ist eindeutig, jene nicht. Der „Einkristall“ läßt sich wohl stets vermeiden, auch wenn dieses unschöne Wort sich anderswo eingebürgert hat.

Wenn hier eine größere Zahl von einzelnen Beanstandungen sehr eingehend namhaft gemacht wurde, so geschah dies lediglich, weil dem vorliegenden Lehrbuch wegen seiner wertvollen Eigenschaften, der gesunden Grundanlage, der geschickten Stoffauswahl und der weitgehend gelungenen Durchführung im einzelnen eine weite Verbreitung und eine Beseitigung der Unzulänglichkeiten aufrichtig gewünscht wird. Wenn auch die leider zahlreich stehen gebliebenen Druckfehler und Interpunktionsverstöße ausgemerzt sowie eine größere Zahl falsch geschriebener Mineral- und Personennamen richtig gestellt würden, dann kann das Buch restlos warm empfohlen werden. Sein didaktischer Wert ließe sich dann wohl auch dadurch noch steigern, daß die Figuren durchgehends eine Beschriftung und viele Kristallbilder eine vollständigere Indizierung ihrer Flächen sowie reichlichere Erläuterung im Text erführen; ebenso wäre das Mineralverzeichnis auf Vollständigkeit durchzusehen.

Der Verlag hat in der bekannten Weise alles getan, dem Buch durch handliches Format, geschmackvollen Einband, auch gutes Papier und Druck Freunde zu erwerben. Der Preis darf als angemessen bezeichnet werden. *H. Seifert.*

Drosophila melanogaster Meig. Eine Einführung in den Bau und die Entwicklung. Von

EDUARD H. STRASBURGER. Mit 71 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1935. Preis geh. RM 6,90.

Mit der vorliegenden Arbeit gibt der Verfasser eine Morphologie des Tieres, das für die Erforschung von Vererbungsvorgängen an erster Stelle steht. Er gibt vor allem eine Einführung in die innere und äußere Anatomie der normalen Taufliede ohne Berücksichtigung der vielen Mutanten. Auf 25 Seiten werden Zucht, Präparation, ferner die Anatomie der Larve, der Puppe und der Imago abgehandelt. Die Embryonalentwicklung wird anhangsweise beschrieben und enthält eine Reihe bisher wenig veröffentlichter Daten. Auf Vererbungsversuche mit der Taufliede geht der Verfasser in diesem Buche nicht ein. Während der Text bewußt knapp gehalten ist, genügt er jedoch vollkommen, um die reichlich beigegebenen 71 Abbildungen, die der Verfasser alle selbst mit dem ABBESCHEN Zeichenapparat entworfen hat, zu verstehen.

Das Buch ist eine gediegene Arbeit und gewinnt besonders durch seine gute und vielseitige Illustrierung. Daß hier zum erstenmal eine zusammenfassende kurze Monographie über die Taufliede geschaffen worden ist, wird jeder begrüßen, der sich eingehender mit dieser Vererbungsfliege beschäftigen muß. Da auch heute in den Schulen Versuche mit *Drosophila* weitgehend durchgeführt werden, wäre es zu begrüßen, wenn jeder Biologielehrer Anregungen aus dieser Arbeit schöpfte.

Dr. Rudolf Lips.

Botanisch-geologische Spaziergänge in der Umgebung von Berlin. Von W. GOTHAN. 2. Auflage, Taschenformat. 109 Seiten, 15 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1934. In weichem Deckel geb. RM 3,60.

In der 2. Auflage treffen wir ein altbekanntes Exkursionsbüchlein wieder, das seit längerer Zeit vergriffen war. Die Anlage ist ähnlich wie bei der ersten Ausgabe. Zwei der früheren Ausflüge sind durch einen neuen und drei Parkspaziergänge ersetzt. Nach Jahreszeiten geordnet beginnt dieser Führer durch die Heimat mit einer Exkursion nach Lübars im April. Im Mai schlägt er einen Spaziergang nach Brieselang vor, im Juni in den Grunewald, in den Lietzenseepark und in den Schloßpark Charlottenburg. In die Ferienzeit des Monats Juli sind die meisten Spaziergänge gelegt: der Tiergarten, Birkenwerder-Briesetal, Tegeler See und Falkenberg-Freienwalde. Schließlich führt uns der Verfasser im August nach Mittenwalde und dem Machnower Weinberg und im September nach Rüdersdorf.

Es werden stets genaue Wege angegeben, und im gefälligen Plauderton werden wir über die Pflanzenvereine und ihre geologischen Zusammenhänge aufgeklärt. Für die charakteristischen Pflanzen finden wir Zeichnungen ihrer Teile, um sie in der freien Natur mühelos zu erkennen. Das Büchlein ist vor allem für naturwissenschaftlich interessierte Laien gedacht, die mit sehenden Augen im Buche der Natur lesen lernen wollen. Bei den Parkspaziergängen geht der Verfasser auch auf die schönen, angepflanzten ausländischen Gehölze und Bäume ein, die oft Zeugen einer bei uns längst ausgestorbenen Pflanzenwelt aus der Braunkohlenzeit sind.

Das bewährte Büchlein wird den Anforderungen, die man an einen solchen für weite Kreise bestimmten Führer stellen kann, voll gerecht. Man kann ihm weiteste Verbreitung wünschen.

Dr. Rudolf Lips.

Korrespondenz.

Fortsetzung der Mitteilungen der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Das im März 1936 im Verlage Quelle & Meyer in Leipzig erschienene Heft 13 der Mitteilungen der Hauptstelle ist betitelt: Die neuen Arbeitsräume der Hauptstelle als Muster für Bauberatung; Ergänzungen zu den Heften 9, 10 und 12.

Einleitende Abschnitte stellen dar, wie sich aus der Lage des naturwissenschaftlichen Schulunterrichts vor 50 Jahren die Notwendigkeit ergab, besondere Hilfseinrichtungen zu schaffen. Zunächst wurden Sonderlehrgänge eingerichtet, dann 1914 die Hauptstelle gegründet. Ihre Unterbringung in Räumen, die für andere Zwecke gebaut waren, erschwerte das Ausproben von Schuleinrichtung und Schulgerät, verhinderte in den Übungen die Erziehung zu schulgemäßer Arbeitsweise und gab bei Beratungen zu schweren Mißverständnissen Anlaß. 1930 wurden in einfachster Bauart Schulräume für Physik, Erdkunde, Chemie und Biologie geschaffen und in den folgen-

den Jahren ausgerüstet und zugleich in erweiterten Übungen erprobt. Die Beschreibung dieser Räume und Einrichtungen, die Bekanntgabe der beim Bau gemachten Erfahrungen, die Begründung der unter verschiedenen Möglichkeiten getroffenen Wahl bilden den hauptsächlichsten Inhalt des Heftes. Im Anhang werden Entwürfe mitgeteilt, zu deren Verwirklichung noch keine Gelegenheit gewesen ist, die aber anderen Stellen Anregungen geben können. Ferner enthält die Schrift Ergänzungen zu früher erschienenen Heften, die sich teils aus neueren Bestimmungen und teils aus der Weiterentwicklung technischer Hilfsmittel als notwendig ergaben.

Der Zweck des neuen Heftes, das 136 Seiten mit 79 Abbildungen umfaßt und im Buchhandel RM 6,— kostet, kann zusammenfassend so gekennzeichnet werden: es sollen Anregungen für Schulbauten gegeben werden, nicht zu bloßer Nachahmung, sondern zur Einführung in die Aufgaben, die eine solche für den Lehrer in der Regel nur einmalige Gelegenheit stellt.