

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XLIII. Jahrgang.

1930.

Drittes Heft.

Die wichtigen Messungen an der Elektronenröhre zur Bestimmung ihrer wesentlichen physikalischen Eigenschaften.

Von Dr. Friedrich Moeller in Berlin.

(Mitteilung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht¹.)

A. Theoretische Übersicht².

a) Beschreibung der Röhre.

Jede Elektronenröhre, gleichgültig welcher Leistungsfähigkeit, besitzt folgende wesentlichen Teile: Glühkathode, Anode, Gitter; diese 3 Elektroden sind in einem normalerweise aus Glas bestehenden Behälter, der sog. Röhre, untergebracht, deren Vakuum auf 10^{-6} bis 10^{-7} mm Quecksilber getrieben ist. Anode und Gitter besitzen je eine Zuführung nach außen, die Glühkathode (zum Zweck ihrer elektrischen Heizung) deren zwei³. Sie besteht bei den leistungsfähigen Empfängerröhren heute aus einem Oxyd der Alkalimetalle (Wehneltkathoden), das auf einen Kerndraht aus Platin, Iridium oder Nickel aufgetragen ist. Der Kerndraht wird durch einen Akkumulator geheizt und erwärmt die Oxydschicht so weit, daß sie Elektronen emittiert. Die Klemmenspannung des Kerndrahtes beträgt bei den normalen Röhren heute allgemein 3,8 bis 4 Volt; bei Verwendung von 2 Blei-Sammlerzellen ist demnach ein Vorschaltwiderstand nicht nötig, praktisch sogar schädlich, weil durch ihn oft unsichere Kontakte hervorgerufen werden⁴. Anode und Gitter sind bei den Empfängerröhren aus Nickel, bei den Senderöhren aus Tantal hergestellt. Die Anordnung der drei Elektroden ist stets so getroffen, daß sich das Gitter räumlich zwischen Kathode und Anode befindet. Das Gitter ist bei den Empfängerröhren in der Regel eine Drahtspirale, bei den Senderöhren ein Drahtnetz mit engeren oder weiteren Maschen. Zwischen den Maschen oder Spiralen bleibt freier Raum, durch den die vom Faden emittierten Elektronen zur Anodenplatte fliegen. Die Form von Gitter und Anode ist bei den verschiedenen Röhrentypen sehr verschieden; bei den kleineren Röhren ist oft Zylinderform gewählt. Innerhalb des Anodenzylinders ist koaxial die Gitterspirale angebracht, und der Kathodofaden ist in der Zylinderachse gespannt. Bei den größeren Empfängerröhren kommt man mit einem Kathodofaden nicht aus, es sind deren mehrere nötig, die parallel geschaltet sind, so daß dadurch Gitterspirale und

¹ Gelegentlich des Herbstferienlehrganges 1929 veranstaltete die Staatliche Hauptstelle auch einen Kursus über Messungen an Elektronenröhren. Auf vielfachen Wunsch der Teilnehmer wird hier eine eingehende Inhaltsangabe dieser Übungen mit den nötigen theoretischen Erläuterungen gegeben. Die Versuche dürften auch für den weiteren Leserkreis dieser Zeitschrift mitteilenswert sein.

² Es handelt sich hier nicht um eine ausführliche theoretische Darstellung, die als völlig überflüssig bezeichnet werden müßte. Die Theorie der Röhre ist heute bereits in vielen Lehrbüchern eingehend behandelt. Es sei hier auch auf die Abhandlung von W. SPREEN: „Eine quantitative Darstellung der Wirkungsweise der Elektronenröhre“ in dieser Zeitschr. 42, 79 (1929) hingewiesen. Die nachfolgende kurze theoretische Übersicht hat nur den Zweck, die praktischen Messungen zu erläutern, deren Darstellung sich in der Literatur weit seltener findet und nicht in dieser Form.

³ Die sog. indirekt geheizten Kathoden besitzen sogar 3 Ausführungen der Kathode; von ihrer Beschreibung wird hier abgesehen, desgleichen von der Beschreibung und Benutzung der Mehrgitterröhren.

⁴ In der Meßanordnung ist doch ein Heizwiderstand vorgesehen aus einem Grunde, der später angegeben ist (S. 119).

Anodenblech eine andere Form erhalten. Die Entfernung Anode-Kathode beträgt bei den Empfängerröhren nur wenige Millimeter, bei den Senderöhren bis zu einigen Zentimetern. Die Entfernung Gitter-Kathode ist entsprechend kleiner.

Wird zwischen glühende Kathode und Anode eine Spannung gelegt, — bei den Messungen und in der Empfangspraxis je nach dem Zweck 50 bis 200 Volt, die einer Batterie oder (im Laboratorium) am besten einer Gleichstrommaschine entnommen werden, wobei der positive Pol an der Anode, der negative an der Kathode liegt, — so entsteht zwischen den beiden Elektroden ein elektrostatisches Feld, das die Elektronen von Kathode zu Anode treibt. Im Sinne der normalen Bezeichnung fließt also ein Strom von der Anode zur Kathode, der sog. **Anodenstrom**, der kontinuierlich ist. Wird verkehrt gepolt, so kann der Anodenstrom nicht fließen, weil durch das jetzt entgegengesetzte Feld alle Elektronen auf den Faden zurückgetrieben werden: der Anodenstrom ist null. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist sehr groß und beträgt bei wenigen Volt schon mehrere 1000 Kilometer pro Sekunde. Aus diesem Grunde hat die Elektronenröhre als völlig trägheitsloses und phasenfreies Relais ihre heutige Bedeutung erlangt.

Wird zwischen glühende Kathode und Gitter ebenfalls eine Spannung gelegt, — bei den Versuchen und in der Praxis nur wenige Volt, die einer sog. Gitterspannungsbatterie entnommen werden, wobei in der Regel im Gegensatz zu vorhin der negative Pol am Gitter, der positive Pol am Faden liegt, — so addieren sich im Raum zwischen Kathode und Gitter die beiden elektrostatischen Felder F_a der Anodenbatterie und F_g der Gitterbatterie algebraisch, ihre Summe ist das **Steuerfeld**, das den Flug der Elektronen vom Glühdraht nach Menge und Schnelligkeit bestimmt.

Es ist:

$$F_a + F_g = F_{st} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Wird $F_g = -F_a$, so ist das Steuerfeld gleich Null und deswegen auch der Emissions- bzw. der Anodenstrom.

b) Der Durchgriff D .

Das Einbringen der Gitterelektrode zwischen Anode und Kathode hat eine starke Veränderung des Feldes zur Folge, wie es zwischen Anode und Kathode ohne Vorhandensein des Gitters entstehen würde. Eine Anzahl elektrostatischer Feldlinien des durch die Anodenspannung erzeugten Feldes endigen bereits auf dem Gitter, sie gelangen nicht in den Raum zwischen Gitter und Kathode und können deswegen auf die Größe des Anodenstromes keinen Einfluß gewinnen. Nur die Feldlinien der Anodenspannung, die auf der Oberfläche des Kathodfadens endigen, die also durch die Maschen des Gitters „hindurchgreifen“, treiben Elektronen zur Anode, bewirken also den Anodenstrom. Die Zahl der durch das Gitter hindurchgreifenden Anodenfeldlinien ist um so kleiner, je enger die Maschen des Gitters sind, und je näher das Gitter sich dem Faden befindet. Auch die Dicke der Gitterdrähte ist von Einfluß. Abgesehen von einigen belanglosen Einschränkungen (Raumladung) ist der **Durchgriff der Anodenfeldlinien durch das Gitter** nur von den geometrischen Abmessungen der Elektroden und ihres gegenseitigen Abstandes abhängig und eine reine Zahl, die gebräuchlicherweise mit D bezeichnet wird. Man bezeichnet mit DE_a den Teil der Anodenspannung, der zur Bildung des Anodenstromes beiträgt, der also im Raum zwischen Gitter und Kathode das Feld F_a erzeugt. — Ersetzt man in der Gleichung (1) die Felder durch die zugehörigen Spannungen, so läßt sich die Gleichung auch schreiben

$$E_g + DE_a = E_{st} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Wird $E_g = -DE_a$, so ist E_{st} gleich Null, also auch F_{st} , und damit der Anodenstrom. E_{st} heißt die **Steuerspannung**.

Setzt man in Gleichung (2) $E_{st.} = 0$, so wird:

$$D = - \frac{E_g}{E_a (i_a = 0)}$$

Der Durchgriff wird also gleich dem negativen Verhältnis der Gitterspannung zur Anodenspannung, wenn der Anodenstrom Null ist. Die Gleichung wäre streng richtig, wenn nicht im sogenannten Anlaufgebiet des Anodenstromes durch die Raumladung (siehe unten und S. 111) Feldveränderungen in der Nähe des Fadens stattfinden würden, die auch die Größe des Durchgriffs verändern. Man benutzt deswegen zur Messung des Durchgriffs den Ausdruck

$$D = - \frac{dE_g}{dE_a (i_a = \text{const.})} \dots \dots \dots (3)$$

in dem $-dE_g$ und dE_a die Gitter- bzw. die Anodenspannungsänderungen sind, die beide zusammen keine Änderung des Anodenstromes bewirken. Das negative Vorzeichen des Ausdrucks erklärt sich daraus, daß die Gitterspannung um einen gewissen Wert abnehmen muß, wenn die Anodenspannung erhöht wurde, um wieder den gleichen Anodenstrom i_a vor Änderung der Anodenspannung zu erhalten. Die Änderung dE_g ist stets erheblich kleiner als die Änderung dE_a , weswegen man den Durchgriff in der Regel in Prozenten angibt. Ein Durchgriff von 10 % z. B. bedeutet, daß sich die Anodenspannung mit umgekehrtem Vorzeichen um den 10fachen Wert der Gitterspannung ändern muß, um den Anodenstrom konstant zu halten.

Die Größe des Durchgriffs schwankt bei den einzelnen Röhrentypen je nach dem Zweck außerordentlich, bei Senderöhren beträgt er oft nur 1 bis 3 %, bei Verstärkerröhren ist er in der Regel viel größer und erreicht bei einzelnen Arten sogar 30 %.

c) Aufnahme der Charakteristik und Bestimmung der Steilheit S .

Trägt man den Anodenstrom i_a einer Röhre als Funktion der Gitterspannung E_g auf, während die Anodenspannung E_a konstant bleibt, so erhält man die sog. **Charakteristik** der Röhre. Sie ist in idealisierter Form in Fig. 1 dargestellt. Der in der Mitte völlig geradlinige Teil ist in der Praxis nicht zu erreichen, sondern bei den Charakteristiken aller Röhrenarten nur näherungsweise vorhanden. Der Grad der Annäherung und die Länge des näherungsweise geraden Teiles ist für die einzelnen Röhrentypen verschieden¹. Im unteren Teil ist die Kennlinie konvex gegen die Abszisse gekrümmt, eine Erscheinung, die allen Röhren ohne Ausnahme eigentümlich ist, und die ihre Ursache in der Eigenfeldwirkung der Elektronen hat. Sie bewirkt bei nicht genügender Steuerspannung eine Raumladung, die in der Umgebung des Fadens einen sehr komplizierten Potentialverlauf zur Folge hat.

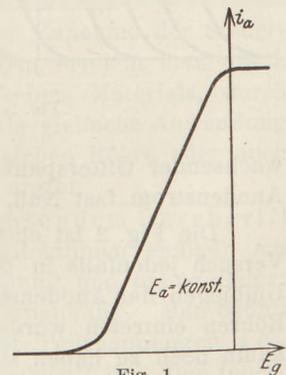


Fig. 1.

Im oberen Teil wird die Charakteristik konkav gekrümmt, um schließlich parallel der Abszisse zu verlaufen: Sämtliche zur Verfügung stehenden Elektronen werden emittiert. Auch dieser Teil der Kurve ist stark idealisiert; in der Praxis, insbesondere bei den modernen größeren Empfängerröhren, kommt es nicht

¹ Der theoretische Verlauf der Kennlinie ist bei ausreichender Emissionsfähigkeit des Fadens durch das SCHOTTKY-LANGMUIRSche Raumladungsgesetz gegeben. Es ist der Emissionsstrom:

$$i_e = KE^{3/2},$$

wo K eine Konstante ist, die von den geometrischen Abmessungen der Röhre und vom Material abhängt. E ist die angelegte Anodenspannung.

Durch den Spannungsabfall des Heizstromes längs des Fadens erleidet die theoretische Kennlinie eine Verflachung und verläuft im mittleren Teil zwischen Anlaufkrümmung und Endkrümmung annähernd geradlinig. Die Annäherung ist für verschiedene Röhren verschieden.

zu einer markanten Sättigungs-Krümmung, sondern es tritt häufig ein ganz anderer Stromverlauf ein (siehe S. 109).

Das Verhältnis

$$S = \frac{di_a}{dE_g} \quad (E_n = \text{const.}) \quad (4)$$

nennt man die **Steilheit** der Charakteristik, die in Milliampere pro Volt angegeben wird und aus dem Verlauf der Kurve ohne weiteres abgelesen werden kann. Im geradlinigen Teil der Charakteristik ist S konstant und hat den größten Wert. Beim Röhrensender spielt die mittlere Steilheit eine Rolle, beim Röhrenverstärker ist nur die Steilheit im geradlinigen Teil von Bedeutung.

d) Die Parallelverschiebung der Charakteristik und das Auftreten des Gitterstromes.

Wird die Charakteristik der Reihe nach bei verschiedenen Anodenspannungen E_a aufgenommen, so ergibt sich eine Schar einander kongruenter parallel verlaufender Kurven, die um so weiter nach links rücken, je größer die Anodenspannung wird.

Der Erhöhung der Anodenspannung ist eine Grenze gesetzt in der Isolationsfähigkeit der Röhre (Sockel) und in den Abmessungen ihrer Elektroden: Die Elektronen

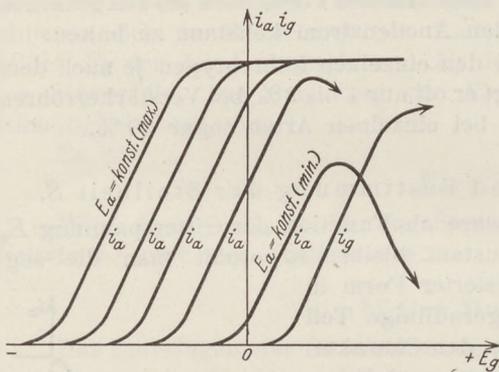


Fig. 2.

erlangen durch höhere Anodenspannungen immer größere Geschwindigkeiten und erwärmen durch ihren Aufprall das Anodenblech bald so stark, daß es schmelzen würde. Die hier auftretende Wärmewirkung ist durchaus in Parallele zu setzen mit der Stromwärme im stromdurchflossenen Leiter.

Durch Erniedrigung der Anodenspannung wandert die Charakteristik nach rechts und verändert sehr bald ihre Form, weil bei positiv werdender Gitterspannung ein Teil der Elektronen zum Gitter gezogen wird, das vorher völlig stromlos war. Der Gitterstrom nimmt zu mit

wachsender Gitterspannung und mit fallender Anodenspannung; schließlich wird der Anodenstrom fast Null, so daß alle emittierten Elektronen zum Gitter gelangen.

Die Fig. 2 ist ebenfalls idealisiert. Bei den modernen Empfängerröhren ist der Versuch jedenfalls in der exakten Form kaum zu realisieren, weil schon vor dem Umbiegen der Anodenstromkurve infolge der starken Emission eine Zerstörung vieler Röhren eintreten würde. Nur bei Röhren mit reinem Metallfaden, die im Handel kaum noch zu haben sind, lassen sich derartige Kurven rein darstellen¹.

e) Der innere Widerstand R_i der Röhre.

Der innere Widerstand einer Röhre verhält sich im geradlinigen Teil der Charakteristik wie ein OHMScher Widerstand, das heißt, der Emissionsstrom wächst proportional der angelegten Anodenspannung. Es bedarf einer strengen Definition des Ausdrucks R_i .

Bei einer Zwei-Elektrodenröhre (ohne Gitter) wird der Emissionsstrom nur abhängig von der angelegten Anodenspannung, so daß sich der Widerstand dieser Röhre definieren läßt:

¹ Bei Unterheizung der modernen Röhren ist der Versuch besser zu machen. Er ist jedoch in der Folge nicht ausgeführt, weil solche Messungen kaum einen praktischen Wert besitzen.

$$R = \frac{dE_{st.}}{di_e} \dots \dots \dots (5)$$

Er ist konstant im geradlinigen Teil der Kennlinie.

Das Einbringen einer dritten Elektrode, des Gitters, hat eine Veränderung des Steuerfeldes zur Folge (siehe S. 98), im übrigen jedoch bleibt das Strom-Spannungsgesetz völlig erhalten, so daß der Ausdruck (5) sich schreiben läßt:

$$R = \frac{dE_{st.}}{di_a} \dots \dots \dots (6)$$

wo $E_{st.} = E_g + DE_a$ und i_a der Anodenstrom ist, der gleich dem Emissionsstrom i_e wird, wenn der Strom zum Gitter (im neg. Bereich der Gitterspannung) gleich Null wird.

Bleibt in Gleichung (6) E_g konstant, so hängt die Änderung des Anodenstromes nur von der Änderung der Anodenspannung ab, und es läßt sich schreiben:

$$R_i = \frac{dE_a}{di_a} \quad (E_g = \text{const.}) \dots \dots \dots (7)$$

ein Ausdruck, der als **innerer Widerstand** der Dreielektrodenröhre bezeichnet wird. Die Werte (5), (6) und (7) sind völlig voneinander verschieden. (5) hat eine praktische Bedeutung bei der Konstruktion der sog. Gleichrichterröhren (siehe S. 114).

Der innere Widerstand R_i ist im geradlinigen Teil der Charakteristik konstant und als OHMScher Widerstand zu werten, weil er infolge der Trägheitlosigkeit des Emissionsvorganges phasenfrei ist.

Auf Formel (7) beruht die praktische Messung von R_i . Man läßt die negative Gitterspannung konstant und beobachtet die Zunahme des Anodenstromes für einen Zuwachs der Anodenspannung.

Aus der Aufnahme einer Kennlinie $i_a = f(E_a)$ für $E_g = \text{const.}$ läßt sich R_i in gleicher Weise entnehmen, wie die Steilheit S aus der normalen Charakteristik (siehe S. 100 und 109).

Der innere Widerstand einer Röhre hängt in erster Linie von der Emissionsfähigkeit des Fadens ab. Je größer die Emissionsfähigkeit des Fadens ist, um so größer ist der Anodenstrom und seine Zunahme bei Zunahme der Steuer-spannung um dE_a . Eine größere Emissionsfähigkeit des Fadens erreicht man durch Erhöhung der Fadentemperatur, durch geeignete Auswahl seines Materials, durch Vergrößerung seiner Oberfläche und endlich, was in der Praxis vielfache Anwendung findet, durch Parallelschalten von mehreren Fäden in der gleichen Röhre oder auch in verschiedenen Röhren, was praktisch das gleiche Resultat ergibt.

Der innere Widerstand fällt aber auch mit wachsendem Durchgriff der Röhre! Je kleiner der Durchgriff, um so mehr Anodenfeldlinien endigen auf dem Gitter, desto kleiner wird also der Einfluß der Anodenspannung, und um so kleiner wird dementsprechend in Formel (2) der Anteil DE_a der Steuer-spannung. Man bedarf demnach bei sonst gleichen Röhrenausmaßen um so größerer Teilspannungen dE_a , um die gleiche Zunahme di_a zu bewirken, je kleiner der Durchgriff ist. Der innere Widerstand (7) muß also mit fallendem Durchgriff einen immer größeren Wert annehmen.

f) Der Einfluß von Durchgriff und innerem Widerstand auf die Steilheit S .

Daß die Steilheit der Charakteristik mit kleiner werdendem inneren Widerstand zunehmen muß, ist leicht zu erklären. Je kleiner der innere Widerstand, um so größer muß der Anodenstrom und um so größer auch seine Zunahme für gleiche dE_g sein. Die Steilheit wächst jedoch auch mit kleiner werdendem Durchgriff, was ebenfalls ohne weiteres ersichtlich ist. Je kleiner der Durchgriff ist, um so kleiner können die Spannungen E_g sein, um Gitter-Kathodenfelder F_g in gleichbleibender Stärke hervorzurufen. Das gleiche gilt für die Teilspannungen dE_g . Für gleiche dE_g muß also die Zunahme di_a um so größer sein, je kleiner der Durchgriff ist.

Steilheit, Durchgriff und innerer Widerstand sind nach H. BARKHAUSEN durch die Formel verbunden:

$$S = \frac{1}{DR_i} \text{ (BARKHAUSENSCHE RÖHRENFORMEL) (8)}$$

D ist eine reine Zahl und das Verhältnis zweier Spannungen in Volt, R_i ist ein Widerstand in Ohm, woraus sich S in Ampere pro Volt ergibt.

g) Der Einfluß in den Anodenkreis eingeschalteter Widerstände auf die Steilheit der Charakteristik.

Eine Verstärkerröhre hat entweder den Zweck, Wechselspannungen zu verstärken oder durch Anlegen einer Wechselspannung zwischen ihrem Gitter und ihrer Kathode möglichst hohe Wechselstromleistungen in ihrem Anodenkreis zu erzeugen. Die Spannungsverstärkung oder Wechselstromleistung soll beim Verstärker der an Gitter und Kathode angelegten Spannung linear proportional sein. Bisweilen erfüllt wohl auch eine Röhre den doppelten Zweck der Spannungs- wie der Leistungsverstärkung, oft jedoch ist eine Trennung beider Aufgaben eingetreten: In einem Mehrfachverstärker, wie er heute fast stets Anwendung findet, haben die sog. Vorverstärkerröhren die alleinige Aufgabe der Spannungsverstärkung, während die letzte Röhre oder (parallel geschalteten) Röhren in ihrem Anodenkreis eine größtmögliche Wechselstromleistung abzugeben haben.

Die Leistungsabgabe ist theoretisch besonders einfach und durchsichtig, wenn es sich um rein OHMSche, im Anodenkreis der Röhre liegende Widerstände handelt, auf die die Leistung abgegeben werden soll. Voraussetzung ist, daß die Leistungsabgabe sich im geradlinigen Teil der Charakteristik vollzieht¹. In diesem Fall findet die maximale Leistungsabgabe dann statt, wenn der Anodenwiderstand R_a gleich ist dem inneren Widerstand R_i der Röhre. Die maximale Leistungsabgabe wird dann:

$$N_{max.} = \frac{u_{g\ eff.}^2 \cdot S}{4 \cdot D_{(R_a=R_i)}} \text{ (9)}$$

$u_{g\ eff.}$ ist die zwischen Gitter und Kathode gelegte effektive Wechselspannung, kurz **Gitterwechselspannung** genannt, S die Steilheit, D der Durchgriff der arbeitenden Röhre. Man erhält $N_{max.}$ in Watt.

Wird die Kennlinie einer Röhre $i_a = f(E_g)$ mit eingeschaltetem Anodenwiderstand R_a aufgenommen, so ist die Steilheit S' der so entstehenden Charakteristik stets kleiner als die Steilheit S . S' wird mit wachsendem Anodenwiderstand kleiner und kleiner und für $R_a \gg R_i$ praktisch gleich Null. Wenn $R_a = R_i$, so wird $S' = \frac{S}{2}$, so daß sich die Formel (9) auch schreiben läßt:

$$N_{max.} = \frac{u_{g\ eff.}^2 \cdot S'}{2 \cdot D_{(R_a=R_i)}} \text{ (10)}$$

Der Vergleich der S -Charakteristik mit der S' -Charakteristik einer Röhre für verschiedene Anodenwiderstände R_a gibt ein übersichtliches und einleuchtendes Bild von der Eignung der betr. Röhre, Wechselstromleistung an ihren Anodenwiderstand abzugeben. Auch liefert die Aufnahme von S' -Charakteristiken an verschiedenen Röhren mit dem gleichen Anodenwiderstand gute überzeugende Vergleiche.

Um Wechselspannungen mit der Röhre zu verstärken, sind heute 2 Wege bekannt, die sich mit den Stichworten kennzeichnen lassen: Transformator-

¹ Über die Leistungsabgabe eines Röhrensenders kann hier nicht gesprochen werden, weil sie sich nicht nur innerhalb des geradlinigen Teils der Charakteristik und nicht nur bei negativer Gitterspannung vollzieht und deshalb nach ganz anderen Gesetzen erfolgt. Verf. beabsichtigt, hierüber in einer späteren Arbeit Angaben zu machen.

verstärkung und Widerstandsverstärkung¹. Im ersteren Fall wird die Primärwicklung eines Eisentransformators in den Anodenkreis der Vorröhre gelegt, dessen Sekundärwicklung mit Gitter und Kathode der folgenden Röhre verbunden wird. Die Spannungstransformation ist in hohem Maße ein Problem des Baus geeigneter Sprechtransformatoren; eine Erörterung darüber scheidet hier aus.

Die zweite Verstärkungsart, die Widerstandsverstärkung, erreicht die Ankopplung der Röhren durch OHMSche Widerstände und Kondensatoren. Es lassen sich bestimmte Röhrentypen mittels Rechnung finden, die sich für die Widerstandsverstärkung besonders eignen und eine größtmögliche Spannungsverstärkung erzielen.

Ist $u_{g1 \text{ eff.}}$ die Wechselspannung am Gitter der ersten Röhre (Fig. 3) und $u_{g2 \text{ eff.}}$ die zu bestimmende verstärkte Wechselspannung, die zwischen Anode und Kathode der Röhre entsteht und auf das Gitter der zweiten Röhre mittels des Kondensators C übertragen wird², dann ist nach der Theorie

$$u_{g2 \text{ eff.}} = u_{g1 \text{ eff.}} \frac{1}{D} \frac{R_a}{R_a + R_i} \dots \dots \dots (11)$$

D ist wie bekannt der Durchgriff der Röhre, R_a der einzuschaltende OHMSche Anodenwiderstand. Die Spannungsverstärkung ist demnach umgekehrt proportional dem Durchgriff der Röhre; je kleiner der Durchgriff, um so mehr verstärkt die Röhre. Die Industrie hat deswegen besondere Röhren für Widerstandsverstärkung konstruiert, die einen sehr kleinen Durchgriff von etwa 3 bis 4 % besitzen und außerdem einen sehr hohen inneren Widerstand haben: die Emissionsfähigkeit dieser Röhren ist nur gering. Ein Faden mit großer Emissionsfähigkeit wäre Verschwendung, wie die Formel (11) weiterhin zeigt. Die Verstärkungsziffer steigt mit dem Verhältnis $\frac{R_a}{R_a + R_i}$, das seinen größten Wert nahe = 1 erreicht, wenn $R_a \gg R_i$. Es handelt sich demnach bei der Widerstandsverstärkung stets um sehr große Anodenwiderstände im Werte von 300 000 Ohm bis zu 1 000 000 Ohm und mehr (die einen großen Anodenstrom ohnehin nicht zulassen). Der Leistungsverbrauch des Widerstandes soll so klein wie möglich sein, weswegen die Emissionsfähigkeit der sog. Widerstandsröhren sehr gering sein kann. Für Leistungsabgabe eignen sie sich durchaus nicht, weil die Steilheit sehr klein ist (siehe Formel 9).

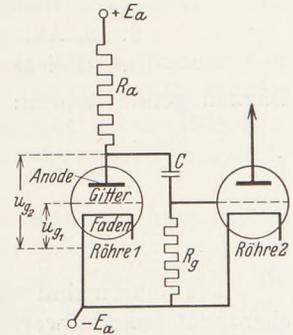


Fig. 3.

B. Apparate und Meßanordnung.

Zur Ausführung der Messungen sind folgende Apparate notwendig:

1. 1 Röhrenschaltbrett,
2. 1 Milliamperemeter mit 3 Nebenwiderständen für 2,5, 50 und 150 Milliampere,
3. 1 Voltmeter bis 50 Volt (hochohmig),
4. 1 Voltmeter bis 250 Volt,
5. 1 Potentialvariometer (Spannungsteiler) 800 Ohm, belastbar mit 1/2 Amp.

¹ Es ist hier an Niederfrequenzverstärkung gedacht. Die sog. Hochfrequenzverstärkung folgt an sich genau den gleichen Gesetzen; ein prinzipieller Unterschied besteht nicht, wohl aber ein technischer Unterschied. Die inneren Röhrenkapazitäten spielen bei den hohen Frequenzen eine sehr schädliche Rolle, desgleichen andere Kapazitäten der Schaltung, die bei Niederfrequenz unschädlich sind. Eisentransformatoren fallen naturgemäß fort, wohl aber lassen sich für nicht allzu hohe Frequenzen die Widerstandsverstärker mit gutem Erfolg benutzen.

² Über die Größe der Koppelungskondensatoren soll hier nicht gesprochen werden, da sie das Thema nicht mehr berühren.

6. 2 oder 3 Gittervorspannungsbatterien je 20 Volt,
7. 1 Widerstand 4000 Ohm (große Telefonspule),
8. 1 Widerstand 400 000 Ohm (Dralowid),
9. 1 Akkumulator 4 Volt (\leq 25 Amp.-Std.),
10. Gleichstrommaschine 220 Volt (\leq 0,5 Kw.).

Dazu folgende Röhren:

3 Röhren	RE	134
1 Röhre	„	074
1	„	064
1	„	034
1	„	604.

Die Röhren sind von Telefunken hergestellt, es kann jedoch jedes andere Fabrikat ebensogut benutzt werden, das in seinen elektrischen Abmessungen den angegebenen Typen entspricht.

Das **Röhrenschaltbrett** wurde im Laboratorium der Hauptstelle entwickelt; es enthält sämtliche Anoden-, Gitter- und Heizleitungen mit 3 parallel geschalteten Röhrensockeln und außerdem einige Klemmen und einen kleinen Sockel zum bequemen Einschalten der Widerstände 7 und 8.

Als **Strommesser** sowohl wie als **Spannungsmesser** sind die unter dem Namen „Mavometer“ bekannt gewordenen Apparate der Firma Gossen-Erlangen verwendet worden, die sich vorzüglich bewährt haben und deswegen universell zu gebrauchen sind, weil jedes Instrument in einfachster Weise durch Anschalten von Neben- bzw. Vorwiderständen in ein Amperemeter oder Voltmeter verwandelt werden kann. Diese Widerstände werden von der Firma in einer großen Auswahl von Meßbereichen geliefert. Für die Messungen sind drei Instrumente nötig, von denen zwei als Spannungsmesser, das dritte als Strommesser dienen. Für die Spannungsmessung werden die Vorwiderstände 50 Volt (Gitterspannungen) und 250 Volt (Anodenspannungen) gebraucht. Zur Messung der Stromstärken sind die Nebenwiderstände 2,5, 50 und 150 Milliampere zweckmäßig. Die Mavometer besitzen sämtlich einen Einschaltknopf, der gedrückt werden muß, um das Instrument in Tätigkeit zu setzen. Für Dauer-messungen ist das sehr unbequem, weshalb von der Firma eine Feststellklammer auf Wunsch beigegeben wird.

Zu den Messungen können jedoch auch beliebige etwa vorrätige Meßinstrumente genommen werden, nur ist bei Messung der Gitterspannung zu beachten, daß die Gitterbatterie nur wenige Milliampere verträgt. Das parallel zur Gitterbatterie geschaltete Voltmeter muß also hochohmig sein, damit sein Eigenstrom die Batterie nicht übermäßig belastet. Der Widerstand des Mavometer-Nebenwiderstandes 50 Volt beträgt etwa 25 000 Ohm.

Als **Heizquelle der Röhren** ist der Bleiakkumulator zweckmäßig, weil alle normalen Röhren heute für 3,8 bis 4 Volt Fadenspannung gebaut sind. Die zulässige Belastungsstromstärke des Sammlers soll nicht kleiner als 2 Ampere sein. In letzter Zeit kommen die Nickel-Eisen Zellen sehr in Gebrauch, die ja große Vorzüge besitzen. Für Röhrenmessungen sind sie jedoch nicht sehr geeignet, weil durch Reihenschaltung der einzelnen Zellen eine Spannung von 4 Volt nicht herzustellen ist. Es muß bei Gebrauch von 4 Zellen (4,8 Volt) die Überspannung von 0,8 Volt durch einen Heizstromregler ver-nichtet werden, was bei den Messungen zu sehr erheblichen Fehlern führen kann, wenn die Einstellung des Widerstandes während der Messung auch nur im geringsten geändert wird. Dann treten sofort sehr große Emissionsänderungen des Fadens ein (siehe S. 119), wodurch die Messung zwecklos wird. Drei in Serie geschaltete Nickel-Eisen-Zellen haben nur 3,6 Volt, eine für die Röhren zu kleine Fadenspannung.

Für alle Röhrenmessungen ist sehr wichtig und häufig am schwierigsten die Bereitstellung einer guten leistungsfähigen Anodenstromquelle. Es muß mit Nachdruck

betont werden, daß die Gesamtheit der folgenden Untersuchungen nur dann durchgeführt werden kann, wenn eine **Gleichstrommaschine von 220 Volt** zur Verfügung steht¹. Im Laboratorium der Hauptstelle wurden sämtliche Messungen mit 220-Volt-Maschinenspannung gemacht.

Die Untersuchungen an den kleineren Röhren können mit den gebräuchlichen Trocken-Anodenbatterien gemacht werden, von denen mindestens 180 Volt zur Verfügung stehen müssen. In den beigefügten Tabellen ist zu der betreffenden Messung, die mit einer **normalen Trockenbatterie** ausgeführt werden kann, ein *b* eingeschrieben.

Neuerdings werden für Empfangszwecke die **Netzanodenbatterien**, kurz „Netzanoden“ genannt, vielfach angewandt. Es gibt unter ihnen viele sehr schlechte und manche sehr brauchbare Typen. Für Meßzwecke eignen sich jedoch auch die letzteren nicht sonderlich, weil alle Netzanoden die unangenehme Eigenschaft haben, mit der Belastung in sehr hohem Maße die Spannung zu ändern. An sich ist ja diesem Mangel durch einen Spannungsteiler abzuhelpfen, aber ein solcher belastet die Netzanode sehr stark, wenn er nicht sehr hochohmig gewählt wird. Wenn die Netzanoden nicht sehr leistungsfähig sind, so lassen sich mit ihnen kaum andere als die Messungen machen, die auch mit den normalen Trockenbatterien möglich sind. Netzanoden sehr großer Leistungsfähigkeit werden von der Industrie hergestellt, aber sie sind so teuer, daß es dann nur eines verhältnismäßig kleinen Mehrpreises bedarf, um ein Maschinenaggregat anzuschaffen.

Von den Akkumulatorenfirmen werden heute kleine Hochspannungssätze hergestellt, in der Regel mit einer Spannung von 90 Volt bei einem maximal zulässigen Stromverbrauch von dauernd 50 Milliampere, ihre Kapazität beträgt bis zu 2 Amperestunden. Ihre Wartung ist jedoch sehr umständlich, ihre Haltbarkeit bei bester Behandlung auch nur begrenzt, weswegen von ihrer Anschaffung abgeraten werden muß. — Vielfach stehen in Schulsammlungen 110 Volt Gleichstrom einer Maschine zur Verfügung. Bei Benutzung einer so geringen Anodenspannung werden die Messungen nicht mehr exakt, sie sind zwar teilweise auszuführen, lassen aber wesentliche Arbeitbedingungen der Röhre nicht mehr erkennen.

Das **Potentialvariometer (Spannungsteiler)** dient zur bequemen genauen Einstellung und Nachregulierung der Anodenspannung, die bei den meisten Messungen genau konstant zu halten ist. Außerdem ist es notwendig zur Messung des Durchgriffs und zur Bestimmung des inneren Widerstandes der Röhren, wobei genau einstellbare Spannungsveränderungen notwendig werden. In den nachstehenden Untersuchungen ist ein Spannungsteiler mit dem Widerstand von etwa 800 Ohm bei einer Belastungsfähigkeit von $\frac{1}{2}$ Ampere gewählt worden. Bei der Klemmenspannung 220 Volt beträgt der Strom etwa 0,3 Amp. (300 Milliampere), so daß der Nebenschlußstrom der Röhre im Verhältnis nur klein bleibt; die Spannungsnachregulierung hält sich deswegen in kleinen Grenzen. Bei Benutzung von Trocken-Anodenbatterien ist die Verwendung eines Spannungsteilers unmöglich wegen der durch ihn eintretenden starken Belastung. Er ist aber in diesem Falle kaum nötig, weil die Trockenbatterie genügend Unterteilungen besitzt. Es ist jedoch darauf zu achten, daß das Anodenvoltmeter sehr hochohmig sein muß, weil sonst sein Stromverbrauch die Anodenbatterie stark belasten kann. Bei Verwendung von Maschinenspannung können als Anodenspannungsmesser normale Starkstromvoltmeter unbedenklich benutzt werden.

¹ Die großen Elektrizitätswerke stellen heute bekanntlich einheitlich ihren Betrieb auf Wechselspannung um; Netze, die Gleichspannung führen, werden immer seltener. Da Gleichspannung für viele Versuche nicht zu entbehren ist, wird die Frage, welche Spannung zu nehmen ist, viel erörtert. Für größere Leistungen kommen Akkumulatoren nicht in Frage, sondern es werden Umformer nötig. Für sehr viele Versuche wird man mit Spannungen von 6 bis 12 Volt auskommen, **für alle Versuche an Röhren (auch mit kleinen Röhrengeneratoren) sind Spannungen von 220 Volt unerläßlich**, wenn man zu brauchbaren Ergebnissen kommen will. Es ist zweckmäßig, sich ein Aggregat von etwa 0,5 bis 1 Kilowatt Generatorleistung zu beschaffen.

Die **Auswahl der Röhren**, die verwendet sind, ist so getroffen, daß die gegenseitigen Unterschiede in den das Wesen einer Röhre bestimmenden Eigenschaften bei den einzelnen Typen möglichst deutlich hervorgehoben werden. Die verwendeten Röhren sind qualitativ in folgender Weise von einander unterschieden.

Es hat

- RE 034 kleinen Durchgriff und sehr kleine Emission.
- RE 064 mittleren Durchgriff und kleine Emission.
- RE 074 mittleren Durchgriff und mittlere Emission.
- RE 134 mittleren Durchgriff und größere Emission.
- RE 604 großen Durchgriff und große Emission¹.

Die Angaben beziehen sich relativ nur auf Empfängerröhren; Senderöhren, auch für kleine Leistungen, besitzen bereits weit größere Abmessungen bezüglich der Emissionsfähigkeit.

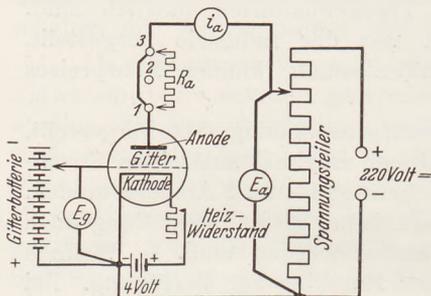


Fig. 4.

Als **Gittervorspannungsbatterien** benutzt man am besten die kleinen Trockenbatterien, die von der Industrie zu diesem Zwecke bereitgestellt werden. Sie halten bei guter Qualität für Meßzwecke (also auch bei zeitweiliger Entnahme von geringem Strom) ein bis zwei Semester aus, man erhält sie in Stücken bis zu 20 Volt.

Als **Widerstände 7** kommen am besten und billigsten Telefonspulen für große Telefone zur Verwendung, die Ströme von 100 Milliampere gut aushalten. Als **Hochohmwiderstand 8** sind die bekannten Dralowidstäbe verwendet worden.

Die Versuchsanordnung ist in Fig. 4 im Schema angegeben, während Fig. 5 den laboratoriumsmäßigen Aufbau der ganzen Apparatur zeigt; die Aufnahme ist leider nicht sonderlich gut geraten.

C. Die Versuche.

1. Aufnahme der Charakteristik an den Röhren RE 134, RE 064, RE 074, RE 034, RE 604.

Bei der Aufnahme der Charakteristik einer Röhre bleibt die Anodenspannung E_a konstant. Über ihre Größe muß vor Beginn der Messung eine Entscheidung

¹ Für Messungen mit Trocken-Anodenbatterie ist als Röhre mit großem Durchgriff die RE 124 brauchbar.

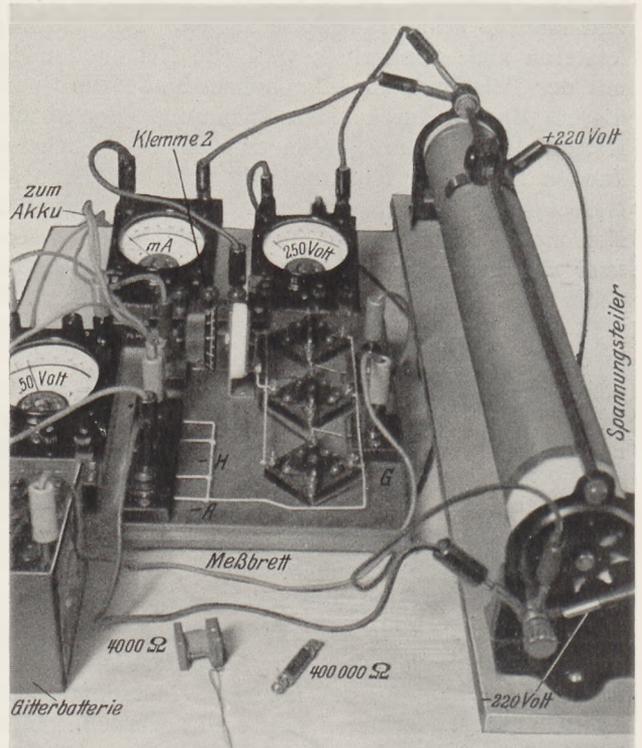


Fig. 5.

getroffen werden. Die Hersteller der Röhren geben ihre zulässige Beanspruchung in Watt an; so darf z. B. die Röhre RE 134 eine Belastung von höchstens 3 Watt, die Röhre RE 604 eine Belastung von höchstens 2 Watt erfahren.

Bei Aufnahme der Charakteristik wird die gesamte von der Anodenbatterie gelieferte Leistung innerhalb der Röhre verbraucht, deren Anodenblech durch Elektronenaufprall erwärmt wird. Geht die erzeugte Wärmemenge sehr erheblich über ein zulässiges Maß hinaus, so wird die Röhre durch verschiedene infolge der Erwärmung hervorgerufene Einflüsse zerstört. Kurzdauernde Überlastung ist jedoch bei guten Röhren durchaus möglich! Im Verlauf der Messungen muß die zulässige Beanspruchung häufig stark überschritten werden, um die Eigenschaften der Röhre gut feststellen zu können.

Um den Vergleich der Röhren, worauf hier der größte Wert gelegt ist, durchführen zu können, müssen möglichst die gleichen Anodenspannungen verwendet werden. Da die kleinen Röhren RE 074, RE 064, RE 034 zu allzu großer Emission nicht angeregt werden dürfen, ist bei ihnen $E_a = 150$ Volt gewählt worden. Die größeren Röhren RE 134 und RE 604 geben bei dieser Spannung keine ihrer Leistungsfähigkeit entsprechende Charakteristik. Deswegen sind sie bei $E_a = 180$ Volt untersucht, die Röhre RE 134 außerdem noch bei $E_a = 150$ Volt, um noch einen Vergleich dieser Röhre mit den kleineren Typen unter gleichen Verhältnissen zu ermöglichen.

Im normalen Betrieb eines Verstärkers ist sogar die Anodenspannung von 180 Volt noch zu klein, wenn die Röhren RE 134 und 604 voll ausgenutzt werden sollen. Es lassen sich ohne Schaden für die Röhre Spannungen bis zu 220 Volt verwenden, weil der mittlere Anodenstrom weit kleiner bleibt als der maximale Endstrom, der bei den Versuchen erreicht wird. Im Laboratorium der Hauptstelle sind sogar für die Messungen bisweilen 220 Volt unbedenklich verwendet worden, ohne daß die Röhren Schaden genommen hätten. Vorsichtshalber ist es jedoch für Meßzwecke besser, nur 180 Volt zu nehmen, um die Belastung nicht allzuweit zu treiben.

Die Aufnahme der Charakteristik geschieht zunächst nur bei negativer Gitterspannung, also bei einem dem Anoden-Kathodenfelde entgegengesetzten Gitter-Kathodenfeld. Es kann deswegen erst Anodenstrom fließen, wenn $DE_a > E_g$ (Formel 2). Der Beginn des Anodenstromes erfolgt bei $E_g = -DE_a^1$.

Bei allen Röhren mit Ausnahme der RE 604 ist die Verwendung einer Gitterbatterie von 20 Volt ausreichend, nur bei letzterer ist eine zweite Batterie in Serie zu schalten, so daß insgesamt 40 Volt (besser sogar 50 Volt) am Gitter zur Verfügung stehen. Das Gitter der Röhre bleibt während der ganzen Messung stromlos, die Gitterbatterie wird jedoch mit dem Strom ihres Spannungsmessers belastet, der deswegen hochohmig sein muß. Der Widerstand des Mavometers in Spannungsschaltung mit dem Vorschaltwiderstand 50 Volt beträgt 25000 Ohm, die Gitterbatterie wird also maximal bei 40 Volt mit 1,6 Milliampere belastet. (Um noch genauere Ablesungen zu ermöglichen, ist ein kleinerer Vorschaltwiderstand zweckmäßig, etwa 25 Volt; auch sein Widerstand ist ausreichend groß). Für die Röhre RE 034 muß der Nebenwiderstand 2,5 Milliampere, für die Röhre RE 604 der Nebenwiderstand 150 Milliampere, für die übrigen Röhren der Nebenwiderstand 50 Milliampere benutzt werden.

Die Messungen erfolgen, indem die Anodenströme i_a als Funktion der von etwa 1,5 zu 1,5 Volt vorschreitenden Gitterspannungen E_g aufgeschrieben werden (Tabelle 1). Bei der Röhre RE 604 ist wegen der großen Meßreihe ein Schritt von etwa 3 Volt gewählt worden².

¹ Abgesehen vom Einfluß der Raumladung, die die Sperrwirkung von E_g herabsetzt.

² Bei allen Röhrenmessungen ist eine wichtige Vorsichtsmaßregel zu beachten, auf die hier ausdrücklich aufmerksam gemacht wird. Beim Umstecken der Gitterspannungen ist die Röhre ohne „Sperrfeld“. Theoretisch soll allerdings, sobald das Gitter freiliegt, durch Elektronenaufprall seine negative Aufladung erfolgen, so daß sich automatisch ein Sperrfeld herstellt. Praktisch ist jedoch

Sämtliche Messungen werden **im gleichen Maßstab** in ein Diagramm (Fig. 6) aufgetragen. Darauf ist besonderer Wert zu legen, weil sich nur so ein guter Vergleich der einzelnen Röhrentypen ermöglichen läßt. In Firmenanzeigen aller Art und sogar in Lehrbüchern ist für verschiedene Typen oft ein ganz anderer Koordinatenmaßstab gewählt worden, so daß stets eine langweilige Umzeichnung nötig wird, um die einzelnen Röhren vergleichen zu können. Bei Benutzung des gleichen Maßstabs für alle Röhren — Gitterspannung in Volt, Anodenstrom in Milliampere — erscheint ihre Leistungsfähigkeit im richtigen Verhältnis zu einander.

Tabelle 1.

	RE 134 $E_a = 150$ Volt	RE 134 $E_a = 180$ Volt	RE 074 $E_a = 150$ Volt	RE 064 $E_a = 150$ Volt	RE 604 $E_a = 180$ Volt	RE 034 $E_a = 150$ Volt	3 RE 134 parallel geschaltet $E_a = 180$ Volt
$E_g =$	$i_a =$	$i_a =$	$i_a =$	$i_a =$	$i_a =$	$i_a =$	$i_a =$
—46,0	— b	— b	— b	— b	1,0	— b	—
—43,0	— ↓	— ↓	— ↓	— ↓	2,8	— ↓	—
—40,2	—	—	—	—	4,9	—	—
—37,5	—	—	—	—	8,3	—	—
—33,2	—	—	—	—	15,9	—	—
—30,2	—	—	—	—	21,7	—	—
—27,2	—	—	—	—	28,0	—	—
—24,2	—	—	—	—	34,8	—	0,15
—21,2	—	0,2	—	—	42,5	—	0,7
—17,9	—	1,1	—	—	51,7	—	2,6
—16,4	0,3	2,0	—	—	—	—	4,6
—14,9	0,9	2,9	—	0,6	60,5	—	7,8
—13,4	1,7	4,9	—	0,9	—	—	12,5
—11,9	2,8	6,5	0,4	1,3	69,8	—	18,3
—10,4	4,5	8,8	1,0	1,9	—	—	26,2
— 8,9	6,5	11,1	2,0	2,5	79,2	—	33,8
— 7,5	8,5	13,8	3,0	3,2	—	—	41,7
— 6,0	11,1	16,5	4,7	3,9	88,0	—	50,4
— 4,5	13,5	19,5	6,2	4,8	—	0,054	59,8
— 2,9	16,0	22,5	8,0	5,7	96,7	0,39	70,3
— 1,4	19,0	25,5	9,9	6,8	102,6	1,26	80,0
0,0	22,0	28,5	11,9	7,8	107,8	2,67	89,2
Volt	Milliampere						

Bei Aufnahme der Charakteristiken an Röhren mit hochemittierenden Fäden, deren Emissionstemperatur nur gering ist (800° bis 1000°), können sich während der Messung selbsttätig Temperaturänderungen des Fadens vollziehen, die ein ganz regelwidriges Verhalten der Röhre erzwingen. Durch den Aufprall der Elektronen auf das Anodenblech wird die Anode warm, wie bereits S. 100 bemerkt wurde. Die Wärme wird zum größten Teil als Strahlung auf die Glaswand der Röhre abgegeben; bei guten Röhren, die einer kräftigen Beanspruchung ausgesetzt sind, kann ohne Gefahr für die Röhre die Glaswand so warm werden, daß eine längere Berührung mit der Hand nicht mehr möglich ist.

soviel „Ableitung“ vorhanden, daß eine hinreichende Aufladung nicht erfolgen kann. Der Röhrenstrom wächst deswegen im Augenblick des Umsteckens der Gitterspannungen so an, daß große Gefahr für Zerstörung der Röhre entsteht. Besonders bei Röhren mit größerem Durchgriff ist dies der Fall.

Deswegen ist vor Umstecken der Gitterspannung stets der Anodenstrom auszuschalten.

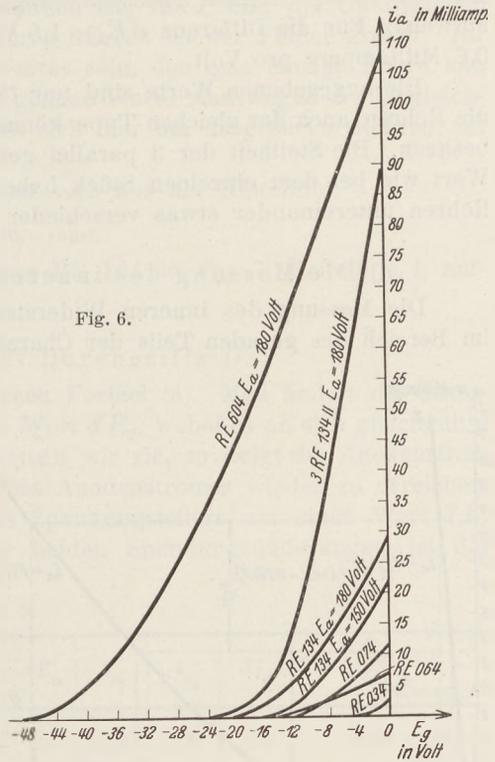
Am Röhrenbrett ist (Fig. 4 und 5) eine tote Klemme 2 angebracht, auf die der + Polanschluß der Anodenspannung vor Umschaltung der Gitterspannung gesteckt wird, um das Ausschalten möglichst bequem zu machen.

Es tritt jedoch bei hoher Wärmeabstrahlung der Anode auch eine zusätzliche Erwärmung des Kathodfadens ein, die ihrerseits eine größere Emission des Fadens bewirkt. Dadurch wird wiederum die Anode heißer, die Emission wächst erneut, so daß dieser sog. **Rückheizeffekt** sehr bald zur Zerstörung des Fadens der Röhre führt. — Bemerkt man während der Aufnahme der Charakteristik ohne Änderung der Spannungen plötzlich ein allmähliches Anwachsen des Anodenstromes, so ist Rückheizung eingetreten; man schaltet dann sofort aus, und zwar am besten die Anodenspannung; denn der Rückheizeffekt kann so groß werden, daß die Röhre bei eingeschalteter Anodenspannung auch nach Ausschalten des Heizstromes weiterbrennt und infolgedessen emittiert.

Eine plötzliche Erhöhung des Anodenstromes kann auch durch **Gasabgabe** der stark erhitzten Anode erfolgen, wenn die Entgasung des Anodenmetalls nicht weit genug getrieben wurde. Die (starke) Erhöhung des Anodenstromes erfolgt dann durch **Ionisierung**. Auch in diesem Falle muß die Messung, die doch zwecklos ist, sofort unterbrochen werden.

Endlich kann auch während der Messung ein allmähliches **Fallen** des Anodenstromes ohne erkennbaren Grund eintreten, was seine Ursache in Ermüdungserscheinungen des Materials haben kann. — Durch zufälliges Zusammenwirken dieser verschiedenen Fehlerquellen können sich bisweilen die wunderlichsten Kurvenformen einstellen.

Fig. 6.



b) Aufnahme der Charakteristik an drei parallel geschalteten Röhren RE 134.

Es werden drei möglichst gleiche Röhren RE 134 auf die drei Sockel des Röhrenbrettes gesteckt. Heizleitungen, Gitterleitungen, Anodenleitungen liegen parallel. Die Aufnahme geschieht im übrigen genau wie bei a) für $E_a = 180$ Volt, desgl. die Eintragung in das Diagramm (Fig. 6).

c) Bestimmung der Steilheit S der Charakteristik.

Die Steilheit $S = \frac{di_a}{dE_g}$ der Charakteristik ist ohne weiteres entweder aus der Charakteristik selbst zu entnehmen, oder aus der Tabelle 1 durch Umrechnung auf 1 Volt Gitterspannung zu berechnen.

Für eine Differenz $dE_g = 1,4$ Volt (von $-1,4$ Volt auf 0 Volt) bestimmt sich aus der Tabelle 1 die Steilheit der Röhre:

RE 134 zu 2,1 Milliampere pro Volt ($E_a = 180$ Volt)				
RE 074	„	1,4	„	„
RE 064	„	0,7	„	„
RE 034	„	1,0	„	„
RE 604	„	3,7	„	„
3 RE 134	„	6,6	„	„

Bildet man die Differenzen dE_g nach der Tabelle für andere Werte von E_g , die weiter ab von Null liegen, so findet man, wie auch aus dem Diagramm hervorgeht, zunächst noch ziemlich konstante Werte von S . Eine Ausnahme macht jedoch die RE 034, deren Steilheit rasch abnimmt, weil die Charakteristik starke Krümmung aufweist. Für die Differenz $dE_g = 1,5$ Volt (von $-2,9$ auf $-1,4$ Volt) ist S nur noch $0,6$ Milliampere pro Volt.

Die angegebenen Werte sind nur für das benutzte Röhrenexemplar richtig, denn die Röhren auch der gleichen Type können voneinander stark abweichende Konstanten besitzen. Die Steilheit der 3 parallel geschalteten Röhren RE 134 soll den dreifachen Wert wie bei dem einzelnen Stück haben; sie ist etwas größer ausgefallen, weil die Röhren untereinander etwas verschieden sind.

d) Die Messung des inneren Widerstandes R_i der Röhren.

Die Messung des inneren Widerstandes einer Röhre geschieht nach Formel (7). Im Bereich des geraden Teils der Charakteristik wird die Anodenspannung um einen beliebigen Wert dE_a ge-

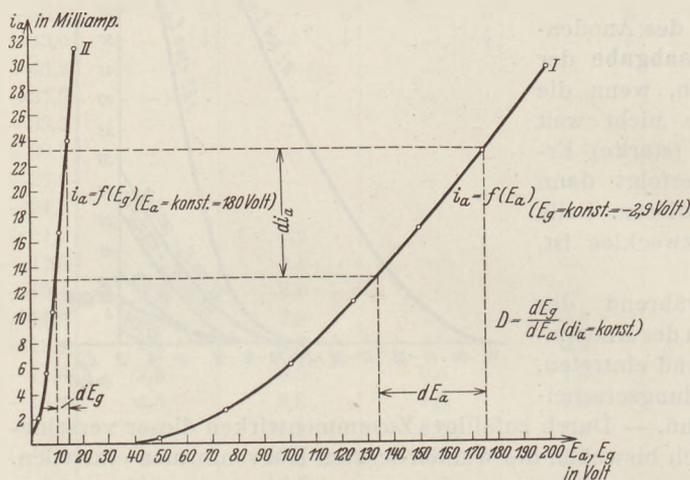


Fig. 7.

ändert, während die Gitterspannung E_g konstant bleibt. Die Änderung der Anodenspannung hat eine Änderung des Anodenstromes zur Folge, deren Quotient der innere Widerstand ist. Er ist, solange die Charakteristik geradlinig ist, konstant. In der Tabelle 2 sind die Messungen des inneren Widerstandes für die einzelnen Röhren zusammengestellt. Für einen Teil der Röhren sind die Differenzen dE_a für 2 um das doppelte

gegeneinander unterschiedliche Werte gebildet, um eine Kontrolle der Konstanz von R_i durchführen zu können. Die Vorspannung $E_g = \text{const.}$ muß so gewählt werden, daß sich alle Ablesungen außerhalb der Anlaufkrümmung der Charakteristik befinden. Für die Röhre RE 034 ist $E_g = -1,4$ Volt, für alle übrigen Röhren $E_g = -2,9$ Volt geeignet. Die Differenzen der Anodenspannung betragen 30 bzw. (für die doppelten

Tabelle 2.

Röhren-Name	E_g	dE_a	di_a	$R_j = \frac{dE_a}{di_a} (E_g = \text{const.})$
RE 134 b	-2,9	180 - 150 = 30	22,5 - 16,0 = 6,5	etwa 4 600
RE „ b	-2,9	180 - 120 = 60	22,5 - 10,1 = 12,4	„ 4 800
RE 074 b	-2,9	150 - 120 = 30	8,0 - 4,0 = 4,0	„ 7 500
RE 064 b	-2,9	150 - 120 = 30	5,7 - 3,6 = 2,1	„ 14 300
RE 034 b	-1,4	150 - 120 = 30	1,26 - 0,57 = 0,69	„ 43 500
RE 604	-2,9	180 - 150 = 30	96,7 - 68,7 = 28,0	„ 1 070
RE „	-2,9	180 - 120 = 60	96,7 - 40,1 = 56,6	„ 1 060
3 RE 134	-2,9	180 - 150 = 30	70,3 - 51,8 = 18,5	„ 1 620
3 RE „ „	-2,9	180 - 120 = 60	70,3 - 31,7 = 38,6	„ 1 550
	Volt	Volt	Milliampere	Ohm

Werte) 60 Volt. — Die Tabelle zeigt, daß die inneren Widerstände der Röhren ganz außerordentlich gegeneinander verschieden sind; auch bei der gleichen Röhre ist R_i nicht genau konstant, entsprechend einer geringen Krümmung der Charakteristik, die auch im angenommen geradlinigen Teil vorhanden ist; doch sind die Unterschiede nur klein. Bei den 3 parallel geschalteten Röhren RE 134 ist der Fehler größer. Ihr innerer Widerstand soll der dritte Teil des Wertes sein, den eine einzige Röhre hat, was die Messung ausreichend bestätigt. Ganz genaue Werte sind wegen der Ungleichheit der Röhren nicht zu erreichen; es handelt sich hier um ausgesuchte Röhren, oft sind die Unterschiede weit größer.

Der innere Widerstand R_i einer Röhre ist auch aus der Kennlinie

$$i_a = f(E_a) \quad E_g = \text{const.}$$

zu entnehmen. Die Messung ist für die Röhre RE 134 in Fig. 7, Kennlinie I, aufgetragen (siehe S. 110).

e) Die Bestimmung des Durchgriffs D .

Die Messung des Durchgriffs geschieht nach Formel (3). Man ändert die Gitterspannung um einen für die Ablesung bequemen Wert dE_g , wobei es an sich gleichgültig ist, ob sie erhöht oder erniedrigt wird. Erhöhen wir sie, so steigt der Anodenstrom um einen Wert di_a ; um den Ausgangswert des Anodenstromes wieder zu erreichen, muß jetzt die Anodenspannung mit Hilfe des Spannungsteilers um einen Wert dE_a erniedrigt werden. Das Verhältnis dieser beiden Spannungsänderungen ist der Durchgriff.

Tabelle 3.

Röhren-Name	E_{g_1}	E_{g_2}	dE_g	E_{a_1}	$E_{a_2}^*$	dE_a	i_{a_1}	i_{a_2}	di_a	$D = \frac{dE_g}{dE_a} \quad i_a = \text{const.}$
RE 134 b	— 7,5	— 4,5	3	180	150	30	13,8	19,0	5,2	3/30 = 10
RE 074 b	— 2,9	0,0	2,9	150	119	31	8,0	11,9	3,9	2,9/31 = 9,4
RE 064 b	— 2,9	0,0	2,9	150	121	29	5,7	7,8	2,1	2,9/29 = 10
RE 034 b	— 1,4	0,0	1,4	150	114	36	1,26	2,67	1,41	1,4/36 = 3,9
RE 604	— 14,9	— 8,9	6	180	156	24	60,5	79,2	18,7	6/24 = 25
3 RE 134	— 7,5	— 4,5	3	180	148	32	41,7	59,8	18,1	3/32 = 9,4
	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Milli-Amp.	Milli-Amp.	Milli-Amp.	%
im Raumladegebiet:										
RE 134 b	— 21,2	— 17,9	3,3	180	157	23	0,2	1,1	0,9	3,3/23 = 14

In der Tabelle 3 sind die Messungen für alle Röhren zusammengestellt. Die Parallelschaltung von Röhren hat keinen Einfluß auf die Größe des Durchgriffs, der Unterschied von 0,6 Prozent bei RE 134 ist in der Verschiedenheit der einzelnen parallel geschalteten Röhren zu suchen. — Die Differenzen dE_g (und daher auch dE_a) sind in der Tabelle ziemlich klein angegeben; man kann sie ohne weiteres auf das doppelte und mehr erhöhen, wodurch die Ablesungsfehler weniger schädlich werden; die Werte di_a werden dadurch auch entsprechend größer.

Der Durchgriff ist weit mehr als innerer Widerstand und Steilheit auch praktisch eine Konstante, wie Messungen im ganzen Verlauf der Charakteristik erweisen. Eine Ausnahme ist nur im Anlaufgebiet des Emissionsstromes, also in der starken Anfangskrümmung der Charakteristik, festzustellen. Durch die sog. **Raumladung** der Elektronenwolke in der Nähe des Fadens wird eine Feldveränderung bewirkt, die vor

* Die Spannungen sind auf ganze Volt abgerundet.

allem eine Schwächung der Wirkung der Gitterspannung zur Folge hat: der Durchgriff wird dadurch meßbar größer. Für die Röhre RE 134 z. B. ergibt sich im Anlaufgebiet ein Wert von 14%, wie am Schluß der Tabelle angegeben ist.

In Tabelle 1 sind für die Röhre 134 die Anodenströme für $E_a = 180$ Volt und $E_a = 150$ Volt eingetragen. Deswegen ist aus den drei ersten Spalten der Tabelle der Durchgriff der Röhre RE 134 ohne weiteres zu entnehmen. Für verschiedene Werte dE_g erscheint hieraus der Durchgriff nicht völlig konstant, weil die Ablesungen auf Zehntel abgerundet sind.

Werden die Messungen mit normalen Trocken-Anodenbatterien gemacht, so kann der Wert dE_a nicht mit dem Spannungsteiler eingestellt werden. Da aber jede gute Anodenbatterie Unterteilungen bis zu 1,5 Volt hat, ist dadurch mit belanglosem Fehler der nötige Wert dE_a zu ermitteln.

In der Fig. 7, I ist die Kennlinie $i_a = f(E_a)_{E_g = \text{const.}}$ der Röhre RE 134 dargestellt. Trägt man dazu noch die normale Charakteristik (Fig. 7, II) ein, so daß der gleiche Spannungsmaßstab auch für die Gitterspannungen auf der Abszisse beibehalten wird, so findet man für gleiche Stromdifferenzen di_a das Verhältnis der beiden auf der Abszisse abzulesenden zugehörigen Spannungsdifferenzen gleich dem Durchgriff D .

Aus der Formel von BARKHAUSEN (Formel 8) ergibt sich, daß das Produkt $SDR_i = 1$ ist. Die Formel gilt nur für geradlinige Charakteristiken, ist also streng genommen niemals erfüllt.

Immerhin erweist sie sich für die gemessenen Werte bei allen Röhren als annähernd bestätigt mit Ausnahme der RE 034, deren Charakteristik von der Linearität stark abweicht.

f) Die Gitterströme.

Zur Messung der Gitterströme muß die bisher verwendete Schaltung eine kleine Umänderung erfahren, weil ein Gitterstrommesser notwendig wird. Um ein viertes Instrument zu vermeiden, wodurch die Meßanordnung noch teurer würde, ist bei den folgenden Messungen auf die genaue Kontrolle der Anodenspannung, nachdem sie einmal eingestellt wurde, verzichtet worden. Das dadurch frei werdende Voltmeter ist in der Schaltung Fig. 8 als Milliamperemeter (Nebenschlußwiderstand für 2,5 Milliampere) zur Messung der Gitterströme benutzt. Wenn das Instrument falsch geschaltet wird, wie in der Figur gestrichelt angegeben, zeigt es außer dem Gitterstrom noch den Strom an, der durch das Voltmeter fließt, wodurch die Messungen sehr grob gefälscht werden können.

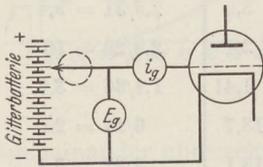


Fig. 8.

Der Verlauf des Gitterstromes interessiert für alle praktischen Zwecke nur für kleine positive Gitterspannungen; die Aufnahmen sind deswegen auch nur bis zu einer Gitterspannung von +6 bis 7,5 Volt fortgesetzt. Bei einer höheren Gitterspannung werden die Ströme auch schon so stark, daß die kleine Gitterbatterie überlastet wird.

In Fig. 9 ist der Verlauf des Gitterstromes (Kennlinie a) und der Verlauf des Anodenstromes (Kennlinie c) bei $E_a = 180$ Volt für die RE 134 eingetragen. Für den Gitterstrom mußte ein anderer Maßstab gewählt werden, weil die Gitterströme zu klein sind. — Die Kennlinie c ist die normale Charakteristik, die hier nur in den Bereich über Null der Gitterspannung fortgesetzt ist. Sie bleibt geradlinig; eine Verzerrung tritt infolge Einsetzens des Gitterstromes nicht ein.

Trotzdem wird im praktischen Betrieb das Einsetzen des Gitterstromes streng vermieden, weil durch ihn Gleichrichterwirkungen und Belastungen der Gitterkreise hervorgerufen werden, die starke Verzerrungen der dynamischen Charakteristik bewirken.

Bei großen, gut gebauten Verstärkern liegt in den Gitterkreisen, die einer sogenannten „Übersteuerung“ sehr ausgesetzt sind, stets ein empfindliches Milliamperemeter,

das durch seinen (längeren oder stoßweisen) Ausschlag den Gitterstrom sofort anzeigt. Dann muß die Amplitude der Gitterwechselspannung herabgesetzt werden.

Der Gitterstrom beginnt etwa bei $E_g = 0$ Volt, eine Erscheinung, die allen Röhrenarten eigentümlich ist (s. Fußnote 1 auf S. 107). Sein weiterer Verlauf ist jedoch bei den verschiedenen Röhren sehr verschieden; bei der gleichen Röhre ist die Größe des Gitterstromes stark abhängig von der Höhe der angelegten Anodenspannung E_a .

Die Gitterkennlinie (b) in Fig. 9 ist ohne Anodenspannung aufgenommen, der Gitterstrom erreicht also für gleiche Gitterspannungen den vielfachen Wert wie vorher (während der Anodenstrom praktisch Null wird). Im dynamischen Zustand sind Gitterwechselspannung und Anodenwechselspannung an der Röhre nahezu um 180° verschoben¹, so daß die Gitterspannung ihren größten Wert dann erreicht, wenn die Anodenspannung ihren kleinsten Wert hat. Es ist also im Betriebszustand der Verstärkerröhre RE 134 bei Schwankungen der Gitterspannung über Null hinaus eine Gitterstromkurve anzunehmen, die zwischen den Kennlinien a und b liegt.

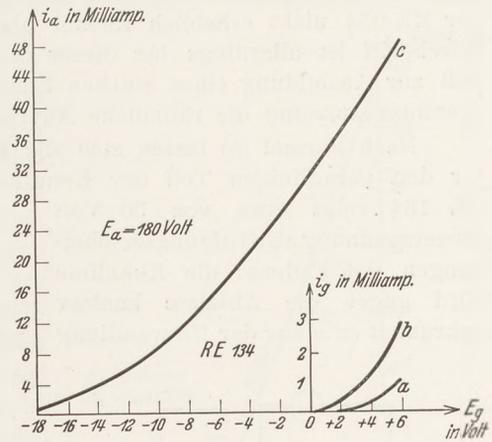


Fig. 9.

In Tabelle 4 sind für sämtliche bisher verwendeten Röhren die Gitterströme bei $E_a = 0$ eingetragen. Hier fällt der große Einfluß des Durchgriffs auf die Ausbildung des Gitterstromes auf. — Die Röhre RE 034 (Durchgriff = 4%) hat trotz ihrer viel geringeren Emissionsfähigkeit einen weit höheren Gitterstrom als RE 604 (Durchgriff = 25%). — Bei den Röhren mit gleichem Durchgriff (RE 134, 074, 064) verteilt sich der Gitterstrom (wie früher der Anodenstrom) gemäß ihrer Emissionsfähigkeit.

Tabelle 4.

$E_g =$	RE 134 $i_g =$	RE 074 $i_g =$	RE 064 $i_g =$	RE 034 $i_g =$	RE 604 $i_g =$
0	0,00 b				
+ 1,4	0,13 ↓	0,08 ↓	0,05 ↓	0,10 ↓	0,07 ↓
+ 2,9	0,62	0,45	0,22	0,61	0,32
+ 4,5	1,50	1,04	0,46	1,50	0,76
+ 6,0	>2,5	1,91	0,76	>2,5	1,34
+ 7,5	—	>2,5	—	—	2,2
Volt	Milliamp.	Milliamp.	Milliamp.	Milliamp.	Milliamp.

Werden bei einer Röhre Gitter und Anode kurz geschlossen, so wird die Dreielektrodenröhre zu einer **Zweielektrodenröhre**. Bei angelegter Anodenspannung gelangt jetzt

¹ Dagegen ist der Anodenstrom stets in Phase mit der Gitterspannung. Demnach sind die Phasenwerte des Anodenstromes und der Anodenspannung (im dynamischen Zustand, d. h. im besprochenen Zustand der Röhre) stets annähernd um 180° verschoben, so daß die Spannung an der Röhre klein ist, wenn der Röhrenstrom groß ist, und umgekehrt. Dadurch kommt die Leistungsabgabe der Röhre auf ihren äußeren Widerstand zustande, sobald ihr Gitter Wechselspannung erhält (siehe S. 116). Im Ruhezustande findet eine größere Belastung der Röhre selbst statt, als wenn sie arbeitet. Der Unterschied der Belastung zwischen beiden Zuständen ist um so größer, je besser der Wirkungsgrad der Röhre ist.

das volle Feld der Spannung E_a , die jetzt gleich E_{st} wird, in den Raum zwischen Gitter und Kathode, wodurch der Verlauf des Anodenstromes ein ganz anderer wird wie vorher. Die Schaltung zeigt Fig. 10, den Verlauf der Anodenströme für die Röhren RE 134, 034 und 604 Tabelle 5. Aus dem Stromverlauf ist der große Vorteil des kleinen Durchgriffs wiederum sehr ersichtlich. Bei 10 Volt ist der Emissionsstrom der RE 034 nicht erheblich kleiner als bei den anderen Röhren. Die Bezeichnung Durchgriff ist allerdings bei dieser Schaltung hinfällig, die Meßreihen zeigen aber, daß zur Ausbildung eines starken Emissionsstromes bei möglichst geringem Steuer Spannungsaufwand die räumliche Anordnung der Elektroden wichtig ist.

Nach Formel (5) lassen sich die Widerstände der drei Röhren berechnen, die für den geradlinigen Teil der Kennlinien konstant sind. Die Zweielektrodenröhre RE 134 zeigt etwa von 30 Volt Steuer Spannung ab Sättigungserscheinungen des Fadens: die Kennlinie wird gegen die Abszisse konkav gekrümmt (wie aus der Umwandlung

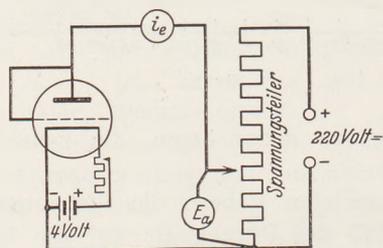


Fig. 10.

Tabelle 5.

$E_{st} =$	RE 134 $i_e =$	RE 034 $i_e =$	RE 604 $i_e =$
2,6	—	0,9 b	0,8
3,9	1,5	1,6 ↓	1,9
5,5	3,8	3,0	3
7,2	6,7	5,3	6,5
10,0	12,5	10,2	12,1
15,0	24,8	—	22,9
20,0	38,6	—	38,2
30,0	60,2	—	76,5
40,0	75,0	—	120,0
45,0	81,1	—	142,0
Volt	Milliamp.	Milliamp.	Milliamp.

der Tabelle 5 in ein Diagramm am besten zu ersehen ist). Die Kennlinien der beiden anderen Röhren verlaufen bis zum Schluß praktisch geradlinig, zeigen eher noch eine schwache Konvexkrümmung an. Bei RE 034 wurde die Messung über 10 Volt hinaus nicht fortgesetzt, um die Röhre nicht allzusehr zu belasten.

Für RE 134 und 604 sei $dE_{st} = 30 - 20 = 10$ Volt, für RE 034 $= 10 - 7,2 = 2,8$ Volt, die zugehörigen Stromänderungen sind $60,2 - 38,6 = 21,6$, $76,5 - 38,2 = 38,3$ und $10,2 - 5,3 = 4,9$ Milliampere. Daraus berechnen sich die Widerstände R (Formel 5) zu etwa 460, 260 und 570 Ohm.

Die Spannungswerte E_{st} der Tabelle wurden mit dem Spannungsteiler eingestellt, der anfangs schwierig auf abgerundete Spannungswerte zu regulieren war.

Wegen des hohen Strombedarfs lassen sich die vorstehenden Messungen nur in bescheidenem Maße mit Trocken-Anodenbatterien ausführen.

In der Zweielektroden schaltung können alle Röhren unbeschadet ihrer Haltbarkeit weit größere Ströme vertragen, weil die Belastung in Watt trotz der großen Ströme nur gering bleibt, da die Anodenspannungen klein sind. Die Elektronengeschwindigkeiten nehmen nur geringe Werte an, so daß die beiden Gefahren für die Zerstörung der Röhre (siehe S. 109) nicht vorhanden sind. — Die Versuche zeigen, wie groß die Emissionsfähigkeit der Röhren ist.

Die Zweielektrodenröhren haben wegen ihrer absoluten Gleichrichterwirkung, — sie lassen bei Wechselstrom nur eine Phase durch, — und wegen ihres kleinen inneren Widerstandes (weshalb der Spannungsverlust nur klein ist) bei zweckmäßiger Anordnung der Elektroden für die Herstellung der sog. Netzanodenbatterien zu Rundfunkzwecken große Bedeutung erlangt. Es bedarf allerdings zur Aufrechterhaltung absolut gleichmäßiger Spannung noch der Einschaltung von Induktivitäten (Eisendrosseln) und großen Kapazitäten (Blockkondensatoren von $10 \mu F$ und mehr) in die Anordnung.

g) Die Anodenstromkennlinien S' bei eingeschaltetem äußeren Widerstand R_a .

1. $R_a = 4000 \text{ Ohm}$ (Leistungsabgabe).

Die Meßanordnung bleibt die gleiche nach Fig. 4, es wird ein Widerstand $P_a = 4000 \text{ Ohm}$ in den Anodenkreis der Röhre geschaltet. Die Klemme 2 bleibt wie vorher frei zum Ausschalten des Anodenstromes bei Wechseln der Gitterspannung. Fig. 11 zeigt die normale Charakteristik S (wie in Fig. 6) und die neue Charakteristik S' an den Röhren RE 604 und RE 134 (die zum Vergleich vollständig genügen). Durch Einschaltung des Anodenwiderstandes 4000 Ohm sinkt die Steilheit der Kennlinie RE 604 von 3,7 Milliampere pro Volt (siehe S. 109) auf nur 0,6 Milliampere pro Volt, der gleiche Widerstand vermindert die Steilheit der RE 134 von 2,1 auf nur etwa 1,1 Milliampere pro Volt, sie bleibt absolut größer als bei der RE 604. Der Grund für dieses Verhalten ist in den ganz verschiedenen inneren Widerständen der Röhren zu suchen, die etwa 4600 Ohm (RE 134) und 1100 Ohm (RE 604) betragen (siehe Tabelle 2). Der Widerstand von 4000 Ohm ist der RE 604 sehr schlecht, der anderen Röhre gut angepaßt. Ein ähnliches Verhalten wie RE 604 würden auch die drei parallel geschalteten RE 134 (Fig. 6 und Tab. 1) zeigen, deren Steilheit durch den Widerstand 4000 Ohm ebenfalls außerordentlich herabgesetzt wird. Die Verminderung der Steilheit durch eingeschaltete Anodenwiderstände, die durch den Spannungsverbrauch des Widerstandes erfolgt, der also eine Verminderung der Spannung an der Anode bewirkt, nennt man **Anodenrückwirkung**, ein Ausdruck, der zwar kurz, aber nicht gerade glücklich gewählt ist.

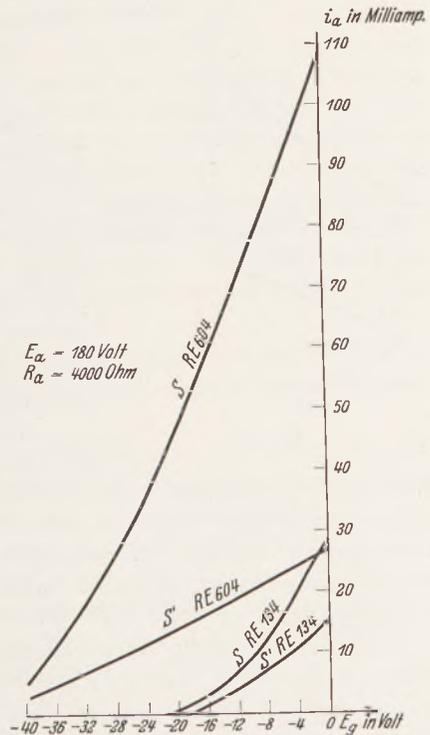


Fig. 11.

Nach Formel (9) läßt sich die maximale Wechselstromleistung einer Röhre, die sie auf ihren Anodenwiderstand abzugeben vermag, berechnen, was zunächst für die RE 134 durchgeführt sein mag. Aus $S = 2,1$ Milliampere pro Volt und $D = 10\%$

ist der Ausdruck $\frac{S}{D}$ bekannt¹. Es fehlt noch die Angabe über die Größe der Gitterwechselspannung u_g , die aus der S -Charakteristik oder besser noch der S' -Charakteristik zu entnehmen ist. Für die betrachtete Röhre ist das ohne weiteres möglich, weil der innere Widerstand mit einem geringen Fehler gleich ist dem äußeren Widerstand (4 600 bzw. 4000 Ohm).

Für die Bestimmung ist folgende Überlegung zu machen. Die Gitterwechselspannung soll mit ihrem Scheitelwert nicht über 0 Volt hinausgehen, da kein Gitterstrom auftreten darf (siehe S. 112). Andererseits soll die Röhre innerhalb des geradlinigen Teils der Charakteristik arbeiten, die Anlaufkrümmung muß also vermieden werden. Fig. 12 zeigt die Festlegung der Gitterspannung bei nicht besprochener

¹ Der Ausdruck wird nach BARKHAUSEN „Güte der Röhre“ genannt. Als Parallel-Bezeichnung hierzu ist der Ausdruck „Güte der Schaltung“ geprägt worden, der den Wirkungsgrad der Ankopplung der einzelnen Röhren miteinander (z. B. in einem Verstärker) kennzeichnen soll. Hierher gehört vor allem die Wahl geeigneter Übersetzungsverhältnisse von Transformatoren, um hohe Gitterwechselspannungen zu erzeugen.

Röhre, die sog. **Gittervorspannung**, um die als Mittellage die Gitterwechselspannung im dynamischen Zustande der Röhre schwingt. Die Maximalamplitude der Gitterspannung ist danach festgesetzt zu 16 Volt, — die Anfangskrümmung ist vermieden —, woraus sich nach den bekannten Regeln der Wechselstromphysik die Effektivspannung $u_{g\text{eff}}$ berechnet zu 16 mal 0,7 gleich etwa 11 Volt. Hieraus errechnet sich die Maximal-

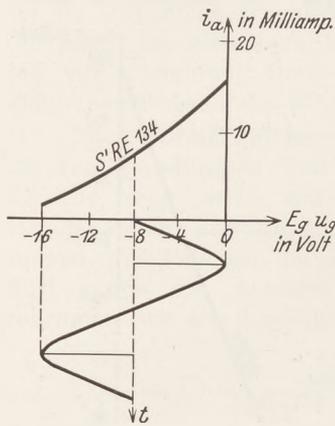


Fig. 12.

wechselstromleistung der Röhre im Bereich des geraden Teils der Charakteristik bis zur Gitterspannung 0 Volt zu

$$N_{max.} = \frac{11^2}{4} \frac{2,1}{1000} 10 \text{ Watt} = \text{etwa } 0,64 \text{ Watt}^1.$$

Die Maximalleistungen der Röhre RE 604 und der 3 parallel geschalteten Röhren RE 134 lassen sich nach der gleichen Methode berechnen, wenn die effektive Gitterwechselspannung etwas willkürlich angesetzt wird, weil die S'-Charakteristiken für die Widerstände $R_a = R_i$ an diesen Röhren nicht aufgenommen sind. Es berechnen sich, wenn die Maximalgitterspannungen für RE 604 mit 40 Volt und für 3 || geschaltete RE 134 mit 16 Volt angesetzt werden, die maximalen Leistungen zu 2,9 und 2,0 Watt.

Der große Durchgriff der RE 604 verlangt große Gitterwechselspannungen, um wirksame

Wechselfelder zwischen Gitter und Kathode hervorzurufen. Viel nachteiliger wird der Vergleich, wenn für alle Röhren gleiche Gitterwechselspannungen vorausgesetzt werden. Wenn für RE 604 ebenfalls im Scheitelwert nur 16 Volt Gitterwechselspannung angenommen werden, so sinkt die größtmögliche Leistungsabgabe der Röhre auf nur etwa 0,46 Watt.

Die vorstehenden Berechnungen sind in erheblichem Maße zu Ungunsten aller Röhren ausgefallen, weil als Anodenspannung nur 180 Volt benutzt waren. Im Betrieb, wo die mittlere Belastung der Röhren ja weit kleiner ist als bei den Messungen in der Endbelastung (bei 0 Volt Gitterspannung), kann ohne jede Gefahr für die Röhren eine Anodenspannung von 200 Volt angelegt werden, so daß der Verlauf der Charakteristik im negativen Teil der Gitterspannung ausgedehnter wird. Steilheit

¹ In der Verstärkertechnik für Lautsprecher ist allerdings die Bedingung, daß die Röhre auf einen rein OHMSchen Widerstand arbeitet, auch nicht annähernd erfüllt. Es liegen in der Regel noch hohe Induktivitäten in Reihe geschaltet zum OHMSchen Widerstand im Anodenkreis der Röhre, die Rechnung und Übersicht kompliziert machen.

Für den Betrieb eines Lautsprechers ist aber auch der rein OHMSche Widerstand durchaus unerwünscht, der nur die Röhrenarbeit in Wärme umsetzt. Anzustreben ist ein möglichst großer Umsatz der Röhrenwechselstromarbeit in mechanische Energie, die als Schall vom Lautsprecher abgestrahlt werden soll. Es handelt sich hier um Vorgänge, die durchaus wesensgleich dem Energieumsatz beim elektrischen Motor sind, der ja ebenfalls zugeführte elektrische Energie in mechanische Arbeit umsetzt. Freilich ist der dynamische Wirkungsgrad des Motors weit besser als der unserer besten Lautsprechersysteme, die zur Zeit nur einen sehr geringen Prozentsatz der zugeführten elektrischen Energie in Bewegungsarbeit umformen. Die neueren „dynamischen“ Lautsprecher haben aber bereits einen viel besseren Wirkungsgrad als die älteren sog. elektromagnetischen Systeme, und man kann zuverlässig hoffen, daß in dieser Beziehung noch große Verbesserungen erreicht werden. Dann könnten die heute notwendigen Röhrenleistungen erheblich herabgesetzt werden.

Die dynamischen Lautsprecher für große Schalleistungen werden „angepaßt“, d. h. mittels eines Transformators, der sehr gut konstruiert sein muß, an die Endröhre(n) angeschlossen. Dadurch wird ein großer Verlustwiderstand im Anodenkreis der Röhre vermieden, da der Transformator groß genug gebaut werden kann, um seinen Wicklungen einen kleinen OHMSchen Widerstand zu geben. Die dynamischen Widerstände des Lautsprechers (über Transformator) sind reine Wirkwiderstände, die sich völlig wie OHMSche Widerstände verhalten (winkelfrei). Ein Lautsprecher mit dem OHMSchen Widerstand Null mit einem Transformator, dessen Widerstand und sonstige Verluste Null sind, und dessen dynamischer Wirkungsgrad 100% ist, muß das Ziel sein, das anzustreben ist (das ja niemals auch nur in größerer Annäherung erreicht werden wird).

und Durchgriff bleiben gleich, aber die verwendbare Gitterwechselspannung wird größer, weil eine höhere Vorspannung genommen werden kann. Für die RE 134 ergibt sich (aus hier nicht angeführten Messungen) bei einer Anodenspannung von 200 Volt eine mittlere Gittervorspannung von 9 Volt, so daß der Scheitelwert der Wechselspannung 18 Volt erreicht, woraus sich $u_{g\text{eff}}$ zu 12,6 Volt errechnet. Daraus findet sich eine größtmögliche abgegebene Wechselstromleistung auf den Anodenwiderstand $R_a = R_i = 4\,600$ Ohm zu 0,83 Watt.

Die Verringerung der Anodenspannung führt sehr schnell zu einem weit schlechteren Wirkungsgrad der Röhren, was auch an einer hier ausgeführten Messung zu erkennen ist. In Tabelle 1 ist an der Röhre RE 134 eine Aufnahme mit 150 Volt Anodenspannung ausgeführt, die in Fig. 6 eingezeichnet ist. Die Charakteristik ist gegenüber der gleichen Kennlinie für 180 Volt nach rechts verschoben, der ausnutzbare Teil ist kleiner geworden. Schätzungsweise läßt sich ohne großen Fehler der Scheitelwert der Gitterwechselspannung zu 12 Volt und demnach der Effektivwert zu 8,4 Volt festsetzen. Daraus ergibt sich, gleiche Steilheit vorausgesetzt, eine größtmögliche Leistungsabgabe zu nur 0,37 Watt. Sie ist um mehr als das doppelte kleiner, als wenn eine Anodenspannung von 200 Volt benutzt wäre.

Bei kleinen Anodenspannungen werden die Röhren infolge Einsetzens des Gitterstromes sehr leicht übersteuert, was sich im dynamischen Lautsprecher¹ durch Flattern und Rasseln äußerst unangenehm bemerkbar macht.

Aus den Leistungsberechnungen für die Röhre RE 604 war bewiesen, daß ihr großer Durchgriff für die Leistungsabgabe sehr nachteilig ist. Es ergibt sich deswegen die Frage, warum trotzdem der Bau von Röhren mit so großem Durchgriff vorgenommen wird. Die Erklärung ist leicht und geht aus den Ausführungen S. 101 hervor. Bei kleinem Durchgriff ist der Anteil DE_a der Anodenspannung an der Steuerspannung nur klein, es endigen um so mehr Anodenfeldlinien bereits auf dem Gitter, je kleiner der Durchgriff wird. Der innere Widerstand der Röhre wird groß auch dann, wenn der Faden an sich genügende Emissionsfähigkeit besitzt. Um genügend Anodenstrom durch die Röhre zu treiben, wird deswegen mit kleiner werdendem Durchgriff eine immer höhere Anodenspannung benötigt. Für die Benutzung kleinerer Röhren sind hohe Spannungen aus mancherlei Gründen sehr hinderlich — was ohne weiteres verständlich sein dürfte —, weswegen das Streben der Fabrikation, leistungsfähige Röhren mit kleiner Anodenspannung (bis 220 Volt) herzustellen, erklärlich ist. Die Folge ist der Bedarf höherer Gitterwechselspannungen (wie die Messungen gezeigt haben), als sie bei Röhren mit kleinerem Durchgriff erforderlich wären.

Die Parallelschaltung von Röhren mit mittlerem Durchgriff zur Erzielung kräftiger Endleistung (RE 134) stellt einen Mittelweg dar, der mit gutem Erfolg besritten werden kann; nachteilig ist dabei das Aussuchen möglichst gleichartiger Röhren gleicher Type, die sich ja wie schon bemerkt erheblich von einander unterscheiden können.

Die Röhren RE 134, 074 und 064 haben praktisch gleichen Durchgriff, sie unterscheiden sich nur durch ihre verschiedene Emissionsfähigkeit, wodurch der innere Widerstand ein anderer wird. Die beiden letzteren Röhren können so wenig Wechselstromleistung abgeben, daß sie für einen Betrieb mit Lautsprecher ausscheiden, sie sind nur für Kopfhörerempfang zu gebrauchen oder für Spannungsverstärkung in den Zwischenstufen eines Verstärkers.

¹ Die normalen elektromagnetischen Lautsprecher sind wegen ihrer sehr schlechten Wiedergabe zu solchen Messungen nicht zu gebrauchen, weil die „Grenzbelastung“ der Röhre bei solchen Systemen mit dem Ohre kaum festzustellen ist. Über die Entwicklung der elektrostatischen Systeme läßt sich heute noch nichts sagen, vorläufig ist das „dynamische“ System sicherlich als das bessere zu bezeichnen. Näheres hierüber ist in den Richtlinien für die Beschaffung von Rundfunkgerät für Schulen nachzulesen, die die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht herausgibt und an Schulen versendet.

Die ermittelten Röhrenleistungen beziehen sich wie schon hervorgehoben auf den gradlinigen Teil der Charakteristik, also für Betriebsbedingungen, bei denen „formgetreue Abbildung“ notwendig ist.

Wird unter dem Einfluß genügend hoher Wechselspannungen die ganze Charakteristik vom Anlauf bis zur völligen Sättigung durchlaufen, was allerdings bei den kleineren Röhren, wie sie hier benutzt sind, mit einiger Vorsicht geschehen muß, so lassen sich weit höhere Röhrenleistungen erzielen. Immerhin sind auch die innerhalb der Linearitätsgrenzen erreichten Wechselstromleistungen nicht klein zu nennen, sondern mit groben Mitteln nachweisbar. Schaltet man in den Ausgangskreis eines guten Verstärkers an die niederohmige Sekundärwicklung eines Transformators eine kleine Glühbirne (Taschenlampe), so leuchtet die Lampe hell auf, wenn der Verstärker besprochen wird. Es gehört nicht viel dazu, die Lampe auf diese Weise durchzubrennen.

2. $R_a = 400\,000\ \text{Ohm}$ (Spannungsverstärkung).

Als Widerstand ist hier ein Hochohm-Widerstand notwendig, wie ihn die Fachindustrie für die Widerstandsverstärkung heute recht brauchbar liefert. Er ist als dünnes Niederschlaghäutchen (aus Kohleverbindungen) auf der inneren Wandung von einem Glasröhrchen hergestellt und dann luftdicht abgeschlossen. Die Röhrchen lassen sich natur-

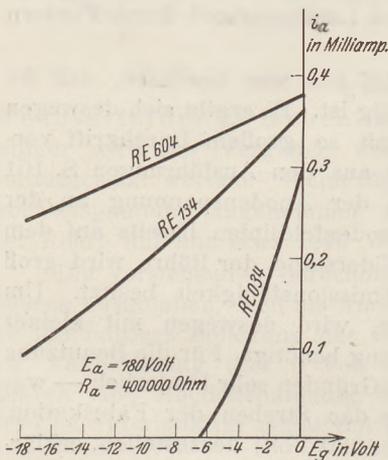


Fig. 13.

gemäß nur mit wenigen Milliampere belasten, was jedoch völlig genügt, denn beim Einschalten so hoher Widerstände in den Anodenkreis zeigt selbst die leistungsfähigste Röhre nur sehr geringen Anodenstrom.

Die Schaltung bleibt die gleiche wie vorher, mit Ausnahme des Austausches der Widerstände und des Nebewiderstandes vom Anodenkreis milliampere: es ist jetzt der Meßbereich 2,5 Milliampere notwendig.

Die Messungen sind ausgeführt für die Röhren RE 604, 134 und 034 (Fig. 13). Die Anodenspannung ist für alle Röhren 180 Volt. Die Röhre RE 034 mit ihrem kleinen Durchgriff erweist hier ihr großes Steuervermögen¹. Es kommt nicht auf die absolute Größe der Ströme, sondern allein auf die Stromänderung an, um das Verhältnis $u_{g1} : u_{g2}$ möglichst groß zu machen (Fig. 3). Für Widerstandsverstärkung nimmt man deswegen Röhren mit möglichst kleinem

Durchgriff. Röhren mit noch kleinerem Durchgriff herzustellen, stößt praktisch auf keine Schwierigkeiten, doch ist ein Durchgriff von 3 oder 4% für Verstärkerzwecke wohl die untere Grenze, weil bei noch kleinerem Wert sehr leicht eine Selbsterregung des Verstärkers eintreten kann (Rückkoppelung).

Auf einen so hohen äußeren Widerstand wird eine nennenswerte Leistung seitens der Röhre nicht übertragen, der Leistungsverbrauch der Anordnung ist praktisch gleich Null. Es lassen sich selbstverständlich auch mit Röhren von größerem Durchgriff Widerstandsverstärker mit gutem Erfolg bauen; auf die Reinheit der Abbildung hat der Durchgriff keinen Einfluß, wohl aber wird der Verstärkungsgrad mit wachsendem Durchgriff der Röhre kleiner.

Aus Formel (11) läßt sich der **Verstärkungsfaktor** einer Röhre für Widerstandsverstärkung ohne weiteres angeben. Der Ausdruck $\frac{R_a}{R_a + R_i}$ ist nahe = 1, es ist

¹ Daß eine Röhre mit kleinem Durchgriff besser „steuert“ als eine Röhre mit großem Durchgriff, ist leicht einzusehen. Je engermaschiger das Gitter, oder je kleiner die Entfernung Gitter-Kathode (siehe S. 98) ist, um so größer wird bei gleichbleibender Gitterspannung E_g die Feldstärke F_g ; um so kleiner wird bekanntlich auch der Durchgriff. Die Gitterwechselspannungen u_g haben dementsprechend einen um so größeren Einfluß auf die Änderung des Anodenstromes, je kleiner der Durchgriff der Röhre wird.

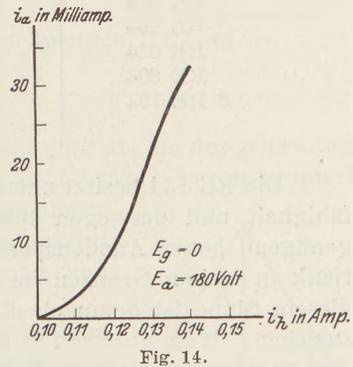
demnach der Verstärkungsgrad nur vom Durchgriff abhängig, er ist diesem umgekehrt proportional. Der Verstärkungsfaktor ist für einen Durchgriff von 4% gleich 25, für einen Durchgriff von 10% gleich 10 und für einen Durchgriff von 25% nur gleich 4.

So einfach wie hier werden allerdings in der Praxis, also im Betriebszustande des Verstärkers, die Verhältnisse nicht, weil die Koppelungskondensatoren C (Fig. 3) und auch die sog. Ableitungswiderstände R_g , ferner die inneren Röhrenkapazitäten die Verhältnisse komplizierter machen, worauf hier nicht eingegangen werden kann¹,

h) Die Abhängigkeit des Anodenstromes von der Heizung (Fadentemperatur).

Mit dem vorigen Abschnitt sind die grundlegenden Messungen an der Dreielektrodenröhre abgeschlossen. Die folgende Meßreihe gehört streng genommen nicht mehr zum Thema, denn eine genügende Heiztemperatur des Fadens, die konstant zu halten ist, wird bei allen vorstehenden Messungen vorausgesetzt. Die Aufnahme des Röhrenstromes in Abhängigkeit von der Heizung des Fadens bei konstanter Gitterspannung und konstanter Anodenspannung soll nur zeigen, wie wichtig bei allen grundlegenden Versuchen die genaue Beibehaltung des einmal eingestellten Heizstromwertes ist.

Der Versuch ist einfach und braucht kaum näher erläutert zu werden. Der Heizwiderstand (Fig. 4), der vorher ganz ausgeschaltet war, dient jetzt zur Regelung des Akkumulatorstromes. Der Strom wird mit dem Mavometer (Nebenschluß 150 Milliampere) gemessen. Die Gitterspannung ist Null, das heißt, Gitter und negativer Heizpol sind kurz geschlossen, während der Heizwiderstand in der positiven Heizleitung liegt. Man mißt den Anodenstrom der Röhre RE 134 (Mavometer-Nebenschluß 50 Milliampere) als Funktion des Heizstromes. — Die Meßreihe ist in Fig. 14 angegeben. Der normale Heizstromverbrauch der Röhre beträgt 135 Milliampere.



D. Zusammenfassung.

In den vorstehenden Ausführungen ist der Versuch gemacht worden, eine Anzahl von Röhrentypen, die im Handel jederzeit zu haben sind, durch Messungen miteinander zu vergleichen. Die Versuche, die in den Übungslehrgängen der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in gleicher Weise angestellt werden, sollen zunächst den Zweck haben, praktisch zu zeigen, wie die wesentlichen Merkmale der Röhre: Durchgriff, innerer Widerstand und Steilheit gemessen, und welche Hilfsmittel an Meßinstrumenten und anderen Apparaten dazu benötigt werden.

Darüber hinaus, — und das scheint dem Verfasser auch ein wichtiger Gesichtspunkt der Arbeit (und auch der Übungen) zu sein, — ist durch **Vergleich der Röhrentypen miteinander**, die zu den Versuchen mit Sorgfalt ausgewählt worden sind, die Verwendungsmöglichkeit der einzelnen Röhrentype erläutert worden. Die Fig. 6, 11 und 13, in welchen alle Röhrencharakteristiken in gleichem Maßstab eingetragen sind, möchte Verfasser deswegen in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt wissen.

In Tabelle 6 sind die Meßresultate für Durchgriff, inneren Widerstand und Steilheit in Zusammenstellung gegeben. Die Röhren RE 064, 074 und 134 haben den gleichen Durchgriff, sie unterscheiden sich nur durch die Emissionsfähigkeit

¹ Auch bei Verstärkung mittels Transformators ist der Einfluß des Durchgriffs der gleiche. Hier sind jedoch die Anpassungsberechnungen schwierig. Durch Wahl eines hohen Übersetzungsverhältnisses (Güte der Schaltung) ist eine hohe Spannungstransformation auch bei Röhren mit größerem Durchgriff möglich. Röhren mit kleinerem Durchgriff als 8 bis 10% werden für Spannungsverstärkung mittels Transformators kaum angewandt.

ihrer Kathode, was sich in Unterschieden ihres inneren Widerstandes und dadurch ihrer Steilheit bemerkbar macht.

Soll ein Vergleich ihrer Leistungsfähigkeit geschehen, so muß zunächst gefragt werden, ob sie Wechselspannung oder Wechselstromleistung abgeben sollen.

Ist letzteres der Fall, so ist ein Vergleich der Röhren nur dann möglich, wenn sie „angepaßt“ werden, das heißt, wenn der Widerstand, auf den sie Leistung abgeben sollen, gleich oder angenähert gleich ihrem inneren Widerstand gemacht wird (entweder direkt oder mittels Anpassung durch einen Transformator).

Tabelle 6.

Röhren-Name	Durchgriff D	Innerer Widerstand R_i	Steilheit S
RE 134	etwa 10	etwa 4 600	2,1
RE 074	„ $9\frac{1}{2}$	„ 7 500	1,4
RE 064	„ 10	„ 14 000	0,7
RE 034	„ 4	„ 43 000	0,8 (Mittelwert)
RE 604	„ 25	„ 1 100	3,7
3 RE 134	„ $9\frac{1}{2}$	„ 1 600	6,6
	‰	Ohm	Milliamp./Volt

Die RE 134 besitzt unter den 3 betrachteten Röhren die weitaus größte Emissionsfähigkeit und deswegen Belastungsfähigkeit, sie läßt sich daher ohne Gefahr mit genügend hoher Anodenspannung betreiben, wodurch ein Durchlaufen der Charakteristik in weiten Grenzen im negativen Bereich der Gitterspannung erreicht wird. In diesem Sinne ist demnach die RE 134 den beiden Typen RE 074 und 064 weit vorzuziehen. Weit übertroffen wird die Leistungsfähigkeit der einzelnen Röhre von den drei parallel geschalteten Röhren RE 134, die den gleichen Durchgriff behalten, deren Steilheit jedoch den dreifachen Wert annimmt. Ein Vergleich dieser drei Röhren mit der RE 604 muß zuungunsten der letzteren ausfallen; sie hat zwar eine große Emissionsfähigkeit, jedoch einen sehr großen Durchgriff, kann also nur durch verhältnismäßig große Gitterspannungen zu guter Leistungsabgabe veranlaßt werden. — Man benutzt diese Röhre deswegen in der Regel dort, wo mittels eines Gittertransformators geeigneter Übersetzung Wechselspannungen genügender Amplitude zur Verfügung stehen. — Gleich große Leistungsabgabe erfolgt bei den drei parallel geschalteten RE 134 schon bei weit kleinerer Gitterwechselspannung; in ihrem absoluten Leistungsvermögen sind beide Verstärkermittel der Größenordnung nach gleich.

Ein Vergleich der RE 604 mit einer RE 134 fällt ebenfalls zuungunsten der ersteren aus, wenn keine genügenden Gitterwechselspannungen zur Verfügung stehen; in anderen Falle erzielt erstere weit größere Wechselstromleistungsabgabe.

Während für die Fähigkeit einer Röhre, **Wechselstromleistung** abzugeben, das Verhältnis Steilheit zu Durchgriff maßgebend ist, wobei außerdem noch genügende Emissionsfähigkeit des Fadens der Röhre vorhanden sein muß, spielt bei **Spannungsverstärkung** der Durchgriff die wesentliche Rolle. Die RE 604 ist demnach wegen ihres großen Durchgriffs hierzu völlig ungeeignet. — Die drei Röhren mit gleichem Durchgriff (RE 064, 074, 134) werden sich zum Zweck der Spannungsverstärkung (auch mit Transformator) oft kaum wesentlich voneinander unterscheiden.

Die RE 034 nimmt eine Ausnahmestellung ein. Sie hat einen sehr kleinen Durchgriff und eignet sich deswegen vorzüglich zur Spannungsverstärkung, wenn die Bedingung $R_a \gg R_i$ erfüllt werden kann (Gleichung 11).

Es ist deswegen nicht gesagt, daß auch Röhren mit mittlerem Durchgriff (10‰) sich nicht zur Widerstandsverstärkung eignen, nur wird der Verstärkungsgrad geringer. Für Transformatorverstärkung wird man Röhren mit mittlerem Durchgriff und mittlerer Emission verwenden, für ihre genaue Auswahl sind die Dimensionen des Transformators ausschlaggebend.

Kleine Mitteilungen.

Die experimentelle Bestimmung der Temperatur im Draperschen Gesetz.

Von F. Könnemann in Glogau.

Das DRAPERSche „Gesetz“, daß alle Körper bei 525° C sichtbar rot zu glühen beginnen, ist nach unseren heutigen Kenntnissen nicht mehr streng gültig, hat aber doch in der Praxis eine gewisse Bedeutung und wird darum in der Schulphysik öfter erwähnt, aber meist ohne Hinweis auf eine experimentelle Bestätigungsmöglichkeit. Wir wissen heute, daß DRAPER durch Erhitzen der Stoffe in Flintenläufen im wesentlichen das erste merkbare Rot in der Glut des „schwarzen“ Körpers feststellte. Das Gesetz hat heute seinen Sinn nur noch darin, daß gemäß dem KIRCHHOFFSchen Gesetz

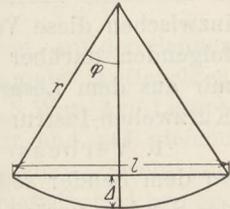
$$e_{\lambda T} = s_{\lambda T} \cdot a_{\lambda T}$$

- ($e_{\lambda T}$ Emissionsvermögen für λ bei T^0 abs.
- $s_{\lambda T}$ Emissionsvermögen für λ bei T^0 des schwarzen Körpers
- $a_{\lambda T}$ Absorptionsvermögen für λ bei T^0)

$$e_{\lambda T} \leq s_{\lambda T} \text{ (wegen } a_{\lambda T} \leq 1),$$

also reine Temperaturstrahlung eines beliebigen Stoffes nicht eher als die des schwarzen Körpers unter gleichen Bedingungen sichtbar ist. Die Zahl 525° C ist eine untere Grenze für die sichtbare Rotglut eines Körpers. Die angenäherte Bestimmung dieser Temperatur ist nun, wie im folgenden gezeigt wird, sehr einfach, sie gestattet zugleich die Beobachtung und Temperaturmessung der „Grauglut“.

Die Versuchsanordnung besteht einfach in einem etwa 2 m langen dünnen Eisendraht (Blumendraht) zwischen zwei HOLTZschen Fußklemmen, der elektrisch geheizt wird und dessen Durchmesser Δ in der Mitte gemessen wird. Die Beobachtung der ersten Grau- oder Rotglut erfolgt natürlich im Dunkeln nach hinreichender Anpassung des Auges; dann ist auch das bekannte schwankende Stäbchensehen sehr schön zu beobachten.



Da man im Unterricht meist die mathematische Behandlung der Kettenlinie nicht zur Verfügung hat, ersetzen wir sie mit genügender physikalischer Annäherung durch einen Kreis.

Dann folgt in den Bezeichnungen der Figur:

$$\Delta = r - r \cos \varphi = r(1 - \cos \varphi) \approx \frac{r \cdot \varphi^2}{2} \dots \dots \dots (1)$$

$$l = 2r \sin \varphi \dots \dots \dots (2)$$

$$l(1 + at) = 2r \cdot \varphi \dots \dots \dots (3)$$

Aus (2) und (3) folgt:

$$\frac{\sin \varphi}{\varphi} = \frac{1}{1 + at} \approx 1 - at \approx \frac{\varphi - \frac{\varphi^3}{6}}{\varphi} = 1 - \frac{\varphi^2}{6},$$

d. h.

$$\frac{\varphi^2}{6} = at$$

$$\varphi = \sqrt{6at};$$

aus (2) folgt

$$r \approx \frac{l}{2\varphi} = \frac{l}{2\sqrt{6at}},$$

mithin aus (1)

$$\Delta = \frac{r}{2} \varphi^2 = \frac{l}{4} \sqrt{6at}$$

oder nach t aufgelöst:

$$t = \frac{8}{3\alpha} \left(\frac{\Delta}{l} \right)^2.$$

Die physikalische Ungenauigkeit liegt nur noch in der Wahl von α . In Frage kommt offenbar ein Mittelwert etwa um 300° , für unsere Aufgabe hinreichend genau

$$\alpha = 1,3 \cdot 10^{-5},$$

also

$$t = 2,05 \cdot \left(\frac{\Delta}{l} \right)^2 \cdot 10^5.$$

Zu beachten ist noch, daß t der Temperaturzuwachs über Zimmertemperatur ist. Die Versuche ergaben befriedigende Werte der DRAPERSchen Temperatur zwischen 530° und 540° .

Über einige weitere Demonstrationsversuche mit dem 2,4 m-Röhrensender.

Von Dr. Ludwig Bergmann in Breslau.

Ich habe vor einiger Zeit an dieser Stelle¹ einen Röhrensender beschrieben, der es erlaubt, mit einer handelsüblichen kleinen Senderöhre (Type Telefunken RS 55) eine Welle von 2,4 m zu erzeugen, wobei die gelieferte Schwingungsenergie so groß ist, daß sich eine Menge von Demonstrationsversuchen über elektrische Schwingungen in besonders anschaulicher und effektvoller Weise damit ausführen lassen. Ich habe inzwischen diese Versuche weiter ausgebaut und durch neue ergänzt und möchte im folgenden darüber berichten, zumal ich aus einer großen Anzahl von Schreiben, die mir aus dem Leserkreise zuzingen, das rege Interesse sehe, das für ein derartiges Kurzwellen-Instrumentarium besteht².

1. Verbesserungen am Sender. Zunächst seien noch einige Verbesserungen an dem Sender selbst erwähnt. Es erweist sich als sehr praktisch, die Wellenlänge des Senders veränderlich zu machen, um sie der jeweilig benutzten Versuchsapparatur anzupassen. Es läßt sich dies in der Weise erreichen, daß man die Größe des Schwingungskreises am Sender veränderlich macht, und zwar in einer Form, wie es in der Fig. 1 angedeutet ist. An der Anoden- und Gitteranordnung wird je ein etwa 10 cm langer, etwa 4 mm starker Rundmessingstab a_1 , a_2 angebracht, an dem sich das Stück b des Schwingungskreises mit dem eingebauten Blockkondensator verschieben und mittels zweier Klemmschrauben c_1 , c_2 in jeder Stellung festklemmen läßt. Die Stäbe a_1 , a_2 werden mit einer eingeritzten Zentimetereinteilung versehen, die eine Eichung des Senders in Wellenlängen ermöglicht.

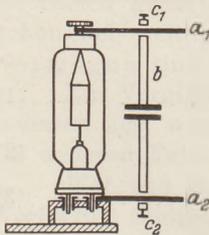


Fig. 1.

In der genannten Baubeschreibung des Senders habe ich bereits erwähnt, daß in die Heizzuleitungen zu der Kathode Drosselspulen eingebaut werden müssen, um zu verhindern, daß die Schwingungsenergie über die Heizleitungen abgeführt und dem Sender dadurch entzogen wird. Dies ist ein bekanntes Verfahren bei der Konstruktion von Kurzwellensendern. Ich fand nun, daß die vom Sender gelieferte Schwingungsenergie ganz wesentlich von der Güte dieser Abdrosselung abhängt. Verändert man beispielsweise die Größe des Schwingungskreises und damit die Frequenz des Senders, so findet man unter Umständen Fälle, bei denen die Drosselspulen in der Heizzuleitung nicht mehr genügend abdrosseln, und gegebenenfalls schwingt der Sender nicht mehr an. Man muß dann die Drosseln entsprechend vergrößern, und es gibt sozusagen für jede Frequenz eine bestimmte Drosselgröße. Nun ist eine stetige Variation von Drosselspulen, besonders bei hohen Frequenzen, nicht sehr einfach. Ich habe des-

¹ Diese Zeitschrift 41, 1928, S. 209.

² Die Herstellung des Röhrensenders sowie sämtlicher dazu gehöriger Nebenapparate hat die Firma Meiser & Mertig, Dresden-N. Kurfürstenstraße, übernommen.

halb einen etwas einfacheren Weg zur Abdrosselung der Heizleitungen gegen die Schwingungen eingeschlagen, indem ich in eine der Heizleitungen möglichst dicht an der Röhre einen besonderen Sperrkreis einbaute, wie er bekanntlich auch in der Rundfunkempfangstechnik verwendet wird. Eine Spule L von etwa 2 bis 4 Windungen bei 2 bis 3 cm Durchmesser wird mit einem kleinen Drehkondensator C von etwa maximal 30 cm Kapazität zu einem Schwingungskreis vereinigt und in eine der Heizleitungen eingeschaltet, wie dies die Fig. 2 zeigt. Ein derartiger Schwingungskreis hat für die Frequenz, auf die er abgestimmt ist, einen sehr hohen Wirkwiderstand, der für den Fall, daß der rein Ohmsche Widerstand der Spule Null ist, sogar unendlich wird. Man hat nun nach Inbetriebnahme des Senders diesen Sperrkreis zu verstimmen und findet dann jeweils eine Stellung, bei der die Schwingungsenergie des Senders ein Maximum wird, was an dem maximalen Aufleuchten der an den Senderschwingungskreis angeschalteten Glühlampe (s. Fig. 6 meiner ersten Arbeit) erkennbar ist. Wie die Versuche zeigten, genügt in den meisten Fällen die Einschaltung eines solchen Sperrkreises in eine der beiden Heizleitungen.

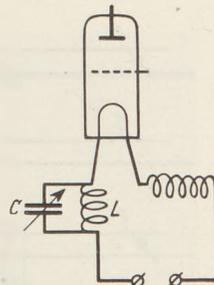


Fig. 2.

Die vom Sender gelieferte Schwingungsenergie beträgt bei der Wellenlänge 2,4 m etwa 4 Watt und steigert sich bei Welle 3,20 m auf etwa 5,5 Watt. Die Messung dieser Schwingungsenergie, die in exakter Weise bei den hohen Frequenzen nicht einfach ist, läßt sich demonstrativ etwa in der Weise vornehmen, daß man einen kleinen Schwingungskreis, bestehend aus einem runden Drahtkreis mit Drehkondensator und in der Drahtmitte eingeschalteter Glühlampe, auf den Sender abstimmt, und nun so fest mit dem Sender koppelt, daß ein maximales Aufleuchten der Lampe auftritt. Als Lampe verwendet man zweckmäßig eine 5 Watt-Azo-Lampe (4 Volt). Eine zweite gleiche Lampe wird mit Gleichstrom geheizt und auf gleiche Helligkeit gebracht, etwa durch Benutzung eines einfachen Photometers. Strom und Spannung bei der mit Gleichstrom betriebenen Lampe lassen sich messen und ermöglichen die Berechnung der Watt-Leistung, die der Sender an Schwingungsenergie an den Schwingungskreis abgibt.

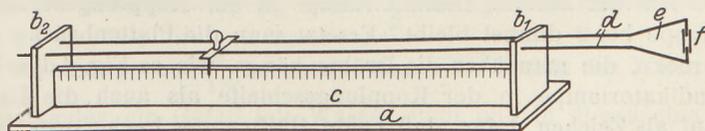


Fig. 3.

2. Versuche am Lechersystem. Es seien zunächst einige Versuche über die Ausbreitung elektrischer Wellen am Lechersystem beschrieben. Die praktische Ausführung des von mir benutzten Lecher-Drahtsystems zeigt die Fig. 3. Auf einem schmalen, etwa 2,20 m langen Grundbrett a sind zwei Brettstücke b_1, b_2 befestigt und durch ein weiteres Brett c gegeneinander versteift. Durch die beiden Brettstücke b_1 und b_2 sind in einem Abstand von etwa 4 cm die beiden je 3 mm starken Messingdrähte d hindurchgeführt. Die Ankopplungsschleife e ist vertikal gestellt, um ein bequemes Ankoppeln des Systems an den vertikalen Teil b des Senderschwingungskreises zu ermöglichen. Die Kopplungsschleife ist an der Stelle f unterbrochen und kann durch ein passendes Messingröhrchen verbunden werden; diese Vorrichtung erlaubt, eine Glühlampe in der Mitte der Kopplungsschleife anzubringen. Die Gesamtlänge des Lecher-Drahtsystems von der Kopplungsschleife bis zum freien Ende beträgt zweckmäßig etwa 2,60 m. Die Drahtbrücken, die sich auf den beiden parallelen Drähten verschieben lassen, tragen Zeiger, die auf einer auf dem Brett c angebrachten Zentimeterteilung die Brückenstellung abzulesen gestatten. Zum Nachweis der Strombäuche dienen Brücken, die in der Mitte eine kleine Glühlampe (3,5 Volt-Taschenlampenbirne) enthalten. Diese Lampen leuchten hell auf, wenn die Brücke in einem Strombauch steht. Die Spannungsbäuche werden durch das Aufleuchten von Neon-

röhren bzw. gewöhnlichen Glühlampen, die man über die Drähte legt, nachgewiesen. Wählt man die Welle des Senders zu etwa 2,50 m, so lassen sich, wie es Fig. 4 a zeigt, mittels der Glühlampenbrücken zwei Strombäuche bei 1 und 2 und mittels der Glimmröhren zwei Spannungsbäuche bei 1' und 2' nachweisen. Verschiebt man die Glühlampenbrücke aus der Stelle maximalen Leuchtens bei 1 nach der Stelle maximalen Leuchtens bei 2, so gibt die gemessene Verschiebung die halbe Wellenlänge an. In dem soeben beschriebenen Fall sind die Indikatoren, die die Abstimmung des Lechersystems anzeigen, entweder die Glühlampenbrücke oder die Glimmröhre. Fig. 4 b zeigt eine andere Methode der Messung der Wellenlänge. Als Brücke dient entweder ein einfacher über die Drähte gelegter Draht, oder noch besser eine sog. Plattenbrücke, die aus einem Stück

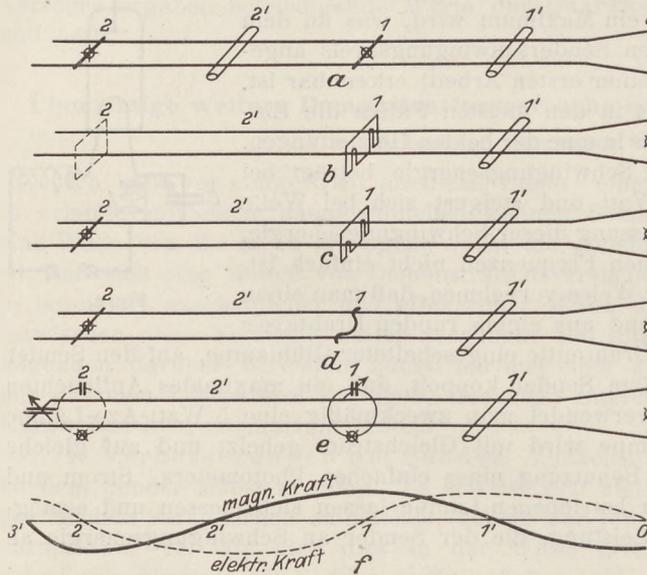


Fig. 4.

Messingblech mit zwei Schlitzen besteht, mit denen sich das Blech senkrecht zu den Lecherdrähten auf diese aufsetzen und längs den Drähten verschieben läßt. Befindet sich diese Brücke in einem Strombauch, so ist das Lechersystem abgestimmt. Als Indikator dient jetzt eine Glühlampe in der Kopplungsschleife bzw. eine Glimmröhre an der Stelle 1'. Eine derartige Plattenbrücke reflektiert die auf den Lecherdrähten entlanglaufenden Wellen fast vollkommen, so daß das hinter der Plattenbrücke liegende Drahtsystem nicht mitschwingen kann, auch wenn es durch eine zweite Brücke etwa bei 2 abgestimmt wird. Man kann dies dadurch zeigen, daß man als zweite Brücke eine Glühlampenbrücke wählt, wie es in Fig. 4 c dargestellt ist. Befindet sich die Plattenbrücke genau im Strombauch 1 und die Glühlampenbrücke im Strombauch 2, so leuchtet nur die Indikatorlampe in der Kopplungsschleife auf, während die Glühlampe bei 2 dunkel bleibt. Ersetzt man die Plattenbrücke durch eine einfache Drahtbrücke, die man über die Drähte hängt, wie es Fig. 4 d zeigt, so leuchtet sowohl die Indikatorlampe in der Kopplungsschleife als auch die Lampe in der Brücke bei 2 auf als Zeichen dafür, daß beide Hälften des Lechersystems schwingen, was auch an dem Ansprechen der Glimmröhren an den Stellen 1' und 2' zu erkennen ist. Schließlich läßt sich auch der bekannte Versuch ausführen, das am freien Ende offene Lechersystem durch einen angehängten kleinen variablen Kondensator auf die Welle des Senders abzustimmen. Zum Nachweis der Resonanz dient dann entweder die Indikatorlampe in der Kopplungsschleife oder die Glimmröhren an der Stelle 1' und 2'. Ist das ganze Lechersystem in dieser Weise abgestimmt, so findet die Verteilung der elektrischen und magnetischen Kräfte in der Weise statt, wie es die Kurven der Fig. 4 f zeigen. An den Stellen 0, 1, 2 haben wir Knoten der elektrischen und Bäuche der magnetischen Kraft, während an den Stellen 1', 2' und 3' Bäuche der elektrischen und Knoten der magnetischen Kraft liegen. Die Bäuche der magnetischen Kraft lassen sich außer durch das Auflegen von Brücken auch durch einen kleinen geschlossenen Schwingungskreis nachweisen, der aus einem Drahtkreis von etwa 8 cm Durchmesser besteht, vermittelt eines kleinen Drehkondensators auf die Welle abgestimmt wird und als Indikator eine Glühlampe trägt. Verschiebt man diesen Kreis

in einiger Entfernung parallel über den Lecherdrähten in der Stellung, wie es in der Fig. 4e angedeutet ist, so wird der Kreis nur an den Stellen erregt, an denen die magnetische Kraft ein Maximum hat.

Treten die elektrischen Wellen längs den Drähten aus einem Medium mit der Dielektrizitätskonstante 1 (z. B. Luft) in ein zweites Medium mit der Dielektrizitätskonstante ϵ , so wird bekanntlich die Wellenlänge auf den $\sqrt{\epsilon}$ ten Teil verkürzt. Dies kann man anschaulich in der folgenden Weise zeigen: Ein länglicher schmaler Glas-trog von den ungefähren Maßen 50 cm lang, 14 cm hoch und 12 cm breit ist an den beiden Stirnseiten im Abstände von 4 cm zweimal durchbohrt, und durch diese Durch-bohrungen sind mittels Gummistopfen zwei parallele Drähte durch den Glastrog hin-durchgeführt. Der Trog wird mit Wasser gefüllt und als Verlängerung an das freie Ende des oben beschrie-benen Lechersystems ange-schlossen. Es bilden sich dann im Wasser ebenfalls stehende Wellen aus, deren Knoten der elektrischen Kraft jetzt einen Abstand $\frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon}} = \frac{\lambda}{18}$ haben. Diese Kno-ten lassen sich wieder mit einer Glühlampenbrücke, die man mittels eines Griffes im Wasser auf den Drähten verschiebt, anschaulich nach-weisen.

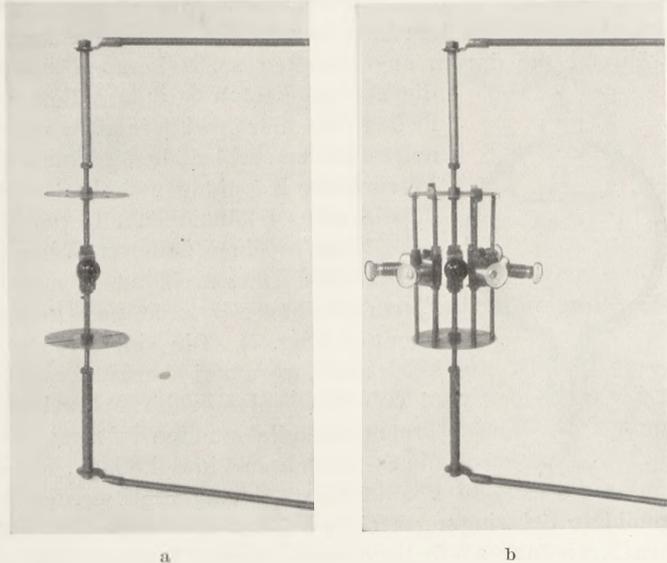


Fig. 5.

Es sei an dieser Stelle noch ein zweiter Versuch erwähnt, der ebenfalls eine Verkürzung der Wellenlänge einer elektrischen Schwingung im Wasser auf den neunten Teil zeigt. Stimmt man auf die Welle des Senders eine Linearantenne ab, so ist deren Länge bei Erregung in der Grundschwingung gleich $\frac{\lambda}{2}$; bringt man aber diese Antenne in Wasser, so geht ihre Länge auf $\frac{\lambda}{18}$ herunter. Man kann dies in der Weise zeigen, daß man neben den Sender ein Gefäß mit Wasser stellt und in dieses eine Linearantenne von der Länge $\frac{\lambda}{18}$ eintaucht, die in der Mitte als Indikator eine Glüh-lampe trägt. Diese Lampe leuchtet sofort hell auf zum Zeichen, daß der kurze Stab vom Sender zu Schwingungen angeregt wird. Nimmt man ihn aus dem Wasser heraus und nähert ihn in Luft dem Sender, so tritt der Effekt natürlich nicht auf.

3. Versuche zur Demonstration des Skin-Effektes. Der Skin-Effekt, die Verdrängung der Stromlinien aus der Mitte eines Drahtes nach der Drahtoberfläche bei schnell wechselnden Strömen, läßt sich durch einen im Prinzip schon von H. HERTZ angegebenen Versuch sehr anschaulich vorführen. Die Anordnung ist in den Fig. 5a und 5b sowie in der Fig. 6 dargestellt. Ein Lecher-Drahtsystem von etwa $\frac{\lambda}{2}$ Länge wird mit seinem einen Strombauch *a* an den Sender angekoppelt und trägt im zweiten Strombauch *b* als Indikator eine Glühlampe *L*. Die Abstimmung des Systems auf die Welle des Senders geschieht durch einen kleinen Drehkondensator *C*, der im Spannungs-

bauch des Systems angeschlossen ist. Die Zuführungen zur Lampe L tragen runde Metallscheiben d von etwa 7 cm Durchmesser, von denen jede sechs Vertiefungen im gleichen Abstand auf einem Kreis von etwa 6 cm \varnothing besitzt. In diese Vertiefungen

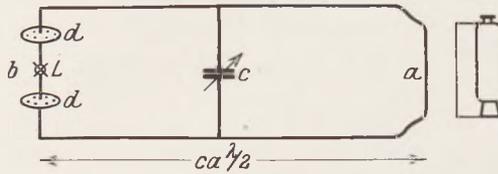


Fig. 6.

können zwischen die beiden Platten sechs weitere 3 mm starke Messingdrähte eingesetzt werden, von denen jeder wieder als Indikator in seiner Mitte eine Glühlampe trägt (Fig. 5 b). Zunächst wird die Anordnung ohne diese sechs Stäbe auf den Sender abgestimmt. Die Lampe L zeigt durch helles Aufleuchten die Resonanz an.

Fügt man nun die sechs Stäbe zwischen die Metallplatten ein, wie es Fig. 5 b zeigt, so verschwindet das Leuchten der in der Achse der Anordnung befindlichen Lampe L , während die darum angeordneten sechs Lampen aufleuchten als Zeichen dafür, daß

die hochfrequenten Ströme lediglich in der Oberfläche des Leiters fließen, die hier gewissermaßen von den auf einem Zylindermantel angeordneten sechs Stäben gebildet wird. Man muß bei dem zweiten Versuch die Kopplung zwischen Sender und System fester machen, da die sechs Glühlampen alle parallel geschaltet sind.

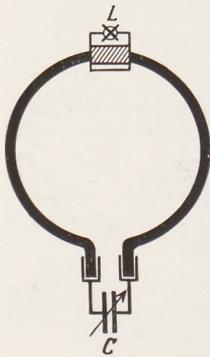


Fig. 7.

Noch in einer anderen Weise läßt sich der Skin-Effekt vorführen. Ein Drahtkreis aus 4 mm starkem Eisendraht von etwa 15 cm Durchmesser ist an zwei gegenüber liegenden Stellen aufgeschnitten (Fig. 7). Die eine Trennstelle ist durch ein Isolierstück aus Hartgummi überbrückt und durch eine kleine Glühlampe L (4 Volt-Taschenlampenbirne) verbunden. Die Enden der anderen Trennstelle münden in zwei Stecker, mit denen der Kreis in die Steckbuchsen eines kleinen, auf einem Stativ befestigten Drehkondensators C eingefügt werden kann (Fig. 8 a).

Der dadurch gebildete Schwingungskreis wird auf die Welle des Senders abgestimmt, wobei man den Kreis nur so fest mit dem Sender koppelt, daß die Glühlampe dunkelrot aufleuchtet. Ersetzt man dann den Drahtkreis durch einen genau gleichen, ebenfalls aus

4 mm Eisendraht gebildeten Drahtkreis, dessen Oberfläche jedoch verkupfert ist, so leuchtet bei der gleichen Abstimmung die Lampe hell auf als Zeichen dafür, daß im letzten Falle der Widerstand des Kreises wesentlich kleiner geworden ist. Da hierfür nur die dünne Kupferschicht auf der Drahtoberfläche der Grund sein kann, ist hiermit gezeigt, daß die hochfrequenten Ströme nur in der Drahtoberfläche fließen und das Innere des Drahtes stromlos ist. Bei dem Versuch ist es vorteilhaft, die Anschlußpunkte der Indikatorglühlampe in beiden Fällen durch ein kurzes Stück Kupferdraht von etwa 1 mm Stärke zu überbrücken, so daß die Glühlampe

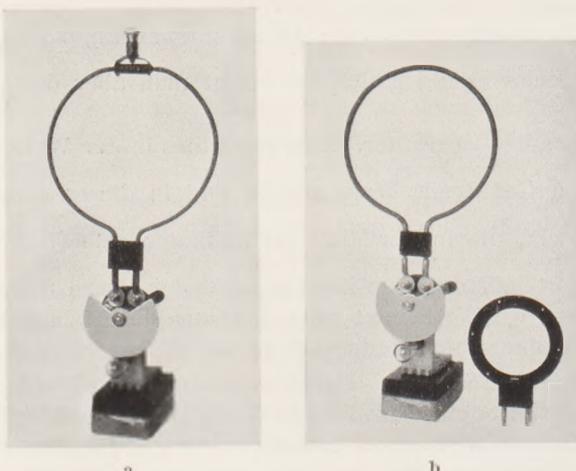


Fig. 8.

hierzu im Nebenschluß liegt und ihr Widerstand den Schwingungskreis nicht unnötig dämpft.

4. Abhängigkeit der Selbstinduktion eines Drahtes von seinem Durchmesser. Die Selbstinduktion L eines geraden Drahtes von der Länge l und

dem Durchmesser d ist bekanntlich durch die Gleichung bestimmt: $L = 2l \log \frac{l}{d}$. Mit abnehmendem Durchmesser steigt also die Selbstinduktion der Längeneinheit. Dies kann man mit der im Vorhergehenden beschriebenen Anordnung zeigen, wenn man an den Drehkondensator einen Drahtkreis aus dickem Kupferdraht (etwa 5 mm stark) anschließt und den Kreis auf den Sender abstimmt, wobei man die Resonanz durch das Aufleuchten einer Glimmlampe nachweist, die den Platten des Drehkondensators genähert wird. In der Fig. 8b, die diese Versuchsanordnung zeigt, ist die Glimmlampe unterhalb des Drehkondensators angebracht. Ersetzt man sodann den Drahtkreis durch einen gleichgroßen, der aber aus wesentlich dünnerem Draht besteht, so ist die Resonanz sofort gestört, und man muß, um sie wieder herzustellen, die Kapazität des Drehkondensators verkleinern. Dadurch ist gezeigt, daß die Selbstinduktion des Kreises mit dem dünneren Draht die größere ist. Man kann auch so verfahren, daß man den aus dickem Draht bestehenden Kreis durch einen aus dünnem Draht bestehenden ersetzt, dessen Kreisdurchmesser entsprechend kleiner gewählt ist, so daß die Resonanzeinstellung am Drehkondensator erhalten bleibt. Es ergab sich beispielsweise, daß ein Kreis von 13 cm Durchmesser aus 5 mm starkem Kupferdraht einem Kreis von 8 cm Durchmesser aus 0,1 mm starkem Kupferdraht bezüglich der Selbstinduktion entsprach. Der dünne Kupferdraht war dabei auf einen schmalen Hartgummiring als Träger aufgewickelt. In der Fig. 8b sind beide Spulen zu erkennen.

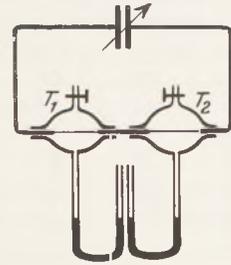


Fig. 9.

5. Abhängigkeit des Wechselstromwiderstandes von der Permeabilität. Die Versuchsanordnung ist in der Fig. 9 dargestellt¹. In den Strombauch eines Schwingungskreises sind zwei kleine, aus Glas bestehende Thermoskope T_1 und T_2 eingesetzt, die zwei Manometer tragen, die mit gefärbtem Petroleum gefüllt sind. T_1 enthält als Heizdraht einen Platindraht, T_2 einen Eisendraht, beide Drähte sind von gleicher Stärke (etwa 0,3 mm) und in ihrer Länge so abgemessen, daß ihr Gleichstromwiderstand derselbe ist. Der Längenunterschied ist dabei sehr gering, da Platin und Eisen annähernd gleiches elektrisches Leitvermögen haben, das nur beim Eisen etwas verschiedene Werte aufweist. Die von mir benutzte Drahtlänge war etwa 4 cm. Leitet man Gleichstrom durch die hintereinander geschalteten Thermoskope, so steigen beide Manometer ganz gleichmäßig, während bei Erregung des Schwingungskreises durch den Röhrensender das Manometer von T_2 , das den Eisendraht enthält, etwa 8 mal so stark ansteigt und damit angibt, daß der Eisendraht infolge seiner Permeabilität einen wesentlich höheren Wechselstromwiderstand hat als Platin.

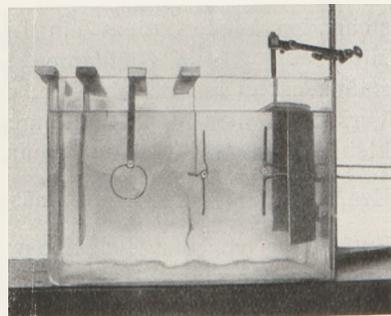


Fig. 10.

6. Versuche über stehende elektrische Wellen im Raum. Koppelt man mit dem Sender eine Linearantenne, wie ich es in dem früheren Aufsätze beschrieben habe, und läßt man die ausgestrahlten elektrischen Wellen an einer Metallwand von etwa 2×2 m Oberfläche reflektieren, so kann man in einem größeren Raum die vor der Wand auftretenden stehenden Wellen dadurch nachweisen, daß man einen Linearempfänger vor der Wand in Richtung auf den Sender verschiebt. Die Ausschläge eines angeschalteten Galvanometers zeigen dann Maxima und Minima der elektrischen Kraft an. Die Versuche gelingen jedoch nur gut in einem größeren Raum, wenn man frei von störenden

¹ Bereits in ähnlicher Anordnung angegeben von J. ZENNECK in Elektromagn. Schwingungen und drahtlose Telegraphie, S. 415 (1905), Verlag Enke, Stuttgart.

Einflüssen der Wände ist. Ich erwähnte nun bereits oben, daß in Wasser die Wellenlänge auf den neunten Teil heruntergeht. Dies bedeutet beispielsweise bei einer Wellenlänge von 2,50 m ein Heruntergehen auf etwa 28 cm. Es liegt deshalb nahe, die Versuche über stehende elektrische Wellen in einem größeren Wasserbassin vorzunehmen. In der Tat gelingt dies in recht schöner Weise; die Versuchsanordnung ist in Fig. 10 und in der schematischen Fig. 11 dargestellt, wobei Fig. 11 a einen vertikalen Längsschnitt, Fig. 11 b einen horizontalen Querschnitt zeigt. Als Wasserbehälter dient ein größeres Aquariumglas in den ungefähren Maßen von 50 cm Länge, 30 cm Breite und 35 cm Höhe. Die eine Stirnwand erhält in der Mitte eine 4 cm große Durchbohrung, durch die mittels eines Gummistopfens wasserdicht ein Lechersystem eingeführt wird. Im Inneren des Gefäßes, etwa 8 cm von der durchbohrten Wand entfernt,

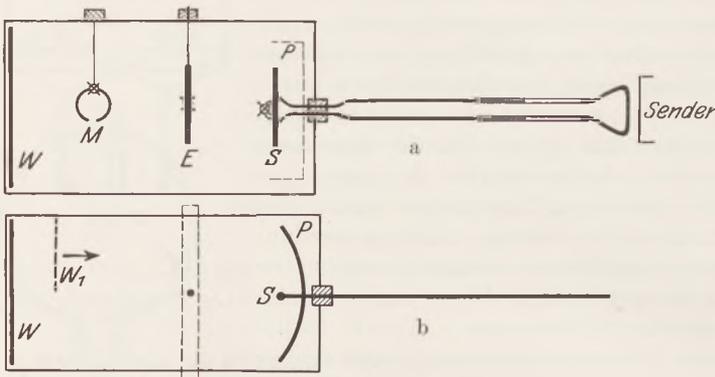


Fig. 11.

trägt das Lechersystem die Linearantenne S von 14 cm Länge. Diese Antenne bildet zugleich die Brücke des Lechersystems und wird durch dieses angeregt. Zur Feststellung der Resonanz ist dem mittleren Teil der Antenne eine kleine Glühlampe parallel geschaltet. Das ganze Lechersystem ist etwa 1,20 m lang und besitzt am rechten Ende eine Kopplungsschleife zur An-

kopplung an den Sender. Das Lechersystem läßt sich, wie aus der Fig. 11 a ersichtlich ist, posaunenartig zusammenschieben bzw. auseinanderziehen und damit auf die richtige Wellenlänge einstellen. An der linken Stirnwand des Troges befindet sich die Metallwand W , an der die Wellen reflektiert werden. Um ein möglichst paralleles Strahlenbündel zu erhalten, ist der Sender S in der Brennpunktlinie eines Parabolspiegels P angeordnet, dessen Brennweite $\frac{\lambda}{4} = 7$ cm ist. Als Indikator für die

stehenden Wellen dient ein Linearempfänger E von 14 cm Länge, der in seiner Mitte eine kleine Glühlampe trägt. Dieser Empfänger hängt mittels eines Glasstäbchens an einer Holzleiste, die sich auf dem Rande des Bassins verschieben läßt. Verschiebt man den Empfänger zwischen Metallwand und Sender, so leuchtet die kleine Glühlampe hell auf, wenn sich der Empfänger in einem Bauch der elektrischen Kraft befindet. Diese Maximastellen der elektrischen Kraft liegen in $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4} \dots$

Entfernung vor der Reflexionswand. Zwischen ihnen und dicht an der Wand liegen Knotenstellen der elektrischen Kraft, in denen jeweils die Lampe des Empfängers erlischt. Die stehende Welle der magnetischen Kraft ist dagegen um $\frac{\lambda}{4}$ verschoben.

An der Wand liegt ein Bauch der magnetischen Kraft, in $\frac{\lambda}{4}$ davor dagegen ein Knoten usw. Die Bäuche der magnetischen Kraft lassen sich mit einem kleinen kreisförmigen Empfänger M nachweisen, dessen Umfang etwa $\frac{\lambda}{2}$ ist und der ebenfalls als Indikator eine Glühlampe trägt. Wird dieser Kreis mit seiner Ebene senkrecht zur Metallwand in der in der Fig. 11 a angegebenen Stellung vor der Wand auf den Sender zu verschoben, so leuchtet die kleine Lampe auf, wenn er sich in einem Bauch der magnetischen Kraft befindet.

Bei der Reflexion der Wellen an einer Metallwand hat man es mit einer Reflexion an einem dichteren Medium zu tun. An der Wand liegt dabei, wie bereits erwähnt, ein Knoten der elektrischen und ein Bauch der magnetischen Kraft. Nimmt man die Metallwand aus dem Wasser heraus, so tritt eine Reflexion der Wellen beim Austritt aus dem Wasser an der Glas- bzw. Luftwand des Außenraumes, also an einem dünneren Medium ein. In diesem Falle kehren sich die Verhältnisse bei der Ausbildung der stehenden Wellen um; an der Reflexionswand liegt ein Bauch der elektrischen Kraft und ein Knoten der magnetischen, und die entsprechenden stehenden Wellen sind gegenüber dem vorhergehenden Falle um $\frac{\lambda}{4}$ verschoben. Auch dies läßt sich sehr gut zeigen. Gleichzeitig kann man an dem jetzt geringeren Aufleuchten der Lampe im Empfänger erkennen, daß das Reflexionsvermögen kleiner geworden ist. Es beträgt ja in diesem Falle $R = \left(\frac{\sqrt{\epsilon} - 1}{\sqrt{\epsilon} + 1} \right)^2 \cong 64\%$ gegenüber 100% im Falle der Reflexion an einer Metallwand.

Schließlich kann man mit der Anordnung noch den BOLTZMANNschen Interferenzversuch zeigen. Zu diesem Zweck wird der Empfänger in einen Bauch der elektrischen Kraft in der Nähe des Senders S gebracht, und eine zweite Metallwand W_1 , die den Trog aber nur zur Hälfte ausfüllt (in der Fig. 11 b durch die gestrichelte Linie angedeutet), in der Pfeilrichtung verschoben. Beträgt der Abstand zwischen W und $\frac{\lambda}{4} W_1$ oder ein Vielfaches von $\frac{\lambda}{4}$, so sind die beiden von den zwei Metallwänden reflektierten Wellen um $\frac{\lambda}{2}$ verschoben und interferieren zu Null. In diesem Augenblick erlischt die Lampe am Empfänger.

Weiterhin kann man noch bei den im Wasser laufenden Wellen die Polarisationsrichtung zeigen. Stellt man den Empfänger in den ersten Bauch der elektrischen Kraft vor der Metallwand und dreht ihn um 90° , so daß seine Richtung senkrecht zum Sender steht, so erlischt sofort die Indikatorlampe. Bringt man dann ein aus parallelen Drähten bestehendes Gitter so zwischen Sender und Empfänger, daß die Drahtichtung des Gitters einen Winkel von 45° gegen die Empfänger- bzw. Senderichtung aufweist, so tritt sofort wieder ein Aufleuchten der Indikatorlampe am Empfänger ein. Es läßt sich ferner zeigen, daß ein Gitter, dessen Drähte parallel der Richtung des Senders laufen, die Wellen vollkommen reflektiert, sie aber durchläßt, wenn es um 90° gedreht wird, so daß die Richtung der Drähte des Gitters senkrecht zur Richtung des Senders steht.

Physikalisches Institut der Universität Breslau.

Über Unterrichtsräume, die zugleich für Übungen eingerichtet sind¹.

Von **Wilhelm Volkmann** in Berlin-Steglitz.

(Mittellung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht.)

In den letzten Jahren wird in steigendem Maße die Forderung gestellt, daß neu einzurichtende naturwissenschaftliche Lehrzimmer zugleich für Übungen verwendbar sein sollen. In sehr vielen Fällen beruhte diese Forderung einfach auf Raumnot; die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht wird eben hauptsächlich von solchen Schulen zu Hilfe gerufen, die sich in Not befinden und nur beschränkten Raum freimachen können. In anderen Fällen, in denen Platz für einen Erweiterungsbau vorhanden war, drückte die Leistungsfähigkeit des Schullastenträgers die Wünsche

¹ Vgl. auch Mitteilungen der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Heft 9: Die Berechnung des Raumbedarfes für den naturwissenschaftlichen und erdkundlichen Unterricht. Leipzig, Quelle & Meyer. 1928.

auf ein Mindestmaß herunter. Aber nicht überall wird die Forderung mit der Not begründet, sondern bei einigen ganz großzügig geplanten Neubauten wurde dieselbe Forderung gestellt, um einen Teil der Übungen gänzlich in den Unterricht hineinzuziehen zu können. Die beste Gelegenheit hierfür bietet die Biologie, in der man von jeher Bestimmungsübungen im Klassenzimmer ausgeführt hat. Diese Erfahrungen lassen leicht abschätzen, welche Bereicherung des Unterrichts in einem zweckmäßiger ausgestatteten Raum möglich ist durch Hineinziehen weiterer geeigneter Übungen in den Unterricht. Zugleich werden die unvermeidlichen Verunreinigungen der Klassen vermieden, wenn dieser Unterricht schon für die Unterklassen in einen Sonderraum gelegt wird. Für Chemie wird geltend gemacht, daß es nützlich sei, im Anfangsunterricht von den Schülern die Vorgänge herbeizuführen und aus nächster Nähe beobachten zu lassen, die in der Chemie oft vorkommen, z. B. eine Gasentwicklung, eine Fällung, einen Farbumschlag

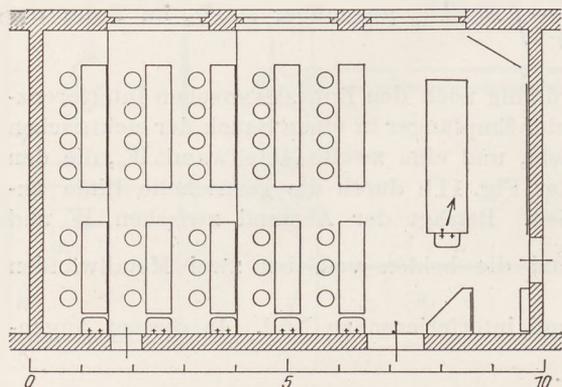


Fig. 1.

Nur für Anstalten mit sehr kleinen Klassen kann in Physik die Zusammenlegung von Übungs- und Unterrichtsraum in Betracht kommen. Die geeignete Form wird dann sein, daß man auf ein Unterrichtszimmer in der üblichen Form verzichtet und den Unterricht im Übungsraum abhält.

Von den verschiedenen Möglichkeiten, das Chemiezimmer zugleich für Übungen einzurichten, wurde am häufigsten die in Fig. 1 dargestellte gewählt, wobei allerdings bisweilen die Plätze, die Gänge und der Abstand vom Lehrtisch aus Not noch knapper bemessen wurden. Bei Fig. 1 ist nur die Beschränkung festgehalten, mit der üblichen Klassenbreite von 6 m auszukommen. Die Länge von 9,45 m wird, auch wo die Klassen kürzer sind, in der Regel ohne Schwierigkeiten herzustellen sein. Die Schülertische sind 50:240 und 50:180 cm groß und haben 75 cm Abstand von einander. Die Höhe wurde meist knapp 80 cm, nur vereinzelt 90 cm gewählt. Für die Übungen war in allen Fällen Arbeiten im Stehen vorgesehen. Bei 6,2 m Raumbreite lassen sich schon zwei Tische von je 4 Plätzen in eine Reihe stellen, ohne daß die Plätze und die Gänge gar zu eng werden. Die Tische erhalten dann 220 bis 230 cm Länge. Beim Unterricht wird auf Schemeln gesessen. Es ist mehrfach befürchtet worden, daß der Gebrauch von Schemeln zu störender Unruhe Anlaß geben werde; es liegen aber in dieser Hinsicht günstige Berichte auf Grund längerer Erfahrung vor. Immerhin ist nicht zu bestreiten, daß die Erfahrungen verschieden ausfallen. Je zwei Reihen stehen auf gleicher Höhe. Wo Bedenken gegen die Stufen geäußert werden, sollte man sie weglassen. Ein kleiner Notausgang ist oft gefordert worden, man sollte ihn stets vorsehen.

Zur Wasserversorgung ist an der Flurwand für jede Tischreihe ein Becken vorgesehen, dem man entweder zwei Hähne in verschiedener Höhe oder drei Hähne gibt, von denen einer zum Füllen hoher Gefäße hoch angebracht ist. Meist ist die Flurwand für die Zuleitung und vor allem für die Ableitung der Wasser am günstigsten. Ist es irgendwo anders, so muß man sich danach richten. Wo Gas vorhanden ist,

usw. Da diese Versuche mit völlig harmlosen Stoffen ausgeführt werden können, ist gegen solche Übungen in vollbesetzter Klasse nichts einzuwenden. Da ferner nur ganz bescheidenes Gerät dazu nötig ist, sind auch die Kosten für solche Versuche gering. Wesentlich ungünstiger liegen die Verhältnisse in der Physik. Hier sind die Geräte für die verschiedenen Versuche so verschieden, daß es gar nicht möglich ist, so viele Übungsplätze erfolgreich zu beaufsichtigen, und daß es viel zu teuer wird, wenn man diese Geräte in so großer Anzahl anschaffen wollte.

wird man auch Schülerübungsplätze damit ausrüsten. Man läßt die Hähne so anbringen, daß sie gegen unabsichtliches Berühren beim Vorbeigehen gesichert sind. Meist wird dazu die Leiste genügen, die man an der vorderen Tischkante anbringen läßt, um auch Flaschen und Gefäße vor dem Hinabstreifen beim Vorbeigehen zu sichern. Will man die Tische mit Elektrizität versorgen, so soll man jedenfalls nicht Netzspannung nehmen.

Der Lehrstisch soll einfach gehalten sein. Alle Einrichtungen, die nur selten gebraucht werden, stören viel mehr als sie nützen. Der Tisch steht je 120 cm von der Wand und den Schülerplätzen entfernt. Die übliche Breite ist 80 cm, mehr ist jedenfalls vom Übel, bei knappem Raum wird 70 und selbst 60 cm mit gutem Erfolg angewandt.

In der Richtung des Lehrtisches befindet sich an der Flurwand ein elektrisch entlüftetes dreieckiges Digestorium, das im wesentlichen dem Vorschlag von REISSE¹ entspricht. Diese Form des Gasabzuges hat sich seit 14 Jahren in Stralsund (und in kurzem Gebrauch an anderen Orten) der früher üblichen Durchreichnische hinter der Tafel so sehr überlegen erwiesen, daß man sie allgemein einführen sollte. Damit entfällt auch die Notwendigkeit für die klappernde Doppelschiebetafel. Eine 3 m lange feste Wandtafel gibt einen viel ruhigeren Hintergrund für die Versuchsanordnungen. Projiziert wird bei Experimenten mit offenem Linsenaufbau in der Pfeilrichtung gemäß Schulmerkblatt 1² und bei Bildern technischer Anlagen usw. auf einen geeigneten

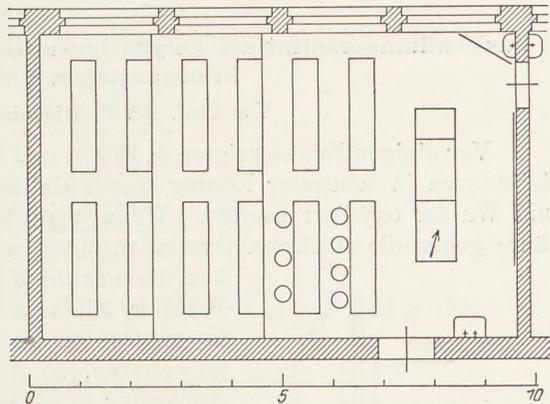


Fig. 2.

Schirm über der Wandtafel oder über der Tür zum Nebenraum gemäß Schulmerkblatt 2².

Die elektrische Schalttafel sollte einen bescheidenen Seitenplatz bekommen. Im Gleichstromnetz ist sie unentbehrlich, weil die hohe Netzspannung zu Versuchen ungeeignet ist; sie braucht aber nicht fest an der Wand zu hängen, die bewegliche Form hat sogar gewisse Vorzüge. Die leichte Transformierbarkeit des Wechselstromes macht die Schalttafel ganz entbehrlich, seit wir befriedigende Wechselstromlichtquellen für den Bildwurf haben und nicht mehr für die hohe Gleichstromspannung der Bogenlampe, sondern nur für die geringe Gleichstromspannung zu elektrischen Versuchen sorgen müssen.

In Anstalten mit nur wenigen Chemiestunden wird man in diesem Raum auch chemische Übungen im üblichen Sinne abhalten, wobei der Raum entsprechend schwächer zu besetzen ist, so daß der Lehrer die Verantwortung zu tragen vermag. In solchen Anstalten wird man auch auf ein besonderes Vorbereitungszimmer verzichten können und mit einem Sammlungszimmer von mäßiger Größe auskommen. Bei größerer Stundenzahl, Doppel- oder mehrfachen Klassen und Pflichtübungen verbietet schon der Stundenplan eine so vielfältige Ausnutzung des Raumes. Da sind Vorbereitungs- zimmer und Schülerübungsraum nicht zu entbehren. Für Schülerübungen ist die Klasse zu teilen, da sonst weder ein befriedigender Erfolg erzielt, noch die Verantwortung getragen werden kann. Versuche, bei denen auch der Erfahrene Vorsicht anwenden muß, gehören selbstverständlich nicht in die Übungen.

In der Biologie ist weniger Raum zum Ausweichen nötig. Daher ist es möglich, 48 Schüler der Unterstufe, 36 der Oberstufe in einem Zimmer von 6:9,4 m unterzubringen, wie Fig. 2 das zeigt. Die Tische sind 220:50 cm groß und stehen 60 cm

¹ Diese Zeitschr 39, 83, 1926 und 39, 135, 1926.

² Die Hauptstelle hat damit begonnen, ständig wiederkehrende Fragen in der Form von Schulmerkblättern zu behandeln, die bei Ersatz des Portos umsonst abgegeben werden.

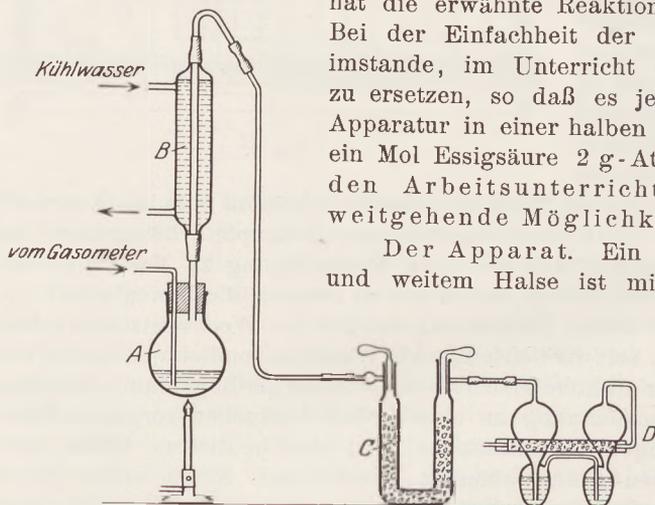
voneinander. Daß die Schüler aller Altersklassen mit derselben Höhe von Tisch und Schemel auskommen müssen, ist nicht schlimmer, als sie es zu Hause gewohnt sind. In großen Anstalten fordert die Stundenzahl mehr Raum; man wird da für Unter- und Oberstufe gesondert sorgen können. Die Tische für den Lehrer sind bei dieser Anordnung fast immer beweglich gewählt worden; Anschlüsse für Gas, Wasser und Elektrizität an der Wand. Nur vereinzelt hat man den Mitteltisch fest am Fußboden aufgestellt und dann natürlich auch mit Anschlüssen ausgestattet. Die Tür zum Zimmer für Aquarien, Dauerversuche und Vorbereitung wird in der Regel nahe bei den Fenstern gewählt, damit Aquarien auf kürzestem Wege ins Unterrichtszimmer und in gewohnte Lichtverhältnisse gestellt werden können. Auf gutes Licht ist Wert zu legen, denn im Biologieunterricht muß viel gezeichnet werden, und die Übungsplätze, oder vielmehr 12 von ihnen, sollen auch für mikroskopische Übungen befriedigen.

Das Kaliumpersulfat als Oxydationsmittel und die Kohlenstoffbestimmung in organischen Verbindungen.

Von Prof. Dr. P. Rischbieth in Hamburg.

Vor einigen Jahren zeigten A. FRANZ und H. LUTZE¹, daß wasserlösliche organische Substanzen in neutraler Lösung durch Kaliumpersulfat quantitativ zu Kohlendioxyd und Wasser oxydiert werden. Wenn man bedenkt, wie beständig z. B. die Essigsäure gegen die stärksten Oxydationsmittel wie Chromsäure und Permanganat ist, so hat die erwähnte Reaktion gewiß etwas Überraschendes. Bei der Einfachheit der Ausführung ist sie aber auch imstande, im Unterricht die Elementaranalyse teilweise zu ersetzen, so daß es jetzt möglich ist, mit einfacher Apparatur in einer halben Stunde nachzuweisen, daß z. B. ein Mol Essigsäure 2 g-Atome Kohlenstoff enthält. Für den Arbeitsunterricht eröffnen sich dadurch weitgehende Möglichkeiten.

Der Apparat. Ein kleiner Kolben *A* mit kurzem und weitem Halse ist mit einem doppelt durchbohrten Gummistopfen verschlossen (siehe Figur). Durch die eine engere Bohrung geht ein gebogenes Rohr bis fast auf den Boden, durch die andere weitere Bohrung das Seelenrohr eines vertikal stehenden Kühlers *B*. Das obere Ende



des Kühlrohres ist durch ein Knierohr mit einer absteigenden Glasröhre verbunden, an die ein Trockenapparat mit Calciumchlorid *C* angeschlossen ist. Dieser ist mit einem gewogenen Kaliapparat *D* verbunden, wie er bei der Elementaranalyse gebraucht wird.

Ausführung der Versuche. Etwa 0,1 g — genau gewogen — der zu oxydierenden Substanz bringt man mit etwa 10 ccm destilliertem Wasser in den Kolben *A*, fügt 2 bis 3 g Kaliumpersulfat hinzu und läßt aus einem Gasometer einen langsamen, von CO₂ befreiten Luftstrom durch den Apparat hindurchgehen. Der Kolben wird durch einen Brenner mit ganz kleiner Flamme angeheizt. Bei etwa 70° bis 80° beginnt die Entwicklung von Kohlendioxyd, welche in der Regel nach 5 Minuten beendet ist. Dann läßt man bei wenig vergrößerter Flamme noch 5 bis 10 Minuten Luft durch den Apparat streichen, um sicher alles Kohlendioxyd zur Absorption zu bringen. Zum Schluß entfernt man die Flamme und bringt den Kaliapparat auf die Waage.

¹ Ber. d. deutsch. Chem. Gesellschaft. 57. I. S. 768 ff. 1924.

1. Versuch: Oxydation von Ameisensäure

$$\text{NaHCO}_2 + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 = \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{NaHSO}_4$$

Glas + Na-Formiat	= 8,897 g
"	= 8,782 "
Formiat	= 0,115 g
KOH-Apparat nachher	= 59,524 "
" vorher	= 59,450 "
CO ₂	= 0,074 g
68 : x	= 0,115 : 0,074
(Na-Formiat) (Kohlendioxyd)	x = 43,8 g (ber. 44,0 g) CO ₂ ,

entsprechend 1 g-Atom Kohlenstoff, d. h. in einem Mol Ameisensäure sind 12 g Kohlenstoff.

2. Versuch: Oxydation von Essigsäure

$$\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2 + 4 \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 + 2 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{CO}_2 + 6 \text{KHSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{NaHSO}_4$$

Glas + Na-Acetat	= 8,889 g
Glas	= 8,785 "
Na-Acetat	= 0,104 g
KOH-App. nachher	= 52,562 "
" vorher	= 52,451 "
CO ₂	= 0,111 g
0,101 : 0,111	= 82 : x
	x = 87,6 g (ber. 88 g) = 2 × 44 g CO ₂ ,

d. h. in einem Mol Essigsäure sind 2 g-Atome Kohlenstoff.

3. Versuch: Oxydation von Weinsäure (Kaliumbitartrat)

$$\text{KC}_4\text{O}_6\text{H}_5 + 2 \text{H}_2\text{O} + 5 \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8 = 4 \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 9 \text{KHSO}_4$$

Glas + Bitartrat	= 8,895 g
Glas	= 8,787 "
Bitartrat	= 0,108 g
Kaliapparat nachher	= 54,163 "
" vorher	= 54,062 "
CO ₂	= 0,101 g
0,108 : 0,101	= 118 : x
	x = 176 = 4 × 44 g CO ₂ ,

d. h. in einem Mol Weinsäure sind 4 g-Atome Kohlenstoff.

4. Versuch: Oxydation von Harnstoff

Glas + Harnstoff	= 8,880 g
Glas	= 8,773 "
Harnstoff	= 0,107 g
Kaliapparat nachher	= 51,901 "
" vorher	= 51,822 "
CO ₂	= 0,079 g
0,107 : 0,079	= 60 : x
	x = 44,3 g CO ₂ ,

d. h. in einem Mol Harnstoff ist ein g-Atom Kohlenstoff. Wie man qualitativ leicht nachweisen kann, geht ein Teil des Stickstoffs in Nitrat, ein Teil in Ammoniak bzw. Ammoniumsalz über.

Zum Schluß mag noch darauf hingewiesen werden, daß der beschriebene Apparat sich auch für sonstige Kohlensäurebestimmungen ganz besonders gut eignet. Er hat gegenüber den seit BUNSEN zahlreich abgeänderten und hauptsächlich für technische

Zwecke viel benutzten Apparaten — CO_2 in Kalkstein, Mergel, Ackerboden, Alkali-carbonaten usw. — folgende Vorteile:

1. Das Kohlendioxyd wird direkt gewogen, während es in vielen Apparaten aus dem Gewichtsverlust bestimmt wird.

2. Das Kohlendioxyd wird durch längeres Sieden und gleichzeitiges Durchleiten von Luft vollständig ausgetrieben, während ein längeres Sieden in manchen Apparaten untunlich ist¹.

3. Nachdem der Apparat in Gang gesetzt ist, bedarf er weiter keiner Aufsicht. Nach etwa 15 Minuten wird der Brenner entfernt und der Kaliapparat auf die Waage gebracht.

4. Es können mehrere Bestimmungen nacheinander ausgeführt werden, wobei je eine Wägung des Kaliapparates gespart wird.

Man ersetzt bei solchen Bestimmungen das gebogene Rohr durch einen kleinen Hahnrichter, der die Säure enthält, welche durch die Luft des Gasometers in den Kolben gedrückt oder durch einen Aspirator angesogen wird.

¹ Eine Kohlensäurebestimmung im Kalkspat ergab mit unserem Apparat 43,2% CO_2 , mit dem ROHRBECKSchen Alkalimeter 42,4% CO_2 .

Berichte.

4. Unterricht und Methode.

Der Rechenstab im Unterricht.

Der Rechenstab ist im Schulunterricht gleichwertig neben die Logarithmentafel getreten, aber noch nicht zum unentbehrlichen Hilfsmittel geworden. Im rechten Augenblick hat A. ROHRBERG ein Buch über den Rechenstab¹ erscheinen lassen, um mit den vielen unterrichtlichen Möglichkeiten dieses Instrumentes bekannt zu machen, und diese Veröffentlichung wird dazu beitragen, die Vormachtstellung des Logarithmenrechnens zu brechen.

Im Gegensatz zu dieser Rechnungsart zwingt die Stabrechnung zur kritischen Betrachtung des Ergebnisses. Kommaregeln werden verworfen; die Größenordnung des Resultates sollte stets durch Überschlag festgestellt werden. Die Frage der Genauigkeit des Stabrechnens wird untersucht; in einem Zahlenbeispiel wird der mittlere Fehler errechnet. Als Kontrollmittel leistet der Stab gute Dienste.

Die allgemeinen Bemerkungen des Buches sind beachtenswert. Während gewöhnlich die Behandlung der Logarithmen zur Logarithmentafel und dann zum Rechenstab als dem Instrument des Technikers führte, wird hier der umgekehrte Weg empfohlen: auf den Rechenstab hinarbeiten und nebenbei die Logarithmentafel zu erklären als ein Hilfsmittel, mit dem früher gerechnet wurde. Damit soll ausgedrückt werden, daß ein neuer Rechenstil sich herausgebildet hat. Der Vorwurf,

das Stabrechnen sei unwissenschaftlich, wird mit guten Gründen widerlegt; weder Wissenschaft noch Praxis benutzen noch die Logarithmen. Dem mechanisierenden Rechnen, wie es das Logarithmieren mit sich bringt, wirkt das Stabrechnen entgegen und befreit viele Aufgaben von einem unnötigen rechnerischen Ballast, der oft in keinem Verhältnis steht zum mathematischen Schulungswert der allgemeinen Rechnung.

Die Fülle der Arbeitsmöglichkeiten mit dem Rechenstab ist erstaunlich. Trigonometrische Aufgaben werden mit den natürlichen Funktionswerten entweder mittels des Stabes oder bei unzureichender Genauigkeit durch abgekürzte Multiplikation nach dem Kreuzverfahren im Kopfe ausgerechnet. In der Zinseszinsrechnung kann man an Hand der Tafeln für q^n und q^{-n} die Rechnung mit dem Stabe oder durch abgekürzte Multiplikation oder Division schnell und beliebig genau ausführen. Aufgaben aus dem praktischen Leben, soweit sie für die Schule von Interesse sind, geben dem Lehrer gutes Übungsmaterial an die Hand. Die zahlreich beigefügten Figuren erleichtern das Verständnis.

Als einfache Multiplikationen, zumal wenn auf dem Stabe die gegenläufige Schieberstellung benutzt wird, stellen sich mancherlei Aufgaben dar, gerade auch solche aus der Handels-, Bank- oder Börsenpraxis. Die multiplikatorische Lösung einer quadratischen Gleichung durch „Probieren“ mit dem Rechenstab ist methodisch eine gute Vorbereitung für die entsprechende Lösung einer kubischen Gleichung.

Bei der Division ist der Rechenstab ein wertvolles Hilfsmittel. In der Trigonometrie (auch Nautik), Kreismessung, Körperlehre kann wegen der verringerten Rechenarbeit die Zahl der Aufgaben vermehrt werden. Bei der graphischen

¹ Der Rechenstab im Unterricht aller Schularten. Eine methodische Anleitung. Vorlesungen an der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Von A. ROHRBERG. 148 S., 82 Abbildungen. Berlin und München 1929. Verlag R. Oldenbourg. Preis geb. RM. 4,80.

Darstellung ist oft eine Konstante durch eine Reihe von Zahlen zu teilen oder umgekehrt; in beiden Fällen genügt eine Einstellung auf dem Rechenstab, um alle Ergebnisse zu finden. Das wichtige Gebiet der linearen Gleichungen mit mehreren Unbekannten kommt auf der Schule meist zu kurz, da man die umständliche Rechenarbeit scheut; mit dem Rechenstab werden diese Aufgaben mühelos gelöst. Die Methode, Divisionsaufgaben mit dem Rechenstabe beliebig genau auszuführen, ist bemerkenswert; das Beispiel $173\,465 : 4368 = 39,71268$ erfordert nur 3 Einstellungen auf dem Rechenstab und 2 Multiplikationen. Eine Reihe reziproker Werte — etwa bei Kurvendarstellungen — kann durch nur eine Einstellung auf dem Rechenstabe gewonnen werden.

Die Proportion ist ein Hauptanwendungsgebiet des Rechenstabes, der sich hier allen anderen Rechenhilfsmitteln überlegen zeigt. Dreisatz und Proportion als wichtigste Aufgabe aus der kaufmännischen Praxis veranlassen den Verfasser, dieses Aufgabengebiet besonders ausführlich zu behandeln. Gute Dienste leistet der Stab bei der Mischungsrechnung, Prozentrechnung, Terminrechnung, Maßumrechnung, Interpolation, Umrechnung von Winkelmaß in Bogenmaß und umgekehrt. Die Prozentaufgaben der kaufmännischen und Börsenpraxis nehmen einen breiten Raum ein. Auf die Ausführungen über Diskontierung vom bzw. auf Hundert, Berechnung des prozentualen Gewinnes und auf die Kettensatzaufgabe sei hingewiesen.

Eine für das kaufmännische Rechnen sehr wichtige Anwendung der Proportion ist die Zinsrechnung, die in einem besonderen Abschnitt eingehend behandelt wird. Es zeigt sich, daß der Rechenstab für den Kaufmann von großem Nutzen ist und darum von den Handelsschulen größerer Beachtung gewürdigt werden sollte.

Die umgekehrte (indirekte) Proportion, die im kaufmännischen Rechnen nicht selten auftritt, wird an einigen Beispielen besprochen, die den Gebrauch eines Rechenstabes als vorteilhaft erkennen lassen.

Unter erweiterten Proportionen werden Ausdrücke der Form $x = \frac{a \cdot c \cdot e \cdot g}{b \cdot d \cdot f}$ verstanden. Drei Einstellungen mit dem Rechenstab führen zum Ziel. Als Beispiele hierzu werden Aufgaben aus der Infinitesimalrechnung (Genauigkeitsuntersuchung), Trigonometrie (Höhenmessung), Kurvengometrie (graphische Darstellung der Anacampis) herangezogen.

Die erweiterte Proportion tritt im kaufmännischen Rechnen bei allen Kettensätzen auf. Eine Kalkulationsaufgabe und mehrere Valutaumrechnungen zeigen neue und günstige Arbeitsmöglichkeiten mit dem Rechenstab.

Zwischen Rechenstab und Tonleiter bestehen überraschende Zusammenhänge, die entwickelt werden.

Das Kapitel „Potenzen und Wurzeln“ nimmt naturgemäß einen breiten Raum ein und führt den Arbeitwert des Rechenstabes im Schul-

rechnen eindringlich vor Augen. Das Bilden der Quadrate und Kuben, das Ausziehen von Quadrat- und Kubikwurzeln, die wichtigsten Verknüpfungen von Zahlen mit Quadraten und mit Quadratwurzeln werden an Hand übersichtlicher Figuren behandelt. Volumen und Oberfläche der Kugel, Gewicht und Widerstand eines Leitungsdrahtes lassen sich günstig berechnen. Die Möglichkeit, den Rechenstab als Höhenmesser zu verwenden, führt zu einer interessanten Aufgabe der Forstmathematik: Aus der (durch Visieren mit dem Forststab ermittelten) Höhe eines Baumes den Inhalt des Stammes zu bestimmen. Auf die Beispiele aus der Physik sei nur eben hingewiesen. Die Schulmathematik hat für die graphische Darstellung in dem Rechenstab ein nicht hoch genug einzuschätzendes Hilfsmittel. Die dabei auftretenden Rechnungen werden wesentlich reduziert. Als Beispiele sind gewählt die Perlkurve, die NIELSsche Parabel und eine kubische Funktion. Die Ordinaten einer kubischen Funktion können auf dem Stab für jede Abszisse meist mit nur einer Einstellung gefunden werden. Für den Schüler der Oberstufe einer höheren Lehranstalt ist dieser Abschnitt über die Verknüpfungen von Potenzen und Wurzeln außerordentlich lehrreich.

Wichtig für die Oberstufe ist, was über Gleichungen höheren Grades und ihre Lösung durch Näherung mitgeteilt wird. Das HORNERsche Schema bietet bei Benutzung des Rechenstabes wesentliche Erleichterungen nicht nur bei der Lösung von Gleichungen, sondern auch bei der Reduktion einer kubischen Gleichung. Die Lösung kubischer Gleichungen mit dem Rechenstab durch Näherung ist für die Schulmathematik wichtig und darum eingehend dargestellt. Die Bemerkungen über die allgemeine Lösung einer kubischen Gleichung (CARDANISCHE Formel, trigonometrische Lösung) verdienen Beachtung.

Besondere Aufmerksamkeit beanspruchen die trigonometrischen Teilungen. Für die praktische Trigonometrie im allgemeinen ohne Bedeutung, sind sie für Aufgaben aus der Nautik doch hinreichend genau. Besonders einfach und als Kontrolle recht geeignet ist die Anwendung des Stabes beim Sinussatz. Auch beim Tangensatz und Halbwinkelsatz $\left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}\right)$ bietet der Rechenstab vorteilhafte Benutzung bei hinreichender Genauigkeit. Es wird gezeigt, wie die Rechnungen durch Kombinieren noch weiter vereinfacht und beschleunigt werden können. Bei unzureichender Genauigkeit bleibt stets die Möglichkeit, durch Aufschlagen der Funktionswerte die Rechnung durchzuführen. Auf alle Fälle empfiehlt sich in der Schulgeometrie die Benutzung der trigonometrischen Teilungen, da sie zu nützlichen Überlegungen zwingen.

Außer einer Behandlung der Geschichte des Rechenstabes verdienen noch die Ausführungen über Potenzen und Wurzeln mit gebrochenen Exponenten und über die gleichförmige („logarithmische“) Teilung Erwähnung, wenn sie auch für die Schule ohne praktische Bedeutung sind.

Abschließend darf gesagt werden, daß A. ROHRBERG als Niederschlag seiner langjährigen Erfahrungen mit dem Rechenstab ein Buch vorlegt, das dieses neuartige Gebiet der Schulmathematik schlechthin erschöpfend behandelt. Das Werk kann als grundlegend gelten.

A. Maaß.

Ein neues Hilfsmittel für den geologischen Unterricht. Von P. KIRCHNER in Nowawes.

Im 40. Jahrgang dieser Zeitschrift, S. 225 (1927), hat Professor Dr. O. SCHNEIDER, der Leiter des Museums für angewandte Geologie¹ in der Preußischen Geologischen Landesanstalt zu Berlin, Gedanken zum geologischen Unterricht niedergelegt und als dessen Aufgabe hingestellt, „die allgemeinen Gesetze und Vorgänge zu schildern, die die Wandlungen der festen Erdkruste bedingen, um so das heutige Bild der Erde aus seiner erdgeschichtlichen Vergangenheit heraus erklären zu können“. Im Sinne von JOHANNES WALTHER muß die Geologie als geschichtliche Wissenschaft behandelt werden. Deshalb müssen die Geschehnisse, von denen die einzelnen Zeiten erfüllt sind, im Vordergrund stehen, während die Formationen als aus dem Gang der Ereignisse herausgeschältes Gerüst nur dazu dienen sollen, Ordnung in die gewonnenen Erkenntnisse zu bringen. Für den Anfängerunterricht, wie er auf der Schule nur betrieben werden kann, kommt es gar nicht „auf die Vollständigkeit der Tatsachen, sondern nur auf die Gewinnung einer Vorstellung vom Werden der Erdkruste“ an, ein methodisches Prinzip, das entsprechend für alle Schularbeit gilt. Nun bereitet aber gerade diese Gewinnung der Vorstellung wegen der Größe des betrachteten Raumes und der schier unermesslichen Zeiten dem Schüler besondere Schwierigkeiten, wie ja jeder Fachlehrer aus Erfahrung weiß. Vom pädagogischen Standpunkt aus erhebt sich so die Forderung, den Schüler in irgendeine bestimmte Landschaft zu stellen und in ihr alle die geologischen Erscheinungen aufzuzeigen, die sich nur irgend zur Entwicklung geologischer Begriffe eignen, damit der Schüler in einer anderen, zunächst ähnlichen, Landschaft

¹ Es sei hier auf die Ziele des Museums für angewandte Geologie hingewiesen, wie sie auf einer Tafel am Eingang bezeichnet sind. Das Museum soll die Beziehungen der geologischen Wissenschaft zum praktischen Leben zeigen. Zu dem Zweck werden einerseits die verschiedenen Rohstoffe nach ihrer geologischen Entstehung, ihrer Verarbeitung und ihrer Anwendung im Haushalt des Menschen, andererseits die mannigfaltigen Beziehungen der Geologie zur Landwirtschaft, zur Hydrologie, zum Bauwesen, zur Keramik nebst Zement- und Glasindustrie und zur Siedlung, sowie die geologische Landesdurchforschung und die Behandlung der Geologie im Unterricht dargestellt. Mancher Kollege wird dort durch Klassenbesuche wertvolle Anregungen und Ergänzungen zu seinem Unterricht finden.

diese Erscheinungen wiedererkennt und sie aus ihnen zu erklären vermag.

Wie nun diese Gedanken im praktischen Unterricht ausgeführt werden können, hat O. SCHNEIDER in seinem Buch „Methodische Einführung in die Grundbegriffe der Geologie“¹ ausgeführt. Im 3. Hauptabschnitt werden dort 6 deutsche Landschaftstypen geschildert als Beispiele dafür, welche Formen die Stoffe in den erdgeschichtlichen Zeiten angenommen haben. Das alles ist so plastisch geschrieben, daß man dem Wunsche der Besprechung², man möchte eine Geologie des ganzen Deutschland in dieser Art haben, nur beipflichten kann.

Ein Mangel aber bleibt trotz aller Lebendigkeit des Buches stets bestehen: wer Geologie betreiben will, muß hinaus in die Landschaft selbst. Die Phantasie, die dem geologisch geschulten Leser aus der Fülle der geschauten Landschaften durch Erinnerung das Wort lebendig werden läßt, die in Minuten Gebirge entstehen und vergehen, Meere vorschreiten und zurückweichen läßt, steht dem Anfänger nicht helfend zur Seite. Ihm fehlt eben die Anschauung. Nun können zwar Bilder diesem Mangel abhelfen. Aber einmal geben sie nur kleine Ausschnitte aus einer großen Landschaft und diese auch nur zu einem bestimmten Zeitpunkt, dann aber sind sie nur zweidimensional. Die Geologie gerade braucht jedoch wie kaum eine andere Naturwissenschaft, außer der ihr am nächsten stehenden Geographie, die 3. Dimension. Kein Wunder also, wenn sie soviel und gern Reliefs oder zumindest Blockdiagramme, wie sie DAVIS in seinem klassischen Buch so meisterhaft entwickelt hat, verwendet.

Ein Bild sagt oft mehr als viele Worte. Im „Augenblick“ kann man die großen Züge erfassen. Man kann aber auch die Einzelheiten studieren und sich die Kenntnisse gründlicher „erarbeiten“. Allerdings muß man dazu ein Bild auch deuten können.

In dem eingangs erwähnten Museum für angewandte Geologie ist in einer Sonderabteilung auch das Thema „Geologie im Unterricht“ behandelt worden. Es galt dabei, nicht nur statistisch Stoff zusammenzutragen, der hierzu Beziehung hat, sondern an einem Beispiel einmal selber praktischen Unterricht durchzuführen. Die vorstehenden Gedanken führten zwangsläufig zu dem Wunsch, eine der Musterlandschaften in einer Reihe von Modellen erstehen zu lassen, um daran den Gang der Entwicklung, soweit er durch die Forschungsergebnisse feststeht, aufzuzeigen. So erhielt Verfasser von dem Museumsleiter die Aufforderung zu dieser Arbeit. Die Wahl fiel wegen der reichen Abwechslung der darzustellenden Erscheinungen auf eine mitteldeutsche Triaslandschaft, und zwar die Gegend des „Hohen Meißner“. Die Skizze zeigt die dargestellte Landschaft im Umriß (Fig. 1). Die einzelnen Modelle haben die Länge 80 cm und die Breite 40 cm. Bei dem Maßstab 1 : 25000 umfassen sie also ein

¹ Verlag Ferd. Enke, Stuttgart 1928.

² Diese Zeitschrift 41, 292; 1928.

Gebiet von 200 qkm. Die Südgrenze deckt sich mit den Südrändern der Blätter der geologischen Spezialkarte 1 : 25000 Nr. 45 — Großalmerode und Nr. 46 — Allendorf, die Ostgrenze mit dem Ostrand des letzteren, während die Nord- und Westgrenze je einen Streifen von ihnen abschneiden. Die Höhen sind einmal überhöht.

Gehen wir aus von dem Bild, das die Landschaft heute uns bietet. Ein flüchtiger Blick auf das entsprechende Modell (Fig. 2) zeigt in der bunten Fülle der geologischen Farben die Mannigfaltigkeit der Gesteine, aus denen die Landschaft sich aufbaut. Als erstes fesselt den Beschauer das gewaltige Basaltmassiv des hohen Meißner in der Mitte des Südrandes selbst. Ihm schließen sich eine Reihe kleinerer Basaltvorkommen an, unter denen besonders der kreisförmige Hirschberg,

nordwestlich vom Meißner, auffällt. Zwischen beiden zieht sich fast genau von Süden nach Norden ein breiter Graben hin, der sich im Süden muldenförmig verbreitert. Er gehört zu der Lichtenau-Eichenberger Bruchzone¹, die sich noch weit nach beiden Seiten fortsetzt und nach 2 Orten genannt ist, die außerhalb unseres Gebietes liegen. Senkrecht zu ihm verläuft nördlich vom Hirschberg ein zweiter, schmaler, aber deutlich ausgeprägter Bruchgraben. Von Wickenrode im Westen nimmt er an Breite immer zu und geht schließlich bei Großalmerode in das bekannte Tertiärbecken über. In beiden Grabenzonen sind Muschelkalk und Keuper abgesunken und liegen tiefer als der Buntsandstein, der im übrigen die Westhälfte des Modells beherrscht und weiterhin den Kaufunger Wald bildet. Der Westrand des Lichtenau-Eichenberger Grabens fällt steiler ab, während der Ostflügel stetig und sanfter im Muschelkalk auf einen Höhenzug hinaufführt, auf dem im Süden sich der Basalt des Hohen Meißner auflagert, bis 750 m über dem Meeresspiegel und mehr als 520 m über dem Bett des Gelsterbaches. Nach Osten hin wird das Bild etwas ruhiger. Sanft

abfallend, führt uns das Gelände in eine weite, nach Südosten offene Mulde, aus dem Muschelkalk durch ein Band von Buntsandstein in den Zechstein. Nach Norden ist die Zechsteinmulde durch Buntsandstein geschlossen, der hier an Ausdehnung gewinnt und durch eine Anzahl unregelmäßiger Bruchlinien gestört ist. Im Osten

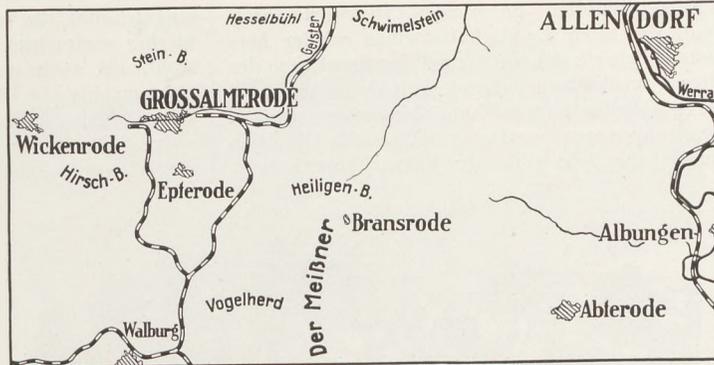


Fig. 1.

aber zeigt sich wieder eine auffällige Erscheinung. Wie ein Fremdkörper wölbt sich da aus einem Mantel von Zechstein ein Sattel von alten Grauwackengesteinen, der etwa von Nordwesten nach Südosten streicht. Die südöstliche Spitze besteht sogar aus devonischen Schiefen, in denen im Höllental, gegenüber von Albugen, Diabase eingelagert sind. Diese Aufsattelung ist um so bemerkenswerter, als sie die einzige Insel solch alter Gesteine zwischen dem Harz und dem rheinischen Schiefergebirge darstellt. Längs dieses Zeugen ältester Zeit streckt sich nun auf seiner östlichen Seite, als Spur jüngster Entwicklung, das tief eingeschnittene Tal der Werra, die über die Grenzlinie zwischen den ziemlich steil versinkenden Schichten des Zechsteins und dem sich im Osten breit hinlagernden Buntsandstein ihre Mäander zieht.

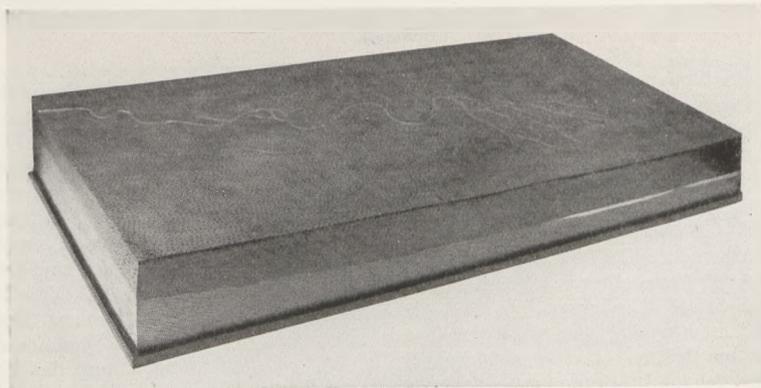


Fig. 2.

¹ Vgl. STILLE, H., Übersichtskarte der saxonischen Gebirgsbildungen zwischen Vogelsberg, Röhn und der norddeutschen Tiefebene. Berlin 1922. Im Vertrieb der Preuß. Geol. Landesanstalt. Preis RM 6.—.

Eine bunte und abwechslungsreiche Musterkarte geologischer Formationen breitet sich vor uns aus, ein Fülle von Fragen erhebt sich. Wie

ist dieses heutige Gesicht der Landschaft entstanden? Um darauf eine Antwort geben zu können, mußte die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen aufgelöst werden, indem jüngere Bildungen, die die Grenzen älterer verdeckten, abgehoben, gleichartige, jetzt getrennte, miteinander verbunden, versenkte Schollen in die alte Höhenlage emporgehoben und Aufwölbungen wieder geglättet wurden. So wurden, rückwärtsschreitend, die alten Landschaftsformen wieder hergestellt, wie sie sich auf Grund der Ergebnisse der älteren geologischen Landesaufnahme und der vergleichenden Heranziehung der neueren Einzel Forschungen ergaben. Dabei stellten sich 3 deutlich verfolgbare Zyklen in der Entwicklung heraus,

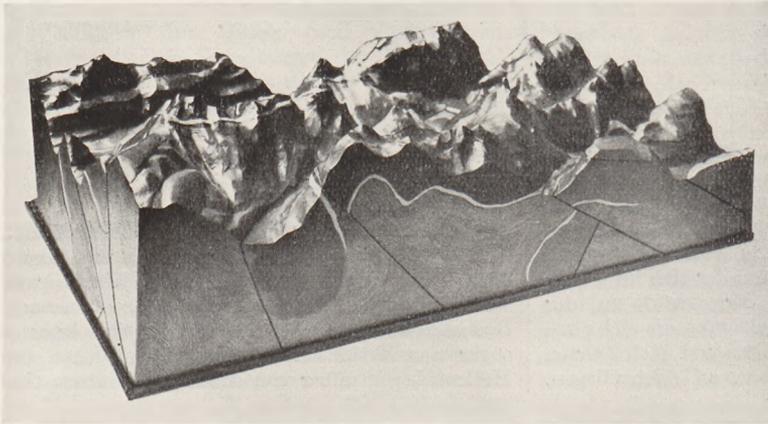


Fig. 3.

so daß man von einem Rhythmus der Erscheinungen sprechen kann. Sollte dieser in der Modellreihe klar hervortreten, so waren die Zeiten der einzelnen Darstellungen von selbst festgelegt, und es ergaben sich im ganzen 7 Modelle.

Das 1. Modell (Fig. 3) zeigt eine Landschaft aus der Zeit des Überganges des Devons in das Karbon. In den Seitenprofilen ist deutlich ein Sockel von älteren, gefalteten paläozoischen Schichten zu erkennen. Es sind die Tonschiefer, welche heute in dem oben erwähnten Höllental zutage treten. Da Versteinerungen fehlen, ist eine genaue Bestimmung des Alters kaum möglich. Auf Grund vergleichender Untersuchungen, besonders von entsprechenden Schichten im Oberharz, neigt man dazu, sie in das Oberdevon zu stellen. Ursprünglich mächtige, horizontale Ablagerungen von Meeresschlamm, sind sie am Ende der Devonzeit durch einen Vorläufer der späteren karbonischen Gebirgsbildungsprozesse, der als die „bretonische“ Phase bezeichnet wird, zusammengefaltet, dabei in Schiefer umgewandelt und zu einem Gebirge aufgeworfen worden. Da die Hebungsachse dieses Vorganges in nordöstlicher Richtung nördlich unseres Gebietes verläuft, steigt der Sockel nach Nordwesten etwas an. Eingeleitet wurde diese Gebirgsbildung durch, vielleicht noch untermeerische Lavaergüsse, die in mehrfacher Wiederholung sich flächenhaft aus-

breiteten und mit den Schiefen eingefaltet wurden. So entstanden die parallelen Diabas-einlagerungen in den Schiefen des Höllentales. Kaum entstanden, wurden die Erhebungen abgetragen und das Gebiet eingeebnet, und über den Sockel lagerten sich bis 1000 m Mächtigkeit in ruhiger Folge Geröll-, Sand- und Tonmassen, teils schichtig aufeinanderfolgend, teils linsenförmig eingeschaltet, die von den angrenzenden Gebirgen hierher verfrachtet wurden. In den Profilen sowohl, als auch an der Oberfläche, sind diese petrographischen Unterschiede im 1. Modell durch verschiedene Signatur angedeutet, in den späteren aber, als für die weitere Entwicklung unwesentlich, weggelassen. Die Oberfläche senkt sich sanft

nach Südosten. Ohne feste Uferlinien hat ein Fluß seinen unregelmäßigen Mäanderlauf über die weite Geröll-ebene genommen. Abgeschnürte tote Arme setzen feine Tonschlammassen ab, und an der Mündung wächst ein breites Delta in das offene Meer hinaus, in dem mit der Zunahme der Entfernung vom Festland auch die Feinheit der Absätze zunimmt. Das gröbere Material verfestigte sich zur Grauwacke, in der in gewissen feineren Zonen als Beweis der

Küstennähe Wellenfurchen auftreten. Die feinsten Niederschläge lieferten den Kieselschiefer und darüber einen Tonschiefer, beide unmittelbar über dem devonischen Sockel; eine Lagerung, die sich gleichartig in der ganzen Welt immer wiederholt, also ihre Ursache nicht in örtlichen Umständen, sondern in ganz allgemeinen Bildungsgesetzen hat. In allen Profilen sind diese schmalen Bänder leicht wiederzufinden. Diese 3 Ablagerungen werden mit dem gemeinsamen Namen „Kulm“ bezeichnet.

Ist so das Kulmmodell ein Bild des Friedens, so versetzt uns das 2. Modell (Fig. 4) aus dem Oberkarbon in eine Zeit stärkster Tätigkeit geologischer Kräfte. Der Gebirgsbildungsprozess, den wir eben in der bretonischen Phase einmal aufflackern sahen, hat seine größten Ausmaße erreicht und unsere Landschaft bis in die tiefsten Tiefen hinein grundlegend geändert. An Stelle der weiten Ebene ziehen sich, erzgebirgisch streichend, von Südwesten nach Nordosten gewaltige Gebirgsketten, die ihre zerklüfteten Gipfel wohl mehrere tausend Meter hoch emporheben. Ein von Südosten kommender Druck legte die horizontalen Schichten in parallele Falten. Der schon einmal gefaltete Sockel ist dabei mit ergriffen worden. Durch Überkipfung der Falten kommt der jüngere Kulm in eine widersinnige Lagerung unter dem älteren Devon, wie z. B. im Südprofil eine solche dargestellt ist. Die Erd-

kruste zerbrach in Schollen, die teils absanken, manchmal nur einseitig, teils über andere kilometerweit hinweggeschoben wurden. Solche Überschiebungen sind besonders im Süd- und Ostprofil gut erkennbar. Im Westen wieder ist der Kulm in das Devon eingemuldet. Da in den Mulden- und Sattellachsen die Zerstörung des Gestein-gefüges naturgemäß am stärksten sich auswirkt, greift dort die Abtragung auch am stärksten an. So sehen wir im Südwesten ein Tal, dessen Boden sich im Kulm erstreckt, während die Hänge im Schiefer stehen. Die flächenhafte Natur der Diabasergüsse, die wir zunächst nur im Querschnitt sahen, kommt jetzt gut zum Ausdruck. Sowohl im Profil, als auch an den Berghängen, tritt der Diabas in breiter Fläche hervor. Wo er in horizontaler Lagerung ent-

blößt wurde, schützte er das unter ihm liegende weichere Gestein und bildete kleinere Tafelberge, ähnlich dem heutigen Hohen Meißner, und wo er nur schmal ausstrich, gab er Anlaß zu härteren Stufen, die oft aus den Talböden aufragen, wie es am Nordrand zu sehen ist. Isolierte Devon-schieferkappen über Grauwackenunterlage auf Bergeshöhen lassen sich durch Luftüberbrückung zu überschobenen Decken ergänzen. Als Beispiel dienen in der Südost-ecke die 3 Schollenreste auf den Höhenzügen. Überall leisten die Kiesel- und Tonschieferbänder wertvolle Hilfe bei der Orientierung. Es sind nach Möglichkeit alle wichtigeren Lagerungsverhältnisse in einem Gebirge in diesem Modell zur Darstellung gekommen.

Während noch dieses varistische Gebirge in der Auffaltung begriffen war, begann auch schon die Abtragung und die Einebnung. Von den Höhen sank der Verwitterungsschutt in die Täler und wurde von dort nach Norden hin ausgeräumt, wo er die große Mulde ausfüllte, in der sich die heute im Abbau stehenden Steinkohlen bildeten. Von den anderwärts bekannten Schichten des mittleren und oberen Karbons und der folgenden Rotliegendzeit ist hier nichts zu finden. In dieser setzte sich der Verwitterungsprozeß fort, hinunter bis zu den Wurzeln des alten Gebirges, bis sich

schließlich am Ende der Rotliegendzeit wieder eine fast ebene Landoberfläche, die „präpermische Denudationsfläche“ ausbreitet, die wir im 3. Modell (Fig. 5) vor uns sehen. Sanft gewellt und ohne größere Höhenunterschiede ist sie nur von einigen flachen Rinnen ohne deutliche Uferlinien durchzogen, die das Gebiet entwässerten, und in denen

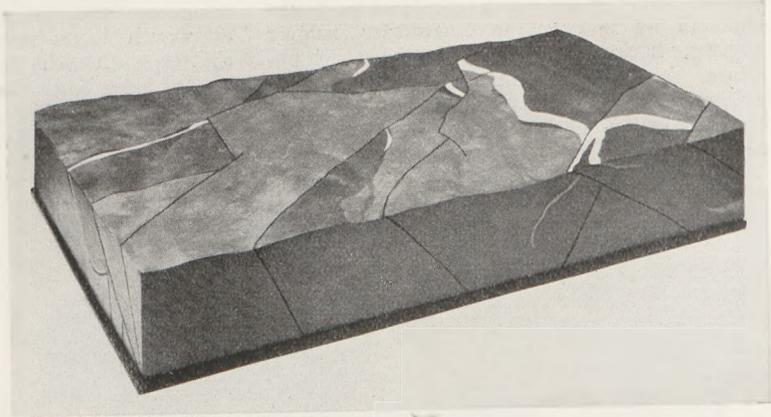


Fig. 4.

später das Zechsteinmeer eindrang, um sich das ganze Gebiet zu erobern. Deutlich zeigen sich jetzt die großen Sprünge in der Erdoberfläche, durch die die einzelnen Schollen scharf begrenzt werden. Hart liegt Grauwacke neben Devonschiefer, da die geologischen Grenzen nicht durch morphologische verwischt sind. Eine Verbreite-

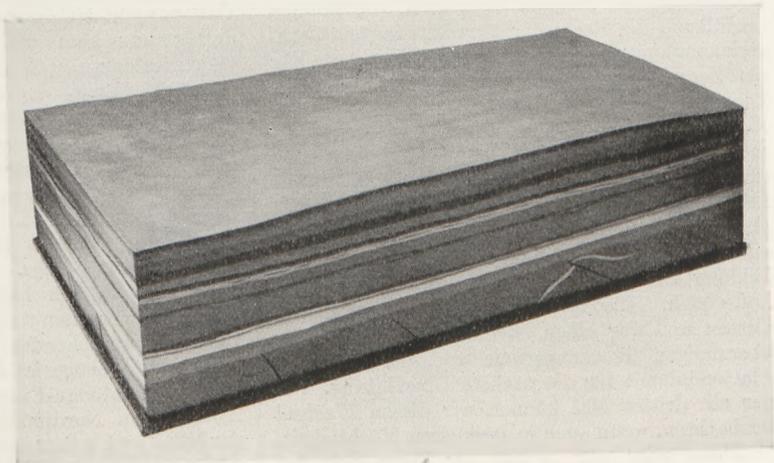


Fig. 5.

rung der Kiesel- und Tonschieferbänder deutet auf ein nur flaches Einfallen der Schichten an der betreffenden Stelle. Wo der Diabas freigelegt ist, bildet er flache schmale Rippen. Besonders deutlich kommt das zum Ausdruck im Südosten des Gebietes, wo wir die parallelen Diabasgänge schon genau so finden, wie wir sie im letzten Modell heute im Höllental sehen. In den Seitenprofilen kehrt natürlich der alte Gebirgssockel

des vorigen Modells ungeändert wieder. An diesem Modell wird der Aufbau aus den einzelnen gewaltigen Klötzen besonders klar, im Gegensatz zu dem vorhergehenden, in dem die wildbewegte Oberfläche das Auge immer weiter schweifen läßt.

Die Senkung des mittleren und nördlichen Deutschland, der das erste Eindringen des Zechsteinmeeres zu verdanken ist, hielt nun in wechselnder Schnelligkeit durch ungemessene Zeiten hindurch an und ließ in ungestörter, ruhiger Lagerung horizontale Schicht auf Schicht sich absetzen, so daß während der Zechstein- und Triaszeit bis in den Lias hinein sich der wohl bis zu 2000 m mächtige Klotz gebildet hatte, den uns das nächste 4. Modell zeigt (Fig. 6).

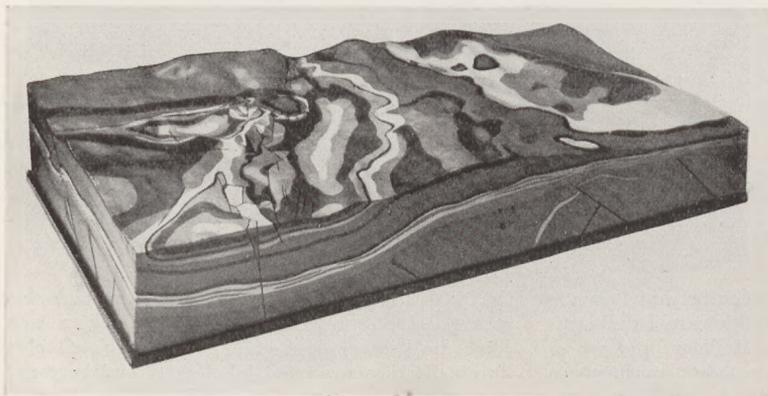


Fig. 6.

Über den unveränderten Gebirgssockel des vorhergehenden Modells legen sich, die Mulden ausfüllend, die Reste der Verwitterung als Zechsteinkonglomerat und nur wenig Kupferschiefer als Zeuge des vordringenden, flachen Meeres. Die zunehmende Tiefe desselben ließ dann nur Kalkschlamm entstehen. Die darüber liegende mächtige Bank von Gips mit seinen Begleitern deutet auf eine zeitweise Abschnürung in einem heißen Wüstenklima. Das mit leichtlöslichen Magnesiumsalzen besonders gesättigte Meer setzte einen daran reichen Kalkschlamm ab, der zur Bildung von Dolomit führte. Das Spiel wiederholte sich. Die folgende mächtige Bank von Gipsen und vor allem Steinsalz ist Zeuge einer abermaligen Trockenperiode und der deckende Plattendolomit für die nächste Überflutung. Sogar ein drittes Mal können wir diesen Wechsel beobachten, wenn auch in geringerer Mächtigkeit.

Dann aber war es mit der Herrschaft des Meeres für lange Zeit vorbei. Über typische Küsten- und Flachwasserbildungen, die Letten des untersten Buntsandsteins, legen sich in mehreren Hunderten von Metern Gesteine der Buntsandsteinwüste, von denen die Letten des Röt wieder hinüberführen zu den Kalkbänken des Muschelkalkmeeres in ihrer durch die Meeresschwankungen bedingten wechselnden Ausbildung. Schließlich legt sich darüber der Keuper in allen seinen 3 Stufen, teils Meeres-, teils Festlandbildungen mit allen Übergängen.

Abgeschlossen wird dieses Profil durch eine Decke von Liasgesteinen. Während bis zum Keuper einschließlich alle erwähnten Schichten in unserem Gebiet bekannt sind, haben wir als einzigen Anhalt für das Vorkommen von Lias nur eine kleine versunkene Scholle, nördlich dieser Gegend, am Bahnhof Eichenberg. Ob auch der jüngere Jura und die Kreide hier zur Ablagerung gekommen sind, ist nicht festzustellen. Es ist aber auch kaum wahrscheinlich. Infolgedessen sind sie auch nicht dargestellt worden.

Auf jeden Fall ist hier die ruhige Entwicklung zu Ende. Die Abtragung des Lias und auch des Rhät, des obersten Keupers, stehen offenbar im Zusammenhang mit einer neuen gewaltigen Störungszeit, deren Ergebnis im folgenden 5. Modell (Fig. 7) sich uns vorstellt. Wie zur Karbonzeit, zerbrach auch jetzt wieder die Erdkruste. Brachten aber damals die Faltungen und Überschiebungen die Änderung hervor, so traten jetzt neben geringeren Faltungen vorzugsweise Zerreißen ein. Das Modell zeigt, wie die ursprünglich horizontalen Schichten aufgewölbt und die Schichtenköpfe abgetragen sind, so daß der

natürliche Zusammenhang weithin zerstört ist. Daß es nicht zu einer solch großartigen Gebirgsaufwürmung kam wie im Karbon, liegt wohl einerseits daran, daß die wirkenden Kräfte nicht so stark waren, andererseits auch daran, daß die gesamte Umgestaltung sich in mindestens 4 Stufen vollzog. Die erste und stärkste Gebirgsbewegung müssen wir für eine vortertiäre Zeit ansetzen, vermutlich sogar noch vor der Kreide in dem obersten Jura. Die Mechanik dieser Gebirgsbildung kommt im Süd- und Nordprofil besonders gut heraus. In der westlichen Hälfte bogen sich die Schichten nach unten durch, versanken und brachen teilweise an den entstehenden rheinisch streichenden Bruchspalten ab. Der großartigste Zeuge ist dafür der schon oben erwähnte Lichtenau-Eichenberger Graben, dessen Abbruch im Nordprofil klar ersichtlich ist. In der Mitte und weiter östlich fand gleichzeitig eine Aufpressung statt, die beträchtlich in die Höhe geragt haben muß. Unmittelbar damit verbunden setzte die Erosion ein, am stärksten natürlich an den höchsten Stellen. So sind auf der östlichen Hälfte des Modells bis zum Muschelkalk einschließlich alle deckenden Gesteine verschwunden, so daß sich dem Auge eine große, von Buntsandstein eingerahmte Zechsteinmulde zeigt, in deren Mitte der herzynisch streichende Grauwackensattel sich erhebt. Eine Altersbestimmung ist hier insofern möglich, als unmittelbar auf der Grauwacke tertiäre Quarzite

auflagern. Es muß also die Grauwacke schon vor dem Tertiär entblößt gewesen sein. Damit deckt sich der Umstand, daß im Becken von Großalmerode Festlandsbildungen des ältesten Tertiärs, des Eozäns, ungestört über Störungslinien in der Trias liegen.

Als Stellen geringsten Widerstandes sind bei diesen Bewegungen zum Teil alte Spalten aus der Karbonzeit wieder aufgelebt. So ist im Westen des Südprofils eine alte Spalte nach oben fortgesetzt, längs der ein Keil von Muschelkalk in den Keuper hineingepreßt worden ist. Ebenso erscheint im Osten des Nordprofils die Aufpressung der Grauwacke an solche alten Spalten gebunden. Der nördliche Teil des Grauwackenzuges ist von Flankenbrüchen begleitet, an denen die Grauwacke noch horstförmig

herausgehoben worden ist. Natürlich blieben die Wurzeln des alten Gebirgsrumpfes nicht verschont. Die alten Schollen sind etwas gegeneinander verschoben worden, wenn auch diese Verschiebungen nicht erheblich sind. Durch die Risse und Sprünge bekam das Wasser Zutritt zu den Salzlagern, die dadurch ausgelaugt wurden. Auch der wasserfreie Gips wurde teils ganz gelöst und weggeführt, teils durch Wasseraufnahme aufgebläht. Die ursprünglich zusammenhängenden Salzbänder erscheinen also in den Profilen in einzelne linsenförmige Stücke zerlegt, was vor allem an den ursprünglich so mächtigen Steinsalzlagern auffällt. Teilweise sind sie vollständig verschwunden, wie z. B. im Muschelkalk und besonders im Röt. Dadurch sind wieder die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten oft ganz erheblich verringert worden, und das hatte wieder ein Nachgeben der oberen Schichten zur Folge, die sich langsam durchbogen. Der Spannungsausgleich führte besonders in der westlichen Hälfte des Modells zu einem recht verwickelten Bruchsystem. Die beiden charakteristischen Gräben sind im Anfang schon beschrieben. Der Eichenberger Graben ist noch ganz als langgestreckte Keupermulde dargestellt, in deren Mitte der oberste Keuper tiefer als der untere Buntsandstein liegt. Die Entwässerung nach Norden besteht noch nicht. Westlich des Grabens ist das ganze Gebiet stark

von Sprüngen durchsetzt, durch die kleinere, vieleckige Schollen verschiedensten Alters nebeneinander zu liegen kommen.

Das Westprofil zeigt die sich in der Tiefe kreuzenden Sprünge, durch die der oberste Muschelkalk neben den oberen Sandstein gelegt wird. Daneben zeigen sich, z. B. auf der Buntsandsteinhochfläche im Nordwesten, Spalten im

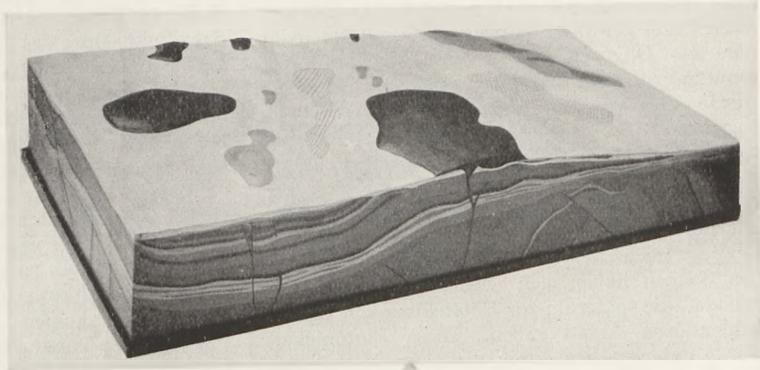


Fig. 7.

Gestein im Verlauf von Einmündungen, die für die späteren Basaltausbrüche von Bedeutung wurden. In der Gegend des heutigen Meißnermassivs sind 2 Mulden im Buntsandstein und Muschelkalk, durch unterirdische Spalten hervorgerufen, angelegt, die nach Osten hin geöffnet sind. Durch die Abtragung wurden die schroffen Formen an den Sprungstellen gemildert.



Fig. 8.

Dieser Zustand ist im Modell festgehalten worden. Das nächste 6. (Fig. 8) gibt nun die Landschaft zur Miozänzeit wieder. Bis dahin waren aber noch eine Reihe von Veränderungen eingetreten. Die Abtragung hatte weiter gearbeitet. In den Senken lagerten sich sehr reine Tone ab, wie der berühmte feuerfeste Ton von Großalmerode. An anderen Stellen entstanden aus moorigen Bildungen die späteren älteren Braunkohlen. Am Ende des Eozäns stellte sich die präoligozäne Landoberfläche als eine sanft gewellte Fastebene dar, in der die älteren Schichten

nur stellenweise von eozänen Süßwasserbildungen bedeckt waren.

Durch eine 2. Störungsphase wurden die schon ausgeglichenen Höhenunterschiede wieder vertieft. Überall taten sich neue Sprünge auf, alte vergrößerten sich. Das oligozäne Meer brachte den Septarienton, der im Almeroder Becken bei Epterode nachgewiesen ist. Zum dritten Mal ging eine Störungswelle über das Land, die alten Störungslinien noch verstärkend. Die anschließende gewaltige Abtragung beseitigte nicht nur das Oligozän wieder zum größten Teil, sondern griff auch den Untergrund an. Schließlich wurde alles von miozänen Sanden und Tonen zugedeckt. So zeigt das Modell nur eine eintönige, fast ebene Fläche. An einzelnen, höher gelegenen Stellen sieht durch die miozäne Bedeckung noch etwas oligozäner Untergrund und auf der Höhe des Werrasattels und Steinberges noch Reste des Eozäns hindurch. In den Senken haben sich wieder moorige Stellen gebildet, die späterhin zur Entstehung von Braunkohlenflözen Anlaß gaben. Diese Eintönigkeit wurde unterbrochen durch die 4. große Störung, die von nachhaltigstem Einfluß auf die Gestaltung des heutigen Landschaftsbildes war. Wieder brachen Spalten auf. Aus ihnen quoll ein Magma empor, das sich weithin auf der miozänen Unterlage ausbreitete und die bekannten Basaltberge bildete. Diese Spalten sind gekennzeichnet durch die Linien: Hirschberg—Steinberg—Bielstein; Walburg—Epterode—Hesselbühl; Vogelherd—Heiliger Berg—Schwimmelstein und als mächtigste der Hohe Meißner selbst. Entsprechend dieser Gebundenheit an Spalten ist, abweichend von der Auffassung von DAVIS, der Erguß des Hohen Meißner nicht als ein Strom in einem Tal dargestellt, sondern als ein breiter flächenhafter, der sich mit dem der benachbarten Spalte Vogelherd—Heiliger Berg vereinigt hat. Im Zusammenhang mit diesen Ausbrüchen stehende tektonische Bewegungen haben sich bis in die nachmiozäne Zeit fortgesetzt. Wahrscheinlich ist damals das Becken von Großalmerode erst zu seiner heutigen Tiefe vollständig eingesunken, so daß Schichten, die ursprünglich mit denen auf dem Steinberg zusammenhängen, losgelöst und etwa 200 m tiefer verlegt wurden. Sicher stammen aus der Zeit aber Einmündungen von Braunkohlen und eine Anzahl Störungen im Tertiär selbst.

Welche Veränderungen dann noch eingetreten sind, zeigt uns schließlich das erste Modell (Fig. 2). Die unmittelbar einsetzende Abtragung beseitigte alle tertiären Bildungen, soweit sie nicht durch den widerstandsfähigen Basalt oder günstige Lage in Mulden und Gräben geschützt waren. Als Zeugen einstiger Verbreitung des Tertiärs finden wir auf den Höhen, besonders westlich vom Hohen Meißner, Quarzite zerstreut, die liegen geblieben sind. Mächtige Schuttströme von verwittertem Basalt deuten auf den einst viel größeren Umfang der basaltischen Ergüsse hin. Im großen und ganzen aber kam die alte prätertiäre Landoberfläche wieder zum Vorschein,

natürlich durch die diluviale Abtragung noch stärker modelliert. Eine größere Änderung nur finden wir im Osten. Die Ur-Weser, die damals etwa 120—150 m höher fließend, das Gebiet nach Norden entwässerte, wurde durch die Ur-Leine zu Beginn der Pliozänzeit angezapft. Durch rückwärtsschreitende Abtragung fraß sich das Werratal immer tiefer ein, bis es Ende der Pliozänzeit in der Hauptsache schon fertig gebildet war. Hand in Hand damit ging die Auslaugung der Salze und Gipse des Untergrundes. So sehen wir am Ostflügel des Werrasattels die Zechsteinschichten recht steil einfallen, weil sie nach unten nachgeben mußten. Zeugen dieser heute noch fortschreitenden Auslaugung sind die Salinen von Bad Sooden—Allendorf an der Werra.

Welch ungeheure Mengen Schutt aus dem Gebiet ausgeräumt sein müssen, kann man sich vergegenwärtigen, wenn man, zurückgehend zum vorletzten Modell, sich die höchsten Erhebungen in den Basaltkuppen miteinander verbunden denkt. Braunkohlen, die doch auf dem Grund von Sümpfen entstanden sind, werden heute auf Bergeshöhen abgebaut, weil sie durch den Basalt geschützt waren, während ringsum das Gestein abgetragen wurde. Die Gebirgsbildung ist also diesmal die Folge negativer Vorgänge, im Gegensatz zu denen im Karbon und Prätertiär.

Gewiß hätte die eine oder andere Einzelheit anders dargestellt werden können, es kann auch trotz aller Vorsicht und trotz des Strebens nach wissenschaftlicher Einwandfreiheit eine Unstimmigkeit unterlaufen sein. Es ist ja auch nicht der Zweck der Modelle, etwa genau den Gang der Ereignisse widerzuspiegeln, etwa so, daß man ihn mit dem Maßstab verfolgen könnte. Die Phantasie hat reichlich mithelfen müssen, aber sie war nicht frei, sondern an die Tatsachen der Forschung gebunden. Wir haben ja auch z. B. angenommen, daß die Erdbewegungen, mit Ausnahme im Modell 2, nur vertikal vor sich gegangen seien, während die dargestellte Scholle ja auch in der Horizontalen verschoben sein kann. Die Hauptsache ist: die Modellreihe zeigt, wie wir aus dem heutigen Bild der Landschaft ihre Entwicklungsgeschichte ablesen können.

Blicken wir noch einmal auf die ganze Modellreihe zurück, so erkennen wir deutlich zwei große Störungsperioden und damit zusammenhängend zwei alte Landoberflächen. Das alte gefaltete Grundgebirge und die kulmische Landfläche bilden dabei nur Vorläufer der karbonischen Störung, die in der präpermischen Denudationsfläche verschwindet (Modell 1 bis 3). Die lange Zeit der Ruhe im Mesozoikum wird beendet durch die prätertiäre Gebirgsbewegung, die in der präeozänen Landoberfläche endet (Modell 4 und 5). Im 3. Zyklus (Modell 6 und 7) befinden wir uns mitten darin. Zu welchem Ende er führt, wissen wir nicht, ebensowenig, wie wir wissen, wieviel Zyklen schon vorher abgelaufen sind.

Zum Schluß ist es dem Verfasser eine angenehme Pflicht, allen den Herren, die ihm ihre Hilfe gewährten, den Dank auszusprechen, den sie in reichem Maße verdienen. Herr Prof. Dr.

SCHNEIDER gab nicht nur die Anregung zu dieser Modellreihe, sondern unterstützte auch stets unermüdet mit Rat und Tat. Herr Prof. Dr. GRUPE und Herr Dr. SCHRÖDER von der Preußischen Geologischen Landesanstalt gaben wertvolle Aufschlüsse in der Frage der tertiären Störungen und Herr Dr. DAHLGRÜN ebenso bereitwilligst auf Grund seiner Untersuchungen über das Paläozoikum.

Literatur.

1. Geologische Spezialkarte von Preußen nebst Erläuterungen. Bl. Großalmerode und Allendorf. Lfg. 23.

2. GRUPE, O.: Über das Alter der Dislokationen des hannoversch-hessischen Berglandes und ihren Einfluß auf Talbildung und Basalruption. (Zeitschr. der deutschen Geologischen Gesellschaft. 63. Bd., 1911.)
3. STILLE, H.: Göttinger Beiträge zur saxonischen Tektonik (Abhandlungen der Preußischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge, Heft 95, 1923 bis 1925).
4. SCHNEIDER, O.: Methodische Einführung in die Grundbegriffe der Geologie. F. Enke, Stuttgart 1928.
5. DAVIS, W. M. und BRAUN, G.: Grundzüge der Physiogeographie. B. G. Teubner, Leipzig 1915.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Der Gang der Kultur über die Erde. Von A. HETTFNER. 2. Auflage. Leipzig und Berlin 1929, B. G. Teubner. 164 S. geb. RM 8.—

Das Buch stellt den Entwicklungsgang der Menschheit und ihrer Kultur über die Erde in seiner geographischen Bedingtheit dar. Dabei verfällt es nicht in Übertreibungen und sucht nicht um jeden Preis alle kulturellen und politischen Vorgänge durch die Verhältnisse der natürlichen Umgebung zu erklären, wird vielmehr auch dem Wirken und Willen des Menschen durchaus gerecht.

Die vorliegende zweite Auflage ist der ersten gegenüber um einige Abschnitte erweitert. Was der Verfasser darin in dem Ausblick in die Zukunft ausführt, vermag jeden Staatsbürger zum Nachdenken anzuregen. *Scheer.*

Quantentheorie und Chemie. Leipziger Vorträge 1928. Herausgegeben von H. FALKENHAGEN. VIII und 142 Seiten mit 29 Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. Leipzig 1928, S. Hirzel. 8°. Preis kart. RM 10.—

Im Rahmen der „Leipziger Universitätswoche 1928“ fand auf Veranlassung von P. DEBYE eine Arbeitsgemeinschaft über das Thema „Quanten-

theorie und Chemie“ statt. Der Begriff „Chemie“ wurde dabei allerdings in wesentlich weiterem Sinne gebraucht als es sonst geschieht, und die auf dieser Tagung gehaltenen Vorträge befassen sich mit dem ganzen Gebiet der Kraftwirkungen zwischen Atomen und Molekülen. Auch einige Vorträge über reine Elektronenfragen sind in das Buch aufgenommen worden. Im einzelnen enthält es folgende Beiträge: W. KOSSEL-Kiel: Die molekularen Vorgänge beim Kristallwachstum. C. N. HINSHELWOOD-Oxford: Probleme der Energieübertragung in der chemischen Reaktionskinetik. F. LONDON-Berlin: Quantentheorie und chemische Bindung. P. A. M. DIRAC-Cambridge: Zur Quantentheorie des Elektrons. E. FERMI-Rom: Über die Anwendung der statistischen Methode auf die Probleme des Atombaus. A. EUCKEN-Breslau: Wärmeleitfähigkeit von Nichtmetallen und Metallen. N. V. SIDGWICK-Oxford: Die Rolle des Elektrons in der chemischen Bindung. Man darf dem Herausgeber und dem Verleger dafür danken, daß sie diese, von führenden Fachleuten der genannten Forschungsrichtung gehaltenen Vorträge auch denjenigen zugänglich gemacht haben, die an der Tagung nicht teilnehmen konnten. *Estermann.*

Korrespondenz.

Ferienkurse in Jena finden 1930 vom 2. bis 16. August in der Universität statt. In Erinnerung an WILHELM REIN, der 4 Jahrzehnte lang bis zu seinem Tode für die Jenaer Ferienkurse gewirkt hat, soll diese Veranstaltung künftig „Reinsche Ferienkurse“ heißen.

Der Plan für den 36. Kursus kündigt in Naturwissenschaft an: Anleitung zu Experimenten für den Schulunterricht in der anorganischen Chemie (Dr. BRINZINGER); Anleitung zu Experimenten für den Schulunterricht in der organischen Chemie (Dr. K. MAURER); Die Biologie im botanischen Schulunterricht (Bau und Leben der Pflanzen) mit Anleitung zu pflanzenphysiologischen Schalexperimenten (Prof. Dr. DEFMER); Anleitung zu botanisch-mikroskopischen Untersuchungen (Dr. HERZOG); Die moderne Zoologie im Schulunterricht (Prof. Dr. FRANZ); Zoologische Mikroskopier- und

Präparierübungen (Prof. Dr. FRANZ); Bau und Funktion des Gehirns (Prof. Dr. NOLL); Grundbegriffe der Bakteriologie in ihrer Bedeutung für Wohnungs- und Schulhygiene (Prof. Dr. LEHMANN); Physiologie und Chemie der Ernährung, der Verdauung und des Körperhaushalts (Dr. SCHLIEPHAKE); Aufbau und Kräfte des Erdkörpers (mit Lichtbildern und Versuchen; neuere Forschungsergebnisse und Methoden) (Prof. Dr. SIEBERG); Naturwissenschaftliche und geographische Rätselfragen in alten Überlieferungen (Prof. Dr. HENNIG); Geopolitik im geographischen und geschichtlichen Unterricht (mit Lichtbildern) (Prof. Dr. HENNIG).

Nähere Auskunft erteilt und ausführliche Programme versendet das Sekretariat, Fräulein CLARA BLOMEYER, Jena, Carl-Zeiß-Platz 3.

Himmelserscheinungen im Juli und August 1930.

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

0h W.Z.	Sonne ☉				Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂		Jupiter ♃		Saturn ♄	
	AR.	Dekl.	Zeitgl. ¹	Sternzeit ²	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.	AR.	Dekl.
1930	h m	o	m s	h m s	h m	o	h m	o	h m	o	h m	o	h m	o
Juni 30	6 33	+23,2	+3 14	18 29 21	5 20	+22,1	9 3	+18,7	3 10	+17,0	6 3	+23,3	18 38	-22,5
Juli 5	6 53	22,9	4 11	18 49 3	6 1	23,4	9 27	16,9	3 24	17,9	6 8	23,2	18 36	22,5
„ 10	7 14	22,4	5 0	19 8 46	6 46	23,9	9 50	14,9	3 39	18,9	6 13	23,2	18 34	22,5
„ 15	7 34	21,7	5 39	19 28 29	7 33	23,2	10 12	12,8	3 53	19,7	6 18	23,2	18 33	22,6
„ 20	7 54	20,9	6 6	19 48 12	8 18	21,5	10 34	10,5	4 8	20,4	6 23	23,2	18 31	22,6
„ 25	8 14	+19,9	+6 20	20 7 55	8 59	+18,9	10 55	+ 8,1	4 22	+21,1	6 27	+23,1	18 30	-22,6
„ 30	8 34	18,8	6 19	20 27 37	9 36	15,9	11 16	5,7	4 37	21,7	6 32	23,1	18 29	22,6
Aug. 4	8 53	17,5	6 3	20 47 20	10 9	12,5	11 36	3,2	4 51	22,2	6 37	23,0	18 27	22,7
„ 9	9 13	16,1	5 32	21 7 3	10 38	9,1	11 56	+ 0,6	5 5	22,6	6 41	23,0	18 26	22,7
„ 14	9 32	14,7	4 45	21 26 46	11 4	5,7	12 16	- 1,9	5 20	23,0	6 46	22,9	18 25	22,7
„ 19	9 50	+13,1	+3 46	21 46 29	11 27	+ 2,4	12 35	- 4,4	5 34	+23,2	6 50	+22,8	18 24	-22,7
„ 24	10 9	11,4	2 34	22 6 11	11 47	- 0,6	12 55	6,9	5 48	23,4	6 54	22,8	18 24	22,7
„ 29	10 27	9,7	+1 12	22 25 54	12 3	3,2	13 14	9,3	6 1	23,5	6 58	22,7	18 23	22,8
Sept. 3	10 45	+ 7,9	-0 20	22 45 37	12 14	- 5,2	13 33	-11,7	6 15	+23,6	7 2	+22,6	18 23	-22,8

¹ Zeitgleichung = mittlere Zeit - wahre Zeit.

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

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

	Sonne		Mond			Sonne		Mond			Sonne		Mond	
	Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.
1930	h m	h m	h m	h m	1930	h m	h m	h m	h m	1930	h m	h m	h m	h m
Juni 30	3 42	20 24	8 20	23 17	Juli 25	4 10	20 2	2 38	20 34	Aug. 19	4 50	19 16	23 4	16 31
Juli 5	3 46	20 22	15 22	0 6	„ 30	4 17	19 54	10 21	22 1	„ 24	4 58	19 5	4 48	19 40
„ 10	3 51	20 19	20 56	2 35	Aug. 4	4 25	19 45	17 5	23 42	„ 29	5 6	18 54	12 14	20 48
„ 15	3 56	20 14	22 30	8 28	„ 9	4 33	19 36	20 14	3 51	Sept. 3	5 15	18 43	17 36	—
„ 20	4 3	20 9	23 29	14 42	„ 14	4 41	19 27	21 8	9 52					

Mondphasen	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
1930								
M.E.Z.	Jun 26	14h 46,7m	Juli 3	5h 3,1m	Juli 10	21h 1,1m	Juli 19	0h 29,2m
	Jul 25	21 41,9	Aug. 1	13 26,4	Aug. 9	11 57,6	Aug. 18	12 30,6
	Aug. 24	4 36,9	Aug. 31	0 56,7	Sept. 8	3 47,8		

Verfinsterungen der Jupitertrabanten. Trabant III: August 27 0h 55,0m M.E.Z. Austritt.

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin, Länge von Stargard.

M.E.Z.	Merkur ☿	Venus ♀	Mars ♂	Jupiter ♃	Saturn ♄
1930		h h	h h	h h	h h
Juni 30	—	Da 21,1 U 22,4	A 1,0 Dm 1,8	—	Da 22,3 Dm 1,8
Juli 10	—	Da 21,0 U 22,1	A 0,6 Dm 2,1	—	Da 22,1 Dm 2,1
„ 20	—	Da 20,8 U 21,8	A 0,3 Dm 2,4	A 2,2 Dm 2,6	Da 21,8 Dm 2,4
„ 30	—	Da 20,5 U 21,4	A 0,0 Dm 2,8	A 1,7 Dm 2,9	Da 21,4 U 1,8
Aug. 9	—	Da 20,2 U 20,9	A 23,7 Dm 3,1	A 1,2 Dm 3,3	Da 21,0 U 1,1
„ 19	—	Da 19,8 U 20,5	A 23,4 Dm 3,5	A 0,7 Dm 3,7	Da 20,6 U 0,4
„ 29	—	Da 19,4 U 20,0	A 23,2 Dm 3,9	A 0,2 Dm 4,0	Da 20,1 U 23,7

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

Juli 1 4h M.E.Z. Saturn in Opposition mit der Sonne. Juli 3 1h M.E.Z. Erde in Sonnenferne. Kohl.

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

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.

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