

Zeitschrift

für den

Physikalischen und Chemischen Unterricht.

XLIV. Jahrgang.

1931.

Fünftes Heft.

Friedrich C. G. Müller †

Am 16. Juli 1931 ist FRIEDRICH C. G. MÜLLER gestorben im 84. Lebensjahre, das er am 27. Juni begonnen hatte.

Das mit dem Bilde des Siebzigjährigen geschmückte „Müllerheft“ (Heft 4 des 31. Jahrganges vom Juli 1918) und die Würdigung der Lebensarbeit des Achtzigjährigen nebst dem Bericht über die zweite Auflage seiner Technik des physikalischen Unterrichts (im 3. Heft des 41. Jahrganges vom Mai 1928) haben die Leser der Poskeschen Zeitschrift mit dem äußeren Lebensgange des nun abberufenen Altmeisters bekannt gemacht und einen Einblick gegeben in die Bedeutung der fast unübersehbaren Fülle seiner verdienstvollen Leistungen. Wenig bekannt ist den Schulphysikern die „Stahlperiode“ in MÜLLERS Leben. Deshalb sei hier der darauf bezügliche Teil eines Glückwunschs Schreibens wiedergegeben, das der Verein Deutscher Eisenhüttenleute an FRIEDRICH C. G. MÜLLER zu seinem achtzigsten Geburtstage gerichtet hat.

„Wir erinnern uns dankbar der wertvollen Mitarbeit, die Sie in früheren Jahrzehnten so erfolgreich für die Erforschung metallurgischer Vorgänge und für die Aufklärung der hüttenmännischen Arbeitsverfahren geleistet haben, zu einer Zeit, als sich die Eisenhüttenkunde noch auf rein empirische Grundlagen stützte und sich erst zarte Anfänge zeigten, die hütten technischen Vorgänge wissenschaftlich zu erforschen. Bereits in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, als gerade das Bessemer-Verfahren seinen ersten Einzug in Deutschland hielt, haben Sie sich mit großem Erfolge bemüht, die damals noch unklaren Vorgänge bei der Umwandlung des Roheisens zu Stahl in der Bessemer-Birne aufzuhellen. Ihnen war es ferner vergönnt, als erster die Natur des Eisenkarbids, dieses wichtigen Bestandteils des technischen Eisens und Stahls, aufzuklären. Besonders dankenswert waren Ihre umfangreichen Untersuchungen über die im Stahl enthaltenen Gase; Ihnen ist es als erstem gelungen, die Zusammensetzung der in festem und flüssigem Stahl eingeschlossenen Gase festzustellen, Arbeiten, auf denen sich die weiteren Untersuchungen späterer Forscher erfolgreich aufbauen konnten. Nicht weniger bedeutungsvoll waren dann die von Ihnen anschließend ausgeführten Arbeiten zur Erkenntnis der bei der Desoxydation des Thomasstahls auftretenden Vorgänge. Den Abschluß Ihrer Forschertätigkeit auf eisenhütten technischem Gebiete krönten dann Ihre Arbeiten über die verwickelten Umsetzungen, die sich im Tiegel bei der Erzeugung des Tiegelstahls abspielen und die bis dahin noch wenig erkannt waren.

Das ganze Eisenhüttenwesen schuldet Ihnen auch heute noch vielen Dank für diese ausgezeichneten Arbeiten, durch die Sie damals unsere Kenntnis von Eisen und Stahl und ihren Herstellungsverfahren in so umfassendem Maße bereichert haben. Die Ergebnisse Ihrer damaligen Forschertätigkeit sind um so höher einzuschätzen, als Sie diese Arbeiten, wie wir wissen, in der Mußezeit Ihres eigentlichen Lehrberufs ausführen mußten und dazu noch lediglich mit

den dürrtigen Hilfsmitteln, wie sie ein Schullaboratorium eben zur Verfügung stellen konnte“.

MÜLLERS Veröffentlichungen aus seiner „Stahlperiode“ gewannen durch heftige Auseinandersetzungen mit englischen Forschern in der Zeitschrift „Stahl und Eisen“ internationale Bedeutung. Die Eisenhüttenleute nahmen damals FRIEDRICH C. G. MÜLLER für sich in Anspruch und waren nicht damit einverstanden, wenn er zu den Schulleuten gezählt wurde. Die Ehrung, die ihm 1928 die Technische Hochschule Berlin durch Ernennung zum Dr. Ing. ehrenhalber zuteil werden ließ, war eine zwar späte, aber doch sehr bedeutsame Anerkennung der technischen Arbeit MÜLLERS, und diese Auszeichnung hat ihn tief beglückt.

Das ganze Sommerhalbjahr 1930 verlebte Müller in Falkenberg i. Mark, wo er sich recht wohl fühlte. Er hatte früher sehr oft in seinem geliebten Schierke während des Sommers gewelt, aber die Reise dorthin war jetzt für ihn schon zu beschwerlich. Der Winter 1930/31 brachte bedenkliche Krankheit, die ihn indessen nicht niederzuzwingen vermochte. Von den Nachwirkungen gedachte er sich im Sommer 1931 wieder in Falkenberg zu erholen. Als ich ihn dort kürzlich besuchte, fand ich ihn geistig auf voller Höhe, doch körperlich schon gebrechlich. Sein Lebenswille war ungeschwächt. Er bedauerte, nicht mehr wissenschaftlich tätig sein zu können und klagte über die Schwierigkeiten, die zusammenhängendes Schreiben ihm bereitete. Recht trüb stimmten ihn die Zustände in Deutschland; er war auf dem Wege, den Glauben an die Zukunft seines Vaterlandes zu verlieren. Im Laufe unserer Unterhaltung brach bei einem kurzen Spaziergange sein goldener Humor wieder durch, und in scherzhaften Redewendungen sprach er fröhlich von Vergangenheit und Gegenwart. Ich ahnte nicht, daß ich FRIEDRICH C. G. MÜLLER am 14. Juni 1931 zum letzten Male die Hand gedrückt hatte. Einige Tage später erhielt ich noch einen Brief von ihm, worin er mit der gleichen ausgeprägten Handschrift wie immer für meinen Besuch herzlichen Dank sagte.

Anfang Juli führte Arterienverkalkung zu krampfartigen Zuständen, über deren Ernst sich FRIEDRICH C. G. MÜLLER so klar Rechenschaft gab, daß er äußerte, es würde nun wohl mit ihm zu Ende gehen. In der letzten Woche quälten ihn heftige Herzbeschwerden, die durch ärztliche Hilfe möglichst gemildert wurden. Schließlich führte Herzlähmung einen sanften Tod herbei. Als er am 20. Juli 1931 auf dem Philippus-Apostel-Kirchhof in Berlin beigesetzt wurde, versuchte ich, an seinem Sarge ihm aus vollem Herzen für sein reiches Wirken zu danken.

FRIEDRICH C. G. MÜLLER weilt nicht mehr unter uns, aber dieser unermüdliche Mitarbeiter an unserer Zeitschrift seit ihrem Bestehen bleibt unvergessen. *H. Matthée.*

Die Erzeugung sehr langsamer und tonfrequenter Schwingungen mit der Elektronenröhre und einige Beispiele zu ihrer Benutzung im physikalischen Unterricht.

Von Dr. Friedrich Moeller in Berlin-Tempelhof.

(Mitteilung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht.)

Die Verfahren zur Erzeugung elektrischer Schwingungen mit der Elektronenröhre, vor etwa eineinhalb Jahrzehnten zuerst in der Hochfrequenztechnik zur Ausstrahlung ungedämpfter elektro-magnetischer Wellen benutzt, sind heute bekannt. Auch ihre Theorie ist vollkommen geklärt; da sie in dieser Zeitschrift von W. SPREEN¹⁾ zusammenhängend besprochen worden ist, brauchen hier nur einige Formeln quantitativer Art aufgeführt und kurz erläutert zu werden, so daß auf sie Bezug genommen werden kann.

¹⁾ Eine quantitative Darstellung der Wirkungsweise der Elektronenröhre. Von Dr. WILHELM SPREEN in Brake i. O. — Diese Zeitschr. 42, 79 (1929).

Einige der meist gebrauchten Schaltungen sind in den Figuren skizziert. Die normale Rückkopplungsschaltung nach ALEXANDER MEISSNER ist in Fig. 1, die induktive Spannungsteilerschaltung (auch wohl kurz mit Dreipunktschaltung bezeichnet), in Fig. 2 angegeben. Die Schaltung nach Fig. 3 ist als Zwischenzustand zwischen 1 und 2 aufzufassen. — Alle 3 Schaltungen, die sich nur schalttechnisch, aber nicht physikalisch voneinander unterscheiden, werden in der Folge benutzt werden.

Die Aufrechterhaltung von Schwingungen mit gleichbleibender Amplitude mittels der Elektronenröhre ist durch die sog. Selbsterregungsformel bestimmt:

$$-\frac{u_g}{u_a} = \Re = D + \frac{1}{S \Re_a} \dots \dots \dots (1)^1$$

Hierin bedeuten u_g und u_a die effektiven Wechselspannungen zwischen Gitter und Kathode bzw. Anode und Kathode der Röhre unter der Voraussetzung, daß kein Gitterstrom fließt. Einsetzender Gitterstrom, der allerdings bei kräftigen Schwingungen stets vorhanden ist, zwingt beim Versuch zur Vergrößerung von \Re , also zur Anwendung größerer Gitterwechselspannung, als sie die Formel verlangt. Das negative Vorzeichen drückt den Phasenunterschied der Spannungen um 180° aus. D ist der Durchgriff, S die Steilheit der Röhre. \Re_a ist stets ein Wechselstromwiderstand, der bei Resonanz, das heißt bei Übereinstimmung der Frequenzen im Gitter- und Anodenkreis, den Wert annimmt:

$$\Re_a = \frac{(\omega L_a)^2}{R} \dots \dots \dots (2)$$

R ist der gesamte im Schwingungskreise wirksame Verlustwiderstand, ausgedrückt in Ohm, dessen genaue Bestimmung bekanntlich zumal bei Hochfrequenz

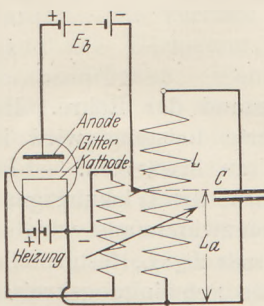


Fig. 1.

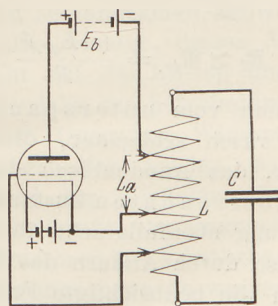


Fig. 2.

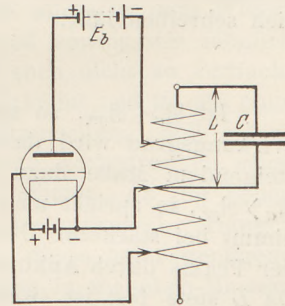


Fig. 3.

wegen der mit wachsender Frequenz zunehmenden Verluste sehr schwierig und oft unmöglich ist, ω bedeutet die Kreisfrequenz $= 2\pi f$ (f in Hertz), und L_a die wirksame Induktivität des zwischen Anode und Kathode liegenden Teiles der Spule L (siehe Fig. 1 und 2). Bei quantitativ ausgenutzten Schaltungen, wo es auf größtmögliche Leistungsübertragung der Röhre auf den Schwingungskreis ankommt, ist L_a nicht gleich L , sondern kleiner, wobei man das Verhältnis $L_a:L$ wohl als das Ankopplungsverhältnis bezeichnet. Bei den nachstehend beschriebenen Versuchen ist jedoch immer $L_a=L$ gewählt aus Gründen, die noch angegeben werden. — Die Formel (2) gilt nur für $R \ll \omega L_a$. — Während der Durchgriff D der Röhre stets, \Re_a bei gleichbleibenden Schaltelementen und Schaltungen mit genügender Annäherung als konstant anzusehen sind, ist die in die Gl. (1) einzusetzende Steilheit S , ausgedrückt in Ampere pro Volt, in hohem Maße durch die Amplitude der Schwingung bedingt, von welcher die Aussteuerung des Anodenstromes abhängt. Werden die Gitterwechselspannungen genügend groß, so bleibt in der negativen Phase der Gitter-

¹⁾ Sämtliche in der Arbeit vorkommenden Formelzeichen sind den Vorschriften des AEF (Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen) gemäß gewählt, die Wechselstromzeichen sind jedoch noch nicht genormt.

wechselspannung der Anodenstrom längere Zeit Null, in der positiven Phase längere Zeit im Gebiete der Sättigung, so daß die „mittlere Steilheit“ kleiner wird. Man spricht bekanntlich in solchen Fällen von Schwingungen zweiter Ordnung. Die Schwingungsamplitude nimmt zu, bis die mittlere Steilheit S so weit abgenommen hat, daß die Formel (1) erfüllt ist. — Die rechnerische Ermittlung der mittleren Steilheit ist in der Regel nicht möglich und auch nicht nötig, weil die besten Schwingungsbedingungen durch den Versuch, also durch Probieren, hergestellt werden.

Die Leistung, die die schwingende Röhre an ihren Schwingungskreis überträgt, ist durch den Ausdruck gegeben:

$$N_a = i^2 \cdot R, \text{ wobei der Anoden-Wirkungsgrad } \eta = \frac{i^2 R}{I_a \cdot E_b} \text{ ist.} \quad (3)$$

i ist der effektive Wechselstrom im Schwingungskreise, R (wie bereits erläutert) der gesamte OHMSche Widerstand, I_a der mittlere Anodengleichstrom der Röhre, E_b ihre Anoden-Betriebsspannung. — In Schwingungskreisen, denen elektrische Wechselstromleistung entnommen werden soll, ist der Gesamtwiderstand R gleich der Summe der Verlustwiderstände (in allen Schaltelementen) und des Nutzwiderstandes; erstere sind so klein wie möglich zu machen. Die Energieentnahme aus dem Schwingungskreis geschieht entweder durch Transformation auf einen Widerstand (in der Hochfrequenztechnik der Strahlwiderstand der Antenne) oder durch direktes Einschalten des Widerstandes in den Schwingungskreis, ein Verfahren, das besonders für Meßzwecke angewandt wird, wobei die Widerstandsgröße genau bekannt sein muß. — Die Leistungsabgabe der Röhre auf den Schwingungskreis wird ein Maximum, wenn der Wechselstromwiderstand \Re_a dem sog. Grenzwiderstand gleicht. Praktisch wird der Grenzwiderstand nicht sehr weit vom inneren Röhrenwiderstand R_i abweichen, so daß sich schreiben läßt:

$$R_i \approx \Re_{gr.} = \frac{(\omega L_{gr.})^2}{R} \quad (4)$$

Ist $\Re_a < \Re_{gr.}$, so spricht man vom unterspannten Zustand der Röhre. Ihr Wirkungsgrad wird dann sehr rasch schlechter, die zugeführte Leistung wird in steigendem Maße dazu benutzt, das Anodenblech der Röhre zu erwärmen. — Ist $\Re_a > \Re_{gr.}$, so spricht man vom überspannten Zustand der Röhre; der Wirkungsgrad nimmt bei stärkerer Überspannung ebenfalls sehr ab. Der Grenzwiderstand wird in der Praxis durch Ankoppeln, also durch Ändern des Verhältnisses $L_a:L$, festgestellt. Da L stets fest ist (weil durch die beabsichtigte Frequenz des Schwingungskreises festgelegt), muß L_a geändert werden, zu welchem Zwecke die Spule L Unterteilungen besitzt. Für $\Re_a = \Re_{gr.}$ ist $L_a = L_{gr.}$

Die Frequenz der schwingenden Röhre ist durch die Formel gegeben:

$$f = f_r \sqrt{1 + \frac{R}{R_i}} \quad (5)$$

wo $f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ (THOMSONSche Formel).

Die Formel (5) gilt nur für die Transformatorschaltung (Fig. 1) und auch für diese nur dann, wenn der Wirkwiderstand R des Kondensatorzweiges gegenüber dem Wirkwiderstande des Induktivitätszweiges zu vernachlässigen ist. Für andere Schaltungen wird die Frequenzberechnung sehr kompliziert und praktisch wertlos.

Die Wahl der Schaltelemente für sehr langsame Schwingungen¹⁾.

Die Gleichungen (1) und (5) enthalten keine Bedingung für die Begrenzung der Frequenz nach unten, es müssen sich also mit der Röhre beliebig langsame Schwingungen

¹⁾ Unter langsamen Schwingungen sollen im folgenden die Schwingungen unterhalb der Hörbarkeitsgrenze, unter sehr langsamen Schwingungen die Schwingungen unterhalb 3 Hertz verstanden sein, die sich bereits ohne weitere Hilfsmittel auszählen lassen. Man könnte sie mit gutem Recht sichtbare

erzeugen lassen, sobald die Gleichungen praktisch erfüllt werden können. — Wenn von dem Korrekturfaktor der Gl. (5) abgesehen wird, der die von der Röhre erzeugte Frequenz f von der Resonanzfrequenz f_r nach oben abweichen läßt, die durch die THOMSONSche Formel bestimmt ist, wenn ferner der Faktor $-\frac{R^2}{4L^2}$ zunächst vernachlässigt wird, so erhält man die Frequenz in Hertz, wenn die Kapazität in Farad (F), die Induktivität in Henry (H) ausgedrückt ist, wobei es an sich gleichgültig ist, wie groß im einzelnen Kapazität und Induktivität sind, wenn nur ihr Produkt die Gleichung erfüllt. Da die Technik die praktische Bezeichnung der Kapazität in Mikrofarad (μF) angibt, soll diese Größe in allen folgenden Rechnungen benutzt werden. — Die Frequenz ist dann durch die zahlenmäßige Gleichung bestimmt:

$$f = \frac{10^3}{2\pi\sqrt{H\mu\text{F}}}$$

Soll die Frequenz 1 Hertz sein, so ist danach (setze $4\pi^2 = 40$) die Kapazität mit $50 \mu\text{F}$ einzusetzen, wenn die Induktivität mit 500 H bemessen ist. — Wenn auch die Induktivität kleiner gewählt wird, so bleibt ihr Wert für alle Fälle so groß, daß er nur mit Spulen hergestellt werden kann, deren Windungen einen geschlossenen Eisenkern umschließen. — Auf Schwingungen, die rein sinusförmig verlaufen, müssen wir deswegen verzichten, doch lassen sich die stets auftretenden Oberschwingungen durch geeignete Schaltungen auf ein erträgliches Maß zurücksetzen, sobald es notwendig erscheint.

Vor Herstellung der Induktivität oder Schwingdrossel, wie die Bezeichnung allgemein lautet, muß über ihre räumliche Ausdehnung eine Entscheidung getroffen werden. Die Verluste liegen bei so langsamen Schwingungen allein in dem Widerstand der Wicklung, es ist also wichtig, diesen Widerstand soweit wie möglich herabzudrücken. Wenn es nicht auf die Kosten und, was auch nicht zu vernachlässigen ist, auf ein geringes Gewicht der Schwingdrossel ankommt, so ist sie ohne Schwierigkeiten mit sehr kleinem OHMSchen Widerstand herzustellen. Soll jedoch beides in erträglichen Grenzen gehalten werden, so muß man notgedrungen einen erheblichen OHMSchen Widerstand der Wicklung in Kauf nehmen, da die hohen Induktivitätswerte andernfalls sehr große Abmessungen der Schwingdrossel verlangen würden. Die normalen Transformatoren für Verstärkerzwecke, die ja heute genügend bekannt sind, um als Beispiel herangezogen zu werden, besitzen in manchen Mustern genügend hohe Induktivität, ihr Widerstand ist jedoch dann sehr groß, 8000 bis 10000 Ω dürfte als normal angesehen werden können, so daß die Amplitude der Schwingung allzu klein bleibt. In der vorliegenden Arbeit ist eine Drossel von etwa 1700 Ω Widerstand benutzt worden, ihre genauen Abmessungen werden später angegeben. Für eine Reihe von Versuchen genügte sie völlig; für die Erzeugung größerer Leistungen, die für andere Versuche notwendig werden, sind andere Wege beschritten worden, wie später gezeigt werden wird. — Bei so hohen Widerständen und den geforderten sehr langsamen Schwingungen kann für die Rechnung die vereinfachte THOMSONSche Formel nicht mehr angewandt, sondern es muß das Korrekturglied unter der Wurzel $-\frac{R^2}{4L^2}$ berücksichtigt werden. Die Frequenz wird also kleiner, als gemessene Induktivität und Kapazität erwarten lassen; da jedoch der gleiche Widerstand nach der Formel (5) die von der Röhre erzeugte Frequenz erhöht, so ist oft ohne weiteres nicht zu übersehen, sondern nur durch Rechnung festzustellen, ob er frequenzerhöhend oder frequenzerniedrigend wirkt.

Schwingungen nennen. — Wollte Verfasser die Mode mitmachen, die neuerdings bei den sehr schnellen elektrischen Schwingungen einzureißen beginnt, so könnte man von „ultralangsamem“ Schwingungen sprechen; physikalisch besitzt solche Bezeichnung keinerlei Berechtigung, und zudem erfährt die deutsche Sprache durch derartige Wortbildungen nicht gerade eine wertmäßige Bereicherung.

Während die THOMSONSche Formel in ihrer vereinfachten Form (also bei Vernachlässigung von R) die Wahl des Verhältnisses $L:C$ freiläßt, bestimmt die Gl. (4) in sehr erheblichem Maße seine Grenzen, denn sie sagt aus, daß L nicht zu klein werden darf, falls man eine gute Ausnutzung der Röhre, also eine kräftige Amplitude der Schwingung, erhalten will. Da die Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ ($f = 1$) festgelegt ist, und der Widerstand R mit 1700Ω ebenfalls als konstant angenommen werden soll, ist nur noch L variabel. Die Rechnung zeigt, daß für $L = 500$ H der Wechselstromwiderstand $R_a =$ etwa 5900Ω wird. Bei Verwendung der Röhrentype RE 134 (Telefunken) ist R_i etwa $= 4500 \Omega$, so daß für die Frequenz 1 Hertz mit einer Schwingdrossel von 500 H und 1700Ω eine recht gute Anpassung erreicht ist. Wird L kleiner gewählt, (C also größer), so tritt sehr rasch der unterspannte Zustand ein, die Amplitude im Schwingungskreis wird schnell kleiner. In Wirklichkeit gestalten sich die Verhältnisse in wachsendem Maße schlechter als nach der Rechnung, weil die Voraussetzung der Formel (3) $R \ll L_a$ nicht mehr erfüllt ist. — Schaltet man die Drossel von 500 H in Spannungsteilerschaltung (Fig. 2), zu welchem Zwecke sie in der Mitte unterteilt sein muß, so liegen im Anodenstromkreis der Röhre nur $L_a = 250$ H, während der gesamte im Schwingungskreis liegende Widerstand $R = 1700 \Omega$ bleibt. Es erhält dann R_a einen sehr viel kleineren Wert, der Grenzwiderstand $R_{gr.}$ wird nicht mehr erreicht. Die Amplitude der Schwingung wird erheblich kleiner, als der Ausnutzungsmöglichkeit der Röhre entspricht. Trotzdem sind die Versuche mit sehr langsamen Schwingungen stets mit dieser Schaltung ausgeführt, weil die vorhandenen Mittel am besten ausgenutzt werden.

Über die Größe der Gitterwechselspannung, die notwendig ist, die Röhre zu erregen bzw. die Schwingung auf gleicher Amplitude zu erhalten, gibt die Gleichung (1) Auskunft. Für unser letztes Beispiel ($L = 250$ H, RE 134, Durchgriff 10% , Steilheit $S = 2$ Milliampere pro Volt) wird $\mathfrak{K} = 0.44$, das heißt, die Gitterwechselspannung muß etwa der Hälfte der Anodenwechselspannung gleich sein, wenn die Schwingung bestehen soll. Da die Streuung der Drossel vernachlässigt werden kann, muß das Verhältnis der Windungen, die an Anode und Gitter liegen, etwa $2:1$ betragen. Wird die gesamte andere Hälfte der Drossel (250 H) zwischen Gitter und Kathode gelegt, so daß $u_a:u_g = 1$ wird, so sinkt automatisch die Steilheit S durch „Schwingen über die Ecken“ der Charakteristik, bis die Gleichung erfüllt ist. — Würde die MEISSNERSche Schaltung benutzt, so müßte eine gesonderte Wickelung, die dem geforderten Verhältnis entspricht, über den Eisenkern gewickelt werden. — Mit der Verkleinerung von L_a bei gleichbleibender Frequenz nimmt \mathfrak{K} sehr zu. Würde man z. B. L_a mit 100 H „abgreifen“, während L und C gemäß der Frequenz 1 Hertz mit 500 H und $50 \mu F$ erhalten bleiben, so müßte \mathfrak{K} bereits $= 2.2$ werden, um die Röhre allerdings in sehr unterspanntem Zustande anschwingen zu lassen.

Die Betrachtungen lehren, daß für die Herstellung so langsamer Schwingungen die Induktivität relativ möglichst groß, die Kapazität relativ möglichst klein zu machen ist, eine Forderung, die um so mehr zu erheben ist, je kleiner die Frequenz wird. Für die Frequenz $\frac{1}{2}$ Hertz z. B. wäre nur die Vergrößerung der Induktivität von 500 auf 2000 H zweckmäßig, die Kapazität dürfte keine Vergrößerung erfahren. Die Abmessungen einer Schwingdrossel mit so hohem Induktivitätswert werden schon sehr bedeutend.

Bei allen Versuchen mit Eisenkernspulen ist zu bedenken, daß sich ihre Selbstinduktion sehr stark mit der Magnetisierung des Eisenkerns ändert, daß also ihr Wert von der Größe des Anodenstroms abhängig ist, wodurch sich die Frequenz im Betrieb oft anders ergibt, wie erwartet wurde. Änderungen des Heizstromes der Röhre und andere Wahl der Betriebsspannung haben also Frequenzänderungen im Gefolge, die nicht nur durch Gl. (5) bedingt sind (Änderung von R_i). Trotzdem geben die besprochenen Beispiele genügenden qualitativen Aufschluß; ganz genaue theoretische Vorbestimmungen sind bei der Elektronenröhre als Generator ohnehin nicht möglich.

Es wurden vorhin die normalen Verstärkertransformatoren erwähnt, die ja billig und heute wohl in jeder Sammlung vorhanden sind. Einige Stücke, die sich in der Sammlung der Staatlichen Hauptstelle befinden, wurden zum Zwecke der Herstellung langsamer Schwingungen auf ihre Brauchbarkeit untersucht. Es handelt sich um Körting-sche Transformatoren mit den Übersetzungsverhältnissen 1:2'5, 1:7, 1:20. Ihre auf der Brücke in sehr grober Messung ermittelte Induktivität war etwa 18|100, 4|500, 1|500 H, die Wickelungs-Widerstände waren 1800|5500, 800|8000, 300|8000 Ω . Die Zahlen vor dem Strich bedeuten die Werte der Primärwicklung, die Zahlen hinter dem Strich die Werte der Sekundärwicklung. Es ist rechnerisch nach den erwähnten Methoden leicht festzustellen, daß diese Modelle zur Erzeugung sehr langsamer Schwingungen ungeeignet sind. Bei dem Transformator 1:7, dessen Sekundärwicklung eine genügende Induktivität besitzt, wird bei Benutzung der RE 134 für die Frequenz 1 Hertz $\mathfrak{f} = 0'5$; da das Übersetzungsverhältnis nur 1:7, $u_g : u_a$ jedoch 1:2 sein müßte, ist die Erzeugung der Schwingung 1 Hertz nicht möglich. Mit dem Transformator 1:20 wird das Verhältnis noch viel ungünstiger. Das Modell 1:2'5 hat zwar eine geeignete Übersetzung, jedoch sind die Induktivitätswerte viel zu klein. — Die große Anodenrückwirkung der hohen Gleichstromwiderstände und die dadurch bewirkte Herabsetzung der wirksamen Steilheit ist bei der Rechnung noch nicht berücksichtigt. Es ist dem Verfasser gelungen, mit den Modellen 1:2'5 und 1:7 Frequenzen bis herab zu 2'5 Hertz allerdings mit nur kleiner Amplitude zu erzeugen, wobei die Kapazitätswerte bis etwa $10\mu\text{F}$ betragen. Die Frequenz konnte schon durch Auszählen der vollen Schwingungen des Anodenmilliamperemeters ohne Mühe festgestellt werden. Bei dem Modell 1:2'5 wurden Primär- und Sekundärwicklung in Reihe geschaltet und dann Spannungsteilerschaltung nach Fig. 2 angewandt, bei dem Modell 1:7 wurde als Schwingspule die Sekundärwicklung benutzt und die Primärwicklung als Rückkopplungsspule verwendet (MEISSNER).

Die Wahl der Schaltelemente für hörbare (tonfrequente) Schwingungen.

Zur Festlegung der Schaltelemente für tonfrequente Schwingungen fehlt die Einfachheit der Forderung, die vorhin bestand. Die Grenzen der Hörbarkeit liegen bekanntlich zwischen 16 und 10000 Hertz, wobei jedoch bedeutende individuelle Unterschiede vorkommen. Die Größe der Schaltelemente nimmt also je nach der Höhe des gewünschten Tones außerordentlich verschiedene Werte an, wodurch die Anpassung an die Röhre schwierig wird. Es ist nicht möglich, mit Hilfe einer einzigen festgelegten Induktivität den ganzen Frequenzbereich zu umfassen, was eine ähnliche Rechnung wie vorhin deutlich machen möge¹. Es sei eine Frequenz 300 Hertz zu erzeugen, das notwendige Produkt aus Induktivität mal Kapazität ist $0'28\text{H}\mu\text{F}$. Die Induktivität sei mit dem Wert $0'4\text{H}$ eingesetzt, so daß die Kapazität $0'7\mu\text{F}$ wird. Der Ohmsche Widerstand der Schwingspule betrage 100Ω . Dann berechnet sich der Wechselstromwiderstand \mathfrak{R}_a zu etwa 5800Ω . Die Röhre (RE 134) arbeitet bereits überspannt, doch sind die Verhältnisse noch sehr erträglich. Soll mit der gleichen Schwingdrossel eine Frequenz von 100 Hertz hergestellt werden, so ergibt sich für R_a nur ein Widerstand von etwa 640Ω , die Röhre ist also schon stark überspannt; für die Frequenz 900 Hertz wird $\mathfrak{R}_a = 51000\Omega$, die Röhre ist stark überspannt. Dabei ist der gewählte Frequenzbereich zwischen 100 und 900 Hertz noch als sehr klein zu bezeichnen. Die Selbsterregungsfaktoren \mathfrak{f} werden für 100 Hertz 0,9, für 300 Hertz 0,19 und für 900 Hertz 0,101. Für 900 Hertz ist also der Selbsterregungsfaktor bereits sehr nahe gleich dem Durchgriff der Röhre, man spricht bekanntlich in diesem Falle von „Pfeifneigung“. Die errechneten Werte kommen den Ergeb-

¹ Höhere tonfrequente Schwingungen lassen sich schon mit eisenfreien Spulen herstellen, die allerdings große Abmessungen annehmen, wenn ihr Widerstand klein sein soll. Für exakte Messungen mancherlei Art sind solche Röhrengeneratoren notwendig. In der vorliegenden Arbeit sind jedoch stets Spulen mit Eisenkern benutzt, die für die in Frage kommenden Versuche genügen.

nissen der Praxis viel näher als vorhin, weil die Bedingung $R \ll \omega L_a$ gut erfüllt ist. Allerdings ist R nicht mehr so eindeutig wie vorhin festzulegen, weil die Hysterisverluste im Eisen und (bei schlechten Kondensatoren) die dielektrischen Verluste gegenüber dem OHMSchen Widerstand der Schwingdrossel nicht mehr zu vernachlässigen sind; beide Verluste wachsen mit der Frequenz. Bei brauchbarer Anordnung ist aber auch für niedrige Tonfrequenzen die Bedingung $R \ll \omega L_a$ stets zu erreichen.

Wird $R_a \gg R_{gr}$, so wird die Röhre sehr stark überspannt, was zur Folge hat, daß die Gitterströme sehr groß werden; es können dann ganz unvermutete Vorgänge auftreten, zumal dann, wenn im Gitterkreis hinlänglich große OHMSche Widerstände liegen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn das Gitter der Röhre durch einen Blockkondensator gesperrt ist und die Ableitung durch einen hochohmigen Widerstand erfolgt (vergl. Fig. 8a). In der Empfangstechnik ist diese Schaltung unter dem Namen „Audion“ bekannt. Wenn aber der OHMSche Widerstand der Rückkopplungswickelung genügend groß ist, kann auch durch ihn infolge zu starker negativer Aufladung des Gitters ein plötzliches Abreißen der Schwingung eintreten, die erst wieder einsetzt, bis die negative Ladung über den Ableitungswiderstand abgeflossen ist. Der Vorgang wiederholt sich periodisch nach schwierigen und praktisch unübersichtlichen Gesetzen; er kann sehr schnell und sehr langsam erfolgen. Das Aussetzen der normalen Schwingung geschieht, weil infolge des Absinkens der Gitterspannung die Steilheit so weit erniedrigt wird, daß die Gl. (1) nicht mehr erfüllt ist. Alle Abreißvorgänge haben gemeinsam, daß sie ruckweise eintreten und infolgedessen zeitlich sehr schnelle Änderungen des Anodenstromes nach sich ziehen. Sie erzeugen deswegen in den Wickelungen sehr hohe Spannungen, die auch bei kleinen Betriebsspannungen und bei kleinen Röhren Überschlagspannungen im Gefolge haben können, die die Isolation von Wickelung und Kondensator zerstören. Sie sind daher sehr gefährlich und unter allen Umständen zu vermeiden. — Abreißvorgänge sind leicht erkennbar. Falls ein Lautsprecher zum Nachweis der Schwingungen benutzt wird, hört man am plötzlichen Umschlagen des Tones, der in der Regel zu einem knarrenden Geräusch wird, den Abreißvorgang; ein in den Anodenkreis eingeschaltetes Milliampereometer zeigt bei seinem Einsatz ein stoßweises Fallen des Anodenstromes an.

Die Rechnungen beweisen, daß es nicht möglich ist, mit einer einzigen festen Induktivität den ganzen Frequenzbereich der tonfrequenten Schwingungen zu erfassen. Man ist gezwungen, die Schwingdrossel zu unterteilen oder verschiedene Drosseln zu benutzen.

Der Nachweis der Schwingungen kann mit einem Hitzdrahtampereometer (oder mit einem Glühlämpchen) erfolgen, sobald die Amplituden im Schwingungskreis genügend groß werden. Der gesamte Widerstand R im Schwingungskreis dürfte dann allerdings nicht groß (nur einige Ohm) sein. Die Herstellung solcher Drosseln ist durchaus möglich, die Versuche an ihnen sind sehr lehrreich. Ihre Besprechung in dieser Arbeit würde jedoch zu umfangreich werden und muß deswegen einstweilen fortfallen. — Als zweites sehr bequemes Mittel zum Nachweis der Schwingungen dient der Lautsprecher, der auch zum sehr lauten Ansprechen eine weit geringere Amplitude nötig hat als ein Hitzdrahtinstrument. Der Widerstand der Schwingdrossel kann erheblich größer, ihre räumliche Ausdehnung deswegen viel kleiner werden. — Als Lautsprecher kann jeder beliebige Lautsprecher auch älterer Konstruktion benutzt werden, sobald die Frequenz nicht allzu niedrig wird. Auf Frequenzen unter 150 Hertz sprechen nur gute (dynamische) Lautsprecher an, die herab und herauf bis zu den Hörbarkeitsgrenzen verwendet werden können. — Während irgend ein elektromagnetischer Lautsprecher mit oder ohne Trichter heute in jeder Sammlung vorhanden sein wird, ist das Vorkommen dynamischer Systeme dort noch nicht so häufig. — Das Einschalten des Lautsprechers erfolgt vielfach direkt in den Anodenkreis der Röhre, also außerhalb des Schwingungskreises. Das hat den Nachteil, daß sein OHMScher

Widerstand die Steilheit der Röhre und damit ihre Leistungsfähigkeit herabsetzt. Auch der Wechselstromwiderstand des Lautsprechers ist oft störend, weil die Schwingungen durch ihn abgedrosselt und also in der Amplitude herabgesetzt werden. Trotzdem wird die Schaltung oft benutzt, weil sie sehr bequem ist und keine weiteren Schaltmittel erfordert. Schalttechnisch besser ist es, die Schwingung transformatorisch mittels einer gesonderten Spule abzunehmen, die auf den Eisenkern der Schwingdrossel gewickelt ist.

Wie vorhin soll auch hier eine Untersuchung erfolgen, wie weit die Verwendung normaler Verstärkertransformatoren zur Erzeugung tonfrequenter Schwingungen möglich ist¹. Es seien die gleichen Modelle wie vorhin benutzt. Sobald die Frequenz im tiefsten Bereich der Hörbarkeit liegt, ist für alle Modelle, gleichgültig für welche Wickelung, die Gleichung (1) erfüllt. Tiefe Frequenzen sind mit fast allen Modellen (auch solchen, die hier nicht erwähnt sind) recht gut wiederzugeben. — Bei höheren Frequenzen tritt jedoch sehr bald ein hoch überspannter Zustand ein wegen der stets großen Induktivität, die Amplituden bleiben dann klein. Der Erhöhung der Frequenz ist eine Grenze gesetzt durch die Eigenkapazität der Transformatorwicklung, die in der Regel recht hoch ist und einige 100 cm beträgt. Eine höhere Frequenz zu erreichen, als dem Produkt aus Induktivität der Wickelung und ihrer wirksamen Eigenkapazität entspricht, ist naturgemäß nicht möglich. Mit den meisten Modellen kommt man deswegen nicht weiter als bis etwa 50 bis 100 Hertz herauf. — Die Gefahr, Abreißvorgänge einzuleiten, ist vielfach groß, doch sind sie nicht mit sehr großen Spannungen verbunden, weil der Anodenstrom wegen des großen Widerstandes der Wickelungen nicht zu hohen Werten anwachsen kann. — Soweit Verf. aus den ihm zur Verfügung stehenden Modellen ersehen konnte, eignen sich die Verstärkertransformatoren also zur Herstellung tonfrequenter Schwingungen sehr schlecht. — Eine relativ recht brauchbare Schwinganordnung läßt sich wenigstens in der Regel mit Hilfe eines elektromagnetischen Lautsprechers herstellen. Diese Lautsprecher besitzen je über dem Nordpol und über dem Südpol ihres permanenten Magneten eine Wickelung. Legt man (nach der Schaltung Fig. 2) parallel zur Gesamtwickelung eine Kapazität (Größenordnung 1000 bis 10000 cm), so entsteht ein Schwingungskreis, in welchem als Induktivität die Wickelung des Lautsprechers wirkt. Greift man in der Mitte zwischen beiden Wickelungen ab (durch Anlöten einer Zuführung) und legt diesen Abgriff an die Kathode der Röhre, ferner eines der äußeren Spulenden an die Anode, das andere an das Gitter, so entsteht eine Spannungsteilerschaltung: Das System schwingt, und die Schwingung wird durch die Membran des Lautsprechers angezeigt. — Recht gute Schwingdrosseln sind oft auch normale Netzfrequenztransformatoren, besonders dann, wenn sie eine Hochspannungswickelung besitzen (z. B. 220/800 Volt), so daß die Induktivität der Sekundärwicklung genügend groß wird. Bei einem Modell, das zur Verfügung stand und das erwähnte Übersetzungsverhältnis hatte, war die Induktivität der Sekundärwicklung 5 H, der Primärwicklung 0,3 H; die Induktivität der Primärwicklung war zu klein, doch die Sekundärwicklung war gut geeignet, das Übersetzungsverhältnis von noch nicht 1:4 sehr brauchbar. Der Transformator wurde in der Schaltung der Fig. 1 benutzt und gab ein sehr breites Frequenzband. Der (Indikator-) Lautsprecher lag in der Anodenzuführung.

¹ Vgl. die in dieser Zeitschrift abgedruckten Beiträge: J. WEISS: Der Röhrensummer, **33**, 144; 1920. — L. BERGMANN: Eine Bemerkung zum Röhrensummer, **34**, 128; 1921. — P. HANCK: Die Elektronenröhre als Erzeuger von Hörfrequenz-Schwingungen, **40**, 24; 1927. — D. MAZZOTTO: Die „melodische Elektronenröhre“. Ein leicht regulierbarer Erzeuger von Hörfrequenz-Schwingungen, **41**, 137; 1928. — Offenbar standen P. HANCK und D. MAZZOTTO für höhere Frequenzen geeignete Modelle zur Verfügung als dem Verfasser des vorliegenden Aufsatzes.

Die Entwicklung einer für den Frequenzbereich 1 bis 6000 Hertz brauchbaren unterteilten Schwingdrossel.

Auf einen Eisenkern von der mittleren Weglänge 18 cm und dem Querschnitt 5 cm² wurden zwei getrennte Wickelungen *A* und *G* gelegt (Fig. 4). Die Gesamtwindungszahl jeder Wickelung beträgt 6000. Die Wickelung *A* besitzt Abgriffe bei der Windung 300, 600, 1200, 1800, 3000, die Wickelung *G* bei 10, 30, 2000, 3000, 5000. Beide Wickelungen sind jede für sich in allen Schaltungen der Fig. 1 bis 3 benutzbar, wobei die von der Aufgabe der Schwingungserzeugung freibleibende Wickelung zur Transformation, das heißt zum Anschluß eines Lautsprechers oder im besonderen Falle einer Meßbrücke, benutzt werden kann;

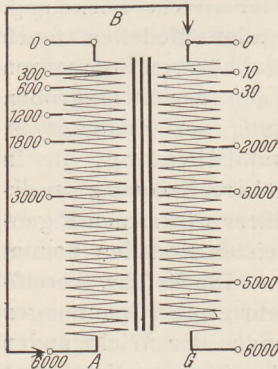


Fig. 4.

es lassen sich jedoch durch eine Drahtbrücke *B* auch beide Wickelungen in Reihe schalten. Der Widerstand jeder Wickelung beträgt etwa 850 Ω, die Maximalinduktivität beider in Reihe geschalteten Spulen nach Schätzung etwa 500 H. Für die Herstellung sehr langsamer Schwingungen (1 bis 3 Hertz) muß die Gesamtwindungszahl der in Reihe geschalteten Spulen benutzt werden, wobei nur die Spannungsteilerschaltung anwendbar ist. Höhere Frequenzen lassen sich in mancher Schaltvariation herstellen. Es ist ratsam, sie nur mit Hilfe einer einzigen Wickelung *A* oder *G* zu erzeugen, die andere Wickelung also abzuschalten, um bei höheren Frequenzen die Spannungen an den Spulenden möglichst herabzudrücken, die schon sehr hoch werden können. Die freie Wickelung dient dann, wie bereits erwähnt, zur Transformation. Zu kleine Kapazitäten bei großer Induktivität sind wegen der Gefahr von Abreißvorgängen streng zu vermeiden, um Wickelungen oder auch Kondensatoren keiner Beschädigung auszusetzen. Zur Erzeugung der Frequenz 1 Hertz ist eine Kapazität von etwa 40 μF notwendig. Für sehr hohe Frequenzen gebraucht man kleine Blockkondensatoren oder auch Drehkondensatoren, sonst wurden die bekannten Postkondensatoren benutzt.

Die einfachsten Versuche zum Nachweis der tonfrequenten Schwingungen mit dem Lautsprecher.

Zum Nachweis der Schwingungen von 150 Hertz aufwärts ist, wie bereits bemerkt, jeder elektromagnetische Lautsprecher ältester Konstruktion brauchbar. Als Schwing-

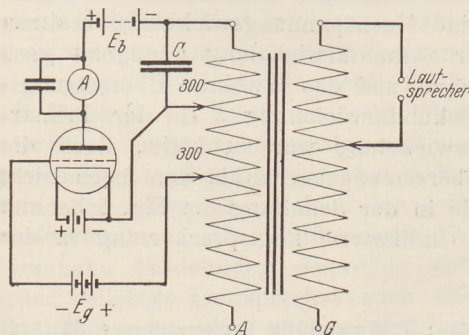


Fig. 5.

röhren genügen Röhren kleinster Leistung, z. B. RE 064 oder 074 (Telefunken) oder für etwas höhere Ansprüche RE 134 (Telefunken). Es können selbstverständlich Fabrikate anderer Firmen benutzt werden; die Typen der Firma Telefunken sind angegeben, weil sie vielleicht am bekanntesten sind. Als Betriebsspannung genügen uns 30 bis 60 Volt einer normalen Anodenbatterie. Stehen höhere Spannungen zur Verfügung, so können auch diese genommen werden, wobei es dann zweckmäßig sein wird, eine Gittervorspannung vorzusehen ($E_g = -4$ bis -12 Volt, je nach dem Durchgriff der Röhre und der Höhe der Betriebsspannung). Eine Schaltanordnung, mit der es möglich ist, Frequenzen von 6000 Hertz abwärts bis etwa 500 Hertz zu erzeugen, ist in Fig. 5 angegeben. Die variable Kapazität *C* liegt an den Spulenabgriffen der *A*-Wickelung 0 und 300, während als Rückkoppelung die folgenden

300 Windungen der gleichen Spule dienen (Schema der Fig. 3). Anode und Kondensatorpol liegen auch bei den folgenden Versuchen gemeinsam am gleichen Spulenabgriff (im Gegensatz zu Fig. 1 bis 3). Eine beste Anpassung ist deshalb nicht möglich, aber auch nicht nötig, weil die gelieferte Leistung ohnehin genügt. Im anderen Falle würde die Amplitude der Schwingung größer, die Wechselspannung höher, als der Isolation kleinerer billiger Blockkondensatoren zuträglich wäre. In den Anodenkreis der Röhre kann man ein Milliampereometer A legen; Verfasser benutzte dazu die Mavometer von GOSSEN. Man shuntet das Instrument zweckmäßig mit einer größeren Kapazität von mindestens $0.1\mu\text{F}$. Der Lautsprecher liegt an der freien Spule G der Schwingdrossel, die Höhe der abgegriffenen Windungen ist am besten auszuprobieren. Die Einschaltung des Lautsprechers bedeutet eine Belastung für den Schwingungskreis, die Rückwirkung macht sich in einer scheinbaren Abnahme der Induktivität der A -Spule bemerkbar. Nach Einschaltung des Lautsprechers ändert sich also die Frequenz, sie wird höher, je größer die Zahl der mit dem Lautsprecher belasteten Windungen der Spule G ist. Läßt man jeden Kondensator C fort, so hört man trotzdem einen sehr hohen Ton (etwa 6000 Hertz), der durch die Eigenkapazität der Wickelung bestimmt ist. Bei Zuschaltung von Kondensatoren wird der Ton tiefer und tiefer, bis er endlich etwa bei der Frequenz 500 Hertz abreißt. Die Röhre arbeitet nicht mehr, weil die Gleichung (1) nicht mehr erfüllt ist. Bei negativer Gittervorspannung (E_g) springt mit dem Aufhören der Schwingung das Milliampereometer kräftig zurück. Eine Schwingung ist jetzt nur wieder zu erreichen, wenn entweder die Induktivität des Schwingkreises erhöht oder die Rückkopplung fester genommen wird, indem man die Anzahl der zwischen Gitter und Kathode liegenden Windungen vermehrt. Der Lautsprecher muß im Laufe der Versuche an den einmal gewählten Abgriffen der Spule G liegen bleiben. Die Lautstärke nimmt in der Nähe des Aussetzens der Schwingung stark ab, weil der unterspannte Zustand eingetreten ist, die Übertragung der Wechselstromleistung von der Röhre auf den Schwingkreis also gering wird. — Die Polung der Gitterspule ist in der Schaltung der Fig. 5 (bzw. Fig. 2 und 3) zwangsläufig richtig. Soll gezeigt werden, daß es zum Einsetzen der Schwingung auf richtige Polung der Spulen ankommt, so muß die Schaltung der Fig. 1 genommen werden. Die Anodenkreisanordnung kann bleiben, wie sie war, als Rückkopplung muß dann eine Anzahl Windungen (1000 zwischen 2000/3000) der Spule G benutzt werden. Da der Wickelungssinn der Spulen A und G gleich ist, kann eine Schwingung nur einsetzen, wenn Spule G mit der Windung höherer Ordnungszahl am Gitter liegt. Die Belassung des Lautsprechers an Spule G stört den Einsatz der Schwingungen nicht. Die Erzeugung von tonfrequenten Schwingungen mittels Spannungsteilerschaltung durch Benutzung der in Reihe geschalteten Spulen A und G soll, wie bereits erwähnt, vermieden werden.

Schwebungsversuche.

Mit zwei Kreisen vorstehend beschriebener Art lassen sich in ausgezeichneter Weise Schwebungsversuche ausführen und erklären. Die Anordnung wird allerdings umfangreicher, weil zwei Schwingungskreise mit Zubehör und zwei Lautsprecher notwendig werden. Als Heizquelle genügt für beide Kreise der gleiche Akkumulator, die Anodenstromversorgung muß für beide Kreise gesondert erfolgen. Man bringt nun nach Gehör jeden Kreis für sich auf die gleiche Frequenz, wobei man am besten die Anordnung nach Fig. 5 benutzt mit einer festen Kapazität von etwa $0.1\mu\text{F}$. In einem Kreise schaltet man noch zur Kapazität einen Drehkondensator von 1000 cm parallel. Sobald dann nach Einstellung auf die gleiche Frequenz der Kondensator gedreht wird, sind die Schwebungen mit außerordentlicher Regelmäßigkeit wahrnehmbar. Es macht keine Schwierigkeit, sie auf etwa 1 Hertz herabzudrücken, sobald man in der Handhabung der Apparatur einige Übung erlangt hat. Die Schwebungen lassen sich in gleich guter Weise für hohe und tiefe Töne herstellen; je tiefer die

Töne werden, um so mehr zusätzliche Kapazität braucht man naturgemäß, um die Schwebung eintreten zu lassen. — Ein anderer hübscher Versuch, bei dem nur ein Schwingungskreis notwendig ist, ist die Abstimmung des Kreises auf eine Stimmgabel ebenfalls nach dem Gehör, wobei sich abklingende Schwebungen ergeben, deren Frequenz sich ebenfalls ohne Schwierigkeit auf 1 Hertz bringen läßt. Beide Versuche erfordern einige Geduld und sind deswegen für Übungen gut geeignet.

Der Tongenerator als Brückensummer.

Die gebräuchlichste aller Relativmessungen von elektrolytischen Widerständen, Kapazitäten und Induktivitäten ist bekanntlich die Meßbrückenmethode, wozu eine Wechselstromquelle von nicht zu niedriger Frequenz notwendig wird. Für Präzisionsmessungen benutzte man früher die FRANKESche Maschine, für einfachere Messungen

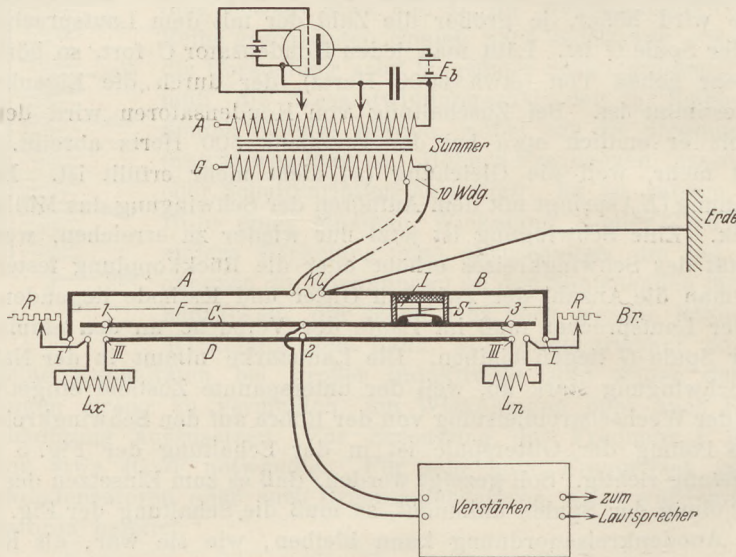


Fig. 6.

den Zungensummer, der auch heute noch viel gebraucht wird. Er ist stets ein trotz aller Wartung sehr eigensinniges und unzuverlässiges Instrument geblieben, mit dem zu arbeiten niemals eine große Freude ist. Die Leistung, die er zu liefern vermag, ist zudem nur gering. — Die FRANKESche Maschine ist inzwischen durch den eisenfreien Röhrensummer, der obertonfrei gemacht werden kann, verdrängt worden, der Zungensummer kann mehr als ersetzt werden durch einen einfacheren Röhrensummer mit einer Eisendrossel als Induktivität. Der Summer ist dann allerdings nicht obertonfrei, eine Eigenschaft, die jedoch der Zungensummer ebenfalls in keiner Weise besitzt.

Der Röhrengenerator, wie er vorhin beschrieben wurde (Fig. 5), läßt sich ohne weiteres als Brückensummer nutzbar machen, falls die Wechselspannung nach Transformation mit möglichst niedriger Windungszahl abgenommen wird. Der Brückendraht hat stets einen kleinen OHMSchen Widerstand (vielleicht 10Ω und darunter), so daß der Transformator durch den Brückendraht kurz geschlossen würde, falls die Wicklung zu große Windungszahl, das heißt zu großen Widerstand, besitzen würde. — Die Spule G der Schwingdrossel hat deswegen an der 10. und 30. Windung je eine Ausführung, so daß je nach Wahl 10, 20 oder 30 Windungen genommen werden können. Die in dieser Weise auf die Meßanordnung übertragene Wechselspannung genügt völlig, der Röhrensummer wird weit leistungsfähiger als ein Zungensummer und besitzt außerdem die Eigenschaft unbedingter Zuverlässigkeit. Der Summertone kann je nach Wahl der Windungen A und der Kondensatoren C in der Höhe beliebig

eingestellt werden. Die Betriebsspannung ist mit etwa 60 Volt zu wählen, bei Betrieb von 2 oder mehr Brücken muß eine leistungsfähigere Röhre (RE 134 oder 304) genommen werden, und die Betriebsspannung darf nicht unter 100 Volt sein. Andernfalls sind die Amplituden der Schwingungen infolge der Belastung zu klein (unterspannter Zustand); auch die Gitter-Kopplung ist fester zu wählen, weil infolge der Belastung R größer, \mathfrak{R}_a deswegen kleiner geworden ist (Formel 3), und die Gl. 1 bei loserer Kopplung nicht mehr erfüllt ist. — Als Indikator für die Brücke dient normalerweise wie immer das Telefon, doch läßt sich mit Verstärker und Lautsprecher die Messung einwandfrei objektiv zeigen, wofür nur einige Vorsichtsmaßregeln zu beachten sind. — Die Anordnung zeigt Fig. 6, wobei an die Messung einer kleineren eisenlosen Induktivität gedacht ist. (Spule eines Wellenmessers = etwa 5 Millihenry). Die Wechselspannung des Röhrensummers, von dem 10 Wdg. abgegriffen sind, wird an die Klemmen *Kl.* der Meßbrücke *Br.* gelegt. Die Leiter *A, B, C, D* sind dicke Schienen aus Kupfer, die praktisch widerstandslos und wegen ihres geringen Abstandes von einander auch induktionsfrei sind. *F* ist der Meßdraht, *I* der Reiter aus Isolationsmaterial, der zwischen den Schienen (*A, B*) und *C* geführt wird. Seine Schneide *S* ist durch eine kräftige Feder mit der Schiene *C* leitend verbunden. Zwischen die Schienen *C* und *D* können an die Klemmen 1, 2, 3 drei Telefone gelegt werden. Die Widerstände *RR* sind die Ausgleichwiderstände für Grob- und Feinregulierung (50 Ω und 5 Ω), die aus Symmetrierücksichten links und rechts vom Brückenkörper eingebaut sind. L_x und L_n ist das Induktivitätsnormal bzw. die zu messende Induktivität; sie müssen vertauscht werden, falls die Gleichung $l_x:l_n = L_x:L_n = R_x:R_n$ nicht zu erfüllen ist, was am unscharfen Minimum erkennbar wird. — Die Brücke muß geerdet werden, weil andernfalls kapazitive Ladungen aller Leiter gegen Erde das Telefon nicht zum Schweigen bringen. Das gilt auch für Messungen von elektrolytischen Widerständen, für welche sich die Brücke natürlich auch gebrauchen läßt. Das Widerstandsnormal und der zu messende Widerstand werden dann an die Klemmen I und III geschaltet. (Bei normalen Widerständen werden anstatt des Summers ein Element und anstatt des Kopfhörers ein Galvanometer in gewohnter Weise benutzt.)¹⁾ Die Anschaltung eines Verstärkers an die Brücke ist einfach, es kann irgend ein zur Verfügung stehender Verstärker mit oder ohne Eingangstransformator genommen werden. Zu beachten ist nur, daß der Röhrensummer nicht allzu nahe dem Verstärker steht, weil das kapazitive und induktive Streufeld des Summers andernfalls Verstärker und Lautsprecher direkt erregt. Geringere Erregungen, die den Versuch nicht stören, wenn sie auch absolutes Schweigen des Lautsprechers verhindern, lassen sich nicht vermeiden. Betriebsspannungen von Summer und Verstärker müssen getrennt werden; gemeinsame Benutzung ist wegen der dann unvermeidlichen Induktionswirkungen unmöglich²⁾.

Der Übergang zu sehr langsamen (sichtbaren) Schwingungen.

Um diesen Versuch eindrucksvoll durchführen zu können, ist ein dynamischer Lautsprecher notwendig. Die Schaltung des Röhrengenerators geschieht nach Fig. 5,

¹⁾ Die genaue Bestimmung elektrolytischer Widerstände gelingt oft schlecht mit den einfacheren Meßanordnungen, wie sie hier beschrieben sind. Weder mit dem Zungensummer noch mit dem Röhrensummer erhält man ein scharfes Minimum. Das ist besonders dann der Fall, wenn die Widerstände groß sind. Die Störung hat ihre Ursache in den Eigenkapazitäten sowohl des elektrolytischen Widerstandes wie des Normalwiderstandes. Ältere Normalen sind zwar in der Regel bifilar gewickelt, so daß sie keine störende Induktivität haben, doch ist ihre Kapazität so beträchtlich, daß ein Phasenausgleich notwendig wird, wenn das Minimum scharf werden soll. Solche Kapazitätsstörungen der zu messenden Größen können auch bei Induktivitäten eintreten. — Für Messung elektrolytischer Widerstände mit einfachen Mitteln ist es zweckmäßig, den zu messenden Widerstand bzw. den Vergleichswiderstand nicht zu groß zu machen (≤ 1000 Ohm), wenn nicht kapazitätsarme Normalen zur Verfügung stehen.

²⁾ Die Herstellung der Brücke wie der Schwingdrosselapparatur hat die Firma E. Leybolds Nachf., A.-G. in Köln, übernommen.

von der A-Wicklung werden 3000 Windungen für den Schwingkreis, der Rest für die Gitterkopplung genommen. An die G-Wicklung legt man einen (hochohmigen) dynamischen Lautsprecher. (Ein schlechter Lautsprecher gibt die tiefen Töne nicht wieder, sondern zeigt nur die Oberschwingungen des Generators an.) — Bei Benutzung einer Kapazität von etwa $0,1 \mu\text{F}$ erzeugt der Generator bereits einen sehr tiefen Ton, der bei Zuschaltung von weiterer Kapazität von je $0,1 \mu\text{F}$ tiefer und tiefer wird, bis endlich bei einer Gesamtkapazität von etwa $1 \mu\text{F}$ ein Ton nicht mehr hörbar ist, trotzdem die Membran des Lautsprechers außerordentlich große Amplituden ausführt, was durch Berühren mit der Hand wahrnehmbar ist: Die untere Grenze der Hörbarkeit ist erreicht. Das in den Anodenkreis eingeschaltete Milliampereometer steht noch still, sein Zeiger kann den Schwingungen infolge seiner Trägheit noch nicht folgen; bei weiterer Erhöhung der Kapazität, — man schaltet sie jetzt in Stufen von $1 \mu\text{F}$ zu, — beobachtet man jedoch ein zunehmendes Zittern des Zeigers, der endlich (bei einer Gesamtkapazität von $C \approx 5 \mu\text{F}$) eine mit dem Auge einzeln wahrnehmbare Periode erkennen läßt. Die Membran des Lautsprechers führt jetzt ebenfalls sichtbare Bewegungen völlig geräuschlos aus. — In der benutzten Schaltung gelangt man etwa

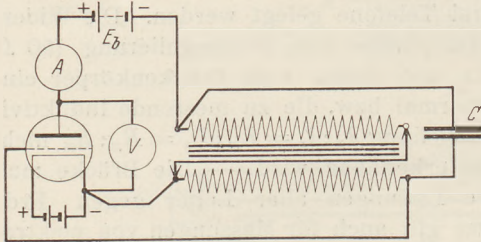


Fig. 7.

herab zu 5 Hertz, bei Zuschaltung weiterer Kapazität erlischt die Schwingung wegen des zu klein werdenden Selbsterregungsfaktors. — Sehr langsame Schwingungen von 1 Hertz und noch weniger erhält man wie bereits bemerkt durch Benutzung der ganzen bei Reihenschaltung der Spulen A und G zur Verfügung stehenden Induktivität und einer Kapazität von etwa $40 \mu\text{F}$ in der Spannungsteilerschaltung (Fig. 2). Bei so langsamen Schwingungen folgen die ein-

geschalteten Gleichstrominstrumente fast ohne Trägheitserscheinungen den elektrischen Vorgängen, die also auf diese Weise direkt zu beobachten sind. Schaltet man (Fig. 7) zwischen Anode und Kathode der Röhre einen Gleichspannungsmesser, so zeigt er bei nicht schwingender Röhre die Betriebsspannung abzüglich der Verlustspannung an, die durch den Widerstand der Wicklung A gegeben ist. Sobald jedoch die Röhre schwingt, gibt er in jedem Augenblick die Momentanspannung an, die zwischen Anode und Kathode der Röhre vorhanden ist. Sie besitzt bekanntlich gegenüber dem Anodenstrom eine Phasenverschiebung von 180° , der Anodenstrom hat den höchsten Wert, wenn die Anodenspannung ihren kleinsten erreicht und umgekehrt. Eine geringe Abweichung verursacht der Widerstand der Wicklung. Der Versuch gelingt nur dann, wenn der Widerstand des Spannungsmessers sehr groß ist, da er andernfalls für die Wicklung A einen Kurzschluß bedeutet, so daß die Schwingungen aussetzen. Verf. benutzte für den Versuch ein Mavometer der Fa. Gossen, mit dem Vorschaltwiderstand 150 Volt, als Milliampereometer ein gleiches Instrument mit dem Nebenschluß 25 Milliampere.

Bei Schwingungen so geringer Frequenz von etwa 2 Hertz abwärts beobachtet man sehr oft, daß die Röhre ohne weiteres nicht anläuft, sondern daß sie eines Anstoßes bedarf; man erzeugt ihn am besten dadurch, daß man schrittweise (durch Zuschalten von Kapazität) zu den sehr langsamen Schwingungen übergeht, die sich dann mit großer Regelmäßigkeit erhalten. Unterbricht man die Schwingung, so erregt sie sich nicht wieder: der Röhrengenerator bleibt stehen. Das Phänomen tritt besonders auffallend bei negativer Vorspannung unter Verwendung von etwas höheren Betriebsspannungen (bis 150 Volt) auf. Die Ursache im Verhalten der Röhre ist darin zu suchen, daß der Anlaufvorgang im unteren Teil der Charakteristik erfolgt, in dem die Steilheit so gering ist, daß die Gleichung (1) nicht erfüllt ist. Ist jedoch der Schwingungsvorgang erst eingeleitet, so wird die wirksame Steilheit

weit größer, die Gl. also jetzt erfüllt. Eine Parallele hierzu aus der mechanischen Physik ist der Anstoß eines Uhrpendels. — Gewissermaßen ein Zwischenzustand, der sehr häufig eintritt, ist ein langsames Aufschaukeln der Schwingung zu der konstanten Amplitude; die Ausschläge des Milliampereometers nehmen zu, bis erst nach mehreren Sekunden der Endzustand erreicht ist.

Die Benutzung der Gegentaktschaltung für sehr langsame Schwingungen.

Röhren, die auf den gleichen Schwingungskreis so geschaltet sind, daß der Betriebszustand der einen Röhre gegen den der anderen um 180° phasenverschoben ist, arbeiten im sogenannten Gegentakt. Schaltungen, für die dieser Zustand erreicht wird, nennt man Gegentaktschaltungen. Der Vorteil der Gegentaktschaltungen liegt in ihrem völlig symmetrischen Aufbau, der eine ebenso symmetrische Stromverteilung in den Schaltelementen zur Folge hat. In Fig. 8 sind zwei Gegentaktschaltungen schematisch zu dem Zweck

angegeben, um ihre Brauchbarkeit für die Erzeugung sehr langsamer Schwingungen gegeneinander abzuwägen. Beide Schaltungen arbeiten nach dem Prinzip der Fig. 2 (Spannungsteiler), dessen Verwendung allein in Frage kommt. Während Schaltung Fig. 8a mit einer einzigen Betriebsspannungsquelle auskommt, sind für Schaltung Fig. 8b zwei notwendig. Das Arbeiten mit dieser Schaltung ist aber zuverlässiger und übersichtlicher, weil hier die Über-

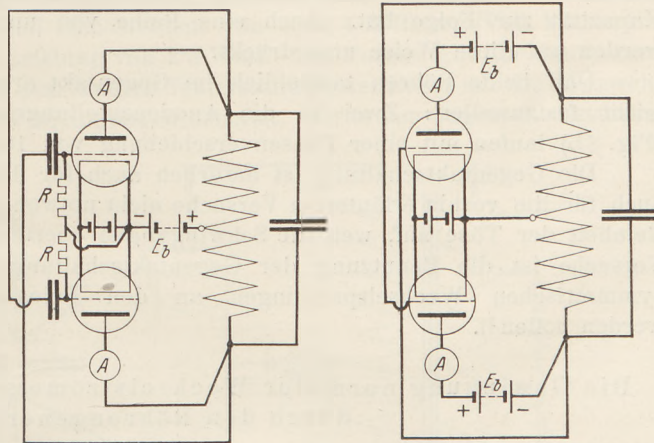


Fig. 8 a u. b.

brückungskondensatoren zu den beiden Gittern in Fortfall kommen können. In Fig. 8a sind sie nötig, weil sie den Zweck haben, die hohe Anoden-Betriebsgleichspannung (E_b) vom Gitter fernzuhalten, eine Aufgabe, die sie nur erfüllen können, wenn sie eine Ableitung besitzen, die sehr hochohmig ist. Wird sie zu niedrig, so erhält das Gitter der Röhre trotz des Kondensators noch positive Ladung, die sehr störend wirkt. (Bei Widerstandsverstärkern bekanntlich ein sehr oft vorkommender Fehler, der dann das einwandfreie Verhalten dieser Verstärker völlig unmöglich macht.) Auch die künstliche Ableitung, die ein Gitter notwendig hat, und die durch die hochohmigen Widerstände RR (Fig. 8a) hergestellt wird, besitzt mancherlei Fehlerquellen und stellt außerdem stets eine zusätzliche Vorspannung für das Gitter her, die von mehreren Faktoren abhängig und in ihrer Größe in der Regel unkontrollierbar ist. Es ist deswegen in der Folge trotz der notwendig werdenden zweiten Betriebsspannungsquelle die Schaltung Fig. 8b gewählt.

Die Symmetrie der Gegentaktschaltungen kann nur erreicht werden, wenn beide Röhren genau die gleichen elektrischen Abmessungen besitzen, was bekanntlich nur selten der Fall ist; eine Auswahl der Röhren (auch der gleichen Type) ist deswegen wünschenswert, wenn die Möglichkeit hierzu besteht. Abgesehen hiervon ist für Schwingdrosseln mit Eisenkern stets eine Ungleichheit dadurch gegeben, daß es praktisch unmöglich ist, beide Hälften elektrisch genau gleich zu machen; durch geringe Änderung der Betriebsspannung auf einer Seite läßt sich in der Regel hierfür ein guter Ausgleich schaffen. — Für Leser, denen die Wirkungsweise der Gegentaktschaltung nicht geläufig ist, sei sie für unseren speziellen Fall kurz erläutert. Da die Wicklungen A und G der Schwingdrossel in gleichem Sinne gewickelt sind,

durchläuft der Anodenstrom beider Röhren die Spulenhälften in entgegengesetztem Sinne. Bei fehlender Streuung und genau gleichen Gegeninduktivitäten würde ein magnetisches Feld im Eisenkörper nicht vorhanden sein, die Schwingung also nicht einsetzen können. Die Unsymmetrie ist jedoch groß genug, um zunächst eine der beiden Röhren zu erregen, worauf die andere dann zwangsläufig folgt. Bei Frequenzen unterhalb 1 Hertz ist der Einsatz tatsächlich schwierig zu erreichen, wenn gleichzeitig beide Anodenspannungen eingeschaltet werden. Der Generator läuft aber immer ohne Schwierigkeit an, wenn das Einschalten der beiden Betriebsspannungen nacheinander geschieht, da dann eine kräftige Feldänderung im Eisenkörper erfolgt.

Während in allen Einröhrensaltungen das Eisen durch den Anodenstrom eine Vormagnetisierung auch dann erhält, wenn die Röhre nicht arbeitet, fällt diese bei der Gegentaktschaltung fast fort. Das Eisen erfährt durch den Anoden-Wechselstrom eine symmetrische Magnetisierung in beiden Richtungen, ein Vorteil, der wiederum gleiche Schwingströme und gleiche Wechselspannungen an den Belegungen der Kapazität zur Folge hat. Auch eine Reihe von unerwünschten Oberschwingungen werden auf diese Weise unterdrückt.

Daß beide Röhren tatsächlich im Gegentaktschaltung arbeiten, ist durch einen Versuch leicht festzustellen: Zwei in die Anodenzuleitungen geschaltete Milliampereometer (Fig. 8b) laufen mit einer Phasenverschiebung von 180° .

Die Gegentaktschaltung ist natürlich auch für Tonfrequenzen anwendbar, wenn auch für die vorhin erläuterten Versuche nicht notwendig. Allerdings fällt die größere Reinheit der Töne auf, weil die Schwingungen obertonfreier sind. Für die folgenden Versuche ist die Benutzung der Gegentaktschaltung nicht zu entbehren, weil die symmetrischen Wechselspannungen an den Belegungen der Kapazität benutzt werden sollen¹).

Die Gewinnung normaler Wechselströme sehr geringer Frequenz durch den Röhrengenerator.

Wie bereits oben erwähnt ist, wäre es durch Herabsetzung des Ohmschen Widerstandes der Wickelung und durch geeignete Anodenkopplung möglich, kräftige Wechselströme im Schwingkreis zu erhalten, die für Versuche ausgenutzt werden könnten. Solche Ausnutzung würde aber stets einen Eingriff in die Tätigkeit des Generators bedeuten, der sich frequenz- und amplitudenändernd auswirken müßte. Es ist deswegen zur Erzielung größerer nutzbarer Wechselstromleistungen zweckmäßig, die Dimensionen des Generators beizubehalten und ihn auf einen Verstärker arbeiten zu lassen, dessen Abmessungen genügend groß sind. Man erreicht auf diese Weise konstante Frequenz und ist auch vor sonstigen Rückwirkungen der Schaltmaßnahmen im Verstärkerkreis auf den Generator sehr unabhängig, weil die Gitterströme bei den sehr langsamen Schwingungen klein bleiben oder gar nicht vorhanden sind. — Die Leistung, die einem Röhrenverstärker entnommen werden kann, hängt zunächst von der Gitterwechselspannung ab, die ihn steuert. Es ist deswegen notwendig zu untersuchen, wie groß die Wechselspannungen sind, die der Gegentaktschaltung liefert. Sie sind direkt an einem (hochohmigen) Gleichspannungsmesser (mit dem Nullpunkt in der Mitte) abzulesen, wenn das Instrument (GOSSEN) an die Belegungen der Kapazität gelegt wird. Sein Widerstand betrug bei einem Meßbereich von 150 Volt $75\,000\ \Omega$, wodurch ein Kurzschluß der Belegungen, der bei einem niederohmigen Instrument eintreten würde, vermieden wird. Bei Benutzung je einer Röhre RE 134 für den Generator und der Betriebsspannung von je 120 Volt wurde eine Scheitelspannung von 70 Volt abgelesen, wobei die Frequenz sogar noch kleiner als 1 Hertz, nämlich 0.8 Hertz,

¹ Ist die Dämpfung des Schwingungskreises gering, so daß die Anodenströme klein gegen die Kreisströme bleiben, so wäre auch ohne Gegentaktschaltung mit einer Arbeitsröhre die Spannungssymmetrie in genügender Annäherung vorhanden. Für den stark gedämpften Arbeitskreis, wie er hier benutzt werden muß, sind aber die Anodenströme von der gleichen Größenordnung wie die Kreisströme.

war. Die Trägheit des Zeigers ist für so langsame Bewegungen zu vernachlässigen, so daß die abgelesene Spannung als zuverlässiger Wert gelten kann. Nach der bekannten Beziehung zwischen Scheitelspannung und Effektivspannung errechnet sich der Effektivwert der Spannung zu 50 Volt. Wird der Verstärker ebenfalls im Gegentakt geschaltet, so stehen für jeden Takt 25 Volt zur Verfügung, eine Spannung, die ausreicht, um auch Röhren mit größerem Durchgriff so zu steuern, daß sie eine brauchbare Leistung abzugeben vermögen. — Um eine quantitative Vorstellung zu geben, sei ein Beispiel durchgerechnet. — Sobald der geradlinige Teil der Charakteristik nicht verlassen wird, gilt für die Leistungsabgabe der Röhre die Verstärkerformel von BARKHAUSEN

$$N_{a \max} = u_g^2 \frac{S}{4D} \text{ Watt } (R_a = R_i) \dots \dots \dots (6)$$

S ist die Steilheit in Amp./Volt, D der Durchgriff der Verstärkerröhre, u_g die angelegte effektive Gitterwechselspannung. Bei Benutzung der bekannten Verstärkerröhre RE 604, die einen Durchgriff von 25 % und eine Steilheit von etwa 4 Milliamp./Volt hat, ergibt sich eine maximal abnehmbare Leistung von 2,5 Watt. Die Formel gilt nur dann, wenn der äußere Widerstand R_a gleich dem inneren Widerstand R_i der Röhre ist. Da die zweite Röhre unter genau den gleichen Bedingungen arbeitet, würde der Gegentaktverstärker

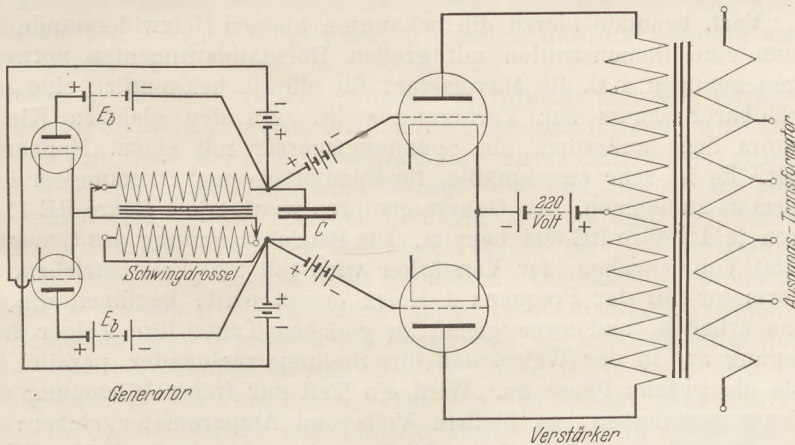


Fig. 9.

mit 2 Röhren RE 604 bei der Frequenz 0,8 Hertz eine Leistung von 5 Watt abgeben können. Wird die Frequenz größer, so wachsen die Steuerspannungen des Generators rasch an, die Leistungsformel wird dann ungültig, weil die Röhren über den geradlinigen Teil der Charakteristik angesteuert werden. Die Leistungen, die abgegeben werden können, nehmen sehr schnell zu, z. B. wurden bei der Frequenz 5 Hertz 15 Watt gemessen (vergl. unten).

Die Bedingung $R_a = R_i$ verlangt (wie früher beim Generator) auch eine Anpassung des Verstärkers; es gelten hier die gleichen Folgerungen, die vorhin für den Generator abgeleitet wurden. Die Abnahme des Wechselstromes kann nur durch einen Ausgangstransformator erfolgen, der möglichst verlustfrei sein muß. Der Widerstand sowohl der Primärwicklung (im Anodenkreis der Röhren) wie der Sekundärwicklung muß möglichst klein sein. Es ergibt sich für so langsame Frequenzen ein Transformator mit ungewöhnlich großem Eisenquerschnitt, so daß sein Aussehen merkwürdig genug anmutet¹⁾. Auf der Sekundärseite besitzt er mehrere Abgriffe, so daß eine Reihe von Teilspannungen abzunehmen sind. Das Gesamtschaltbild des

¹⁾ Den Bau des Transformators hatte die Firma Dr. Dietz und Ritter übernommen. Genauere Angaben über die Einzelmaße des Transformators möchte ich aus mancherlei Gründen zur Zeit noch unterlassen.

Generators mit seinem Verstärker gibt Fig. 9 wieder, die Heizleitungen sind fortgelassen. Am Modell der Staatlichen Hauptstelle lassen sich je 3 Röhren RE 604 parallel schalten, bei den zu beschreibenden Versuchen wird jedoch nur 1 Paar benutzt. Die Betriebsspannung des Verstärkers ist 220 Volt (Gleichstrom-Netz), Heizquelle für Generator und Verstärker ist die gleiche (4-Volt-Sammler). Die Röhren RE 604 verlangen wegen ihres großen Durchgriffs eine Gittervorspannung von etwa — 25 Volt, um den richtigen Arbeitspunkt auf der Charakteristik festzulegen. Sobald der Generator arbeitet, liegt an den Sekundärklemmen des Transformators eine Wechselspannung von der Frequenz, die der Generator erzeugt. Sie ist nicht rein sinusförmig, aber durchaus brauchbar, ihre Amplitude ist ebenso wie ihre Frequenz von größter Konstanz, ohne daß irgend eine Regulierung nötig wäre.

Der experimentelle Nachweis der Wechselstromgesetze mit Wechselströmen der Frequenz 1 Hertz.

An den Sekundärklemmen des Verstärkertransformators liege ein Widerstand von etwa 10Ω in Reihe mit einem Strommesser (Messbereich etwa 500 Milliampere), dessen Zeiger seine Ruhelage in der Mitte der Skala hat. Es kann jedes beliebige Instrument genommen werden, nur wird es zweckmäßig sein, einen stetig veränderbaren Shunt zu nehmen, um die Empfindlichkeit des Instrumentes beliebig verändern zu können. Verf. benutzte hierzu die bekannten kleinen Heizwiderstände für Röhren (20Ω), wenn eine Demonstration mit großen Hörsaalinstrumenten notwendig war. Für Übungen genügen z. B. die Mavometer, für die ja bekanntlich eine sehr große Zahl auswählbarer Shunts zur Verfügung steht. An den gleichen Klemmen des Transformators liegt außerdem ein Spannungsmesser mit einem Meßbereich bis 5 oder 10 Volt. Es ist sehr zweckmäßig, für Spannungs- und Strommesser Instrumente gleichen Formats zu nehmen. Als Generatorröhren werden je 1 Röhre RE 134, als Verstärker röhren je 1 Röhre RE 604 benutzt. Die Betriebsspannung des Generators kann je 50 bis 150 Volt betragen, der Verstärker wird mit 220 Volt betrieben. — Sobald der Transformator mit der Frequenz 1 Hertz erregt wird, beginnen die beiden Instrumente zu arbeiten, und zwar genau im gleichen Takt, ihre Zeiger führen eine Pendelbewegung aus in der Weise, daß ihre Stellung zueinander parallel bleibt, sie zeigen beide die gleiche Phase an. Wird ein Teil der freien Wicklung des Transformators kurz geschlossen, so bleiben Volt- und Amperemeter stehen: Ein kurzgeschlossener Transformator gibt keinerlei Spannung ab. An Stelle des Widerstandes 10Ω wird jetzt die Wicklung eines Transformators in den Stromkreis gelegt, der allerdings die Bedingung erfüllen muß, daß sein Blindwiderstand für die Frequenz 1 Hertz merkbar größer ist als sein OHMScher Widerstand. Verf. benutzte den bereits Seite 201 erwähnten Netztransformator mit der Induktivität 5 H und einem Widerstand 10Ω , so daß also der Blindwiderstand erheblich größer als der Wirkwiderstand war. Die Lage des Voltmeters blieb die gleiche. Nach Einschalten der Wechselspannung zeigen Spannungs- und Strommesser keine einander parallel bleibenden Zeigerstellungen mehr an, sondern ihre Bewegungen sind gegeneinander phasenverschoben. Die Phasenverschiebung beträgt allerdings nicht 90° , entsprechend dem Wirkwiderstand von 10Ω , aber sie ist deutlich sichtbar. Wird die freie Wicklung des als Induktivität benutzten Transformators kurz geschlossen, so treten 2 Erscheinungen auf. Die Amplituden des Strommessers werden plötzlich sehr viel größer, so daß ein anderer Meßbereich gewählt werden muß, und außerdem werden die Zeigerbewegungen wieder gleichphasig. Ein kurzgeschlossener Transformator besitzt abgesehen von einer kleinen Restinduktivität (infolge der Streuung) keine Induktivität, es fällt infolgedessen die Phasenverschiebung fort, und der OHMSche Widerstand der eingeschalteten Primärspule wird allein wirksam. Infolgedessen müssen auch die Stromamplituden stark anwachsen, weil der Blindwiderstand plötzlich verschwindet. Die Versuche lassen sich mit der gleichen Deutlichkeit auch mit höherer Frequenz (2 bis 3 Hertz)

ausführen, wenn die Zeiger der Instrumente nicht allzugroße Trägheit haben. — Die Phasenverschiebung von 90° läßt sich weit besser an einer großen Kapazität zeigen, weil ihr Wirkwiderstand bei guten Kondensatoren für so niedrige Frequenzen völlig zu vernachlässigen ist. Der Versuch ist besser bei etwa 2 Hertz zu machen, damit die Ladeströme des Kondensators nicht allzu klein werden. Als Kapazität wurden $100 \mu F$ benutzt. Die Zeigerstellungen gegeneinander entsprechen genau einer Phasenverschiebung von 90° , wobei bei schnellem Umschalten auch gezeigt werden kann, daß an der Kapazität die Spannung dem Strom nacheilt, bei der Induktivität dagegen voreilt. — Die Versuche lassen sich noch weiter ausdehnen, indem die Kapazität in Reihe mit einem OHMSchen Widerstand geschaltet wird; Spannung am Widerstand und Spannung an der Kapazität sind dann um 90° phasenverschoben, während der Strom sowohl gegen Spannung an Kapazität wie am Widerstande eine kleinere Phasenverschiebung hat. Die Widerstände der Spannungsmesser müssen bei diesem Versuch naturgemäß groß gegen den OHMSchen Widerstand und gegen den Blindwiderstand der Kapazität sein.

Mit einigen kleinen Glühlämpchen und einem Spannungsmesser läßt sich zeigen, daß die Leistungskurve die doppelte Frequenz der Spannungskurve hat. Die Lämpchen leuchten auf, wenn der Zeiger des Spannungsmessers die beiden Scheitelwerte der Spannung anzeigt. Sobald der Zeiger durch Null hindurchgeht, sind die Lämpchen dunkel. Durch den Versuch ist gleichzeitig gezeigt, daß die Leistung stets mit der Spannung in Phase ist.

Die Leistung, die der Verstärker abzugeben vermag, und sein Wirkungsgrad ist leicht nach der Formel (3) zu messen. An den Ausgangstransformator wird ein bekannter Widerstand gelegt und der ihn durchfließende Strom mit einem guten Wechselstrommesser gemessen. Der Widerstand betrug $10 \cdot 5$ Ohm, der für die verschiedenen Messungen beibehalten wurde. Bei der Frequenz 1 Hertz und je 1 Verstärkerröhre im Gegentakt wurde eine Leistung von etwa 3 Watt gemessen. Die mittlere Stromstärke mußte geschätzt werden, da das Wechselstrominstrument bei so niedriger Frequenz nicht still steht. Bei Erhöhung der Frequenz auf 5 Hertz stieg die Leistung eines Röhrenpaares auf 10 Watt, von 3 Röhrenpaaren auf 30 Watt. Bei 8 Hertz wurde eine Nutzleistung von 15 Watt, bzw. 45 Watt, gemessen. Die von den Röhren gelieferte Leistung ist größer, weil in der Wickelung des Transformators immerhin noch eine wenn auch geringe Leistung verloren geht. Der Wirkungsgrad der 6 Verstärkerröhren bei der Frequenz 8 Hertz betrug etwa 68%, denn der Anodenstrom war 280 Milliampere bei 220 Volt Anodenbetriebsspannung¹⁾. Der Anodenwirkungsgrad der Röhren ist also recht hoch, doch ist nicht außer acht zu lassen, daß ihre Heizleistung $13 \cdot 5$ Watt betrug, wodurch der Gesamtwirkungsgrad auf etwa 56% sinkt. Bei höheren Anodenspannungen ergibt sich ein weit geringerer Anteil der Heizleistung. Wenn endlich der Wirkungsgrad der Gesamtanordnung bestimmt werden soll, so ist noch die Leistung in Rechnung zu setzen, die der Generator verbraucht. Sie ist jedoch selbst bei einer Betriebsspannung der beiden Generatorröhren von je 150 Volt nur mit 1 Watt anzusetzen, so daß der Wirkungsgrad der Gesamtanordnung dadurch kaum beeinflußt wird.

Übersicht und Voraussicht.

Vorstehend sind eine Reihe Versuche beschrieben worden, deren Ausführung zum Teil mit geringeren Mitteln möglich ist. Hierzu gehören wohl alle Versuche mit dem Röhrengenerator selbst. Dem Leser werden jedoch die Versuche am wich-

¹⁾ Bei so hohen Wirkungsgraden ist der geradlinige Teil der Charakteristik natürlich schon längst überschritten. Bei der Frequenz 1 Hertz ist die angegebene Leistung noch recht bescheiden und weit kleiner, als die Rechnung erwarten läßt. Der Unterschied zwischen Rechnung und Versuch ergibt sich daraus, daß der Transformator die Bedingung $R_a = R_i$ noch nicht erfüllt; seine Abmessungen müßten für die Frequenz 1 Hertz noch größer sein.

tigsten erscheinen (wie auch dem Verfasser), die nur mit dem Verstärker auszuführen sind. Sie sind, soweit dem Verfasser bekannt, neu und geben eine leichte und sinnfällige direkte Aufklärung über Erscheinungen, die durch den Versuch bis jetzt nur umständlich zu zeigen waren. Da die Wechselstromphysik durch die moderne Energieübertragung und durch die drahtlose Telephonie sehr in den Vordergrund des Interesses gerückt ist, müssen solche Versuche, die ihre grundlegenden Gesetze zeigen, sehr an Bedeutung gewinnen. — Da es auch Aufgabe dieser Zeitschrift ist, neue Wege zu zeigen, so wird es der Leser begrüßen, von neuen Versuchen auch dann zu hören, wenn ihm ihre Durchführung zur Zeit aus Mangel an Mitteln, die ja heute so knapp bemessen sind, nicht möglich ist.

Zu den Versuchen selbst seien noch einige sachliche Bemerkungen gestattet. Die Versuche zur Wechselstromphysik bleiben unvollständig, solange nicht die quantitativen Vorgänge des Wechselstromdurchgangs durch eine Induktivität oder Kapazität oder durch eine Kombination beider nachgewiesen sind. Auch die Abhängigkeit der Stromstärke von der Frequenz müßte noch besprochen werden, die sofort auf die Erscheinung der Strom- und Spannungsresonanz führt. Alle diese grundlegenden Versuche sind leicht und übersichtlich nur mit Frequenzen durchzuführen, die schon weit im akustischen Gebiet liegen. Versuche mit 50 Hertz sind in dieser Zeitschrift schon beschrieben, aber sie bleiben doch immer ein Notbehelf. Eine Leistung von 20 Watt müßte für solche Versuche zur Verfügung stehen! Verf. ist zur Zeit mit der Durchbildung eines Verstärkers beschäftigt, der bei einem Frequenzbereich von 1 bis 3000 Hertz eine solche Leistung abzugeben vermag. Sollten die Versuche zu einem guten Ergebnis führen, so wäre nach Ansicht des Verf. ein Wechselstromgenerator geschaffen, der geeignet sein könnte, alle Gesetze der Wechselstromphysik in besserer und umfassenderer Weise durch den Versuch zu erhärten, als es bis jetzt durch die Maschine möglich ist. Verf. hofft, über seine Arbeiten bald in dieser Zeitschrift berichten zu können.

Kleine Mitteilungen.

Die Verwertung der schiefen Ebene zu einer Einführung in die Dynamik der Rotation.

Von Dr. Wilhelm Preusser in Hamm (Westf.).

Noch recht häufig begegnet man dem schon vielfach gerügten Fehler, daß die Beschleunigung rollender Körper auf einer schiefen Ebene vom Neigungswinkel α durch die Beziehung $b = g \cdot \sin \alpha$ zur Beschleunigung g des freien Falles gegeben sei¹. Ebenso ist gelegentlich zu hören, die schiefe Ebene könne immerhin als „Veranschauligungsmittel einer gleichförmig beschleunigten Bewegung“ verwandt werden; für messende Versuche sei sie nicht geeignet. Der Satz „Alle Körper fallen gleich schnell“ finde z. B. dadurch eine eigenartige Beleuchtung, daß eine Vollkugel aus Holz schneller rolle als eine äußerlich gleich große eiserne Hohlkugel.

Bereits im Jahre 1894 bezeichnete es demgegenüber P. VOLKMANN² als einen besonderen Vorzug der schiefen Ebene im Vergleich zur ATWOODSchen Fallmaschine, daß sie die Demonstration dieses „vom naturgesetzlichen Standpunkt fundamentalsten Teiles der sog. Fallgesetze“, nämlich den Satz von der gleichen Fallbeschleunigung fallender Körper, besonders gut ermögliche. Es soll hier nicht untersucht werden, inwiefern gegenwärtig Gründe dafür bestehen könnten, die schiefe Ebene für den Demonstrationsunterricht im Hörsaal als von geringerem oder gar zweifelhaftem Werte einzuschätzen, während doch noch im 7. Bande dieser Zeitschrift eine ganze Reihe bekannter Hochschullehrer ihren didaktischen Vorzügen das Wort redete. Im Schulunterricht

¹ Vgl. hierzu K. KRÜSE, diese Zeitschr. 42, 203; 1929.

² Diese Zeitschr. 7, 163; 1894.

und besonders in seiner arbeitsbetonten Gestaltung wird die schiefe Ebene ihrer Billigkeit, leichten Beschaffbarkeit und vielseitigen Verwendbarkeit halber immer als hervorragendes Hilfsmittel gewertet werden, das über die ihr oben zugestandene Nützlichkeit hinaus eine durchaus einwandfreie Verwertung als Fallmaschine zur Erarbeitung der NEWTONSchen Grundgesetze der Dynamik zuläßt¹.

Seit einigen Jahren, allerdings bisher ohne Kenntnis der grundlegenden Arbeit P. VOLKMANNs, die m. E. zu den klassischen Beiträgen zur physikalischen Didaktik zu rechnen ist, verwende ich die schiefe Ebene, um die Schüler auf Grund der mit ihr erarbeiteten Gesetze der Dynamik fortschreitender Bewegungen in das Gebiet der Rotation einzuführen.

Daß nämlich „andere geometrische Formen wie die Kugel, z. B. Vollzylinder und Hohlzylinder, andere Fallgeschwindigkeiten“² auf der schiefen Ebene haben, tritt dem Schüler als ein Problem entgegen, das sich auf Grund des NEWTONSchen Bewegungsgesetzes dahin lösen läßt, daß bei diesen anderen Rollkörpern das Verhältnis von beschleunigender Kraft zur zu beschleunigenden „Masse“ ein anderes ist als bei den Kugeln; aber nur infolge des Rollens, da sie ja frei fallend sich nicht verschieden verhalten. Zur Trägheit translatorisch bewegter Massen tritt beim Abrollen die „Drehmasse“, der Trägheitswiderstand gegen Rotationsbeschleunigung, hinzu. Das Gewicht ist in beiden Fällen die beschleunigende Kraft, so daß für die Rollbeschleunigung γ des „vertikalen Abrollens“ nach NEWTON gilt:

$$(m_a + m) : m = g : \gamma,$$

$$\text{also Drehmasse: } m_a = \frac{g - \gamma}{\gamma} \cdot m.$$

Die „Rollbeschleunigung“ γ der „Rollmasse“ ($m_a + m$) ist definiert als lineare Beschleunigung derjenigen Punkte des rollenden Körpers, die beim Abrollen den größten Kreis durchlaufen, oder als sekundlicher Geschwindigkeitszuwachs der fortschreitenden Bewegung. Die Drehmasse m_a wird im translatorischen Sinne einfach als Zusatzmasse zur Masse m des Körpers, wie sie durch Wägung zu bestimmen ist, gedeutet. Es ist diejenige Masse, die man im Umfange des bei der Rotation durch Punkte des rotierenden Körpers erzeugten größten Kreises anzubringen hat, damit ihr Trägheitswiderstand gegen Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit gleich dem des rotierenden Körpers selbst ist. Der Massenbegriff des Schülers wird so vertieft, ohne daß irgendwie Schwierigkeiten entstehen können. Die arbeitsunterrichtliche Besprechung der Beobachtungen ist fruchtbar und führt zu folgenden allgemeinen Ergebnissen, die, aus unmittelbarer Anschauung gewonnen, dem Schüler als Naturerkenntnisse lebensvoll entgegenreten:

1. Alle Massenpunkte eines Hohlzylinders mit zu vernachlässigender Wandstärke haben die größte lineare Rotationsbeschleunigung γ . Seine Gesamtmasse ist also als Drehmasse voll in Anrechnung zu bringen. Hieraus erklärt sich, daß die vertikale Rollbeschleunigung $\gamma = \frac{1}{2} g$ ist.

2. Die Drehmasse von Vollzylindern, und noch mehr die von Vollkugeln, ist kleiner als der Betrag der durch Wägung bestimmten Masse, weil die im Inneren dieser Körper liegenden Massenpunkte wegen kleinerer linearer Beschleunigung geringeren Trägheitswiderstand leisten als die äußeren.

3. Die gleiche Rollbeschleunigung aller gleichartigen Rollkörper auf derselben schiefen Ebene unabhängig von Stoff und Masse erweist, daß die „Drehmasse“ der Masse und dem Gewicht proportional und vom Radius des größten Kreises unabhängig ist.

Über die Ergebnisse der Messungen wird unten im Zusammenhange kurz berichtet.

¹ A. HAAS, Einführung in die theoretische Physik, Bd. I, S. 13 u. 14. Leipzig 1919.

² P. VOLKMANN, a. a. O.

Setzt man nunmehr in der Energiegleichung

$$mgh = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}m_d \cdot v_1^{2*},$$

in welcher

$$v_1 = \sqrt{2\gamma h} \text{ ist, } v_1 = r \cdot \omega,$$

so ist:

$$mgh = \frac{1}{2}uv_1^2 + \frac{1}{2}m_d \cdot r^2 \cdot \omega^2.$$

Auf die Bewegungsenergie der Rotation entfällt der Betrag

$$E_{rot} = \frac{1}{2}m_d r^2 \cdot \omega^2,$$

und wir erhalten als Maß der trägen Masse des mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotierenden Körpers, des sog. Trägheitsmomentes, d. h. der wegen ihrer Beziehung zu ω rotatorisch definierten Drehmasse:

$$K = m_d \cdot r^2.$$

Das Trägheitsmoment läßt sich bekanntlich translatorisch veranschaulichen als Drehmasse im Abstand 1 von der Drehachse, ebenso wie ω als lineare Geschwindigkeit der Punkte im Abstand 1 von der Achse veranschaulicht wird. Der Schüler

wird nach obigem auch diesen Begriff, den er ja buchstäblich „erlebt“, leicht erfassen und im Lehrgespräch nach Analogie selbständig zu formulieren imstande sein.

Die schiefe Ebene, die wir bei unseren Rollversuchen verwandten, ist in Fig. 1 abgebildet.

Eine Spiegelglasscheibe wurde, in der Mitte gegen Durchbiegung gestützt, mit der Linealkante geebnet und auf einer völlig ebenen Tischplatte des Arbeitsraumes (nicht auf dem Experimentiertisch!) mit der Libelle so eingerichtet, daß die Vollkugeln ohne seitliche Ab-

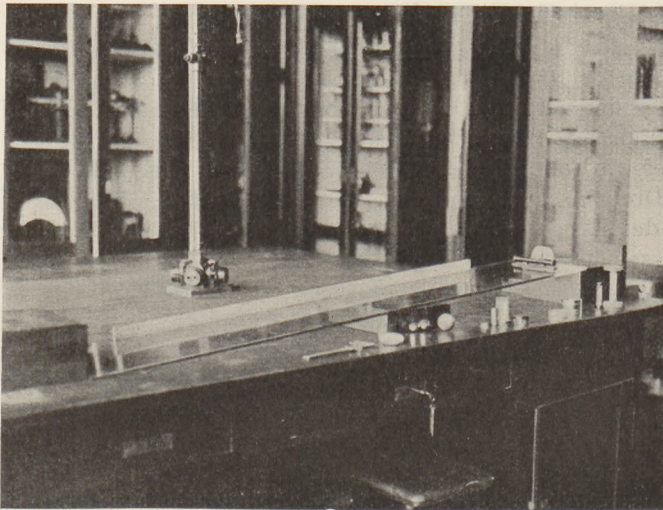


Fig. 1.

weichung die ganze schiefe Ebene herunterrollten. Durch Schraubzwingen wurde sie gegen unachtsame Veränderungen gesichert. Sie eignet sich für unsere Zwecke besser als die merklichen Reibungswiderstand bietende Fallrinne. Die Messungen wurden in engster Arbeitsgemeinschaft von Lehrer und Schülern durchgeführt und in zeiter sparender Arbeitsteilung ausgewertet. Die Zeitmessung ist der schwierigste Teil der Aufgabe. Da die Beobachtungen der Schüler ungleichmäßig ausfielen, betätigte der Verfasser Auslöser und Zehntelsekunden-Stoppuhr selbst. Die Schüler hatten das Auslösen der Rollbewegung und das rechtzeitige Abstoppen der Uhr zu überwachen. Durch gemeinsames Schätzen wurde dann eine Einigung über den erhaltenen Zeitraum herbeigeführt. Als Rollkörper wurden verwendet:

1. In der Hauptsache kreiszylindrische Gewichtstücke ohne Knopf und Eichplombe bis zum 500 g-Nennwert als Vollzylinder,

* P. VOLKMANN, a. a. O.

2. Glatte Serviettenringe¹ aus Galalith und Messing und ein Stück Aluminiumrohr als Hohlzylinder,

3. Stahlkugeln bis zu etwa 3 cm Durchmesser als Vollkugeln.

Die Beobachtungen, z. B. an Vollkugeln:

Länge der schiefen Ebene	$l = 136$ cm,
Höhe der schiefen Ebene	$h = 9,8$ cm
Fallweg	$s = 134$ cm,
mittlere Fallzeit (10 Beobachtungen) .	$t = 2,308$ sec,

wurden nach $\gamma = \frac{2s}{t^2} \cdot \frac{h}{l}$ sofort auf vertikale Rollbeschleunigung umgerechnet, und

nach $m_a = \frac{g - \gamma}{\gamma} \cdot m$ wurde die Drehmasse m_a bestimmt. — $g = 981$ cm.

Aus allen Messungen in den beiden Obersekunden ergab sich:

1. Vollkugel . . . $m_a = 0,398 \cdot m$ gr²,
2. Vollzylinder . . $m_a = 0,503 \cdot m$ gr,
3. Hohlzylinder . . $m_a = 0,994 \cdot m$ gr.

Also für die Trägheitsmomente:

1. Vollkugel . . $K_1 = 0,398 m r^2$ statt $K_1 = \frac{2}{5} m r^2$,
2. Vollzylinder . $K_2 = 0,503 m r^2$ „ $K_2 = \frac{1}{2} m r^2$,
3. Hohlzylinder . $K_3 = 0,994 m r^2$ „ $K_3 = m r^2$.

Eine Weiterbildung der Gleichung

$$m g h = \frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} K \omega^2 *$$

ergibt sich durch $\omega = \frac{v_1}{\rho}$, wo $\rho \geq r$ ist.

Wir erhalten, da $v_1^2 = 2 \gamma h$ ist:

$$m g = \gamma \cdot \left(m + \frac{K}{\rho^2} \right) ** \dots \dots \dots (a)$$

Wir erkennen in dieser Gleichung eine allgemeine Fassung des 2. NEWTONSchen Bewegungsgesetzes, auf Rollvorgänge erweitert; γ ist die Rollbeschleunigung, $\left(m + \frac{K}{\rho^2} \right)$ die Rollmasse des durch sein eigenes Gewicht vertikal abrollenden Rollkörpers. Läßt man z. B. eine Stahlkugel, einen kleinen Gummiball (als Hohlkugel), einen Vollzylinder und einen Serviettenring gleichzeitig eine schiefe Ebene herunterrollen, so sind die Rollbeschleunigungen verschieden und bei gleicher beschleunigender Kraft den Rollmassen umgekehrt proportional.

Für eine Kreisscheibe vom Radius r , die um eine durch ihren Mittelpunkt gehende Achse vom Radius ρ bzw. für einen massiven Kreiszyylinder, der auf zwei zu seinen Grundflächen konzentrischen Scheiben abrollt, folgt aus Gleichung (a):

¹ Bereits vor dem Kriege hat, wie ich erfahre, Kollege BÖNIGKE in Minden das Trägheitsmoment von Serviettenringen durch Fallversuche an der schiefen Ebene gemessen.

² gr = Abkürzung für Gramm, um Verwechslung mit dem Symbol der Schwerebeschleunigung zu vermeiden.

* Aus dieser Gleichung folgt leicht, wie auch bei K. KRÜSE a. a. O. mitgeteilt: $\gamma = \frac{g}{1 + \frac{K}{m r^2}}$.

Da nun γ für jede Art von Rollkörpern konstant ist, so ist: $\frac{K}{m r^2} = \text{const.}$ oder $K = \text{const.} \cdot m r^2$. Diese Konstante ergibt sich für die einzelnen Klassen von Rollkörpern aus den Rollversuchen an der schiefen Ebene.

** P. VOLKMANN, a. a. O.

$$g = \gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{r^2}{\rho^2} \right)^{-1} \dots \dots \dots (b)$$

1. Auf den Fall $\rho > r$, z. B. ein Filmröllchen, gehen wir nicht ein. Grenzfall $\rho \rightarrow \infty$; γ nähert sich g .

2. Für $\rho < r$, Grenzfall $\rho \rightarrow 0$, die reine Rotation, erhalten wir eine Form des MAXWELL-GIESELERschen Fallrads. Setzt man z. B. $\rho = \frac{1}{30} r$, entsprechend $2r = 15$ cm und $2\rho = 0,5$ cm, so ist:

$$\gamma = \frac{1}{451} g = \text{etwa } 2,18 \text{ cm.}$$

Damit sind für den Schüler die Erscheinungen am MAXWELL-GIESELERschen Fallrad völlig erklärt. Nicht das Trägheitsmoment K , sondern die Rollmasse $m + \frac{K}{\rho^2}$ ist wegen des im Verhältnis zu r so kleinen ρ außerordentlich groß.

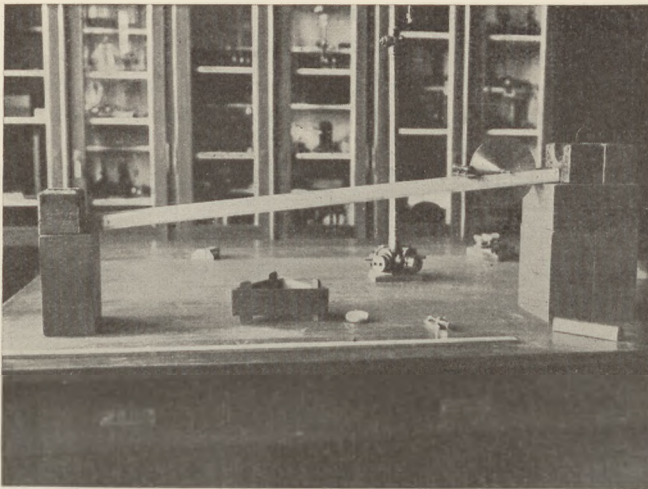


Fig. 2.

Wie ich erfahren habe, ist das MAXWELL-GIESELERsche Fallrad bei der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht als „vertikale Fallrinne“ schon lange in Gebrauch. Die in Fig. 2 dargestellte „Fallschiene“ ist eine Kombination von schiefer Ebene und Fallrad. Als Meßinstrument hat sie sich bei uns derart bewährt, daß ich glaube sagen zu können: hier liegt diejenige Form der schiefen Ebene vor, die bei der Messung der Fallbeschleunigung g dem Fadenpendel mindestens ebenbürtig ist. Man wird leicht er-

kennen, wie sie aus Material der H. HAHNSchen Schülerübungen aufgebaut ist². Wir rechnen nach

$$g = \frac{2s}{l^2} \cdot \frac{l}{h} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{r^2}{\rho^2} \right).$$

Die Ergebnisse von 5 Messungen (je 10 Zeitbestimmungen) sind nach der Größe geordnet.

$$\left. \begin{array}{l} g_1 = 977,5 \\ g_2 = 978,4 \\ g_3 = 978,8 \\ g_4 = 979,0 \\ g_5 = 982,8 \end{array} \right\} \text{Mittel: } g = 979,3 \text{ cm.}$$

Bei Verwendung zweier Glasstreifen, wie sie als „Türschützer“ in den Warenhäusern billig zu haben sind, als Fallschiene, erhielten wir ohne weiteres $g = 981$ cm. Allerdings kommt auf gläserner Unterlage der schwere Fallkörper leicht etwas ins Gleiten, wenn der Neigungswinkel ein gewisses Maß überschreitet. In unserem Lehrgang spielt diese Messung wesentlich die Rolle eines experimentum crucis.

¹ Vgl. P. VOLKMANN, a. a. O., S. 163, Formel 3.

² Die Firma „Elphy“, Elektrophysikalische Werkstätten, Hamm i. W. liefert die Fallscheibe in guter Ausführung nebst Aufbewahrungsgestell.

In der Gleichung (a): $m g = m \gamma + \frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma$ ist $\frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma$ die Kraft, welche der Masse $\frac{K}{\varrho^2}$ die Beschleunigung γ erteilt, also, da beide translatorisch definiert sind, ist $\frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma$ eigentlich keine „Drehkraft“, sondern schlechthin die Kraft, die die Masse $\frac{K}{\varrho^2}$ translatorisch beschleunigt. Die Frage nämlich, ob es außer einer Drehmasse auch eine besondere Drehkraft gibt, hatte uns im Anschluß an H. HAHN¹ im Schülerpraktikum zum Momentensatz geführt. Wir setzen nunmehr:

$$\frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma = K \cdot \frac{\gamma}{\varrho} \cdot \frac{1}{\varrho}.$$

$\frac{\gamma}{\varrho}$ ist die Winkelbeschleunigung β , also ist:

$$\frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma = K \cdot \beta \cdot \frac{1}{\varrho} \quad \text{und} \quad \varrho \cdot \frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma = K \cdot \beta.$$

Die linke Seite dieser Gleichung ist aber nichts anderes als das Moment der Kraft $\frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma$, da die Masse $\frac{K}{\varrho^2}$ im Abstand ϱ von der Achse konzentriert gedacht ist.

Setzen wir, was am Wesen der Sache nichts ändert, $\varrho = r$ und damit $\frac{K}{\varrho^2} = m_a$, so erhält γ einen anderen Wert γ_1 , während das Trägheitsmoment bei Beibehaltung des Rotationskörpers dasselbe ist.

Es wird:

$$m_a \cdot \gamma_1 = \frac{K}{r^2} \cdot \gamma_1,$$

$$m_a \cdot \gamma_1 = K \cdot \frac{\gamma_1}{r} \cdot \frac{1}{r},$$

$$r \cdot m_a \cdot \gamma_1 = K \cdot \beta_1.$$

Ist nun noch $\beta = \beta_1$, d. h. $\gamma : \gamma_1 = \varrho : r$ (starrer Rotationskörper), so erhalten wir den Momentensatz in der Form:

$$r \cdot m_a \cdot \gamma_1 = \varrho \cdot \frac{K}{\varrho^2} \cdot \gamma.$$

Beide Momente sind außerdem gleich $K \cdot \beta$, und es ergibt sich entsprechend der dynamischen Grundbeziehung

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \cdot \text{Beschleunigung}$$

die Grundformel der Dynamik der Rotation:

$$P \cdot a = K \cdot \beta,$$

in welcher $P \cdot a$ als Symbol der „Drehkraft“, des Kraftmoments, aufzufassen ist. — Es wird vielleicht nützlich sein, den Schüler darauf hinzuweisen, daß der Ausdruck $K \cdot \beta$ seinen Charakter als „Drehkraft“ verliert, wenn man sich das Trägheitsmoment K in der üblichen Weise als Ersatzmasse im Abstand 1 cm von der Drehachse und die Winkelbeschleunigung β ebenfalls im translatorischen Sinne linear veranschaulicht. $K \cdot \beta$ ist dann nur „Kraft schlechthin“ und ihr Moment, die „Drehkraft“, ist $K \cdot \beta \cdot 1$, da ja der Kraftarm 1 cm ist. Die Grundformel:

$$P \cdot a = K \cdot \beta$$

bleibt also auch in dieser Deutung als Momentensatz formal richtig.

Vorlesungsversuch zur Demonstration der Energie der Kanalstrahlen.

Von E. Badareu in Cernăuți.

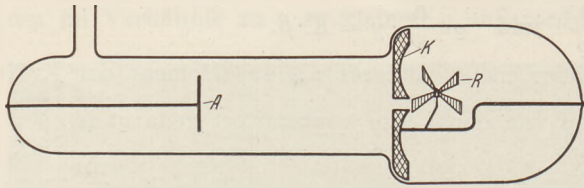
Schulversuche, die in Analogie zu den bekannten Versuchen über die Energie der Kathodenstrahlen die kinetische Energie der Kanalstrahlen demonstrieren sollen,

¹ H. HAHN, Handbuch für physikalische Schülerübungen, 24. u. 25. Aufgabe; 2. verb. Auflage, Berlin 1913.

sind, soweit es dem Verfasser bekannt ist, bisher nicht beschrieben worden. Im folgenden werden solche Versuche mitgeteilt.

In einem Entladungsrohr, dessen engerer und weiterer Teil (siehe die Figur) einen Durchmesser von 2,5 cm bzw. 4 cm haben, dient als Anode *A* eine Kupferplatte (Durchmesser 1,5 cm), als Kathode eine Eisenplatte (Durchmesser 4 cm, Dicke 0,5 cm).

Die Kathode hat in ihrer Mitte einen Kanal (Durchmesser 0,3 cm), und ringsum ist eine Öffnung desselben vertieft, wie aus der Figur ersichtlich ist. Sie ist an die Innenwand des Rohres so angepaßt, daß ein Durchgehen der Entladung zwischen Wand und Platte unmöglich ist. Im weiteren Teile des Entladungsrohres befindet sich in unmittelbarer Nähe der Kathode auf einer feinen Drahtspitze ein sehr leichtes metallisches Mühlrädchen *R*. Der dünne Draht, dessen Spitze das Rädchen trägt, ist rechtwinklig umgebogen und so an der Kathodenzuleitung befestigt, daß Rädchen und Kathode wegen des metallischen Kontaktes immer das gleiche Potential haben. Eine positive Aufladung



des Rädchens wird so vermieden. Das Rädchen hat vier Flügelchen aus Aluminiumfolie (Dicke 0,015 mm, Länge 7 mm, Breite 4 mm). Diese sind an einem sehr kleinen und leichten konischem Metallager befestigt, welches auf der Spitze leicht

drehbar sitzt. Das Gesamtgewicht des Mühlrädchens beträgt 21 mg. Um ein Herabfallen des Rädchens beim Transport zu verhindern, kann man an die Kathode einen zweiten dünnen Draht befestigen, dessen Spitze sich etwa 0,5 mm über dem Lager befindet.

Verbindet man die Anode mit dem positiven Pol einer elektrostatischen Maschine (HOLTZ) und erdet die Kathode, so beobachtet man bei einem bestimmten Gasdruck (Füllgas Luft) und bei einer bestimmten Gesamtstromstärke ein feines deutliches Kanalstrahlenbündel. Fällt dieses auf die Flügelchen, so wird das Rädchen durch die kinetische Energie der Kanalstrahlteilchen in eine sehr schnelle Rotation versetzt. In den vorliegenden Versuchen war der optimale Druck 0,03 bis 0,06 mm Hg, die Stärke des Entladungsstromes etwa 10^{-4} A, die Potentialdifferenz zwischen Anode und Kathode 3000 bis 5000 V.

Mit derselben Anordnung kann man die Energie der Kanalstrahlen noch auf andere Weise demonstrieren.

An Stelle des Mühlrädchens wird eine kleine und sehr dünne Folie aus WOOD-Legierung befestigt (Dicke etwa 0,08 mm, Länge 8 bis 10 mm, Breite 1 bis 2 mm). Wenn die Entladungsstromstärke genügend groß ist (20 bis 30 mA), dann wird die Folie durch die Energie der Kanalstrahlen in kurzer Zeit zum Schmelzen gebracht. In derselben Zeit konnte sich natürlich die Kathode wegen ihrer relativ großen Masse nur um wenige Grade erwärmen. Bei diesem zweiten Versuch war der Gasdruck zwischen 0,1 und 1 mm Hg.

Natürlich ist es vorteilhafter, für beide Versuche dasselbe Entladungsrohr zu verwenden. Dann muß jedoch der weitere Teil desselben mit einem Schliff so geschlossen werden können, daß man von einem Versuch leicht zum anderen übergehen kann.

Ein solches Entladungsrohr kann von der Firma Leybolds Nachfolger A. G. in Köln bezogen werden.

Cernăuți, Physikalisches Institut der Universität.

Die Demonstration verdichteter Gase.

Von Heinrich Rheinboldt in Bonn.

Die Verdichtung gasförmiger Stoffe zum tropfbar-flüssigen Zustande kann auf zweierlei Art demonstriert werden, durch Verflüssigung unter Druck bei normaler oder wenig erniedrigter Temperatur oder durch Tiefkühlung unter den Siedepunkt des flüssigen Stoffes.

Die Druckverflüssigung von Gasen läßt sich vorführen nach dem eleganten, klassischen Verfahren von M. FARADAY (1828), indem man geeignete Verbindungen, die das zu verdichtende Gas durch thermische Zersetzung abgeben, in einem geschlossenen Winkelrohr, dessen einer Schenkel das Ausgangsmaterial enthält, erhitzt¹. Diese Versuche werden im Unterricht, wegen der damit verbundenen Gefahr, selten gezeigt.

Anders steht es mit der Verflüssigung von Gasen durch Tiefkühlung. Hierbei geht man in der Versuchsanordnung allgemein so vor, daß eine geeignete Vorlage in eine Kältemischung eingetaucht wird. Dieses Verfahren besitzt den Nachteil, daß der Verdichtungsvorgang vom Auditorium nicht mitbeobachtet und verfolgt werden kann. Erst wenn sich eine ausreichende Menge Flüssigkeit in der Vorlage angesammelt hat, kann diese — meist nur kurze Zeit — aus dem Kältegemisch entfernt und das verdichtete Gas vorgezeigt werden. Hierzu ist häufig ein Abtrennen des Verdichtungsgefäßes von der übrigen Apparatur erforderlich, was mit Belästigungen verbunden sein kann.

Um diesen Übelstand des üblichen Verfahrens zu vermeiden, wandte JOH. THIELE in seinen Vorlesungen ein Kondensationsprinzip an, das eine Innenkühlung des Verdichtungsgefäßes vorsieht. Nach diesem Vorbilde² wurde ein Verdichtungsapparat für gasförmige Stoffe ausgebildet, der sich bei den Übungen zur Ausbildung der Lehramtskandidaten in Demonstrations- und Unterrichtsversuchen seit einigen Jahren bestens bewährt hat.

Der Gasverdichtungsapparat (Fig. 1) besteht aus zwei Teilen, dem äußeren doppelwandigen Mantelgefäß (A) mit dem Sammelansatz für das verdichtete Gas (B) und dem Kühlgefäß zur Aufnahme der Kältemischung (C). Beide Teile sind durch einen guten Schliff miteinander verbunden. Das Mantelgefäß ist in einem schweren Holzfuß montiert.

Das scharf getrocknete Gas wird von unten zugeleitet, umstreicht in einem dünnen engen Röhrchen den Sammelansatz und trifft dann auf die zylindrische Fläche des Kühleinsatzes. Hier verdichtet es sich und fällt deutlich sichtbar tropfenweise in den Sammelansatz. Durch die Führung des nachströmenden Gases wird erreicht, daß dieses durch das kondensierte Gas bereits vorgekühlt wird. Die Doppelwandigkeit des Mantelgefäßes verhindert Wärmeverluste und ein Beschlagen der Gefäßwand durch Luftfeuchtigkeit. Der nicht verdichtete Anteil des Gases entweicht durch das in den oberen Teil des Apparates eingeschmolzene Ableitungsrohr. Zur Kontrolle der Verdichtungsgeschwindigkeit wird vor und hinter das Verdichtungsgefäß ein Blasenähler geschaltet (Fig. 2). Es empfiehlt sich, zuerst die Kältemischung einzufüllen und darauf erst mit der Gaszufuhr zu beginnen.

Bei Verwendung geeigneter Kältemischungen erfolgt die Gasverdichtung außerordentlich schnell; bei geeignet regulierter Gasgeschwindigkeit entweicht nach ein bis zwei Minuten kein unverdichtetes Gas mehr. Erforderlich ist, daß der Schliff sorgfältig gedichtet wird; man erreicht dies durch Einreiben mit einem zähen Fett. Nach beendetem Versuch ist der Schliff zu säubern; beim Aufbewahren des Apparates klemmt man am besten einen Papierstreifen zwischen den Schliff, damit er sich nicht festsetzt.

Mit Hilfe dieses Apparates läßt sich die Verflüssigung folgender Gase leicht und schnell demonstrieren: Chlor, Schwefeldioxyd, Stickstofftrioxyd, Stickstofftetroxyd, Bromwasserstoff, Jodwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak³, Nitrosylchlorid u. a. Auch zum Auffangen des nach dem Kontaktverfahren gewonnenen Schwefeltrioxyds

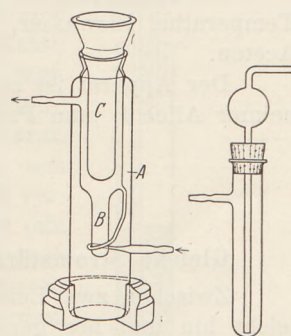


Fig. 1.

Fig. 2.

¹ Vgl. MICH. FARADAY, Chemische Manipulationen oder das eigentlich Praktische der sicheren Ausführung chemischer Arbeiten und Experimente, Weimar 1828, S. 516 ff.

² Vgl. auch H. WICHELHAUS, Apparat zu Versuchen mit Schwefeltrioxyd, Ber. 34, 4135 (1901).

³ Anschließend zeigt man in dem Apparat selbst die Löslichkeit und Lösungsfarbe der Alkalimetalle in flüssigem Ammoniak, sowie die Entfärbung der Lösung unter Bildung von Metallamiden durch Zugabe gewisser Katalysatoren, am besten von etwas A-Kohle.

ist der Apparat geeignet; die Gase werden in diesem Falle von oben eingeleitet, das SO_2 schlägt sich an den Wandungen des Kühlgefäßes¹ nieder und kann mit diesem zu weiteren Versuchen herausgenommen werden. Ferner läßt sich auch der bei chemischen Reaktionen gebildete Wasserdampf, z. B. bei der Verbrennung von Wasserstoff, bei der Reduktion von Oxyden durch Wasserstoff, bei der Einwirkung von Kohlendioxyd auf gelöschten Kalk u. a. m., vorteilhaft in dem Apparat kondensieren.

Von organischen Verbindungen kommen in Betracht z. B. Chlormethyl, Brommethyl, Dimethyläther, Methylnitrit, Äthylnitrit, Methylamin, Äthylamin, Formaldehyd, Acetaldehyd.

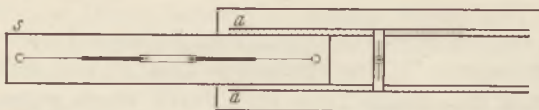
Als Kältegemische verwendet man, je nach der zur Verdichtung erforderlichen Temperatur, Eiswasser, Eis-Kochsalz, Eis-Schwefelsäure ($D. = 1,65$), Kohlendioxyd-Aceton.

Der Apparat ist zu beziehen von der Firma Hans Hilgers, Bonn, Meckenheimer Allee 4, zum Preise von RM 12,—.

Für die Praxis.

Gleiche Stromstärke in einem Leiter. Von E. Hensel in Villingen.

Zwischen zwei Leisten a eines Grundbrettes (siehe Figur) kann ein zweites Brett S leicht hin und her geschoben werden. Auf diesem sind zwischen zwei Klemmen mehrere Leiter hintereinander angeordnet, beispielsweise ein sehr dünner Kupferdraht, dessen rechtes Ende an einen dickeren



Messingdraht gelötet ist. Dieser ragt mit dem anderen Ende in eine Glasröhre, die mit Quecksilber gefüllt und beiderseits mit Korkstopfen verschlossen

ist. An diese schließt sich ein dicker Kupferdraht und daran wieder ein dünner Konstantendraht. Natürlich kann auch irgendeine andere Auswahl von Leitern getroffen werden. Auf einem Steg, quer über die Führungsleisten geschraubt, balanciert auf der Spitze einer durchgesteckten Grammophonnadel eine Magnethöhle. Schiebt man nun das Brett S unter dem Steg hindurch, so zeigt bei Stromdurchgang die Nadel an jeder Stelle einen unveränderlichen Ausschlag. Man hat nur darauf zu achten, den Abstand der verschiedenen Leiterstücke von der Nadel gleich zu machen. Ergänzend wird man die beschriebene Anordnung auch dazu benutzen, ein Voltmeter an die Enden der einzelnen Leiter zu legen, um die Verschiedenheit des Spannungsabfalls nachzuweisen. Stellt man dann weiterhin die Stromstärke in Ampere fest und variiert die Gesamtspannung, so ist es ein leichtes, für jeden Leiterteil wenigstens mit einiger Genauigkeit zu zeigen, daß das Verhältnis aus Spannungsteil und Stromstärke, also der Widerstand, konstant ist.

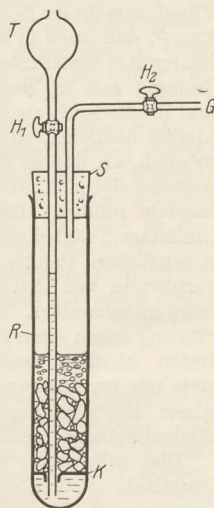
Ein Ersatz für den Kippschen Apparat. Von Otto Gall in Berlin.

Bei Schülerübungen in gleicher Front benutze ich als Ersatz für den KIPPSchen Apparat folgendes einfache Gerät, das von den Schülern aus dem vorhandenen Material leicht zusammengesetzt werden kann. Als Entwicklungsgefäß dient ein starkwandiges Reagensglas R von 28 mm innerer Weite (entsprechend den Normen des Deutschen Ausschusses für chemisches Apparatewesen, der Dechema) und etwa 18 cm Länge (siehe die Figur). Verschlossen wird dieses Glas mit einem doppeltdurchbohrten Gummistopfen S , durch den ein Hahntrichter T und ein rechtwinklig gebogenes Glasrohr G (6 bis 7 mm äußerer Durchmesser) mit Glashahn H_2 führt. Der Hahntrichter T muß nahezu bis auf den Boden von R reichen, wenn dieses durch den Stopfen fest ver-

¹ Dieses darf nur zur Hälfte mit Eis-Kochsalz gefüllt werden!

geschlossen ist. Um zu verhindern, daß das für die Wasserstoffentwicklung notwendige Zink bis auf den Boden des Glases gleitet, stecke ich das untere Ende des Hahntrichters durch ein mit einem genügend weiten Loch versehenes Glasscheibchen *K*, dessen äußerer Durchmesser beinahe gleich dem inneren Durchmesser von *R* ist.

Das Füllen des Apparates erfolgt dann so, daß ich den Hahntrichter mit dem genügend weit übergeschobenen Glasscheibchen in das horizontal gehaltene Reagensglas einführe, den Stopfen aber nicht aufsetze, sondern durch die verbliebene Öffnung Zinkstücke von passender mittlerer Größe schiebe. Wird schließlich der Stopfen fest aufgesetzt und das Reagensglas aufgerichtet, so verteilt sich das Zink nach einigem Klopfen derart gleichmäßig, daß das Metall nicht auf den Boden gelangt und das Scheibchen horizontal liegt. Das Einfüllen der verdünnten Säure durch *T* und die weitere Handhabung des Apparates erfolgt wie bei dem KIPPSchen Apparat. *R* kann in ein Stativ eingespannt werden. Der Hahn *H*₁ an dem Hahntrichter ist bei dieser Versuchsanordnung überflüssig. Ich verwende den Trichter nur, weil er eine ausreichende Größe hat (ein Trichterrohr würde dieselben Dienste leisten), und weil er auch bei anderen Apparaten, die von den Schülern zusammengesetzt werden, benutzt werden kann. *H*₁ darf niemals geschlossen werden. *H*₂ kann für die kurze Zeit, wo der Apparat für gewöhnlich zusammengesetzt bleibt, auch durch einen Schlauch mit gut schließendem Quetschhahn ersetzt werden.



An Stelle des Glasscheibchens *K* habe ich mit Erfolg auch einen Glasring oder ein schraubenförmiges Gebilde benutzt, das sich aus einem Glasrohr oder einem Glasstab von passender Dicke biegen läßt. Der Vorschlag, *K* durch Glasperlen zu ersetzen, erscheint mir unzweckmäßig wegen der Schwierigkeit, das Metall richtig einzufüllen. Dagegen ist es möglich, an Stelle von *K* einen Gummiring von einer Bier- oder Selterflasche zu verwenden. Der beschriebene Apparat kann natürlich ebenso wie der KIPPSche Apparat stets dann verwendet werden, wenn durch Einwirkung einer Flüssigkeit auf einen festen Stoff ein Gas entsteht. Ein besonderer Vorteil besteht noch darin, daß man das mit Säure gefüllte Reagensglas durch vorsichtiges Bestreichen mit der Bunsenflamme oder durch Eintauchen in heißes Wasser auch erwärmen und, wenn die Reaktion einmal zu heftig wird, durch Eintauchen in kaltes Wasser gleichfalls abkühlen kann. Der Apparat ist verhältnismäßig billig, liefert schnell ein reines Gas und läßt sich leicht auseinandernehmen und reinigen.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Zellulare Trägheitswellen und Turbulenz¹. Orig.-

Bericht von Dr. C. HEINRICH in Swinemünde.

In Flüssigkeiten sind zwei Arten von Wellen allgemein bekannt: die longitudinalen elastischen Wellen und die gemischt longitudinalen und transversalen Schwerkraftwellen. Die letzteren kennt man vorzugsweise als Oberflächenwellen; doch können sie wie die elastischen Wellen auch ins Innere einer Flüssigkeit vordringen, sofern diese heterogen ist. Wie jede Wellenbewegung kann man auch diese durch eine Schar von Stromlinien

kennzeichnen, die sich durch die Flüssigkeit fort-pflanzen. Da sind die geraden lotrechten Stromlinien, deren es eine für jede halbe Wellenlänge gibt, und die geraden wagerechten Stromlinien, die zu einer Aufteilung in verschiedene Wellenschichten führen. Die Schar dieser Stromlinien teilt den ganzen schwingenden Flüssigkeitsraum in eine Reihe von „Zellen“ ein, je eine für jede Halbwelle, so daß man auch von „zellularen“ Schwerkraftwellen spricht. Zur Erläuterung sei auf die durch Schwerkraftenergie erzeugte Schwingung innerhalb einer Salzlösung verwiesen, die sich in einem quaderförmigen Gefäß befindet, und deren Konzentration nach unten hin zunimmt.

Das Auftreten von elastischen Wellen bzw. zellularen Schwerkraftwellen ist an gewisse Voraus-

¹ Nach der gleichnamigen Arbeit von V. BJERKNES und H. SOLBERG: Avhandlingar Utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi I Oslo, I. Mat. Naturvid. Kl. 1929, Nr. 7.

setzungen über die betrachtete Flüssigkeit gebunden wie Zusammendrückbarkeit bzw. veränderliche Konzentration.

In einer nicht zusammendrückbaren Flüssigkeit, die überall die gleiche Dichte hat, sind diese Arten von Wellen daher nicht möglich. Für eine Flüssigkeit dieser Beschaffenheit fand nun H. SOLBERG¹, daß auch in ihr eine Wellenbewegung zellulärer Art stattfinden kann, sofern man die Erdrotation mit in Betracht zieht. Da Elastizität und Schwerkraft als Faktoren der Wellenbewegung hierbei ausfielen, so blieb keine andere Deutung möglich, als daß es sich um irgendeine Trägheitswirkung der sich mit der Erde drehenden Massen handeln müßte. Diese Wellen werden daher als „zelluläre Trägheitswellen“ bezeichnet. In einem wesentlichen Punkte unterscheiden sie sich von vornherein von den elastischen Wellen und den Schwerkraftwellen. Während diese als Folgen der Störung schon eines Gleichgewichtszustandes auftreten können, erscheinen die Trägheitswellen stets nur im Zusammenhang mit der Störung gewisser Bewegungszustände, die gewisse Stabilitätsbedingungen erfüllen.

Die zellulären Trägheitswellen können als Oberflächenwellen und auch als innere Wellen auftreten. Läßt man ein teilweise mit Wasser gefülltes zylindrisches Gefäß um die Zylinderachse rotieren, so geht bei genügend schneller Drehung die freie Oberfläche des Wassers von der parabolischen Form zur zylindrischen Form über, wobei die Schwerkraft in ihrer Wirkung im Grenzfalle aufgehoben ist. Läßt man auf diese Oberfläche irgendeine Störung einwirken, so bilden sich unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft die Trägheitswellen aus ganz ähnlich den Wellen, die die Schwerkraft bei Störung einer wagerechten ruhenden Wasserfläche zur Folge hat.

Betrachtet man ein zylindrisches Gefäß, das, allseitig geschlossen, ganz mit Wasser (— homogenes Medium —) gefüllt ist, ebenfalls in Drehung um die Zylinderachse, so sind Oberflächenwellen ausgeschlossen. Wohl aber treten bei irgendwelchen Störungen innere Trägheitswellen auf, deren Natur von der Art der Störung abhängt. In der Arbeit wird zunächst die Bewegung beschrieben, die als Ergebnis der folgenden Störung entsteht: Es wirken störende Impulse auf die Flüssigkeit ein, die für alle Teilchen auf der einen Seite einer Mittelebene des Zylinders radial nach innen, für die auf der anderen Seite liegenden Teilchen radial nach außen gerichtet sind. Diese Störung bewirkt, daß sich über die Drehbewegung der ganzen Masse Schwingungen drehender Natur überlagern, die sich auf einen gewissen mittleren Kreis innerhalb der Röhre beziehen lassen.

Neben dieser Störung werden in der Arbeit noch andere Möglichkeiten der störenden Beeinflussung untersucht, wobei dann weiter zu dem allgemeinen Fall einer Flüssigkeitsmasse übergegangen wird, die wie ein fester Körper um

eine Achse rotiert. Auch für diesen Fall gelangt man zu dem allgemeinen Ergebnis, daß es auf unendlich vielerlei Weise möglich ist, durch äußere Störungen innerhalb der Flüssigkeit eine zelluläre Wellenbewegung zu erzeugen, wobei für hinlänglich kleine Störungen das Unabhängigkeitsprinzip und das Prinzip der Übereinanderlagerung von Wellen gelten. Unter dem Einfluß solcher Störungen kann ein Teilchen sich immer nur unendlich wenig von seiner ungestörten Kreisbahn entfernen, so daß diese Bewegung als stabil zu bezeichnen ist.

Diese Ergebnisse, zu denen man durch die mathematische Behandlung der atmosphärischen Störungsgleichungen gelangte, sind in der Tat für die Dynamik der Atmosphäre von größter Bedeutung. Hier nur ein Beispiel. Für eine zelluläre Trägheitswelle ergibt sich, daß die Orbitalperiode eines Teilchens immer länger ist als die Zeit des halben Umlaufes des rotierenden Systems. Auf der Erde muß man daher mit Orbitalperioden von viel mehr als 12 Stunden Dauer rechnen. Erst das Hinzutreten der Schwerkraft kürzt diese Perioden bis auf die Zeiten ab, die kennzeichnend sind für die großen atmosphärischen Störungen, die Zyklonen. Doch wird erst gerade für das feinere Studium der Verhältnisse in der Atmosphäre die Theorie der Trägheitswellen das nötige Rüstzeug liefern.

In gleicher Weise ist diese Theorie für die Beurteilung der Stabilität bzw. Instabilität einer Flüssigkeitsbewegung von Bedeutung und somit für das eng damit zusammenhängende Problem der Turbulenz. Wird dies in der Arbeit auch nur für einen Sonderfall gezeigt, so genügen die Betrachtungen doch vollkommen zu der Erkenntnis, daß alle Überlegungen, die das Turbulenzproblem allein auf Reibungsvorgänge und die Zähigkeit der Flüssigkeit zurückführen wollen, den allgemeinen Verhältnissen nicht Rechnung tragen können. Diese Erwägungen versagen beispielsweise bei der Erklärung der Turbulenz auf dem offenen Ozean, Tausende von Metern über dem Meeresboden, oder in der freien Atmosphäre, Tausende von Metern über dem Erdboden, also fern den Stellen größter Reibungswirkung. Hier kann nur die Berücksichtigung der Trägheit weiter helfen.

In einem kurzen Abschnitt wird auf die mathematische Behandlung der Fragen eingegangen, auf die ich hier nur verweisen möchte.

Eine einfache Kompensationsschaltung zur Messung der Kapazität und des dielektrischen Verlustwinkels von Kondensatoren und Kabeln beschreibt W. GEYGER in Arch. f. Elektrot. Bd. 21, S. 529, 1929.

Das Verfahren stellt eine neue Variation der bekannten, wohl auf CAREY FOSTER zurückgehenden Methode dar, bei welcher die Spannung an den Enden eines dem Prüfobjekt vorgeschalteten Widerstandes durch eine um 180° phasenverschobene Gegenspannung gleicher Amplitude kompensiert wird, welche aus einem parallel liegenden Stromzweige mit Hilfe einer Gegen-

¹ H. SOLBERG: Integrationen der atmosphärischen Störungsgleichungen. Geofys. Publ. 5, Nr 9, 60f.: Oslo 1928.

induktion entnommen wird. Das Spannungsgleichgewicht wird durch Stromlosigkeit eines Indikatorinstrumentes (Vibrationsgalvanometer, Telephon) erkannt. In Abänderung früherer Vorschläge [Arch. f. Elektrot. 12, 370 (1923) und 14, 560 (1925)] verwendet Verfasser zur Abgleichung im Parallelzweige eine Kombination aus Kondensatoren und Widerständen, die so gewählt ist, daß sich unter bestimmten Bedingungen relativ einfache Formeln für Kapazität und Verlustwinkel (bzw. fiktiven Vorschaltwiderstand) des Prüfobjekts ergeben. Die Anordnung läßt sich so einrichten, daß $\text{tg } \delta$ direkt abgelesen werden kann.

Zickner.

Methods, formulas and tables for the calculation of antenna capacity by FREDERICK W. GROVER [Sc. Pap. Bur. Stand. 22, No 568, p. 569 (1928)].

Zur Bestimmung der Antennenkapazität wird

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Michelson-Versuch und Relativitätstheorie¹ I. VON OSKAR MATHIAS in Graz.

1. Einleitung.

In dem Bericht „Die Geschichte des Michelson-Versuches und seine Bedeutung für die moderne Physik“ [44, 168 (1931)] ist gezeigt worden, wie die Entwicklung der Optik zum berühmten Versuch von MICHELSON geführt hat, dessen unerwartetes Ergebnis für die Physik von größter Bedeutung geworden ist. Das Versagen der mechanischen Modelle hatte zu einer neuen Methode in der Naturbeschreibung geführt. Der Grundzug der neuen Einstellung ist der folgende: Es werden einfache, allgemein gültige Erfahrungstatsachen der Theorie zugrunde gelegt. Auf dieser Basis werden die physikalischen Sätze entwickelt, ähnlich wie in der reinen Mathematik die Lehrsätze aus einem System von Axiomen abgeleitet werden. Während man in der alten Physik sich bemühte, neue Erfahrungstatsachen in ein bestimmtes anschauliches Modell einzuordnen, oder durch fortschreitende Ausbildung und Abänderung dieses Modelles auch den neuen Tatsachen gerecht zu werden, geht man jetzt umgekehrt von den allgemeinsten und grundlegendsten Erfahrungen aus und bildet mit ihrer Hilfe das mathematisch-formale Modell. Für diese Methodik geben die Geometrien ein klares Vorbild, auf das wir noch später zurückkommen werden.

2. Hauptfrage: Ist durch ein positives Ergebnis des Michelson-Versuches die Relativitätstheorie widerlegt?

Der negative Ausfall des Michelson-Versuches hat mit den Anlaß zur Entwicklung der speziellen Relativitätstheorie EINSTEINs gegeben. Bei dem ungewöhnlichen Interesse, das diese Theorie,

eine bestimmte Ladung auf der Antenne angenommen und das resultierende Potential berechnet. Hierbei tritt die Schwierigkeit auf, daß das Gesetz der Ladungsverteilung nicht bekannt ist. Nach dem Vorgang von HOWE wird zunächst gleichförmige Ladungsverteilung vorausgesetzt, hieraus werden für verschiedene Punkte der Antenne die Potentiale abgeleitet, deren Mittelwert als insoweit richtig angenommen wird, daß sich eine für praktische Zwecke völlig ausreichende Genauigkeit ergibt.

Für eine große Zahl praktisch gebräuchlicher ein- und mehrdrähtiger Antennenformen werden Kapazitätsformeln in für numerische Rechnungen geeigneter Gestalt angegeben. Ihre Koeffizienten sind aus gleichfalls beigelegten Tabellen zu entnehmen. Für horizontale und vertikale Ein-drahtantennen sowie für horizontale Doppeldrahtantennen ist die Kapazität ohne Rechnung direkt aus weiteren Tabellen ablesbar.

Zickner.

hauptsächlich wegen ihres erkenntnistheoretischen Gehaltes, in weitesten Kreisen gefunden hat, mußte auch der Michelson-Versuch als eine ihrer Grundlagen bekannt und berühmt werden. Als nun im Jahre 1926 die Versuchsergebnisse von D. C. MILLER bekannt wurden, der im Gegensatz zu anderen Forschern einen positiven Effekt gefunden zu haben glaubte, erhob sich die Frage, welche Rolle denn eigentlich unser Versuch in der Relativitätstheorie spiele. Ist durch einen positiven Ausfall des Michelson-Versuches die Relativitätstheorie, und das in ihrem ganzen Umfange, widerlegt? Der Beantwortung dieser Hauptfrage sollen die folgenden Abschnitte gewidmet sein.

Auch die Relativitätstheorie hat in den 25 Jahren ihres Bestehens eine interessante Entwicklung durchgemacht. EINSTEIN geht in seiner klassischen Abhandlung „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ von zwei Prinzipien aus, deren Geltung durch die Erfahrung nahegelegt wird. Es ist dies das Prinzip von der Invarianz der Naturgesetze gegenüber gleichförmigen Translationen und das Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Auf Grund dieser beiden allgemeinen Erfahrungstatsachen entwickelt EINSTEIN die berühmten Gleichungen der Lorentz-Transformation.

Das Ergebnis des Michelson-Versuches ist offenbar schon im ersten Prinzip enthalten, da nach ihm auch die elektromagnetischen und daher optischen Vorgänge in allen Inertialsystemen in gleicher Weise verlaufen müssen; es geht aber auch zum Teil in das zweite Prinzip ein, und es ist nicht leicht zu übersehen, wie weit diese beiden Prinzipien durch einen positiven Ausfall des Versuches erschüttert würden. Erst durch eine tiefgehende erkenntnistheoretische Analyse ist die Kennzeichnung der Rolle des Michelson-Versuches in der Relativitätstheorie zu erlangen.

Von philosophischer Seite ist ungemein viel über die Relativitätstheorie geschrieben worden. Neben den größtenteils unerfreulichen Produkten

¹ Nach Vorträgen, die der Verfasser im Sommersemester 1930 in den „Physikalischen Besprechungen“ der Grazer Universität gehalten hat.

sind in den letzten Jahren zwei überaus interessante und wertvolle Bücher von HANS REICHENBACH über diesen Gegenstand erschienen, nämlich die „Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre“ und die „Philosophie der Raum-Zeit-Lehre“. REICHENBACH benutzt die strenge, axiomatische Methode, durch die allein eine reinliche Scheidung der Willkürlichkeit der Definitionen von der durch die Erfahrung gegebenen Bestimmtheit der Axiome möglich ist. Die folgende Darstellung schließt sich durchaus an diese beiden Bücher an, natürlich aber nur so weit, als es zur Beantwortung unserer Fragestellung notwendig ist; es kann auch nur eine Skizze der REICHENBACHSchen Entwicklungen gegeben werden. Für ein eingehenderes Studium sollen die genannten Bücher auf das wärmste empfohlen sein.

3. Die physikalischen Axiome und Definitionen.

Mathematische Axiome sind, wie man heute weiß, willkürliche Festsetzungen, bei denen es kein Wahr oder Falsch gibt. Ein mathematisches Axiomensystem muß nur die allgemeinen, logischen Forderungen der Widerspruchsfreiheit, Eindeutigkeit, Vollständigkeit und Unabhängigkeit erfüllen. Es sind daher auch die auf Grund der festgesetzten Axiome erhaltenen Sätze nicht absolut wahr, sondern nur wahr relativ zu den vorausgesetzten Axiomen. Anders ist es aber bei den physikalischen Axiomen. Wir verlangen ja, daß die abgeleiteten physikalischen Sätze mit der Wirklichkeit übereinstimmen, und diese Harmonie mit der Wirklichkeit muß demnach schon den zugrunde gelegten Axiomen zukommen, die natürlich außerdem auch die oben genannten allgemeinen logischen Forderungen erfüllen müssen.

Die Methodik der Axiomatik von REICHENBACH ist die folgende. An die Spitze der Theorie werden elementare, beobachtbare Tatsachen als Axiome gestellt; aus ihnen werden dann rein deduktiv die Konsequenzen entwickelt („konstruktive Axiomatik“). „Elementare Tatsachen“ sind dabei solche, für deren Deutung nur ein Minimum von theoretischen Vorstellungen notwendig ist, so daß sie ihre Geltung in jeder weiter ausgebauten Theorie beibehalten. Ohne dieses Minimum von Theorie kommen wir aber überhaupt nicht aus; denn das unmittelbar Gegebene sind nur unsere Wahrnehmungserlebnisse, zu deren Deutung und Verbindung bereits die elementare Theorie des täglichen Lebens gehört¹.

Wir sagten, daß die physikalischen Axiome mit der Wirklichkeit harmonisieren müssen. Worin liegt nun die Brücke, die von diesen Sätzen zur Wirklichkeit führt? Offenbar liegt sie in gewissen Begriffen, die durch die Axiome verknüpft werden, also in gewissen Definitionen. Auch

zwischen den mathematischen und physikalischen Definitionen gibt es einen fundamentalen Unterschied. Sie gleichen einander darin, daß beide weder wahr noch falsch, sondern willkürliche, begriffliche Setzungen sind. Aber in der Physik gibt es neben den abstrakten eine besondere Klasse von Definitionen, deren Bedeutung erst in neuerer Zeit erkannt worden ist und die die Brücke zur Erfahrungswelt bilden, nämlich die Zuordnungsdefinitionen. Was eine Zuordnungsdefinition ist, soll gleich an jenen Beispielen erläutert werden, die für das Folgende wichtig sind. Wir wollen die zwei Zuordnungsdefinitionen für räumliche Messungen besprechen, zwei für die Zeit, eine verbindende für Raum und Zeit, und die zwei Zuordnungsdefinitionen der Kinematik gegeneinander bewegter Systeme.

4. Die Zuordnungsdefinitionen des Raumes.

a) Einheitslänge. Die Einheitslänge wird begrifflich definiert als jene Länge, durch deren Abtragen auf einer zu messenden Länge man die Maßzahl dieser letzteren erhält. Wie groß aber diese Einheit, etwa das Meter, sein soll, läßt sich, wie leicht einzusehen ist, ohne Bezugnahme auf ein Ding der physikalischen Wirklichkeit überhaupt nicht definieren. Wird etwa das Meter durch den Pariser Urmeterstab definiert, oder durch den Erdumfang, oder durch das Licht einer gewissen Farbe, so wird jedesmal ein Ding der realen Welt aufgezeigt und ihm in einfacher oder komplizierter Weise der Begriff der Einheitslänge „Meter“ zugeordnet. Daher nennt man eine solche Definition, für deren Formulierung das Aufzeigen eines bestimmten Dinges der physikalischen Welt wesentlich und unentbehrlich ist, eine Zuordnungsdefinition.

Es ist klar, daß die Ergebnisse einer Messung je nach der Wahl der zugrunde gelegten Zuordnungsdefinition verschieden ausfallen werden. Die Länge eines bestimmten starren Körpers wird, in Metern oder in Ellen gemessen, zu verschiedenen Maßzahlen führen. Es hat also die Angabe der Länge nur einen Sinn relativ zur verwendeten Zuordnungsdefinition der Einheitslänge; daher kommt der im folgenden öfter gebrauchte Name „Relativität“.

Bei diesem ersten einfachen Beispiel erkennt man sehr leicht, daß es sich dabei um eine Definition handelt. Aber nicht alle Zuordnungsdefinitionen sind so leicht als solche zu erkennen. Die philosophische Leistung der Relativitätstheorie liegt, wie REICHENBACH gezeigt hat, gerade darin, daß die Notwendigkeit von metrischen Zuordnungsdefinitionen an mehreren Stellen in der Entwicklung der Kinematik erkannt wird, wo man früher Erkenntnisse gesucht hat, oder die neue Definition durch früher gegebene andere schon als mitbestimmt ansah.

b) Kongruenz. Wann sind zwei an verschiedenen Orten befindliche starre Stäbe gleich lang? Dabei sollen, wie auch in den folgenden Nummern, alle Messungen in einem bestimmten Bezugs-

¹ Siehe z. B. bei B. RUSSELL, Philosophie der Materie. Deutsch von K. GRELLING, Sammlung „Wissenschaft und Hypothese“, Bd. 32. Leipzig; B. G. Teubner 1923.

system, etwa dem der Erde, angestellt werden und die Orte sind in diesem fixiert zu denken.

In früheren Zeiten hielt man die Aufgabe der Längenvergleichung räumlich entfernter Körper für lösbar ohne vorangegangene Definition dessen, was unter „gleich lang“ zu verstehen sei. Das Rezept war dieses: Man nehme einen starren Maßstab, der als Einheit definiert ist, und messe mit ihm die Länge des ersten Körpers; sodann werde dieser Maßstab an den Ort des zweiten Körpers transportiert¹ und hier das gleiche Meßverfahren angewendet. Kommt man auf diese Weise zu gleichen Maßzahlen, dann sind die beiden Körper „gleich lang“.

Durch die erkenntnistheoretischen Arbeiten von HELMHOLTZ und später auch von POINCARÉ ist aber erwiesen, daß diese Meßvorschrift neben einem echten physikalischen Erfahrungssatz eine Definition enthält. Der Erfahrungssatz ist der folgende: Man erhält für die gemessenen Längen die gleichen Werte, auf welchem Wege auch immer der Maßstab zu den Körpern transportiert wird. Oder, anders ausgedrückt: Zwei starre Stäbe, die an einer bestimmten Raumstelle miteinander verglichen, gleich lang befunden werden, bleiben auch an jeder anderen Raumstelle gleich lang, auch wenn sie auf verschiedenen Wegen dorthin gebracht werden.

Wie kann man aber erweisen, daß nicht alle Stäbe sich in der gleichen Weise ändern, wenn sie an einen anderen Ort gebracht werden? Ein solcher Nachweis ist offenbar prinzipiell unmöglich. Ja, es hat nicht einmal einen Sinn zu behaupten, daß sie sich ändern, wenn nicht ein Vergleichsobjekt angegeben wird, dem gegenüber diese Änderung konstatiert werden könnte. Die prinzipielle Unmöglichkeit, einen solchen Effekt zu beobachten, zeigt, daß es sich hier überhaupt nicht um eine Erkenntnis, sondern um eine Definition handelt. Ich nenne (d. h. definiere) zwei räumlich getrennte Stäbe „gleich lang“, wenn sie, benachbart verglichen, kongruent sind. Der oben genannte Erfahrungssatz gestattet eine solche Definition, weil sie durch ihn eindeutig wird. Er zwingt aber durchaus nicht dazu, und es ist möglich, die Kongruenz räumlich entfernter Strecken auch auf eine andere Weise zu definieren. Im folgenden werden wir sogar bei der Entwicklung der Lichtgeometrie eine bestimmte andere Definition ausführen, die das Licht als Vergleichsvorgang benutzt.

Man sieht auch hier leicht ein, daß unsere Definition den Charakter einer Zuordnungsdefinition hat. Einer bestimmten Eigenschaft der starren Körper wird der Begriff „gleich lang“ zugeordnet.

¹ Der Transport und die Messungen haben natürlich so zu erfolgen, daß die Einwirkungen der bekannten physikalischen Zustände und Kräfte auf die Maßstäbe vermieden werden. REICHENBACH nennt einen solchen Transport „abgeschlossen“. Universelle Kräfte, d. h. solche, die auf jedes Stabmaterial in der gleichen Weise einwirken, können dabei natürlich nicht berücksichtigt werden.

Rein mathematisch definiert man zwei Strecken als gleich lang, wenn ihnen die gleichen Maßzahlen zugeordnet sind. Auf welche Weise diese Zuordnung aber vollzogen wird, ist damit noch nicht gesagt, und es ist klar, daß eine Vorschrift darüber wieder von den Dingen der physikalischen Wirklichkeit ausgehen muß.

Man führt zugunsten der Kongruenzdefinition durch den Transport starrer Stäbe häufig an, daß sie allein möglich ist, weil sie zu den einfachsten Verhältnissen führt. Man darf aber nicht übersehen, daß Einfachheit kein Merkmal der Wahrheit ist und deshalb eine Definition, die zu einfacheren Gesetzen führt, nicht wahrer ist als eine andere, sondern nur zweckmäßiger.

Die Gestalt eines Körpers ist durch seine Abmessungen bestimmt. Durch Messungen an einer Fläche kann man z. B. entscheiden, ob sie eine Kugelfläche ist oder nicht. Da aber die Ergebnisse der Messungen von der zugrunde gelegten Zuordnungsdefinition abhängen, so erkennt man, daß auch die geometrische Form eines Gebildes von der Zuordnungsdefinition der Kongruenz abhängt (Relativität der Gestalt).

5. Die Zuordnungsdefinitionen der Zeit.

Ähnlich wie beim Raum finden wir auch bei der Zeit zwei metrische Zuordnungsdefinitionen, nämlich eine für die Einheitsdauer und eine für die zeitliche Kongruenz.

a) Einheitsdauer. Hier läßt sich das bei der Einheitslänge Gesagte fast wörtlich wiederholen. Die Einheitsdauer wird begrifflich definiert als jene Dauer, durch deren wiederholten, lückenlos hintereinander erfolgenden Ablauf die Dauer einer Zeitstrecke gemessen wird. Wie groß aber diese Einheit sein soll, kann nur durch Bezugnahme auf einen physikalischen Vorgang definiert werden. So kann die Sekunde durch ein Pendel von bestimmter Länge, oder durch die Erdrotation, oder durch die Umlaufzeiten von Planeten definiert werden. In allen Fällen aber sind es bestimmte Vorgänge der physikalischen Welt, denen in einfacher oder komplizierter Weise der Begriff der Einheitsdauer zugeordnet wird. Es handelt sich daher auch hier um eine Zuordnungsdefinition.

b) Kongruenz. Bei der räumlichen Kongruenz haben wir zwei an verschiedenen Orten befindliche Längen verglichen und definiert, wann sie gleich heißen sollen. Die Zeiten, zu welchen sie ausgemessen werden, spielen dabei nach allgemeinsten Erfahrungen keine Rolle.

Es ergibt sich nun ein ganz ähnliches Problem für die Zeit. Es sollen, zunächst an demselben Orte, zwei Zeitstrecken, die durch bestimmte Ereignisse markiert sind, miteinander verglichen werden, wobei aber diese Zeitstrecken zu verschiedenen Zeiten ablaufen, ihre Endpunkte also nicht zusammenfallen. Das Meßverfahren, das hier benutzt wird, ist das folgende: Durch den Ablauf eines bestimmten, dem zu messenden Vorgange räumlich benachbarten, physikalischen Vorganges, etwa einer Uhr, wird die erste Dauer gemessen; dann wartet man bis zum Beginn der zweiten Zeitstrecke und mißt sie mit demselben

Vergleichsvorgang. Kommt man auf diese Weise zu gleichen Zeitzahlen, dann sind die gemessenen Zeitstrecken gleich lang, also kongruent. Laufen die beiden zu messenden Zeitstrecken außerdem an verschiedenen Raumstellen ab, dann muß die Vergleichsuhr nach Messung der ersten Dauer von deren Ort an den der zweiten transportiert werden.

Auch hier läßt sich dieses Meßverfahren, ähnlich wie früher, zergliedern. Früher hatten wir den Erfahrungssatz, daß zwei gleich lange Stäbe (benachbart verglichen), die auf verschiedenen Wegen transportiert und wieder aneinander gelegt werden, gleich lang bleiben. Hier lautet der analoge Erfahrungssatz: Zwei Uhren, die zu einer bestimmten Zeit und an einem bestimmten Orte mit kongruenten Zeiteinheiten ablaufen, tun dies auch zu einer beliebigen späteren Zeit und an einem beliebigen anderen Orte, auch wenn sie auf verschiedenen Wegen dorthin transportiert wurden. (Dabei soll aber ausdrücklich betont werden, daß der Synchronismus beim Transport im allgemeinen nicht erhalten bleibt, die Uhren also nach dem Transport auf verschiedenen Wegen im allgemeinen nicht die gleichen Zeitahlen zeigen werden, auch wenn sie es vorher getan haben. Siehe dazu den folgenden Abschnitt!)

Es ist aber prinzipiell unmöglich zu erweisen, daß nicht alle „Uhren“ ihren Ablauf in der gleichen Weise ändern, und man sieht, daß es sich auch hier nicht um eine Erkenntnis handeln kann, sondern um eine Definition. Schon MACH hat darauf hingewiesen, daß wir es bei der Gleichförmigkeit eines Zeitablaufes mit einer Definition zu tun haben. Auch diese ist wieder eine Zuordnungsdefinition, weil nur mit Hilfe eines physikalischen Systems, etwa einer Uhr, definiert werden kann, welche zeitlich entfernten Zeitstrecken gleich lang heißen sollen.

Die Erfahrung lehrt, daß ein in gewisser Weise definierter Zeitablauf (die „Inertialzeit“) dadurch ausgezeichnet ist, daß er zu besonders einfachen Naturgesetzen führt. Das ändert aber nichts an der Tatsache, daß die Gleichförmigkeit des Zeitablaufes nur durch eine Definition festzulegen ist. In jeder vernünftigen physikalischen Theorie wird man trachten, die Definitionen so zu wählen, daß man zu möglichst einfachen und allgemeingültigen Gesetzen gelangt. Gerade in der Relativitätstheorie werden die Definitionen, wie wir sehen werden, so gewählt. Diese deskriptive Einfachheit hat aber nichts mit Wahrheit zu tun, und erkenntnistheoretisch sind alle möglichen Definitionen gleichwertig.

6. Die Zuordnungsdefinitionen für Raum und Zeit.

a) Die Gleichzeitigkeit. Die Erkenntnis, daß es sich bei der Einheitsdauer ebenso wie bei der Einheitslänge um eine Definition handelt, ist alt. Bei der räumlichen Kongruenz waren es vor allem, wie schon erwähnt, HELMHOLTZ und POINCARÉ, die deren definitorischen Charakter erkannten und diese Einsicht verbreiteten, während MACH in seiner Mechanik darauf hinwies,

daß es keinen Sinn habe, von einer an sich gleichförmigen Bewegung zu sprechen, sondern eine solche stets nur mit einer anderen verglichen und relativ zu dieser gleichförmig genannt werden könne. Damit sprach er klar aus, daß auch hier bei der zeitlichen Kongruenz eine Definition vorliegt. Es ist endlich das große Verdienst von EINSTEIN, erkannt zu haben, daß ähnliches bei dem Begriff der Gleichzeitigkeit vorliegt, sowie bei zwei anderen wichtigen kinematischen Begriffen, auf die wir im folgenden zu sprechen kommen.

Rein mathematisch nennen wir zwei Ereignisse gleichzeitig, wenn ihnen die gleichen Zeitzahlen zugeordnet sind. Dabei sollen die Ereignisse an verschiedenen Orten stattfinden, denn die Gleichzeitigkeit an demselben Orte, also die raumzeitliche Koinzidenz, ist der unmittelbaren Wahrnehmung zugänglich und wird als „elementare Tatsache“ dem Aufbau jeder raumzeitlichen Metrik zugrunde gelegt. Unser Problem der Gleichzeitigkeit läßt sich also in die Frage fassen: Wann ordnen wir zwei Ereignissen, die an verschiedenen Raumstellen stattfinden, die gleichen Zeitzahlen zu?

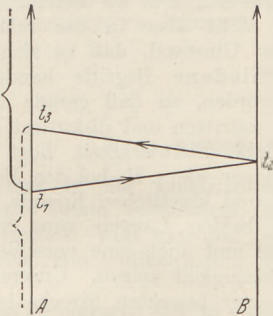
Was meinen wir eigentlich damit, wenn wir zwei Ereignisse gleichzeitig nennen? Nehmen wir als Beispiel etwa die Abreise eines Mannes *A* aus Graz und die Operation eines anderen *B* in New-York für die beiden Ereignisse. Damit sie gleichzeitig genannt werden dürfen, fordern wir offenbar, daß weder das eine vom Augenblick des anderen aus beeinflußt werden kann, noch umgekehrt; daß also in unserem Beispiel *A* bei seiner Abreise die Operation des *B* nicht mehr verhindern kann, nicht einmal durch Radiotelegramme, und umgekehrt *B* im Augenblicke des Beginnes seiner Operation an der Abreise des *A* nichts mehr ändern kann. Denn wäre die eine dieser Beeinflussungen noch möglich, dann müßten wir, da eine Wirkungskette von dem einen Orte zum anderen geht und hier auf ein Ereignis mitbestimmend wirkt, dieses als „später“ bezeichnen als jenes am Ausgangspunkt der Wirkungskette. Es war ein Fehler der alten Physik, stillschweigend anzunehmen, daß diese Einschränkung durch das Kausalitätsgesetz zu einer eindeutigen Zuordnung gleichzeitiger Zeitpunkte führt. Das ist, wie gleich gezeigt wird, nicht der Fall.

Drei Erfahrungsgelbiete der klassischen Physik sprechen dafür, daß es in der Welt für die Geschwindigkeit von Kausalketten, die wir auch kurz als „Signale“ bezeichnen wollen, eine obere Grenze, nämlich die Lichtgeschwindigkeit, gibt. Wir kommen später noch eingehender darauf zurück und wollen hier diesen Grenzcharakter der Lichtgeschwindigkeit als erwiesen annehmen. Dann ist das Licht das rascheste Signal, das zwischen zwei Punkten möglich ist.

Verbildlichen wir uns den Ablauf der Zeit in den beiden Orten *A* und *B* durch zwei mit denselben Buchstaben bezeichnete Gerade! (Siehe die Figur.) In *A* und *B* seien Uhren aufgestellt, die ganz unabhängig voneinander ablaufen und nur die Forderung erfüllen mögen, daß sie stetig

ablaufen und späteren Ereignissen an ihrem Orte größere Zeitzahlen zuordnen. Daher müssen wir, bevor ein Synchronismus festgelegt ist, zwischen der A-Zeit und B-Zeit unterscheiden. Nun werde zur Zeit t_1 der Uhr in A ein Lichtsignal nach B abgesandt, das zur Zeit t_2 der Uhr B dort eintrifft und wieder nach A reflektiert werde, wo es zur A-Zeit t_3 ankommen möge. Dabei ist t_3 wegen der endlichen Lichtgeschwindigkeit auf jeden Fall später als t_1 , also $t_3 > t_1$. Wir fragen nun nach jenem Zeitpunkt in A, der gleichzeitig ist mit dem Augenblick t_3 in B nach unserer obigen Forderung der gegenseitigen Unbeeinflussbarkeit.

Da das Licht das rascheste Signal ist und der im Moment t_1 abgehende Lichtstrahl gerade



zur B-Zeit t_2 in B ankommt, so werden alle später abgehenden Signale später als zu t_2 ankommen und daher ein Ereignis in B zur Zeit t_2 nicht mehr beeinflussen können. Es erfüllen also alle Zeitpunkte oberhalb t_1 (durch die ausgezogene Klammer angedeutet) unsere erste Forderung.

Zweitens soll aber auch von t_2 aus unser Ereignis in A nicht mehr beeinflusst werden können. Das von t_2 ausgehende Lichtsignal trifft zur A-Zeit t_3 in A ein. Ein Ereignis in diesem und allen späteren Zeitpunkten läßt sich also noch von B aus beeinflussen, nicht aber alle jene Ereignisse, die früher als t_3 stattfanden. Daher erfüllen alle Zeitpunkte unterhalb t_3 (durch die gestrichelte Klammer angedeutet) unsere zweite Forderung. Beide Forderungen werden daher von jenen Punkten erfüllt, die beiden Gebieten angehören, also von der Zeitstrecke (t_1, t_3) mit Ausschluß der Endpunkte. Wir sehen also, daß unendlich viele Zeitpunkte in A als mit t_2 gleichzeitig bezeichnet werden können, ohne daß die kausale Ordnung verletzt würde. REICHENBACH nennt die Punkte im offenen Intervall (t_1, t_3) zeitfolgeunbestimmt in bezug auf t_2 . Die Angaben der Uhr in B können deshalb so korrigiert werden, daß $t_2 = t_1 + \varepsilon (t_3 - t_1)$ wird, wobei $0 < \varepsilon < 1$ ist; denn für alle ε , die diese Beschränkung erfüllen, liegt der zu t_2 gleichzeitige Zeitpunkt im Bereich (t_1, t_3) .

Um eine eindeutige Definition für die Gleichzeitigkeit zu erzielen, muß ε eindeutig gewählt, also definiert werden. Wieder ist unter allen möglichen und erkenntnistheoretisch gleichwertigen Zahlen eine dadurch ausgezeichnet, daß sie zu besonders einfachen Verhältnissen führt, nämlich die EINSTEINSche Festsetzung: $\varepsilon = \text{const.} = 1/2$. Nach EINSTEIN sind demnach zwei Er-

eignisse gleichzeitig, wenn das eine in der Zeitmitte zwischen Abgang und Rückkehr eines direkten Lichtsignales zu dem Ort des zweiten liegt, und das andere mit dem Augenblick der Reflexion dieses Signales zusammenfällt. Wir sehen, daß diese Definition nur möglich ist mit dem Hinweis auf reale, physikalische Vorgänge (Abgang, Reflexion und Ankunft von Lichtsignalen), daß es sich daher auch hier wieder um eine Zuordnungsdefinition handelt.

Man kann leicht einsehen, daß es nicht möglich ist, den Willkürbereich für unsere Definition dadurch einzuengen, daß man die Gleichzeitigkeit an verschiedenen Orten durch die Messung der Geschwindigkeit von Signalen festzustellen versucht. Denn die Messung einer Geschwindigkeit setzt bereits die Kenntnis der Gleichzeitigkeit voraus, und daher würde dieser Versuch einen logischen Zirkel enthalten.

Es gibt aber noch einen evtl. Ausweg, der erwähnt werden muß. Können wir denn nicht, ebenso wie bei der Festlegung der räumlichen Kongruenz durch den Transport eines Stabes, hier die Gleichzeitigkeit durch den Transport einer Uhr bestimmen? In jenem Falle hat ein allgemeiner Erfahrungssatz unsere Definition eindeutig gemacht; sie wurde daher genügend einfach, um brauchbar zu sein. Gilt hier vielleicht ein analoger Satz? Ein solcher müßte lauten: „Zwei Uhren, die, benachbart verglichen, dauernd gleiche Zeitzahlen zeigen, behalten diese Eigenschaft bei, auch wenn sie auf beliebigen Wegen und mit beliebigen Geschwindigkeiten an eine andere, evtl. auch gegen den ersten Ort bewegte, Raumstelle gebracht werden.“ Ob ein solcher Satz gilt, kann natürlich nur durch die Erfahrung dargetan werden. Nach der Relativitätstheorie gilt dieser Satz nicht. Aber selbst wenn er gelten sollte, enthielte die „Transportzeit“ nur eine mögliche Definition der Gleichzeitigkeit, vorausgesetzt, daß sie noch den Einschränkungen durch das Kausalitätsgesetz genügen würde.

b) In den vorhergehenden Abschnitten haben wir bei den Zuordnungsdefinitionen der Zeit eine weitgehende Analogie zu jenen des Raumes konstatieren können. Das legt den Gedanken nahe, auch einen der Gleichzeitigkeit analogen Fall zu konstruieren. Bei der Gleichzeitigkeit untersuchten wir die Frage, wann zwei verschiedenen Raumpunkten die gleichen Zeitzahlen zuzuordnen sind. Hier müßte also die symmetrische Frage lauten: Wann ordnen wir zwei Ereignissen, die zu verschiedenen Zeitpunkten stattfinden, die gleichen räumlichen Koordinaten zu? Wir sehen, daß diese Frage hinausläuft auf die Frage nach dem Bezugssystem, das wir uns durch materielle Körper fixiert denken, damit also auf die Frage der Wiedererkennbarkeit von materiellen Punkten. Dieses Problem ist nicht ohne physikalisches und philosophisches Interesse und wird von RUSSELL in seiner „Philosophie der Materie“ behandelt. Hier brauchen wir aber nicht näher darauf einzugehen und können die Bestimmtheit des Bezugssystems als „elementare Tatsache“ behandeln.

7. Die Zuordnungsdefinitionen für gegeneinander bewegte Systeme.

a) Die Ruhlänge im bewegten System. Alle räumlichen und zeitlichen Messungen, die wir bisher besprochen haben, beziehen sich auf ein bestimmtes Bezugssystem, etwa auf das System der starren Erde. Nun wollen wir zwei gegeneinander gleichförmig und geradlinig bewegte Systeme K und K' betrachten. Die Messungen in K seien durch unsere bisherigen Zuordnungsdefinitionen bestimmt, für jene in K' ist aber dabei noch nichts ausgemacht worden. Ein direkter Vergleich der in K ruhenden Strecken mit jenen, die in K' ruhen, also gegen K bewegt sind, ist nicht möglich, weil unsere Vorschriften über den Längenvergleich die relative Ruhe von zu messender Strecke und Maßstab verlangen. Es ist durchaus nicht selbstverständlich, daß ein bewegter Stab die gleiche Länge wie ein ruhender haben muß; es könnte ja sein, daß alle Körper sich bei der Bewegung in der gleichen Weise ändern, wobei auch hier eine solche Änderung nachzuweisen prinzipiell unmöglich ist. Das zeigt uns, daß da wieder eine Definition hingehört. Wir nennen den Maßstab von der Länge 1 Meter, wenn er in ein bewegtes Bezugssystem gebracht wird, auch in diesem 1 Meter wie früher, setzen also durch diese Definition die Einheitslänge im bewegten System fest.

Bezeichnen wir die Länge eines Stabes mit 1 und deuten durch einen oberen Index an, in welchem Bezugssystem dieser Maßstab ausgemessen wird, durch einen unteren Index hingegen, in welchem er ruht, so ist die Länge eines Stabes, der in unserem Ausgangssystem K ruht und in diesem gemessen wird gleich 1_K^K , die Länge eines in K' ruhenden und in diesem gemessenen Stabes $1_{K'}^{K'}$. Unsere neue Zuordnungsdefinition für das bewegte System läßt sich daher in dieser bequemen Symbolik in der Forderung ausdrücken: $1_K^K = 1_{K'}^{K'}$. Diese Definition ist wieder eine Zuordnungsdefinition, da der Hinweis auf einen materiellen Stab, der aus dem System K in das bewegte System K' gebracht wird, dabei wesentlich und unentbehrlich ist. Es soll hier noch ausdrücklich bemerkt werden, daß diese Definition mit der Gleichzeitigkeit nichts zu tun hat.

b) Die Länge einer gegen den Beobachter bewegten Strecke. Durch die letzte Definition $1_K^K = 1_{K'}^{K'}$ haben wir festgelegt, wie ein im bewegten System K' befindlicher Beobachter seinen Bezugsraum, also Körper, die relativ zu ihm ruhen, ausmessen soll. Die Kinematik braucht aber noch einen wichtigen Begriff, nämlich den der Länge einer bewegten Strecke. Nehmen wir etwa einen in K' ruhenden Stab, der von K aus gemessen werden soll, dessen Länge wir also nach unserer Schreibweise mit $1_{K'}^{K'}$ bezeichnen. Wie soll diese Länge ausgemessen werden?

Nach dem im vorigen Abschnitt [unter a)] Gesagten ist es klar, daß die bisherigen Bestim-

mungen der Metrik darüber noch keine Vorschrift geben. Es handelt sich hier um eine ganz neue Aufgabe, die auch durch eine neue Definition zu erledigen ist. Es wird nun definiert, daß die Länge einer bewegten Strecke durch den Abstand gleichzeitiger Lagen ihrer Endpunkte in K gemessen werden soll. Damit wird ein neuer Begriff eingeführt und es ist einleuchtend, daß die so definierte Länge erstens von der Definition der Gleichzeitigkeit abhängt, und daß sich zweitens dabei nicht dieselbe Maßzahl ergeben muß, wie beim früher definierten Begriff der Ruhlänge. Bei der klassischen Gleichzeitigkeitsdefinition, die unendliche Signalgeschwindigkeiten voraussetzt, fallen diese beiden Längen zusammen, d. h. sie besitzen die gleichen Maßzahlen, nicht aber in der relativistischen Physik. Der Umstand, daß es sich dabei um zwei verschiedene Begriffe handelt, ist oft übersehen worden, so daß gerade über diesen Punkt viel gestritten und diskutiert worden ist. Eine wirkliche Schwierigkeit liegt hier aber ebensowenig vor wie z. B. bei den Begriffen der potentiellen und kinetischen Energie, die ebenso wie unsere beiden Längen ganz verschiedene Begriffe sind und auch eine verschiedene funktionale Abhängigkeit zeigen. Unsere Definition der Länge einer bewegten Strecke ist natürlich wieder eine Zuordnungsdefinition, da sie die früher besprochenen Zuordnungsdefinitionen benutzt. Das Ausmessen der Entfernung der gleichzeitigen Orte der Endpunkte setzt ja den Synchronismus der Uhren im System und die Ausmessung einer Ruhlänge voraus.

Damit haben wir die wichtigsten für die Axiomatik der Relativitätstheorie notwendigen Zuordnungsdefinitionen besprochen. Bei der nun folgenden Aufstellung der Axiome unterscheiden wir zwei Gruppen. Die erste bezieht sich auf Aussagen über das Licht, die zweite enthält die „Körperaxiome“, d. h. jene Erfahrungssätze (oder Postulate), die sich auf das Verhalten starrer Körper und wirklicher Uhren beziehen. Die erste Gruppe von Sätzen führt zu einem sehr interessanten Ergebnis, das nun auseinandergesetzt werden soll.

8. Die Lichtgeometrie.

a) Konzeption und Ergebnis. Um eine Reihe von Erfahrungssätzen, die sich auf Eigenschaften des Lichtes beziehen, möglichst klar und unabhängig von den Eigenschaften starrer Stäbe und Uhren herauszuarbeiten, bedient sich REICHENBACH des anschaulichen Bildes in folgendem Gedankenexperiment. Der leere Raum sei von einer ungeheuren Menge materieller Punkte in regellosem Durcheinander durchschwirrt. Die Beschränkung auf materielle Punkte, oder zumindest solche, in welchen materielle Punkte ruhen können, ist wichtig, weil dadurch Punkte, die sich gegen andere mit Überlichtgeschwindigkeit bewegen, ausgeschlossen werden. Auf jedem dieser materiellen Punkte sitze ein Beobachter, der imstande ist, Lichtsignale nach allen Richtungen auszusenden, zu reflektieren usw. Wir

fragen nun: Läßt sich in diesem Chaos eine Ordnung nach Raum und Zeit herstellen, also eine Geometrie und Kinematik aufbauen, ohne daß die Beobachter starre Stäbe und natürliche Uhren zur Definition dieser Metrik verwenden?

Es ist eines der interessantesten Resultate der Axiomatik von REICHENBACH, daß diese Aufgabe tatsächlich lösbar ist. Es läßt sich in diesem Punktchaos, einzig mit Hilfe von Lichtsignalen, eine Metrik aufstellen, die Raum- und Zeitstrecken auszumessen gestattet und eine Schar von ausgezeichneten Bezugssystemen aussondern läßt, die den Inertialsystemen der klassischen Mechanik entsprechen.

Die Möglichkeit, die Länge von Raumstrecken rein lichtgeometrisch zu definieren, ist aber für

die Kennzeichnung der Stellung des Michelson-Versuches von der größten Bedeutung. Nach Nr. 2 des Aufsatzes „Die Geschichte des Michelson-Versuches und seine Bedeutung für die moderne Physik“ (ds. Ztschr. 44, 169; 1931) stellt unser Versuch eine Beziehung zwischen Licht und bewegtem, starrem Körper fest. Diese Beziehung ist, wie wir sehen werden, eine metrische und vergleicht die lichtgeometrisch festgelegte Streckenlänge mit der nach der vorigen Nummer durch starre Stäbe definierten. Auf der Grundlage der entwickelten Lichtgeometrie läßt sich dann der durch den Michelson-Versuch gewonnene Erfahrungssatz als Axiom ungemein klar formulieren und seine Bedeutung und Tragweite für die Relativitätstheorie diskutieren.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in die Elektrizitätslehre. Von R. W. POHL. Dritte verbesserte Auflage. Mit 393 Abbildungen. VIII und 264 Seiten. Berlin 1931. Verlag von Julius Springer. Gebunden RM 13.80.

Das 1927 erschienene und in dieser Zeitschrift 41, 52; 1928 ausführlich gewürdigte Werk liegt in der 3. Auflage vor, deren Vorwort begründete Auskunft gibt über die vorgenommenen Änderungen. R. W. POHL hat ein Buch geschaffen, das die Eigenart besitzt, auf den ersten Blick den Leser für sich einzunehmen und seine Teilnahme daran zu steigern, je tiefer er in den Inhalt eindringt. Diese meisterhafte Darstellung sei jedem, der nach einer klaren Erfassung der Elektrizitätslehre ringt, aufs wärmste empfohlen.

Mth.

Zur Theorie des Ferromagnetismus. I. Die Magnetisierungskurven. Von RICHARD GANS. Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft, 6. Jahr, Heft 2. 21 Seiten mit 16 Abbildungen. Halle (Saale) 1929. Max Niemeyer Verlag. Geh. RM 3.—

Verf. gibt eine Theorie des Ferromagnetismus auf folgenden Grundlagen: In einem Einkristall des Mediums sei die Magnetisierungskurve (Magnetisierung als Funktion der Feldstärke) ein Rechteck. Das isotrope Ferromagnetikum setze sich so aus Einkristallen zusammen, daß die Richtungen der Achsen der Magnetisierbarkeit nach den Gesetzen des Zufalls im Raum verteilt sind. Bei Berechnung der erregenden Kraft des Einkristalls wird noch ein Streufeld berücksichtigt. Verf. berechnet aus diesen Annahmen die ideale Magnetisierungskurve, die Hysteresiskurve und die Hysteresiswärme. Die Prüfung mit der Erfahrung zeigt, daß die Übereinstimmung so gut ist, wie man auf Grund der Ausgangsannahmen erwarten konnte.

Die Lektüre ist denen zu empfehlen, die sich für die Theorie der Ferromagnetika interessieren.

Lamla.

Vektoranalysis. Mit Anwendungen auf Physik und Technik. Von RICHARD GANS. Sechste, verbesserte Auflage. Teubners mathematische Leitfäden. Band 16. Leipzig und Berlin 1929. B. G. Teubner. VIII, 112 Seiten, 40 Abbildungen. Preis kart. RM 5.40.

Das Buch, das nunmehr bereits in 6. Auflage vorliegt (die erste ist 1905 erschienen), behandelt die elementaren Operationen mit Vektoren, die Differentialoperationen der Vektoranalysis (eingeschlossen die Sätze von GAUSS, STOKES, GREEN), krummlinige Koordinaten und Vektorzerlegungen, symmetrische Tensoren und schließlich Anwendungen aus der Hydrodynamik und der Elektrodynamik. In allen Kapiteln des Buches legt Verfasser Wert darauf, Anwendungen aus der Mechanik, der Hydrodynamik und der Elektrizitätslehre zu behandeln und den mathematischen Formeln überall, wo es angängig ist, eine konkrete Deutung zu geben. „Diese Anwendungen sollen dem Leser zeigen, daß die entwickelten Beziehungen nicht rein mathematische Spekulationen ohne praktische Anwendbarkeit, sondern ein brauchbares Handwerkszeug sind.“ Damit ist auf ein charakteristisches Merkmal des Buches hingewiesen. Die neue Auflage wird dem Büchlein zweifellos zu den alten Freunden neue gewinnen.

Lamla.

Sterne und Atome. Von A. S. EDDINGTON. Ins Deutsche übertragen und mit der dritten englischen Auflage in Übereinstimmung gebracht von O. F. BOLLNOW. Mit 11 Abbildungen. VI und 125 Seiten. 2. Auflage. Berlin 1931. Julius Springer. Geheftet RM 5.60; gebunden RM 6.80.

Daß ein solches Buch 3 Jahre nach seinem Erscheinen trotz der schwierigen Zeit neu aufgelegt werden muß, spricht für seine Wertschätzung. Die eingehende Besprechung der ersten Auflage in dieser Zeitschrift 43, 230; 1930 kennzeichnet das gediegene Werk so treffend, daß jetzt nur darauf verwiesen zu werden braucht.

Mth.

Leitfaden zur Vorführung von Lauf- und Tonbildern für Vorführer und Theaterbesitzer. Von PAUL SCHROTT. Siebente, neubearbeitete und vermehrte Auflage des Leitfadens für Kinooperateure und Kinobesitzer. Mit 171 Abbildungen im Text. VI und 242 Seiten. Wien und Berlin 1930. Verlag von Julius Springer. Broschiert RM 8.—.

Das Buch bietet eine vortreffliche Einführung in die praktische Anwendung der Kinematographie. Film und Projektionseinrichtung nennt die Einleitung als Hilfsmittel für die kinematographische Darstellung. Auf genaue Angaben über die Natur eines Films folgen in dem Kapitel „Elektrotechnik“ auf 55 Druckseiten die Grundlagen der Elektrizitätslehre, soweit Vorführer von Laufbildern damit vertraut sein müssen, wenn sie sich nicht mit einer mechanischen Bedienung eines Apparates begnügen. Der Abschnitt „Die Projektionseinrichtung“ beschäftigt sich dann mit den zur Anwendung kommenden Lichtquellen und den sie umgebenden Gehäusen. Hieran schließt sich unter der Überschrift „Projektionsoptik“ die Besprechung optischer Systeme und des Projektionsschirms. Der Projektor, das wichtigste Gerät der Kinovorführung, nimmt die nächsten 50 Seiten in Anspruch. Endlich wird noch eine gedrängte Übersicht über den Ton- und Sprechfilm geboten. Als Anhänge sind die gesetzlichen Vorschriften für Deutschland und für Österreich hinzugefügt. Das Buch ist ein sehr brauchbarer Ratgeber für jeden, der sich praktisch mit kinematographischen Darbietungen zu befassen hat. Ohne Voraussetzung besonderer Fachkenntnisse wird in anschaulicher Fassung dem Leser alles Nötige an die Hand gegeben, um eine gediegene Ausbildung im Vorführen von Laufbildern zu erwerben. Den SCHROTTschen Leitfaden sollte in jeder höheren Schule die Fachbücherei der naturwissenschaftlichen Lehrer aufweisen. *Mth.*

Lehrbuch der Chemie mit Abriss der Mineralogie für höhere Mädchenbildungsanstalten von E. LÖWENHARDT, Teil II von E. THIEME. (Mit Anhang Geologie „Das Werden und Vergehen der Gesteine“ von F. MEINECKE). 3. Auflage. 262 Seiten mit 104 Abbildungen und 1 Bildnis-tafel. Leipzig 1930. G. B. Teubner. Gebunden RM 5.60.

Das vorliegende Buch stellt eine Neubearbeitung des von E. LÖWENHARDT für die Oberstufe höherer Knabenanstalten herausgegebenen Lehrbuches dar und berücksichtigt, entsprechend der Forderung eines lebensnahen Unterrichts, in weitgehendstem Maße die Darstellung solcher chemischen Vorgänge und ihrer Nutzenwendungen, die das besondere Interesse der Mädchen erregen und ihrem Verständnis angepaßt sind. Nach dem Vorbild des LÖWENHARDT'schen Buches ist im „anorganischen Teil“ eine systematische Anordnung des Lehrstoffes nach Metallen und Nichtmetallen vermieden; es werden vielmehr Natur- bzw. Gebrauchsstoffe als Ausgangspunkt für die Betrachtung chemischer Vorgänge herangezogen.

Es wäre wünschenswert, wenn der Abschnitt VIII über „Säuren, Basen, Salze“ vor die Behandlung des Schwefels mit seinen Verbindungen (Abschnitt VII) gestellt würde, weil die beim Schwefel zu behandelnden Reaktionen dann leichter verstanden werden. Ob nicht der Abschnitt IX über „Luft, Stickstoff und seine Verbindungen“ auch besser vor dem Schwefel zu besprechen ist (Stickoxyde bzw. Salpetersäure und Luft beim Bleikammerprozeß!), möge dahingestellt bleiben. Die „Kontaktsubstanzen“ und „Kolloide“ sind, ihrer heutigen Bedeutung entsprechend, etwas ausführlicher behandelt worden. Weiterhin sind die ausgezeichneten „Einzeldarstellungen aus dem Gebiete der chemischen Technologie“ (Abschnitt XVIII) über die Veredelung der Kohle und das Eisenhüttenwesen, insbesondere aber über die Stickstoffindustrie, hervorragend geeignet, das bei Mädchen meist weniger vorhandene Interesse für technische Vorgänge zu wecken. Zahlreiche mit Sorgfalt ausgewählte Abbildungen sowie neueste statistische Angaben veranschaulichen die heutigen Ausmaße der chemischen Großindustrie Deutschlands und ihre Bedeutung für Volkswirtschaft und Weltwirtschaft.

Im „organischen Teil“ ist die übliche Gliederung des Stoffes beibehalten, wobei diejenigen Vorgänge, die im späteren Wirkungskreis der Frau eine besondere Rolle spielen, in den Abschnitten über „Färberei und Farbstoffe“, „Wäscherei“, „Spinnerei und Kunstseidefabrikation“ sowie über „Ernährungslehre“ in leichtverständlicher Form dargestellt sind. Besonders erfreulich ist die Neuerung, daß auf eine Formulierung der chemischen Vorgänge durch Gleichungen allgemein verzichtet wird, und die Prozesse und ihr Richtungsverlauf durch Reaktionsschemata (mit Pfeilen) dargestellt werden, wie dies in den Hörsälen der Hochschulen schon seit langem Brauch ist. Damit dürfte dann aber auch die Angabe der Zahlenkoeffizienten bei komplizierteren Reaktionen vielfach überflüssig werden. Das Buch hat in Fachkreisen bereits Zustimmung gefunden und kann den Kollegen zur Prüfung bestens empfohlen werden. *Kowallek.*

Wegweiser durch die Chemie. Anleitung zum Verständnis chemischer Vorgänge durch „chemisches Denken“. Von KARL KOHLENBERG und OTTO REIFENSTAHL, Studienräte am Reformrealgymnasium in Bad Harzburg, Braunschweig 1930. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn, A. G. Geheftet RM 1.20.

Wie das Vorwort besagt, soll der Schüler „chemisch denken“ lernen und „an Hand des Werkchens das Verständnis für Ursache und Wirkung in der Chemie gewinnen“. Ich glaube, daß bei verständnisvoller Ein- und Anleitung das vorliegende Bändchen wirklich sehr vorteilhaft im Unterricht für Fortgeschrittene und in der chemischen Arbeitsgemeinschaft gebraucht werden kann. Es ist sehr wohl möglich, daß durch das Zusammenfassen von „zusammengehörigen Erscheinungsgruppen“ das Gedächtnis entlastet und das Verständnis für chemisches Geschehen ge-

fördert wird. Für Lehrer, die sich tiefer in derartige Zusammenhänge einarbeiten wollen, möchte man an dieser Stelle das Lehrbuch der anorganischen Chemie von EPHRAIM empfehlen.

Dort wie hier werden die Umsetzungen und Darstellungsmethoden auf möglichst wenige Grundideen zurückgeführt. Daß es sich im vorliegenden Falle nur um die wichtigsten Erscheinungsgruppen handelt, geht hervor aus dem Ziel des Wegweisers, dem Schüler zu helfen, den chemischen Lehrstoff besser zu übersehen und die Zusammenhänge tiefer zu erfassen. Nebenbei nur: die Bezeichnung Mangansuperoxyd sollte durch Mangandioxyd ersetzt werden. Ich möchte das Werkchen gern zur Benutzung empfehlen.

Dr. O. Schar Schmidt.

Anleitung zum Experimentieren in der Vorlesung über organische Chemie. Von HANS RUPE. 2. Aufl. 177 S., 31 Abb. Braunschweig 1930. Vieweg & Sohn., Geb. RM 14.—.

An Stelle der Beschreibung der Elementaranalyse und der Molekulargewichtsbestimmung, die in der neuen Auflage weggelassen sind, haben zahlreiche neue Versuche, sowohl aus der Chemie der aliphatischen wie aus der der zyklischen Verbindungen, Aufnahme gefunden. Aus der großen Zahl der gut durchgearbeiteten und sorgfältig ausgelesenen Demonstrationsversuche aus allen Gebieten der organischen Chemie sind viele auch zur Demonstration im chemischen Unterricht höherer Schulen geeignet, und eine ganze Reihe davon ist in chemischen Schülerübungen und Arbeitsgemeinschaften gut verwendbar. Die RUPESche Anleitung gehört neben der kleinen HOLLEMANSchen in die Handbücherei der höheren Schulen, an denen organische Chemie unterrichtet wird. Der Preis von RM 14.— erscheint bei 177 Seiten, auch wenn man die vorzügliche Ausstattung anerkennt, für ein derartiges Werk reichlich hoch.

Dm.

Betriebschemie für Maschinenbauer und Elektrotechniker. Von Dipl.-Ing. Prof. Dr. S. JAKOBI.

3. Auflage. 159 Seiten, 108 Abbildungen. Berlin 1930. Julius Springer, RM 6.50.

Der Verfasser hat sich in seiner „Betriebschemie“ das Ziel gesetzt, den Chemieunterricht an technischen Lehranstalten für Maschinenbau und Elektrotechnik zu einer Einführung in die Werkstoffkunde zu gestalten. Die Chemie soll die wissenschaftlichen Grundlagen für das Verständnis der modernen Werkstoffe übermitteln. Dieses Ziel sucht der Verfasser zu erreichen durch eine chemische Technologie der für den Ingenieur obiger Fachrichtungen wichtigsten Werk- und Betriebsstoffe, der auf etwa 20 Seiten einige Grundbegriffe der Chemie und physikalischen Chemie vorangestellt sind.

Ob eine derartige Verlagerung des Schwerpunktes ins rein Technologische die beste Lösung für den Chemieunterricht im obigen Sinne darstellt, mag zum mindesten sehr umstritten sein. Meines Erachtens sollte auch an technischen Lehranstalten, trotz der leider nur geringen, der Chemie zur Verfügung gestellten Zeit, mehr Wert gelegt werden auf Entwicklung von Zusammenhängen und Gesetzmäßigkeiten, als auf eine Beschreibung einer ganzen Reihe technologisch zwar wichtiger, aber im übrigen doch nur lose zusammenhängender Einzeltatsachen. Lieber auf Kosten der Breite und Abrundung ein Eindringen in die Tiefe! Soviel an dieser Stelle über die Gesamteinstellung des Buches.

Der Inhalt im einzelnen zeichnet sich durch Klarheit und Konzentration aus: die Darstellung der technologischen Vorgänge ist leicht verständlich und wird durch übersichtliche Zeichnungen vortrefflich unterstützt, während andererseits die Fülle und Mannigfaltigkeit des auf relativ kleinem Raum Gebotenen überrascht.

Trotz der Kritik an der Gesamteinstellung des Buches kann man wohl zusammenfassend sagen, daß von Lehrbüchern dieser Art und Einstellung das von JAKOBI eines der besten darstellt.

Dr. Koch.

Vereine und Versammlungen.

Bericht über die 33. Hauptversammlung des deutschen Vereins zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts vom 7. bis 11. April 1931 in Dortmund¹.

Zur offiziellen Begrüßung hatten sich die Teilnehmer der 33. Hauptversammlung des Fördervereins in Dortmund am Abend des 7. April in dem historisch interessanten alten Rathausaal vereinigt. Musikalische Darbietungen eines Schülerorchesters umrahmten die Begrüßungsansprachen der Vereinsvorstände und der Vertreter der städtischen und staatlichen Behörden. Am folgenden Morgen wurde dann die Lehrmittel- und Buchausstellung in der Oberrealschule eröffnet, in deren Aula die meisten Sitzungen stattfanden.

¹ Zum Teil unter Verwendung von Autorberichten.

Da Prof. Dr. KONEN (Bonn), der den ersten Vortrag übernommen hatte, erkrankt war, begann die erste allgemeine Sitzung um 10 Uhr mit einem Vortrage des Direktors des Forschungsinstituts der Vereinigten Stahlwerke Dortmund Prof. Dr.-Ing. E. H. SCHULZ über „moderne Stahlforschung“. Die Beschaffenheit der Rohstoffe, der Herstellungsgang des Eisens und Stahls, Zusammensetzung und Eigenschaften der Fertigerzeugnisse wurden schon immer in den Betriebslaboratorien ständig überwacht. Ausgehend von dem Ausbau dieser Überwachungsuntersuchungen durch Laboratorien und Versuchsanstalten in den Hüttenbetrieben entwickelte sich mehr und mehr eine selbständige wissenschaftliche Arbeit. Organisatorisch den weitestgehenden Schritt machte in dieser Beziehung der Konzern der Vereinigten Stahlwerke A. G., Dortmund, die kurz nach ihrer

Gründung ein besonderes Institut ins Leben riefen, das ausschließlich den Zwecken der Forschung dient. Ziel dieser Forschungsarbeiten ist einmal die Entwicklung neuer Stahlegierungen und neuer Arbeitsverfahren, dann die Feststellung neuer Verwendungsgebiete für die Erzeugnisse. Hierbei leistete zunächst besonders die analytische Chemie hervorragende Dienste. Welche Rolle sie heute in den Betrieben spielt, mögen einige Zahlen erläutern: In den Hochofenbetrieben der Vereinigten Stahlwerke werden monatlich etwa 24000 Analysen zur Kontrolle des Roh-eisens durchgeführt; auf je 1000 t Stahl kommen etwa 400 bis 500 Analysen. Systematischer Arbeit ist es gelungen, den Phosphorgehalt des Siemens-Martinstahls erheblich herabzusetzen. Während er 1913 noch 0,02 bis 0,1% betrug, geht er heute nicht über 0,01 bis 0,06% hinaus. Anregungen erfährt die Stahlforschung oft durch die Forderungen der Verbraucher. Da wurde z. B. ein Stahl mit besonderen magnetischen und elektrischen Eigenschaften verlangt. In einjähriger Forschungsarbeit wurden die magnetischen Eigenschaften als Funktion des Kohlenstoffgehalts usw. untersucht, und dann war man in der Lage, Stahl mit vorgeschriebenen magnetischen Eigenschaften zu liefern. Auch die Mikrophotographie, die MARTENS vor mehr als 40 Jahren zum erstenmal zur Gefügeforschung verwandte, steht heute an hervorragender Stelle im Dienst der Stahlforschung. Nur mit ihrer Hilfe läßt sich der Einfluß von Randblasen und Seigerungen auf Stahlstäbe feststellen. Auch die Bedeutung des Nachglühens hat man so erforschen können. Während z. B. ungeglühter Stahl eine grobe Struktur aufweist und bei der Kerbschlagprobe nur einen Schlagwiderstand von 3,5 mkg/cm² hat, erhält er durch Glühen eine Feinstruktur, und sein Schlagwiderstand steigt auf 9,3 mkg/cm². Strukturänderungen sind auch die Ursache der Änderung des Schlagwiderstandes bei sinkender Temperatur. Während eine Stahlsorte z. B. in ungeglühtem Zustande bei 20° C 175 mkg/cm² und bei - 60° C nur noch 25 mkg/cm² hat, ist dieser Schlagwiderstand nach der Wärmebehandlung bei allen Temperaturen stets fast gleich groß (175 mkg/cm²). Für Ankerketten z. B. ist diese Erfahrung von besonderer Bedeutung. Auch zur Notwehr der Stahlwerke gegen die Klagen der Verbraucher dient die Mikrophotographie; zeigt sie doch z. B. einwandfrei, daß Schienenstahl durch das Gleiten der Eisenbahnräder beim Bremsen gehärtet wird. Was die Stahlforschung geleistet hat, zeigt z. B. ein Vergleich der magnetischen Leistungen der Stähle vor etwa 32 Jahren und jetzt, die nahezu auf das 20fache gestiegen sind. Welchen Einfluß die Stahlforschung auf anderen Gebieten der Technik hat, beweist die Entwicklung der Dampfkraftanlagen. Diese arbeiten heute mit hohem Druck bei hoher Temperatur. Nun nehmen die Zugfestigkeit und die Streckgrenze bei Zunahme der Temperatur von 0° bis 600° beim gewöhnlichen Stahl um mehr als 50% ab, während die Dauerfestigkeit fast auf 0 sinkt; es zeigte sich besonders bei zunehmender Belastungsdauer eine starke

Abnahme der Warmstreckgrenzen. Als man dem Stahl Molybdän und besonders Vanadin zusetzte, blieb die Streckgrenze auch bei längerer Belastungsdauer praktisch gleich. So ist Cr-Mo-Va-Stahl bei 600° noch sehr fest (Streckgrenze 20 kg/mm²).

Als Beispiel der nicht durch die Forderungen der Verbraucher bestimmten Forschungsarbeiten wurden die Versuche erläutert, den Rostwiderstand des Stahles zu erhöhen. Als kurz vor dem Kriege aus Amerika die Nachricht kam, daß $\frac{1}{4}$ % Cu-Zusatz zum Stahl diesen rostfrei machen sollte, erschien dies zunächst recht fraglich, zumal die hier in Deutschland ausgeführten Prüfungen fehl-schlügen. Erst systematische Untersuchungen in Amerika und hier in Deutschland brachten Aufschluß über den Einfluß des Cu-Gehalts auf das Rosten des Stahles. Da zeigte sich, daß der Gewichtsverlust Cu-haltigen Stahles in feuchter Luft und in 5% Schwefelsäure gering, in Wasser dagegen groß war. Zur Erklärung dieser Tatsache nimmt man an, daß unter dem oberflächlichen Rost eine sehr dünne Schicht von CuO entsteht, die weiteres Rosten verhindert. Im Wasser aber wird sie abgewaschen, der Cu-Gehalt bleibt daher unwirksam. Die Salze des Meerwassers rufen dagegen eine Art Kittwirkung hervor, die die Schicht erhält. Noch bessere Schutzwirkung als Cu hat ein Zusatz von 0,11% Al zum Stahl. Er erhöht die Lebensdauer besonders für Wasserbauten um 70%. Während man früher Cu für einen Feind des Stahles hielt, arbeitet man heute mit über 0,25% Cu-Gehalt im Stahl. Vor wenigen Jahren noch verwandte man für Bauzwecke Si-Stahl, heute hat man in Stahl mit 0,1% Cu und Cr einen rostgeschützten Baustahl. Während die Korrosionsfähigkeit des Si-Stahles und die des Cu-Cr-Stahles unter Öl die gleiche ist, ist der letztere unter Wasser doppelt so gut wie der Si-Stahl. Die Ursache für den Einfluß des Glühens auf die Festigkeitseigenschaften des Cr-Cu-Stahles erkannte man erst, als man das Zustandsdiagramm Fe-Cr-Cu mit steigender Temperatur untersuchte. So fand man, daß geringe Mengen Cu im Stahl in Lösung gehen.

Eine andere bedeutsame Seite der Stahlforschung ist die dauernde Qualitätsverbesserung der vorhandenen Stahlsorten. Hier ist es insbesondere die Überwachung der Zusammensetzung und der Eigenschaften der Erzeugnisse und die Auswertung der hierbei erzielten Ergebnisse, die schrittweise und sicher die Qualität der Stahlerzeugnisse dauernd steigern. Gerade für das an Rohstoffen so arme Deutschland ist die Qualitätsentwicklung und damit die Forschungsarbeit neben der Händearbeit von ganz besonderer Bedeutung.

Dann hielt Privatdozent Dr. HANS SPETH-MANN (Essen-Köln) einen Vortrag über „Ruhrkohle und Wirtschaft im Rahmen der gesamten Kohlenwirtschaft“. In der Ruhrkohlenwirtschaft sind von jeher ausgeprägte Konjunkturen und Krisen zu verzeichnen gewesen. Stets folgten die gleichen Begleiterscheinungen: Einschränkungen der Produktion, Abbau der

Löhne und Gehälter, Entlassungen und Stilllegungen. So trat eine große Konjunktur auf durch die Erfindung der Eisenbahn. Kohlen- und Schifffahrtstraßen mußten geschaffen werden. Nun liegt die Kohle im Ruhrgebiet in nach Norden einfallenden Flözen etwa 600 m unter Tage unter Mergel. HANIELS erster Abbaueversuch im Jahre 1840 scheiterte. MATTHIAS STINNES' Versuch nach dem Topingsystem, d. i. Abteufen mit großem Ring, gelang, ja man war in diesen Gruben über 50 Jahre lang fündig. Auf diesen Erfolg hin strömten nun Bergleute aus allen Gegenden Deutschlands, auch Irlands (vgl. Zeche „Shamrock“) herbei, um sich am Bergbau zu beteiligen und so dem englischen Kohlenmarkt Konkurrenz zu machen. Doch bald trat nach der Hochkonjunktur 1855 schon die Krisis ein, die von 1857 bis 1865 dauerte. Die Gründerzeit brachte bedeutenden Aufschwung, aber schon 1873 begann eine neue Krisis. In den neunziger Jahren gings wieder aufwärts, während 1900 schon wieder eine Depression eintrat. Bis 1910 verlief dann die folgende Aufwärtsbewegung in der Kohlenwirtschaft. Nach dem Kriege nahm die Kohlenförderung wieder ab. 1924 wurden z. B. nur 75% von der Förderung des Jahres 1913 erreicht. Seitdem trat die schwierige Absatzfrage ein, die in der gegenwärtigen schweren Krisis dazu geführt hat, daß zur Zeit etwa 7 Millionen Tonnen Kohle auf den Zechenhalden liegen. Die Ursache dieser Abwärtsbewegung der Kohlenwirtschaft sind in den Tributlasten nach dem Kriege zu suchen. Speziell im Ruhrkohlengebiet brachte der Ruhrkampf, dessen moralische Bedeutung deshalb aber nicht zu unterschätzen ist, eine besonders starke Verarmung mit sich. Hinzu kommt noch, daß gerade nach dem Kriege der Steinkohle eine Reihe von Konkurrenten erwachsen sind, so die Wasserkraft, die Braunkohle und die Ölverfeuerung. Über dem Ganzen lastet die allgemeine Weltwirtschaftskrisis, deren Kern eine Überproduktion ist. Wie der Redner auf Grund einer längeren Amerikareise feststellen konnte, erstickt die Wirtschaft in Lagerbeständen, sei es an Kohle, Kupfer, Erz oder Öl, sei es an Kautschuk, Weizen, Mais oder Zucker. Erwähnt sei noch, daß durch Verlagerung der Zechen nach Südwesten die Kohlegewinnung von der Ruhr fast verschwunden ist.

Daran anschließend sprach in der Aula der Knabenmittelschule der Leiter der geologischen Abteilung der westfälischen Gewerkschaftskasse, Bochum, Bergassessor Prof. Dr. KUKUK über die Bildung der Steinkohle, wobei der vom Vortragenden und Dr. STACH wissenschaftlich bearbeitete Film „Die Entstehung eines Steinkohlenflözes“ vorgeführt wurde. Er ging aus von der Pflanzen- und Tierwelt der Karbonzeit und erläuterte dann die wichtigsten Einzelvorgänge, die zur Bildung der physikalisch und chemisch verschiedenen Gefügebestandteile der Kohle, zur Glanz-, Matt- und Faserkohle führten. Während nach dieser Darstellung die Glanzkohle (Vitrit) vorwiegend aus Holzigen Teilen besteht, sind bei der Entstehung der Mattkohle (Durit) Sporen

beteiligt. Die Faserkohle (Fusit) wird schließlich als das Ergebnis eines Waldbrandes dargestellt. Lagern sich nun über solches Torfmoor terrestrische und marine Sedimente und pressen die Torfmasse zusammen, so führt dies zur Umwandlung der Substanz in Steinkohle; dabei bilden sich die schon makroskopisch erkennbaren Gefügebestandteile als Glanz-, Matt- und Faserkohle heraus.

In der am Nachmittag abgehaltenen **chemischen Fachsitzung** hielt zunächst Dr. G. SCHNEIDER vom Institut für Kohlentechnik, Dortmund, einen Lichtbildervortrag über „Hydrierung und Kohleverflüssigung“. Ausgehend von dem Begriff des Hydrierens besprach er zunächst die beiden Möglichkeiten, die einerseits in der Anlagerung von H-Atomen, andererseits in Substitution von Atomen oder Atomgruppen durch H-Atome besteht. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die variable Reaktionsfähigkeit des Wasserstoffs in verschiedenem Zustande und unter verschiedenen Bedingungen, wobei vor allem die katalytische Hydrierung und die Katalysatoren erwähnt wurden, die bei dem technischen Hydrierungsverfahren verwendet werden. Dann ging der Vortragende zu dem Begriff der Kohlenverflüssigung über und besprach die Behandlung der Kohle mit Lösungsmitteln, die trockene Destillation und andere Veredelungsverfahren für die Kohle, deren Entwicklung einen besonderen Anreiz durch die Steigerung des Verbrauchs an flüssigen Brennstoffen findet. Bei dem Berginverfahren zur Verflüssigung der Kohle wird diese bis auf die Aschenreste völlig verflüssigt. Dann ging der Redner auf das Methanolverfahren ein, das als Katalysatoren ZnO und Al₂O₃ verwendet, erörterte das Syntholverfahren und gab schließlich noch einige andere Beispiele der Verflüssigung von Kohleprodukten (z. B. $2\text{CO}_2 + 5\text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_4\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$; ferner Naphthalin + $2\text{H}_2 = \text{Tetralin usw.}$)

Dann führte Studienrat Dr. SCHMIDT (Hamburg) gasvolumetrische und maßanalytische Unterrichtsversuche mit einem neuen Meßgerät vor. Während man bisher die Gasmengen in Meßzylindern mit Sperrwasser abschloß, so daß wasserlösliche Gase keine Verwendung finden konnten¹, arbeitet der neue Apparat „Kolbenprober“ des Vortragenden mit einer sicheren Glaskolbenverdichtung. Mit diesem einfachen Apparat lassen sich Reaktionen zwischen Gasen und auch solche zwischen festen Stoffen oder Flüssigkeiten und Gasen recht bequem quantitativ ausführen. Der Vortragende wies zunächst auf einige physikalische Anwendungen des Apparats hin als hydrostatische Waage, zur Bestimmung des spezifischen Gewichts der Gase, zur Dampfdichtebestimmung und zur Bestimmung der Löslichkeit der Gase in Flüssigkeiten. Dann ging er auf chemische Versuche über, wie z. B. die Bestimmung des Atomgewichts, auf

¹Nach einem Vorschlag seines eben verstorbenen Lehrers, Geh. Studienrat Prof. Dr. FR. C. G. MÜLLER, verwendet Berichtersteller für wasserlösliche Gase über dem Sperrwasser eine 1 cm dicke Schicht Öl, die Wasser und Gas hinreichend sicher trennt.

quantitative Reaktionen zwischen Gasen u. a. m., die sich mit dem „Kolbenprober“ recht bequem ausführen lassen¹.

Hierauf folgte ein Vortrag von St.-R. Dr. G. SCHNDEHÜTTE (Frankfurt a. Main) über Wege zur Rationalisierung des Chemieunterrichts. Einer Rationalisierung, die heute das ganze technische Leben beherrscht, kann sich auch der Chemieunterricht nicht entziehen. Rationellere Ausgestaltung der Arbeitsräume und des Arbeitsgeräts ist zu fordern. Die Normung der Laboratoriumsgeräte ist auch für die Umformung des Unterrichts nach arbeitsunterrichtlichen Grundsätzen von Bedeutung. Ebenso bietet die Verwendung moderner, Zeit sparender rechnerischer Hilfsmittel (Nomogramme usw.) mancherlei Vorteile für den Unterricht. Viel dringlicher aber ist die Rationalisierung des Inhalts des Chemieunterrichts. Hierzu ist es notwendig, daß wertvolle Werkzeuge des modernen chemischen Denkens, wie z. B. das periodische System und das Atommodell, frühzeitige und ausreichende Verwendung finden. Auch fordert der Vortragende, daß außerdem der Lehrgang der Oberstufe übersichtlicher und folgerichtiger als bisher gestaltet wird. Hierfür können die Grundsätze der großen Methodik der Schulchemie sowie auch manches andere Lehrbuch für den Hochschulunterricht als Vorbild dienen. Eine gründliche Umgestaltung des Chemieunterrichts nach Form und Inhalt ist heute notwendig. Auf diesem Wege kann auch die Möglichkeit geschaffen werden, daß die Schulchemie ihre humanistische Aufgabe zu erfüllen imstande ist.

Zum Schluß führte Prof. Dr. HERZ (Dortmund) einige chemische Schulversuche mit einfachsten Mitteln vor, bei denen alle größeren Apparate vermieden wurden. Außer einem Glaszylinder wurden nur Reagenzgläser verwendet. Die Versuche betrafen die Vorgänge in Bleikammern, die Zerlegung eines Salzes im Wasser, die Entfärbung von Indigo durch H_2O_2 und die Abhängigkeit der Geschwindigkeit dieser Reaktion von der Temperatur und Katalysatoren und anderes mehr.

In der gleichzeitig neben der chemischen stattfindenden **mathematischen Fachsitzung** sprachen Prof. Dr. TOEPLITZ (Bonn) über das Verhältnis der Analysis zur Zahlentheorie, Prof. Dr. SALKOWSKI (Berlin) über die Konstruktionen der darstellenden Geometrie als Quelle geometrischer Lehrsätze. Dann behandelte Prof. Dr. WITTING (Dresden) eine Einschiebungsaufgabe 4. Grades in der griechischen Mathematik, die Pappus als von Archimedes herrührend überliefert hat: In einem Kreise sind eine Sehne und auf der Peripherie ein Punkt gegeben, durch den eine Gerade so zu ziehen ist, daß das Stück zwischen der gegebenen Sehne und dem zweiten Schnittpunkt zwischen Gerade und Kreis eine gegebene Länge

hat. Früher hat man diese Aufgabe vermutlich mit Hilfe der Konchoide gelöst, während Archimedes sie durch den Schnitt einer Parabel mit einer gleichseitigen Hyperbel löst, ein Beispiel dafür, daß die Methoden der analytischen Geometrie zu jener Zeit schon Verwendung gefunden haben. Oberstudiendirektor Dr. HIRZEBRUCH (Hamm) zeigte dann auf Grund von Erfahrungen in astronomischen Arbeitsgemeinschaften in einem Vortrage über astronomische Messungen und Beobachtungen auf der Oberstufe, wie man ohne Benutzung astronomischer Tabellen die Elemente der Astronomie mit den Schülern erarbeiten kann. In erster Linie handelt es sich dabei um die Bestimmung der geographischen Breite des Beobachtungsortes, die Messung von Deklination und Rektaszensionsunterschieden von Sternen, die Anfertigung von Sternkarten, die Bewegung der Planeten relativ zum Fixsternhimmel und die Gradmessung. Erforderlich ist dazu vor allem ein Theodolith. Nach einem Vortrag von O.-St.-R. Dr. DANIEL (Münster) über eine anschauliche und doch exakte Grundlegung der Reihenlehre führte St.-R. REUTER (Homburg) die Halbkugel nach Dr. PFLÜGER zur Konstruktion sphärischer Dreiecke vor. Zum Schluß sprach Prof. Dr. DIECK (M.-Gladbach) über die bedeutsame Rolle der Ökonomie im mathematischen Denken.

Am Abend wurden in der Aula der Knabenmittelschule ausgewählte Teile des interessanten und lehrreichen Films der Vereinigten Stahlwerke „Kohle und Eisen“ vorgeführt, die Einblicke von lebendigster Eindringlichkeit in das größte deutsche Montanunternehmen gewährten.

Die zweite allgemeine Sitzung am Donnerstag, den 9. April, hatte das Thema: 25 Jahre Meraner Reform und die heutige Lage des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts. Den Bericht über die Physik gab O.-St.-D. Dr. KARL HAHN (Hamburg). Er gedachte zunächst des verstorbenen Altmeisters der Physik Prof. Dr. FRIEDRICH POSKE, der in Breslau die Anregung zu dem „Meraner Bericht“ gegeben hatte. Auf dem Naturforschertag in Meran 1905 sind dann hinsichtlich der Reform des physikalischen Unterrichts drei Forderungen gestellt worden: 1. die physikalische Belehrung sollte künftig nicht mehr ausschließlich auf die mathematischen Beziehungen, sondern auf die Erfahrung und das Experiment im Unterricht gegründet sein; 2. sie sollte dem Schüler einen Einblick geben in die Wege, auf denen naturwissenschaftliche Erkenntnis erworben wird und 3. sie sollte durch Betätigung der Schüler an eigenen Versuchen ergänzt werden. Diese Reformforderungen sind in den 25 Jahren ihres Bestehens in den meisten deutschen Ländern durchgeführt worden; doch hat die preußische Unterrichtsreform von 1925 einen schweren Rückschlag gebracht, indem sie auf vielen Schultypen die Stundenzahl des Physikunterrichts so stark gekürzt hat, daß sie für die Vertiefung, die die Meraner Reform erzielen wollte, nicht mehr ausreicht. Dies trifft die Schule um so härter, als die physikalische

¹ Vgl. auch: Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften 37, 42, 1931 und Monatsheft f. d. naturw. Unterricht 1931, Heft 2.

Wissenschaft und Technik in der gleichen Zeit eine enorme Entwicklung erfahren hat und durch die Methodik des physikalischen Unterrichts vor sehr schwierige Aufgaben der Anpassung an die Gegenwart gestellt wird. Leider kommt aus Mangel an Zeit die zweite Meraner Forderung heute oft zu kurz. Stoffbegrenzung tut not. POHLS „Einführung in die Elektrizitätslehre“ kann hier Wege weisen, nicht die neuen Versuche darin, sondern die rationalisierende Methode, nur muß hier noch eine schulgemäße Form gefunden werden. Vorläufig kann man noch keine Antwort geben auf die Frage, ob man den alten Weg verlassen, oder ob man ihn beibehalten soll. Philosophische Vertiefung des Unterrichts kann nur durch eigenes Erarbeiten gewonnen werden. Das ist besonders in der Physik möglich, wo viele Grundanschauungen dem philosophischen Denken den Weg ebnen. Soll der physikalische Unterricht seine Aufgabe, Menschen mit Wirklichkeits- und Tatsachensinn zu erziehen, erfüllen, dann muß er in der heutigen Zeit dringender als je die notwendigen Auswirkungsmöglichkeiten haben und daher mindestens wieder die Stellung auf der Schule einnehmen, die man ihm früher eingeräumt hatte.

Im Anschluß an diesen Bericht gedachte der Versammlungsleiter O.-St.-D. Dr. LETZMANN noch der Verdienste GRIMSEHLS um die Förderung des physikalischen Unterrichts im Sinne der Meraner Reformpläne.

Über den mathematischen Unterricht berichtete sodann O.-St.-D. Dr. GEBHARDT (Dresden). Ausgehend von dem Stande des mathematischen Unterrichts um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, wo der Neuhumanismus noch bestimmend auch auf die Lehrpläne einwirkte, besprach er die Ansätze einer Reform schon Ende des 19. Jahrhunderts, bis der Reformbewegung in FELIX KLEIN ein kraftvoller Führer erstand. Besonderes Verdienst um die Neuordnung des mathematischen Unterrichts haben insbesondere die Naturforscherversammlung, die 1905 in Meran ihre grundlegenden Thesen aufstellte, der Deutsche Verein zur Förderung des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts, der Deutsche Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht (D.A.M.N.U.) und die Internationale Unterrichtskommission (I.M.U.K.), deren umfangreiche Veröffentlichungen starke Antriebe zur Weiterentwicklung des begonnenen Reformwerkes boten. In den heutigen Lehrplänen sind noch nicht alle Forderungen der Reform erfüllt, wie die abschließende Kritik der heutigen Lage des mathematischen Unterrichts in Deutschland zeigte.

Über den chemischen Unterricht berichtete O.-St.-R. Dr. MANNHEIMER (Mainz). Er sieht in den Meraner Reformvorschlägen trotz nachfolgender Bemühungen der Fachkreise die letzte geschlossene Äußerung eines Willens, die naturwissenschaftlichen Bildungsgüter an die Stelle in den Lehrplänen der realistisch gerichteten höheren Schulen zu setzen, die ihnen nach ihrer Bedeutung zukommt. Die Meraner Leitlinien, durch die auch

der Chemieunterricht starke Impulse erfahren hat, sind nur von wenigen deutschen Ländern, an erster Stelle von Hamburg, dann auch von Bayern weiterverfolgt worden. Durch die preußische Schulreform von 1925 sind sie besonders stark abgelenkt, ja zum Teil abgebrochen worden. Man hat hier die Naturwissenschaften in eine „Randstellung“ verwiesen, in der sie ihre Ziele, die noch gegen die früheren erweitert sind, nicht mehr erreichen können. In unterbrochenen Halbjahrslehrgängen soll zumal der Chemieunterricht Forderungen erfüllen, die man in Meran nicht zu erheben wagte. Hier kann die geistige Leistung, die aus dem Arbeitsvorgang erwachsen soll, leicht zu kurz kommen. Es gilt jetzt, die Meraner Forderungen wieder aufzunehmen und auszubauen. Von den Vorschlägen des Referenten seien hier genannt: die organische Chemie und Biologie werden zweckmäßig vereinigt; die Mineralogie gehört als Teil des Naturganzen in den Unterricht, doch nicht ihre Systematik, keine Kristallographie; geweckt werden soll nur das Verständnis für die Gesetzmäßigkeiten in der inneren Struktur des Kristalls; die Theorie ist im Unterricht zu vertiefen. Bei den chemischen Übungen wird man sich heute wohl bescheiden müssen. Besonderes Augenmerk ist der Chemie im Rahmen der Konzentration des Unterrichts zu widmen. Auch wenn die erzieherischen Ideologien der heutigen Zeit dem zuwiderzulaufen scheinen, müssen wir doch unseren Fächern ihr Recht erringen!

Die Lage des biologischen Unterrichts behandelte St.-R. Dr. DEPDOLLA (Berlin) in seinem Bericht. Die Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte hatte auf ihren Versammlungen in Hamburg 1901 und in Kassel 1903 die Durchführung des biologischen Unterrichts durch alle Klassen der höheren Lehranstalten gefordert. Auf der Versammlung in Meran 1905 wurden die daraufhin ausgearbeiteten neuen Lehrpläne für alle Naturwissenschaften angenommen und für die Biologie je zwei Wochenstunden für alle Klassen gefordert. Bisher ist dieser Plan noch in keinem deutschen Lande voll durchgeführt worden, obwohl das von ihm dargebotene Maß von naturwissenschaftlichen Kenntnissen für das volle Verständnis des modernen Lebens unerlässlich ist. In den meisten Ländern ist der biologische Unterricht auf der Mittel- und Oberstufe der höheren Schulen mannigfach unterbrochen. Darum muß die nun 30 Jahre alte Forderung wieder erneut werden, denn nur der ununterbrochene Unterricht in Biologie ermöglicht den Aufbau einer auf sicheren Kenntnissen beruhenden Einsicht in das vielfältige und geheimnisvolle Wesen des Lebens. Ohne diese Einsicht fehlen den Gebildeten die wichtigsten Grundlagen für die Gesunderhaltung der Person, der Familie und des Volkes, fehlen aber auch die Fähigkeiten, in der lebenden Natur das Erkennbare „zu erforschen und das Unerforschliche ruhig zu verehren“.

Zum Schluß sprach O.-St.-R. Dr. BAVINK (Bielefeld) zu dem Thema: „Welche Aufgaben stellen die neuen Ergebnisse der Natur-

wissenschaft dem Unterricht?“ Auf zwei Gruppen von Entdeckungen muß man heute hinweisen, womit man die Gegner der Naturwissenschaften ent Waffen kann, das sind die neuen Erkenntnisse der Physik und die der Vererbungslehre. Vom Mechanismus müssen wir zum Idealismus an der Hand DEMOKRITS übergehen. Aus den Mauern der mechanistischen Anschauungen, die uns seit 300 Jahren umfassen halten, müssen wir heraus. Dazu weist die moderne Physik den Weg. Verflüchtigt sie doch den Sinn der „Materie“; in dem Begriff „Wirkung“ drückt sie zugleich Raum und Zeit aus. Die theoretische Physik zeigt heute eine mathematische formale Fassung, worauf u. a. WEYL hingewiesen hat. Auch die letzten Grundgrößen gehen einer Auflösung entgegen. Die HEISENBERGSche Unbestimmtheitsrelation zieht die Aufhebung der zweiten Kategorie KANTS nach sich, der Kausalität. Während man früher die Ansicht vertrat, daß die ganze Welt eine Maschine sei, und man aus einem gegebenen Anfangszustand alle Folgeerscheinungen in zeitlicher Unbegrenztheit berechnen zu können glaubte, wobei die ethischen Begriffe wie Gott usw. ihren Wert verloren hatten, steht man heute auf dem Standpunkt, daß diese LAPLACESche Fiktion jetzt unmöglich geworden ist. Es gibt gar nicht solche Fiktionen, nach denen man alles eindeutig aus dem Anfangszustand errechnen kann. Die bisherige Zufälligkeit des Anfangszustandes bleibt jetzt für den ganzen zeitlichen Verlauf der Ereignisse bestehen. Heute tritt die Statistik da ein, wo man früher eindeutige Funktionen vermutete. So haben diese neuen grundlegenden Erkenntnisse der Physik, die hier nur gestreift wurden, uns ein ganz neuartiges Weltbild vermittelt, in dem Raum und Zeit, Substanz und Kausalität eine völlig andere Rolle spielen als in dem bisherigen klassisch-mechanistischen. Dadurch sind auch alle alten Grundprobleme der Weltanschauung wie Gott, Seele, Willensfreiheit auf eine ganz neue Grundlage gestellt worden. Aus all diesem ergibt sich die Bedeutung der Physik für die Kultur. Dazu gesellen sich die Ergebnisse der neuzeitlichen Vererbungslehre, die ebenso grundlegende Einsichten auf dem Gebiet der Volkserziehung, Volkswohlfahrt und auch des einzelnen persönlichen Lebens zur Folge haben. Die heutige Schulbildung muß diese wichtigsten aller neuzeitlichen Erkenntnisse gründlich vermitteln, will sie nicht ihre wichtigste Aufgabe verfehlen. Denn sie würde, falls sie diese wichtige Aufgabe nicht löst, verhindern, daß die heranwachsende Jugend gerade das mit vollem Verständnis miterlebt, wodurch sich voraussichtlich unsere Zeit in der Geisteswissenschaft ihr Denkmal setzen wird. Ein Appell an die Versammlung, hier auch im Interesse unseres Unterrichts mitzuarbeiten, beschloß die interessanten Ausführungen.

In der am Freitag, den 10. April abgehaltenen physikalischen Fachsitzung zeigte Dr. F. MOELLER (Staatliche Hauptstelle, Berlin) zunächst Versuche mit kleinen Röhrengeneratoren. Die heutige elektrische Energieversorgung hat die

Wechselstromgesetze in den Vordergrund gerückt. Diese zu demonstrieren, ist Aufgabe der folgenden Versuche. Da sie sich an dem üblichen Wechselstrom von 50 Hertz nur auf großen Umwegen erläutern lassen, wird hier die Elektronenröhre dazu herangezogen, ganz langsame Wechselströme zu erzeugen. Dem Vortragenden ist es so gelungen, die Frequenz bis auf etwa 0,5 Hertz herabzudrücken; der nach der Gegentaktschaltung arbeitende Röhrengenerator arbeitet mit 3 bis 0,5 Hertz. Eingeschaltete Milliampereometer zeigen deutlich die Frequenz durch periodische Änderung des Anodenstromes an. Durch Transformieren der verstärkten Leistung wird einphasiger Wechselstrom gewonnen, an dem mittels normaler Gleichstrominstrumente die Phasengesetze erläutert werden. So läßt sich auch zeigen, daß an einem OHMSchen Widerstand keine Phasendifferenz von Strom und Spannung auftreten; sie stellt sich aber sofort ein, wenn statt des Widerstandes eine Induktivität oder Kapazität eingeschaltet wird. Ein kurzgeschlossener Transformator wirkt wieder als rein OHMScher Widerstand. Die Leistung des vorgeführten Modells von etwa 20 Watt gestattet auch die Durchführung größerer Versuche. Darauf wurden mittels Röhrensummer einige Versuche mit Tonfrequenzen, wie z. B. Schwebungen und Wechselstrommessungen mit der Brücke, vorgeführt¹.

Dann zeigte St.-R. Dr. GROSCH (Kiel) in Resonanzversuchen die grundlegenden Tatsachen und Gesetzmäßigkeiten der Resonanzerscheinungen an verschiedenen schwingungsfähigen Gebilden. Im Schattenwurf einer Bogenlampe wurden die Versuche für alle Hörer gut sichtbar gemacht. Verwendet wurde ein statisch bestimmt aufgestelltes, daher eigenschwingungsfreies Stativ (von Meiser & Mertig), das ein kräftiges, von 35 bis 210 Schwingungen in der Minute einstellbares Erregerpendel an einem 1 m langen Quersteg trägt. Nach einigen Grundversuchen mit zwei Sätzen von Bifilarpendeln mit weit auseinander- und mit nahe zusammenliegenden Schwingungszahlen wurde die Abhängigkeit der Breite des Resonanzgebietes von der Enge der Koppelung und von der Erregbarkeit des Resonators demonstriert. Lose herabhängende Ketten zeigten Resonanz in Grund- und Oberschwingungen. Ihre Längen waren so berechnet, daß möglichst oft mehrere der Ketten in verschiedenen Schwingungsformen auf dieselbe Erregung ansprachen. Da die Spannung in den Ketten nach oben hin zunimmt, sind die Oberschwingungen nicht harmonisch. Bei der Berechnung der Eigenschwingungszahlen ist zu berücksichtigen, daß die Gesamtspannung der Kette wegen ihrer Schmiegsamkeit in jedem Punkte bei konischer Schwingungsform in der Richtung der Tangente wirkt. Ein Vergleich der Horizontalkomponente mit den darunter wirksamen Zentrifugalkräften führt zu der Differentialgleichung $x \cdot y'' + y' + y = 0$ und diese zu der Reihe:

¹ Der Vortrag ist im vorliegenden Heft dieser Zeitschrift auf S. 194 bis 212 abgedruckt.

$$y = 1 - \frac{x}{1! \cdot 1!} + \frac{x^2}{2! \cdot 2!} - \frac{x^3}{3! \cdot 3!} + \frac{x^4}{4! \cdot 4!} - \dots$$

Damit ist die Gestalt der schwingenden Kette bestimmt. Die Nullstellen $x_1 = 1,45$, $x_2 = 7,62$, $x_3 = 18,75 \dots$ sind die Verhältnisse der Kettenlänge zu der Länge des synchronen Pendels. Dann folgten anschauliche Versuche mit Schnüren, die in gleichen Abständen Gewichte tragen. Bei einem Gewicht ist bekanntlich nur eine Grundschiwingung möglich, bei zwei Gewichten tritt hierzu noch eine zweite resonanzfähige Schwingungsform, bei dreien noch eine dritte usw. Die Berechnung der Eigenschwingungszahlen ist bei diesen Gewichtsschnüren bis zu drei Gewichten so einfach, daß sie auch an nichtrealen Anstalten durchgeführt werden kann. Gebrauch wird nur die Zerlegung von Kräften und die Formel für die Zentrifugalkraft. Bei der allgemeinen Lösung für n gleiche Gewichte in gleichen Abständen sind die Nullstellen der n -ten Hauptdeterminante der Matrix:

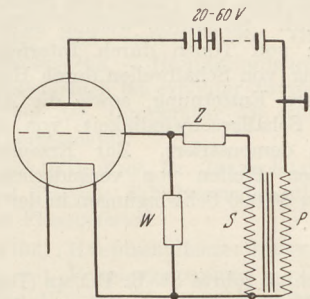
$$\begin{vmatrix} (1-z) & z & 0 & 0 & \dots \\ 1 & (1-2z) & 2z & 0 & \dots \\ 1 & 1 & (1-3z) & 3z & \dots \\ 1 & . & . & . & \dots \end{vmatrix}$$

die Verhältnisse der Längen der n synchronen Pendel zu dem Abstände benachbarter Gewichte. So lassen sich auch die relativen Bahnradien der n Gewichte und damit die Gestalten der individuell verschiedenen Schwingungsformen der resonierenden Gewichtsschnur berechnen.

Darauf führte O.-St.-D. KLEIN (Dortmund) Versuche zur Einführung in die elektrische Schwingungslehre mit der singenden Bogenlampe vor. In die Netzleitung wird in dieser Versuchsanordnung eine Drosselspule gelegt. Parallel zum Lichtbogen werden hintereinander ein Stufentransformator von 0, 2, 4, 6 Henry und ein von 1 bis 10 MF variabler Kondensator geschaltet. Parallel zum Stufentransformator liegt ein Lautsprecher, dessen Schwingungsformen mit Glimmlichtoszillographen demonstriert werden. Gezeigt wurden die Phasenverschiebung, Einfluß neben- und hintereinandergeschalteter Induktivitäten und Kapazitäten u. a. m.

St.-R. PAULUSSEN (Dortmund) behandelte die Selenzelle und Photozelle im Demonstrationsunterricht und in Arbeitsgemeinschaften. Er zeigte eine Reihe von Versuchen, die die physikalischen Eigenschaften der Selen- und der Photozelle und einige technische Verwendungsmöglichkeiten erkennen ließen. Zur Wahrnehmbarmachung der einzelnen photoelektrischen Effekte wurde an Stelle eines elektrischen Meßinstruments, das nur auf die Empfindlichkeit des Effektes befriedigend reagiert, ein kleiner Röhrengenerator für elektrische Schwingungen in Tonfrequenz benutzt. Selen- und Photozelle waren in den Gitterkreis dieses kleinen Senders eingeschaltet und im Lautsprecher wurden die geringsten Belichtungsänderungen als Tonänderung wahrgenommen. Die Schaltung zeigt die Figur. Darin ist L der Lautsprecher, W ein

Hochohmwiderstand, SP ein gewöhnlicher Radio-transformator und Z die Selen- oder die Photozelle. Die Trägheitslosigkeit der Photozelle zeigte sich als Tonsprung bei Belichtung, die Trägheit der Selenzelle als allmähliches Ansteigen des Tones. Da jeder Schatten, der auf die Zelle fällt, ein kurzes Schwanken des Tones gibt, kann die Anordnung als Zählwerk verwendet werden. Helle und dunkle Papiere geben durch verschiedene Reflexion des Lichtes auf die Zelle Tondifferenzen. Durch eine Relaisübertragung war



ein Stromkreis mit einer Glühlampe mit eingeschaltet. Bei einer bestimmten Belichtung der Zelle erlosch die Lampe, um sofort wieder aufzuleuchten, wenn weniger Licht auf die Zelle fiel. Hier wurde erinnert an die Anwendung dieser Anordnung zur automatischen Einschaltung der Notbeleuchtung in Theatern, Kinos usw. und der Straßenbeleuchtung bei Eintritt der Dämmerung, sowie zur Einschaltung einer Kohlensäurelöschvorrichtung in Benzin- und Öllagern. Die Anwendung der Photozelle beim Tonfilm wurde auf folgende Weise gezeigt: Mittels eines Verstärkers wurde die Musik einer Sprechplatte einer Glimmlampe zugeführt, die dadurch für das Auge nicht sichtbare Helligkeitsschwankungen in der Musikfrequenz ausführt. Bei Belichtung der Photozelle mit der Glimmlampe ertönt aus dem mittels Verstärker angeschlossenen Lautsprecher die Musik. Läßt man das Licht einer Glühlampe an einem Würfelspiegel auf die Photozelle reflektieren, so ertönen je nach der Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels alle Töne der Tonskala. Wird die Glühlampe an Wechselstrom angeschlossen, so gibt der Lautsprecher den Wechselstromton. Nach Einweggleichrichtung war der Ton eine Oktave niedriger, bei Vollweggleichrichtung wieder eine Oktave höher.

Über Elektrophorese und Elektrosmose sprach St.-A. Dr. ENGELHARDT (Jena). Feinkörnig zerteilte Stoffe, die in einer Flüssigkeit schweben, wandern unter dem Einfluß einer elektrischen Spannungsdifferenz (Elektrophorese). Mit einer Aufschwemmung von Quarzmehl in destilliertem Wasser wurde diese Erscheinung demonstriert. Das Quarzpulver setzte sich beim Einschalten des Gleichstroms an der Anode ab; es muß also im Wasser negativ geladen sein. Daß die Quarzteilchen durch eine Spur von Aluminiumsulfatlösung eine Umladung erfahren, ließ sich ebenfalls mit dieser Versuchsanordnung zeigen.

Verwendet man das Quarzmehl als Diaphragma, so wandert das Wasser unter dem Einfluß der elektrischen Spannung durch das Diaphragma zur Kathode (Elektroosmose).

Dann führte Dr. H. KRÖNCKE (Berlin) neue akustische Versuche vor, zu denen vor allem eine Resonanzgröße verwendet wird, in der die Schallschwingungen der Luft mit Hilfe eines glühenden Drahtes sichtbar gemacht werden, indem dort, wo die Luft schwingt, der Draht gekühlt wird, während in den Schwingungsknoten, wo die Luft ruht, das Glühen des Drahtes nicht gestört wird. So wurde weithin sichtbar das Übertragen von Tönen durch Interferenz, die Übertragung von Schallwellen durch Hohlspiegel über größere Entfernung, sowie die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Art des Gases demonstriert. Zur Erzeugung der Töne dienen Pfeifen von veränderlicher Tonhöhe bis zu 30 000 Schwingungen in der Sekunde und mehr¹.

Zum Schluß führte St.-R. BLUME (Dortmund) in einem Vortrag über die Verwendung der Schwerewellen des Wassers im physikalischen Unterricht eine für diesen Zweck konstruierte Apparatur vor, die in der Zeitschrift für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht, Bd. 60, Heft 9, genauer beschrieben wurde. An den Beispielen der Schattenbildung und Beugung von Lichtwellen wurde gezeigt, wie der organische Einbau der Demonstrationen mit dieser Apparatur in den gewöhnlichen Unterricht in didaktischer Hinsicht große Vorteile bietet.

In der gleichzeitig abgehaltenen geographischen Fachsitzung sprach St.-R. Dr. EULENSTEIN über den Einfluß von Eisen und Kohle auf das Landschaftsbild im Ruhrgebiet. Er ging aus von der ursprünglichen Naturlandschaft mit ihren geologischen und morphologischen Gegebenheiten. Bis zum ersten Drittel des 19. Jahrhunderts beherrschte zwischen Ruhr und Lippe die bäuerliche Kulturlandschaft das Landschaftsbild; in den Niederungen der Ruhr, der Emscher und im Hellwegtal lagen Wiesen und Weiden bzw. Eichenwälder zur Schweinemast, auf dem Dortmunder Rücken die fruchtbaren Äcker auf den lößartigen Plateaubahnen und im Ardaygebirge der Wald auf Karbonsandstein. Die bäuerlichen Siedelungen lagen am Rande der drei Täler auf dem Quellhorizont. Unabhängig von der Morphologie entstanden die Zechen, erst kleine im Süden, später die gewaltigen Anlagen im Norden. Für die großen Eisenwerke war freier Raum und billiger Boden erwünscht; daher finden wir sie in den ehemaligen mehr oder weniger feuchten Wiesen. Außerdem wird das Landschaftsbild durch die gewaltige Ausdehnung der Siedelungen, Dörfer und Städte verändert. Nicht unwesentlich ist auch der Einfluß der Industrie

¹ Vgl. auch: Unterrichtsblätter f. Mathem. u. Naturwissenschaft 37, 84. 1931.

auf die Pflanzenwelt und vor allem auf den Menschentypus, der sich aus den zusammenströmenden Arbeitermassen entwickelte.

In der biologischen Fachsitzung berichtete zunächst Prof. Dr. FEUERBORN (Münster) über die Biologie tropischer Binnengewässer nach den Ergebnissen der deutschen limnologischen Sundaexpedition, die von ihm in Gemeinschaft mit Prof. THIENEMANN (Plön) und Prof. BUTNER (Linz) 1928/29 nach Sumatra, Java und Bali unternommen wurde. Dann behandelte Privatdozent Dr. med. FLÖSSNER (Marburg) die Frage: Welche Beiträge kann die moderne Biochemie für die Behandlung von Entwicklungsfragen im Unterricht liefern? Er erläuterte, daß den einzelnen Tierarten auch bestimmte biochemische Strukturen zukommen, durch die sie sich in gleicher Weise voneinander unterscheiden lassen wie durch äußere Formen. Auch in der Entwicklung des Einzelindividuums spielen biochemische Änderungen eine Rolle; hier sind vor allem die Einflüsse der Wachstumshormone bekannt. Durch sie rücken auch große erdgeschichtliche Vorgänge unserem Verständnis näher, wie der Übergang vom Wasserleben zum Landleben wichtige Stadien in der Entwicklung der Lebewesen auf der Erde darstellen. — Dann sprach St.-R. Dr. H. BUDE (Dortmund) über die Waldgeschichte Westfalens auf Grund pollenanalytischer Untersuchung seiner Moore, und zum Schluß führte St.-R. Dr. M. SCHMIDT (Hamburg) ein von ihm herausgegebenes neues Wandtafelwerk „Süßwasseralgen“ vor.

In einer geschäftlichen Sitzung wurde eine Entschließung angenommen, in der es nach dankbarer Anerkennung der Berücksichtigung der Meraner Reformvorschläge in den preußischen Richtlinien von 1925 weiter heißt:

„Die Versammlung stellte jedoch fest, daß weder der biologische noch der chemische Unterricht bei dem gegenwärtigen Stundenmaß die Aufgaben erfüllen kann, die ihm dabei durch die Richtlinien gestellt werden. Unerträglich ist vor allem die Unterbrechung des biologischen Unterrichts auf mehreren Klassenstufen und der Wechselunterricht in den Naturwissenschaften auf der Oberstufe. Unmöglich ist es weiter, in der von den Richtlinien angesetzten Unterrichtszeit die Naturwissenschaften nach dem Verfahren des Arbeitsunterrichts zu behandeln.

Der Verein bittet deshalb das Preußische Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung, in eine Revision der Stunden tafeln aller höheren Schulen einzutreten und dabei die gekennzeichneten Mängel abzustellen.“

Eine zweite Resolution erhebt Einspruch gegen die Vermehrung der Pflichtstundenzahl durch den preußischen Sparerlaß, und eine dritte bittet um Beibehaltung des Linearzeichnens als wahlfreien Unterricht in Preußen.

Ferner wurde beschlossen, die nächstjährige Tagung in Aachen abzuhalten.

Zahlreiche Besichtigungen und Exkursionen gaben den Teilnehmern Gelegenheit, einen Einblick in die großen Betriebe über und unter Tage zu nehmen und den geologischen Aufbau des Industriegebietes kennen zu lernen.

A. Wenzel, Lüneburg.

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichtes in Wien.

Bericht

über die Vereinstätigkeit im 37. Vereinsjahr
(Schuljahr 1930/31).

A. Vortragsreihen.

1. 24. u. 31. Okt., 7., 14., 21. u. 28. Nov., 5. u. 11. Dez. 1930: O. ö. Professor an der Technischen Hochschule Hofrat Dr. MAX REITHOFFER: Hochfrequenztechnik.

2. 8., 22. u. 29. Nov., 6. u. 13. Dez. 1930, 10., 17., 24. u. 31. Jan., 7., 14. u. 21. Febr. 1931: Universitäts-Professor Dr. KARL PRZIBRAM: Atomphysik.

B. Einzelvorträge.

11. Oktober 1930: Prof. HEINRICH PABISCH: Giftkunde und Giftgesetzgebung.

25. Oktober 1930: Dr. KARL IPPISCH: Demonstrationsversuche zur THOMSONSchen Schwingungskreisgleichung.

8. Januar 1931: Ing. ERNST ROLLER: Schulversuche mit Wechselstrom.

26. Februar 1931: Hauptschullehrer FRITZ STRADNER: Vorführung eines Versuchstransformators, einer Transformantafel, eines Glühkathodengleichrichters und rundfunktechnischer Versuchsgerate eigener Konstruktion.

7. März 1931: Ing. LEO MEDINA: Die schwingende Glimmlampe.

14. März 1931: Ing. JOSIP SLIŠKOVIČ: Moderne Empfänger für den Rundfunk.

21. März 1931: Dr. RAIMUND NIMFÜHR: Über das Fliegen. Rückblicke und Ausblicke.

14. April 1931: CARL M. KOTLIK: Der gegenwärtige Stand der Schmalfilm-Kinematographie mit besonderer Berücksichtigung der Schulkinematographie.

18. April 1931: KRAUS-Feier zur Erinnerung an die beiden verstorbenen Gründer des Vereines Reg.-Rat KONRAD KRAUS und Direktor Dr. ISIDOR KRAUS: Vorführung von Schul- und Schülerversuchen mit einfachen Mitteln. Hauptschullehrer LUDWIG ANTONICEK: Flachmodell eines Viertaktmotors. — Schulrat JOSEF DEISINGER: Eine einfache Vorrichtung zum Messen des Druckes in Flüssigkeiten; Elektrolyse einer

Kochsalzlösung. — Hauptschullehrer LEOPOLD DOBROWOLNY: Elektrische Widerstände für Schülerversuche; Polsucher; einfaches Galvanoskop für Schülerversuche. — Oberlehrer FRANZ KATOLICKY: Historische Entwicklung der Kinematographie, gezeigt mit selbst angefertigten Demonstrationsapparaten. — Schulrat HANS KELLERMANN: Wärmeleitungsapparate für Schülerversuche; einfacher Transformator für Schülerversuche. — Hauptschullehrer PAUL KOLLER: Übungsbrett für Schülerversuche aus Mechanik, Wärmelehre, Optik und Elektrizität. — Hauptschullehrer JOSEF KURT: Gleichrichteranlage mit elektrolytischem Gleichrichter und vorschaltbaren Glühlampen für Schülerversuche. — Hauptschullehrer JOHANN TEXL: Siederversuch bei erhöhter Temperatur mit Beobachtung der Temperatur an einem eingebauten Thermometer.

25. April 1931: Prof. Dr. JOSEF KLIMA (Waidhofen a. d. Thaya): Schulversuche mit feuergefährlichen Flüssigkeiten.

9. Mai 1931: Hauptschullehrer JOSEF LUKESCH: Versuche mit Polreagenzpapier. — Lehrmittelmechaniker WALTER KATEIN: Vorführung einer Reihe neuer bzw. verbesserter physikalischer Apparate.

16. Mai 1931: Prof. Dr. JOSEF KLIMA (Waidhofen a. d. Thaya): Fermente und ihre Behandlung im Unterrichte.

C. Besichtigungen.

11. Dezember 1930: Rundfunkanlage des Elektrotechnischen Institutes der Technischen Hochschule in Wien.

26. Februar 1931: Fabrik für elektrische Glühlampen und Apparate von JOHANN KREMENEZKY in Wien, XX.

5. und 6. Juni 1931: Ausstellung physikalischer Schülerübungsgeräte für den elementaren Physikunterricht (Hauptschule und Untermittelschule). Führungen und Vorträge: Schulrat Direktor HANS KELLERMANN und Professor Dr. RUDOLF BERANEK.

16. Juni 1931: Bierbrauerei in Klein-Schwechat bei Wien.

Vereinsleitung.

Obmann: O. ö. Professor an der Technischen Hochschule Hofrat Dr. HEINRICH MACHE.

Stellvertreter: Hofrat Dr. KARL BRUNO und Studienrat FRIEDRICH BRANDSTÄTTER.

Geschäftsführer: Regierungsrat Prof. KARL MÜLLNER (Wien 4, Schelleingasse 39).

Vereinszeitschrift: „Physik und Chemie“; Hauptschriftleiter: Prof. Dr. RUDOLF BERANEK (Wien 6, Amerlingstraße 6).

Himmelserscheinungen im November und Dezember 1931.

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

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.
1931	h m	°	m s	h m s	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°	h m	°
Nov. 1	14 21	-14,1	-16 19	2 37 17	14 53	-17,2	15 17	-18,1	15 55	-20,9	9 32	+15,3	19 18	-22,3
„ 6	14 41	15,6	16 21	2 56 59	15 24	19,8	15 42	19,8	16 10	21,7	9 34	15,2	19 19	22,2
„ 11	15 1	17,1	16 2	3 16 42	15 55	22,0	16 8	21,3	16 26	22,3	9 36	15,0	19 21	22,2
„ 16	15 21	18,4	15 23	3 36 25	16 26	23,8	16 35	22,5	16 41	22,9	9 37	14,9	19 22	22,1
„ 21	15 42	19,7	14 22	3 56 8	16 57	25,0	17 2	23,5	16 57	23,4	9 39	14,8	19 24	22,1
„ 26	16 3	-20,7	-13 2	4 15 51	17 27	-25,7	17 29	-24,1	17 14	-23,8	9 40	+14,8	19 26	-22,0
Dez. 1	16 24	21,6	11 22	4 35 33	17 55	25,8	17 56	24,5	17 30	24,1	9 40	14,7	19 28	21,9
„ 6	16 46	22,4	9 26	4 55 16	18 17	25,3	18 23	24,6	17 46	24,2	9 41	14,7	19 30	21,9
„ 11	17 8	22,9	7 15	5 14 59	18 28	24,3	18 51	24,3	18 3	24,3	9 41	14,7	19 33	21,8
„ 16	17 30	23,3	4 54	5 34 42	18 21	-23,0	19 18	23,8	18 20	24,3	9 41	14,8	19 35	21,7
„ 21	17 52	-23,4	- 2 27	5 54 24	17 56	-21,5	19 45	-22,9	18 36	-24,1	9 40	+14,8	19 37	-21,6
„ 26	18 14	23,4	+ 0 2	6 14 7	17 29	20,3	20 11	21,8	18 53	23,8	9 39	14,9	19 40	21,6
„ 31	18 36	-23,2	+ 2 29	6 33 50	17 18	-20,1	20 37	-20,3	19 10	-23,5	9 38	+15,0	19 42	-21,5

¹ Zeitgleichung = mittlere Zeit - wahre Zeit.

² Die Korrektion der Sternzeit für einen Ort λ° östlich bzw. westlich von Greenwich ist ± 0°.657 · λ°.

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

	Sonne		Mond			Sonne		Mond			Sonne		Mond	
	Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.		Aufg.	Unterg.	Aufg.	Unterg.
1931	h m	h m	h m	h m	1931	h m	h m	h m	h m	1931	h m	h m	h m	h m
Nov. 1	6 54	16 32	20 3	13 23	Nov. 26	7 39	15 55	15 57	9 25	Dez. 21	8 8	15 48	13 4	4 34
„ 6	7 4	16 23	1 52	14 58	Dez. 1	7 47	15 51	22 7	12 40	„ 26	8 10	15 50	17 1	9 58
„ 11	7 13	16 15	9 40	16 30	„ 6	7 54	15 48	3 56	13 42	„ 31	8 11	15 55	—	11 25
„ 16	7 22	16 7	13 33	22 21	„ 11	8 0	15 46	10 40	17 14					
„ 21	7 30	16 1	14 23	3 9	„ 16	8 4	15 46	12 13	23 45					

Mondphasen 1931 M.E.Z.	Neumond	Erstes Viertel	Vollmond	Letztes Viertel
	9. Nov. 23h 55,4m	17. Nov. 3h 13,4m	25. Nov. 8h 9,9m	3. Nov. 8h 17,5m
	9. Dez. 11 16,0	16. Dez. 23 42,9	25. Dez. 0 23,5	2. Dez. 17 50 5

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

Trabant I		Trabant II		Trabant III	
3. Nov. 0h	3,3m E	19. Dez. 0h	18,5m E	12. Nov. 0h	59,5m E
26. Nov. 0	10,7 E	27. Dez. 20	40,2 E	6. Dez. 22	3,5 E
11. Dez. 22	25,2 E			14. Dez. 0	38,9 E
				7. Nov. 0h	53,5m E
				13. Dez. 0	22,3 A
				20. Dez. 0	40,6 E

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

1931	Merkur ☿		Venus ♀		Mars ♂	Jupiter ♃		Saturn ♄	
	h	h	h	h		h	h	h	h
Nov. 6	—	—	D _a 16,9	U 17,0	—	A 23 2	D _m 6,0	D _a 17,5	U 20 3
„ 16	—	—	D _a 16,6	U 16,9	—	A 22,6	D _m 6,3	D _a 17,3	U 19 7
„ 26	—	—	D _a 16,4	U 16,9	—	A 22,0	D _m 6,5	D _a 17,2	U 19 1
Dez. 6	—	—	D _a 16,3	U 17,1	—	A 21,4	D _m 6,8	D _a 17,1	U 18,5
„ 16	—	—	D _a 16,3	U 17,5	—	A 20,7	D _m 6,9	D _a 17,1	U 17,9
„ 26	—	—	D _a 16,4	U 17,9	—	A 20,0	D _m 7,0	D _a 17,2	U 17,4
„ 31	A 6,5	D _m 7,0	D _a 16,5	U 18,2	—	A 19,6	D _m 7,0	—	—

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

22. Dezember 20h 30m M.E.Z. Wintersonnenwende.

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.