

## Beiträge zur Darstellung des Elektromagnetismus und der Induktion<sup>1)</sup>.

Von Dr. H. Hermann in Tübingen.

### 1. Die Feldstärke in der stromführenden Spule.

Der fachmäßige Weg über die magnetische Schale zur Spule ist meines Erachtens zu weitläufig für die Schule. Die Ableitung aus dem Biot Savartschen Gesetz entspricht wegen der geringeren Mannigfaltigkeit der verwandten Begriffe besser dem Auffassungsvermögen des Anfängers und bildet für den Oberrealschüler eine erwünschte Ausnutzung der eben erworbenen Kenntnisse im Integrieren.

Ich stütze mich auf die Formel für die Feldstärke eines geraden endlichen Leiters, deren Ausnutzung FR. C. G. MÜLLER gezeigt hat<sup>2)</sup>.

Man errichtet im Endpunkt des geraden Leiters (Fig. 1) ein Lot von der Länge  $p$ , und betrachtet die Feldstärke  $H$ , welche der Leiter im Endpunkt dieses Lotes hervorruft. Da  $H$  wie die Stromstärke  $J$  zunimmt, genügt es, das Verhältnis  $H:J$  auszudrücken. Ich nenne dieses Verhältnis den Gestaltsfaktor  $G$  der Feldstärke. Ist  $\alpha$  die Winkelgröße des Leiters vom Feldpunkt aus, so ist

$$G = \frac{\sin \alpha}{p} \quad (\text{Müllersche Formel}) \quad (1)$$

Ich betrachte nun den Gestaltsfaktor der Feldstärke für eine ebene Schar paralleler Stromfäden, eine „Stromschicht“, wie ich MAXWELLS Ausdruck *current sheet* (*Electricity and Magnetism art. 647*) wiedergebe. Die Stromstärke sei in allen Fäden gleich; das Verhältnis der Stromstärke in einem Streifen zur Breite des Streifens ist daher unveränderlich; es ist die Breitendichte der Stromstärke oder nichts anderes als die Amperewindungszahl, gewöhnlich mit  $ni$  bezeichnet, bzw. der zehnte Teil davon, auf 1 cm. Die Feldstärke wächst jetzt wie diese Größe; unter dem Gestaltsfaktor der Feldstärke sei jetzt  $G = 10 H:ni$  verstanden.

Man errichte auf der Stromschichtebene in der Mitte einer Eintrittskante des Stromes ein Lot von der Höhe  $p$  und berechne den Beitrag zweier beiderseits gleich weit von der Mitte abliegenden Stromfäden zur Feldstärke im Endpunkt des Lotes. Die zur Schicht senkrechten Komponenten der Feldstärke heben sich für das Fadenpaar auf, die zur Schicht gleichlaufenden addieren sich. Ist  $\alpha$  die Winkelgröße des

<sup>1)</sup> Nachfolgende Ausführungen, welche März 1920 erstmals abgeschlossen waren, wurden unlänglich des Erscheinens der 4. Aufl. des II. Bandes des Grimsehl'schen Lehrbuches (welches sich mit einem Teil seiner Darstellungsweise ähnliche Ziele steckt, wie ich, aber Wege wählt, welche mehr Reife erfordern, als meines Erachtens der Primaner haben kann) zurückgezogen, gekürzt und mit Verweisen auf Grimsehl, bzw. Hillers und Starke versehen. Den größten Teil des Inhalts habe ich vor zwei Jahren meiner Prima vorgetragen. Als Beitrag zu dem, was im Physikunterricht bei weitgehender Gabelung zu ermöglichen wäre, dürften meine Mitteilungen zeitgemäß sein.

<sup>2)</sup> Fr. C. G. Müller, ds. Zeitschr. 22, 145, fortgesetzt in 26, 273. Auszug in Poske, Didaktik des physikal. Unterr. 362. (Dort muß es übrigens in Zeile 6 statt  $AB$  heißen:  $OB$ , wenn  $O$  der Scheitel des rechten Winkels ist.) Als Zwischenergebnis, ohne Hinweis auf die Anwendungen, auch in Müller-Pfaundler (in dieser Arbeit mit M. P. angeführt) IV, 638, Kleindruck neben Fig. 647.

mittelsten Stromfadens vom Feldpunkt aus,  $\psi$  die Winkelgröße des Lotes vom Eintrittspunkt des Stromfadens aus, so ist die Strecke von diesem Punkt nach dem Feldpunkt  $p: \sin \psi$ ; die Breite des bei einer Veränderung von  $\psi$  um  $d\psi$  überstrichenen Streifens  $p d\psi: \sin^2 \psi$ ; der Beitrag des Stromfadenpaares zum Gestaltsfaktor der Feldstärke wird

$$dG = 2 \sin \alpha d\psi \quad (2)$$

da alles andere sich weghebt. Wählt man  $\alpha$  unveränderlich, also hyperbolische Begrenzung des anderen Randes der Schicht, so wird der Gestaltsfaktor einfach  $G = 2 \psi \sin \alpha$ .

Für eine rechteckig begrenzte Stromschicht bezeichne  $\alpha$  jetzt die Winkelgröße des Mittelfadens,  $\beta$  die eines Fadens in der durch  $\psi$  bestimmten seitlichen Lage; dann ist (Fig. 1)

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \sin \psi$$

und nach (2)

$$dG = 2 d\psi \sin \beta,$$

also

$$G = 2 \operatorname{tg} \alpha \int_{\pi/2}^{\psi} \frac{\sin \psi d\psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha \sin^2 \psi}} = 2 \operatorname{arc} \sin (\sin \alpha \cos \psi) \quad (3)$$

Ist die Breite der Stromschicht sehr groß, so wird

$$G = 2 \operatorname{arc} \sin (\sin \alpha) = 2 \alpha \quad (4)$$

und für jedes sehr breite Prisma ( $\Sigma \alpha = \pi$ ) aus Stromschichten

$$G = 4 \pi. \quad (5)$$

Aus der Allgemeingültigkeit des Ausdruckes folgt die Gleichförmigkeit des Feldes. Mit Hilfe der Formel (3) läßt sich die Feldstärke in jedem Punkt der Mittelebene einer von ebenen Stromschichten begrenzten Galvanometerwicklung berechnen. Haben die Stromfäden die kleine scheinbare Länge  $d\alpha$ , so wird aus (3)

$$dG = 2 d\alpha \cos \psi,$$

was sich auf zylindrische Schichten anwenden läßt. Für die Achsenmitte eines Kreiszyinders erhält man so die bekannte Formel

$$G_m = 4 \pi \cos \psi.$$

Da aber beim Kreiszyinder das Feld auf der Achse auch außerhalb der Mittelebene die Richtung der Achse haben muß, kann man diese Formel halbieren und für die Endebene jeder Hälfte schreiben

$$G_e = 2 \pi \cos \psi,$$

was sich dann für zwei ungleiche Hälften zusammensetzt zu

$$G = 2 \pi (\cos \psi \pm \cos \psi'),$$

die z. B. in WINKELMANN, V, 425 zu findende Formel.

Von praktischer Wichtigkeit, auch für Konstruktionsfragen bei Schulapparaten, ist die Ungleichförmigkeit der Feldstärke in der Mittelebene einer Spule von endlicher, größerer Breite.

Man wähle als Feldpunkt erst einen Randpunkt der Mittelebene und berechne den Beitrag zum Gestaltsfaktor der Feldstärke, welchen ein Stromschichtelement zwischen zwei Mantellinien des Zylinders liefert. Dieses Element ist selbst als Randelement einer den Zylinder berührenden ebenen Stromschicht zu berechnen, dessen anderer Rand von der Lotebene vom Feldpunkt auf diese Berührebene gebildet wird. Fig. 2 ist eine Darstellung der Mittelebene der Spule mit dem Feldpunkt  $P$ . Das Lot  $p$  auf die Berührebene hat vom Berührungspunkt  $B$  aus die Winkelgröße  $\alpha$ ; die Berührebene selbst würde nach (3) den Gestaltsfaktor

$$G' = 2 \operatorname{arc} \sin (\sin \alpha \cos \psi)$$

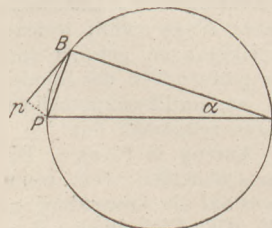


Fig. 2.



besitzen. Wächst hier  $\alpha$  um  $d\alpha$ , so erhält man den Beitrag, welchen das Zylindermantелеlement liefert

$$dG = \frac{2 \cos \psi \cos \alpha d\alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \cos^2 \psi}} = \frac{2 \cos \alpha d\alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi - \sin^2 \alpha}}$$

Ist  $r$  der Spulenhalmmesser,  $b$  die Halbbreite der Spule, und setzt man

$$v = 2r : b,$$

so ist  $\operatorname{tg} \psi = v \sin \alpha$ , und man erhält

$$G = \int \frac{2 \cos \alpha d\alpha}{\sqrt{1 - (1 - v^2) \sin^2 \alpha}}$$

$\alpha$  ist hier der Winkel zwischen Tangente und Sehne, oder gleich dem Peripheriewinkel über der Sehne vom Feldpunkt  $P$  nach  $B$ . Der Anfangswert von  $\alpha$ , wenn  $B$  mit  $P$  zusammenfällt, ist unbestimmt. Man erhält ihn durch folgende Betrachtung.  $P$  wandere vom Umfang ins Innere gegen den Mittelpunkt  $M$  auf dem Durchmesser  $PM$  nach  $P'$ , so daß  $PP' = c$  den Randabstand bedeute. Auch hierfür könnte der Beitrag jedes Zylindermantелеlements zur Feldstärke aufgestellt werden; man hat mittels des Cosinussatzes

$$P'B = r \sin \alpha \pm \sqrt{r^2 \sin^2 \alpha - 2rc + c^2},$$

wobei

$$P'B : b = \operatorname{tg} \psi,$$

woraus man einen verwickelten, aber wieder nur von  $\alpha$  und  $d\alpha$  abhängigen Ausdruck  $dG$  erhielt.  $\alpha$  ist wieder Peripheriewinkel über einer Sehne, die sich diesmal um  $P'$  dreht. Fig. 3 ergibt, wenn  $\chi$  die Drehung der Sehne bedeute

$$\alpha - \chi = \frac{d\alpha}{2} = \alpha - \chi + \frac{d\alpha}{2} + \chi$$

$$\chi = d\alpha.$$

Die von dem Winkelraum  $\chi$  eingeschlossenen, gegenüberliegenden Mantелеlemente haben also gleiches  $d\alpha$ ; da sie auch gleiches  $\alpha$  haben, liefern sie gleiche Beiträge zur Feldstärke.  $\alpha$  hat ein Minimum, welches erreicht ist, wenn  $BP'$  senkrecht auf  $B'M$  steht; nach beiden Seiten wächst es bis  $\pi/2$  und die beiden ungleichen Kreishälften, in welche die auf  $P'M$  senkrechte Sehne (die kürzeste Sehne durch  $P'$ ) den Kreis teilt, liefern  $G$  zu gleichen Hälften. Man muß daher  $G/4$  erhalten, wenn man  $B$  nur vom Ende der kürzesten Sehne bis zum Ende des Durchmessers wandern, also  $\alpha$  vom Minimum bis  $\pi/2$  wachsen läßt.

Keht  $P'$  zum Rande zurück, so wird das Minimum von  $\alpha$  Null. Somit ist

$$G = 4 \int_0^{\pi/2} \frac{2 d(\sin \alpha)}{\sqrt{1 - (1 - v^2) \sin^2 \alpha}} = \frac{8}{\sqrt{1 - v^2}} \operatorname{arc} \sin (\sqrt{1 - v^2} \sin \alpha)_0^{\pi/2}$$

$$= \frac{8 \operatorname{arc} \sin \sqrt{1 - v^2}}{\sqrt{1 - v^2}}, \text{ also näherungsweise (Fig. 4)}$$

$$G = \frac{8(\pi/2 \pm v)}{\sqrt{1 - v^2}} = 4\pi \pm 8v.$$

Die Formel ist doppeldeutig. Die Erfahrung und der Vergleich mit dem einfachen Kreisstrom lehren, daß es sich um Zunahme gegen die Wand hin handelt. In Teilen der Mittenfeldstärke ist die Zunahme am Rande  $2v/\pi = 0,6v$  (7), also z. B. 2% für  $v = 1 : 30$ .

Für Punkte nahe dem Rande kann man eine Näherungsrechnung durchführen, indem man die Formel für den Randpunkt vom  $\alpha$ -Mindestwert des Innenpunktes aus integriert. Für den Randabstand  $c$  ist beim Mindestwert von  $\alpha$   $\cos \alpha = (r - c) : r$ ,  $\alpha$  annähernd  $\sqrt{c : r}$ ; der untere Grenzwert von  $G$  ist annähernd  $8\alpha$ ; also erhält man

$$G = 4\pi + 8(v - \sqrt{c : r}). \quad (8)$$

Die Abweichung vom Mittenwert in Teilen desselben ist  $0,6(v - \sqrt{c : r})$  wobei, der Art der Ableitung nach,  $\sqrt{c : r}$  erheblich kleiner bleiben muß, als das selbst schon kleine  $v$ . Die Formel zeigt beispielsweise für  $v = 1 : 6$ , wo der Randwert 10% höher wird als der Mittenwert, daß diese Erhöhung nur noch 5% beträgt, wenn man um  $1/144$  des Halbmessers nach der Mitte geht.

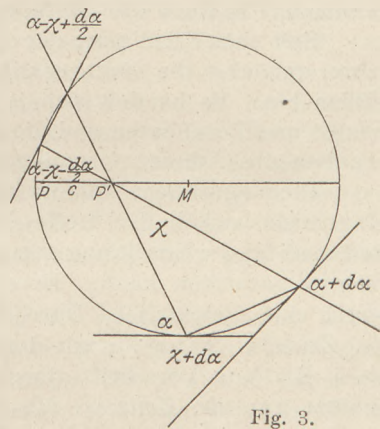


Fig. 3.

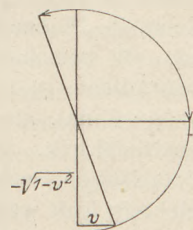


Fig. 4.

## 2. Methodische Folgerungen.

Durch die gegebene Herleitung der Formel (5) — die weiteren Entwicklungen dienen zur Behandlung der in Ziffer 3 dieser Arbeit aufgegriffenen Frage — wird der Begriff des magnetischen Moments für die Schulphysik entbehrlich. Zwar wird kein Lehrer dessen Weglassung leicht nehmen, aber wir brauchen dringend Raum für die Einfügung der neuen Bausteine des physikalischen Hauses. Ich habe daher für den methodischen Aufbau der Lehre vom Magnetismus folgenden Plan befolgt. Erst nur eine sehr knappe Entwicklung des Polbegriffs und Coulombschen Gesetzes<sup>1)</sup>. Magnetische Eigenschaften des zweipoligen Feldes werden konstruktiv behandelt (wie in Noack, Leitfaden für physikal. Schülerübungen Nr. 110); die Kraftlinie bleibt also vorläufig nur Richtung der Resultante Coulombscher Kräfte und tritt in der Darstellung zurück, da man sonst Gefahr läuft, die Isogonen, Isoklinen und Isodynamen des Erdmagnetismus mit den Kraftlinien und Standflächen in allzu starken geistigen Wettbewerb zu bringen. Für die Erdfeldstärke muß, um ohne Momentbegriff auszukommen, die Ruoßsche Methode genügen.

Erst nach Erledigung der elektrostatischen Potentialtheorie folgt die Nahwirkungslehre, zunächst die elektrostatische, für die man jetzt ganz festen Boden unter den Füßen hat. Es handelt sich ja nur noch um die logische Vertauschung von Komponenten und Resultanten und die daraus zu ziehenden Folgerungen, die nun als „Eigenschaften des Äthers“ formuliert werden können.

Die magnetische Nahwirkungslehre schließe ich an den Nachweis der allgemeinen Magnetisierbarkeit der Stoffe (Para- und Diamagnetismus) an. Dies hat den Vorteil, daß man für die Ermittlung von  $\mu$  die Analogie zwischen Plattenkondensator und Elektromagnet ausnutzen kann. Es empfiehlt sich, als Vorbereitung schon in der Elektrostatik eine dielektrische Durchlässigkeit aus Kraftmessungen abzuleiten (Korolkow, *ds. Zeitschr.* 20, 287); mit dem Schutzringeletrometer fand ich dafür Glimmer, der nach Kolbes Vorschrift durch schwaches Paraffinieren vor Wassereindringen geschützt war (*ds. Zeitschr.* 22, 277), am geeignetsten.

Man muß dabei in die Überlegung eintreten, wie sich der Kraftfluß verhält, wenn er nicht in seiner ganzen Länge in ein und demselben Stoff verläuft. Hierfür dient die Wahrnehmung, daß die Kapazität des Plattenkondensators unabhängig davon ist, ob zwischen Dielektrik und Platten eine sehr dünne Luftschicht vorhanden ist oder nicht; in beiden Fällen ist die Plattenladung für gleiches Potentialgefälle mit  $\epsilon$  proportional, also auch, nach dem Grundgedanken der Nahwirkung, die Polarisation im Dielektrik. Der Kraftfluß erregt somit auch in der dünnen Luftschicht eine Polarisation, welche  $\epsilon$ mal so groß ist, als wenn bei gleichem Gefälle das ganze Dielektrik Luft wäre; die Feldstärke  $F'$  in der dünnen Luftschicht ist also zahlenmäßig

<sup>1)</sup> Meine Sammlung enthält die Ruoßsche Polwage. Ich verwende jedoch mit ihr einen Müllerschen Magnet (*ds. Zeitschr.* 22, 10); da ich keinen 2 mm-Draht erhalten konnte, befestigte ich vier dünnere auf einer Holzlatte. Allerdings muß auch bei vier Drähten die höchste erreichbare Empfindlichkeit der Ruoßschen Wage (0,55 cm für 1 cg) verwandt werden. Hierdurch büßt sie einen Hauptvorzug ein, die Unempfindlichkeit gegen bewegte Luft. Im Hörsaal ist die Luft stets so bewegt, daß mit dieser Empfindlichkeit Störungen eintreten. Im Freien an einem sehr windstillen Tag gelang Schülern einmal folgende befriedigende Zahlenreihe

Abstand $r$ . . . . .	6.6	7.7	11.3	15.7
Ausschlag $p$ . . . . .	3.5	2.7	1.3	0.65
$pr^2$ . . . . .	153	162	160	161

welche die Konstanz bei größeren und die Influenz bei kleinen Abständen zeigt. Nachdenkenden Schülern, welche fragen, ob es sich bei letzterer um dauernde Schwächung handelt, kann man Kohlrausch, *Prakt. Physik*, 9. Aufl., Abschnitt 113 zeigen; die Frage ist zu verneinen. — Zur weiteren Erläuterung des Sitzes der magnetischen Kräfte verwende ich die Abreißfederwage nach Steward & Gee, jedoch mit einem Paket magnetisierter Rasierklingen statt weicher Eisenkugel; es wird eine Kurve des freien Magnetismus gewonnen und durch Ordinatenaddition die wahre Magnetisierungskurve gezeichnet.



gleich  $\varepsilon F$  im Dielektrik, wo  $F$  die Feldstärke ist, welche von demselben Potentialgefälle in Luft erregt worden wäre.  $F'$  aber ist meßbar aus dem Kraftlinienzug auf 1 qcm Querschnitt

$$z = (F')^2 : 8 \pi.$$

Diese Betrachtung wird auf den Elektromagnet übertragen, bei welchem jetzt  $F'$  aus der im ersten Abschnitt abgeleiteten Formel, statt aus einem nicht bequemen ausführbaren Zugkraftversuch ohne Eisen, erhältlich ist. Meine Schüler erhielten z. B. an einem gewöhnlichen kleinen Elektromagneten mit der Federwaage

i	1	2	3,2	4,3	Amp.
Tragkraft	4,2	7,2	11,5	12	kg
$\mathfrak{B}$	8390	12500	13600	13890	

also ein deutliches Bild des Sättigungsvorgangs<sup>1)</sup>.

### 3. Die Herstellung meßbarer Felder für Induktion.

Die Benutzung des Erdfeldes zum absoluten Nachprüfen des Betrags induzierter Spannungen (Voltdefinition) hat den grundsätzlichen Nachteil, daß das Feld viel schwächer ist als die technischen Felder, auf welche das gefundene Gesetz angewandt werden soll. Man kann sich allerdings so helfen, daß man (Hochheim, *ds. Zeitschr.* 30, 124) eine absolute Messung im Erdfeld und relative Messungen mit einem künstlich erregten Feld anstellt. Ich verfähre bisher ebenso; da ich aber die unten genannten Behelfe benutze und sie mit der Zeit durch eine Daueranschaffung zu ersetzen hoffe, habe ich die Frage untersucht, ob man nicht, um den Erdinduktor für Dauerstrom (MÜLLER, *Technik S.* 313) zu sparen, die Relativmessung mit der absoluten vereinigen könnte.

Fr. C. G. Müller hat eine empirische Ermittlung des Kraftflusses eines Kreisleiters, den Grimsehl zur absoluten Messung der unipolaren Induktion vorgeschlagen hat (Sonderheft II ds. Zeitschr.), veröffentlicht (*ds. Zeitschr.* 20, 374) und dabei die Vermutung geäußert, daß eine theoretische Bearbeitung der Frage wohl existieren werde. Dies ist in der Tat der Fall; sie findet sich in Maxwells *Electricity & Magnetism art. 696—703*, die Ergebnisse auch in Wiedemanns *Lehre von der Elektrizität, 2. A, IV, Art. 103*. Die Lösung der Aufgabe erfordert elliptische Integrale, wofür die 2. ed. und die deutsche Ausgabe von Maxwell, sowie Wiedemann, a. a. O., Tafeln beigegeben. Da somit eine rechnerische Behandlung des Kraftflusses eines einfachen Kreisleiters in der Schule ausgeschlossen, eine empirische aber zeitraubend ist, bleibt es wünschenswert, einen einfacher zu bestimmenden Kraftfluß zu verwenden. Hiefür bieten sich drei Möglichkeiten. Erstens die Vergrößerung des Verhältnisses des induzierenden zum induzierten Kreishalbmesser auf das von Fr. C. G. Müller verlangte Maß, etwa 5 : 1. Dabei wird freilich das Feld wieder schwach<sup>2)</sup>.

Zweitens die von Lorenz bereits 1873 benutzte breite Spule<sup>3)</sup>, in welcher das Feld nach Formel (5) berechnet und nach (7) auf Gleichförmigkeit geprüft werden kann. Der Apparat von Lorenz ist in bekannten Firmenlisten nicht zu finden. Man könnte ihn zu gemeinsamer Benutzung der Spulen mit dem Wehneltschen

<sup>1)</sup> Man erkennt aus dem Vergleich dieser Erörterung mit der Kaufmannschen (M. P. IV, § 37), wie vorteilhaft es didaktisch ist, die magnetische Kraftröhre erst nach der dielektrischen zu betrachten, also den kurzen Anfangsunterricht über permanente Magnete mit der Pollehre allein zu bestreiten.

<sup>2)</sup> Die 4. Auflage des Grimsehlschen Lehrbuches der Physik enthält in Bd. II, S. 298 eine Abbildung eines diesem Gedanken entsprechenden Induktors; wegen der Schwäche des Feldes ist eine erhöhte Umdrehungszahl des induzierten radialen Leiters durch einen Mechanismus vorgesehen.

<sup>3)</sup> Kohlrausch, Lehrbuch der prakt. Physik, 9. Aufl., S. 475; Winkelmann, Handbuch der Physik, 2. Aufl., V, 718.

Apparat zur Herstellung kreisförmiger Kathodenstrahlen (*ds. Zeitschr.* 18, 195) kombiniert herstellen lassen.

Wohlfeiler, aber leider wenig Genauigkeit versprechend wäre drittens die Verwendung des Hochheim'schen Relativinduktors (*ds. Zeitschr. a. a. O.*, Progr. Weiffels 1908 Nr. 356, S. 21; deutlichere Abbildung in Drucksache 33 des Verfertigers Arthur Pfeiffer, Wetzlar). Für den Fall, daß der induzierte Kreis nur wenig kleiner ist als der induzierende, gibt es nämlich eine Näherungsrechnung für den Kraftfluß durch den induzierten Kreis, welche in Weinstein's deutscher Ausgabe von Maxwell's Werk, II, S. 427 so ausführlich dargelegt ist, daß man sie einem mathematisch begabten Schüler in die Hand geben kann. Man könnte die Rechnung, jedoch unter Verzicht auf ihre praktische Brauchbarkeit, noch für die Schule vereinfachen, indem man die in der 1. Auflage des Maxwell'schen Werkes gegebene kurze Angabe befolgte, nämlich für jedes Leiterelement nicht über den induzierten, sondern über den äußeren Kreis integrierte und nur ein Kreissegment um die Mitte des Elements, mit dem Abstand  $c$  der beiden Kreislinien als Halbmesser, ausschloß. Der Kraftfluß wird so zu hoch, doch bleibt das Gebiet, in welchem er am höchsten würde, weg.

Ist  $a$  der Halbmesser des äußeren Kreises,  $r$  und  $\varphi$  Polarkoordinaten des Feldpunktes, vom Leiterelement aus gemessen, so ist sein Beitrag zum Kraftfluß für die Feldstärke Eins (Induktionskoeffizienten  $M$ )

$$d^3 M = \lambda \frac{dr}{r} \sin \varphi.$$

Über den äußeren Kreisumfang kann sofort summiert werden

$$d^2 M = 2 a \pi \frac{dr}{r} \sin \varphi.$$

Hält man  $r$  fest, so hat man über einen krummlinig begrenzten Streifen zu integrieren, welcher von  $\arcsin \frac{r}{2a}$  bis zur Mitte und ebenso weit nach der anderen Seite reicht. Man findet

$$\frac{r}{dr} dM = 4 a \pi \int_{\arcsin r/2a}^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = 4 a \pi (-\cos \varphi)_{\arcsin r/2a}^{\pi/2} = 4 a \pi \sqrt{1 - r^2/4a^2}.$$

Somit wird der Induktionskoeffizient mit der angegebenen Grenzbestimmung

$$M = 4 a \pi \int_c^{2a} \sqrt{1 - r^2/4a^2} dr/r.$$

Nun ist  $\int \frac{dx}{x} \sqrt{1-x^2} = \log \frac{\sqrt{1-x^2}-1}{x}$ ; also wird

$$M = 4 a \pi \log \left| \frac{2a}{c} (1 + \sqrt{1 - c^2/4a^2}) \right|$$

oder annähernd

$$\frac{M}{4 a \pi} = \log \frac{4 a}{c}$$

Der Grad der Annäherung der Maxwell'schen, genaueren Formel

$$\frac{M}{4 a \pi} = \log \frac{8 a}{c} - 2$$

ist von ihm durch Reihenentwicklung bestimmt (Art. 705); die erste Verbesserung beträgt

$$\frac{c}{2a} \left( \log \frac{8a}{c} - 1 \right) = \frac{c}{2a} \left( \log \frac{2a}{c} + 0,4 \right)$$

$$\text{also für } c:2a = 1:20 \quad 0,17 \text{ oder } 7\% \\ c:2a = 1:100 \quad 0,05 \quad \text{„} \quad 1\%.$$

Die oben gegebene Vereinfachung macht  $M/4a\pi$  um 1,3 zu groß, was bei  $c:2a = 1:20$  fast ein Drittel des richtigen Wertes ausmacht. Damit die Vereinfachung auf 2% richtige Werte ergäbe, müßte  $\log 4a/c > 65$  oder  $\log \text{brigg } 4a/c > 30$  sein. Man muß also nach der genaueren Formel rechnen. Auch dann ist es jedoch ungünstig, daß  $c$  sehr genau bestimmt werden muß:  $dM = 4a\pi dc/c$ .

Endlich möge daran erinnert werden, daß von Kollert in *ds. Zeitschr.* (28, 191) ein Unipolarinduktor mit Stabmagnet beschrieben wurde, welcher absolute Messungen



mit 4% Fehler lieferte (S. 194 a. a. O.), dessen Verwendung jedoch mehr Magnetometrie erfordert. Wo man auf die Kreiselttheorie der Magnetisierung eingehen will, würde er (oder die Abbildung a. a. O.) sich zur Anknüpfung eignen.

#### 4. Das Gleichgewicht der Zug- und Druckkräfte im Felde.

Zu diesem Gegenstand pflege ich in der Elektrostatik nur die Kaufmannschen Abbildungen zu zeigen und eifrige Mathematiker auf die dort zu findenden elementaren Herleitungen hinzuweisen. Einfacher als die dort behandelten Fälle ist jedoch der des Magnetfeldes eines langen geraden Leiters. Man ersetzt zwei benachbarte Mantelclemente des Zylinders, Halbmesser  $r$ , Achsenlänge  $l$ , Bogenlänge  $ds$ , durch Sehnen- oder Berührungsebenen. Das Verhältnis der Zugkräfte auf eine Wanddicke  $dr$  des Zylinders zu ihrer Resultante ist  $r : 2 ds$ . Die Resultante muß gleich dem Unterschiede der Druckkräfte auf innere und äußere Zylinderwand sein. Erstere haben den Betrag  $\frac{H^2}{8\pi} dr$ ; letztere  $\frac{H dH}{4\pi} ds$ , was wegen  $H = \frac{2i}{r}$  gleich  $\frac{H^2 dr ds}{4\pi r}$  ist. Man findet also das angegebene Verhältnis zwischen beiden bestätigt.

#### 5. Die Feldenergie als Raumenergie.

Nach den Vorstellungen der Nahwirkungslehre wird die Arbeit beim Ausdehnen eines homogenen Feldes aufgespeichert in Gestalt der Elektrisierung bzw. Magnetisierung des Feldraums. Der Vorgang ist ähnlich der Energieaufspeicherung in einem Gas mittels Zylinder und Kolben, daher die Feldenergie, wie die Gasenergie, Produkt aus Volum mal Kraft auf die Flächeneinheit; die Volumdichte der Feldenergie daher zahlenmäßig gleich letzterer Kraft, der Maxwell'schen Feldbeanspruchung  $\epsilon F^2 : 8\pi$  bzw.  $\mu H^2 : 8\pi$ . Als Vorbereitung der Induktionslehre lasse ich sie für Ringspule und für bewegte geladene Kugel berechnen. Für die erstere vom Querschnitt  $q$  und der Achsenlänge  $l$  ist sie

$$W = 2\pi n^2 i^2 q l$$

oder wenn der Strom als wandernde Ladung  $c$  von der Geschwindigkeit  $v$  berechnet wird,

$$W = 4\pi n^2 l q e^2 v^2 / 2c^2,$$

woraus sich bereits der Schluß auf eine scheinbare Masse  $4\pi n^2 l q e^2 / c^2$  und ihre Abhängigkeit von der Bahngestalt ziehen läßt. Reicht die Zeit aus, so folgt, zur späteren Begründung der Selbstinduktion einer geraden Bahn, das zweite, bekannte Beispiel, dessen Ergebnis  $\left(\frac{2}{3} \frac{c^2}{ac^2}\right)$  bei Riecke-Lecher II, § 639, die Ableitung bei M. P. IV, § 286 zu finden ist.

#### 6. Die Wirbeltheorie des Magnetfeldes und die Gesetze seiner Ausbreitung.

Auch die folgenden Ausführungen haben den Zweck, dem Schüler klar zu machen, daß die bildhaften Ausdrücke der gemeinverständlichen Physik stets ein tragfähiges logisches Gerüst von strenger Theorie verkleiden.

Eine anschauliche Vorstellung wirbelnder Polarisierungen weckt man, wenn man die elektrische Feldstärke in einem Raumpunkte bei seitlichem Vorbeiwandern einer elektrischen Punktladung auf gerader Bahn zeichnen oder rechnen läßt. Man erhält eine Kurve in Polarkoordinaten, welche die Ruhelage des Feldpunktes berührt. Wandert die Ladung im Kreise (Fig. 5), so wird die Kurve den Feldpunkt umfassen; in der Kreismitte wird sie selbst ein Kreis. Daß der Äther oder Raum bei solcher Verlagerung elektrischer Polarisierungen in neue Spannungen gerät, ist das Wesen des

Magnetismus. Eine unvollkommene Modelldarstellung dieses Wesens ist es, wenn man diese Spannungen als Beharrungseigenschaften deutet. Immerhin führt diese Modelldarstellung so weit, daß man nicht nur die quantitativen Induktionsgesetze, sondern auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Felder (Lichtgeschwindigkeit) richtig aus ihr erhält. Erstere findet man bei M. P. IV, § 284, letztere, welche a. a. O. am Schlusse nur angedeutet ist, in CAMPBELL-MEYER, *Moderne Elektrizitätslehre* (Leipzig 1913), Kap. I, § 10. Der Mangel dieser Hilfsvorstellung ist z. B. bei Spielrein, *Lehrbuch der Vektorrechnung* (Stuttgart 1916), S. 95, und bei Einstein, *Ather und Relativitätstheorie* (Berlin 1921), S. 10, gekennzeichnet.

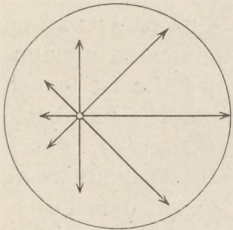


Fig. 5.

Ich halte es darum für besser, die reine Maxwell'sche Ableitung zu verwenden und vereinfache sie im folgenden dadurch, daß ich nur die Ausbreitung in parallelen geraden Strahlen mathematisch verfolge. Die erste Grundlage dafür ist der in 1. Teil dieser Arbeit gewonnene Gestaltsfaktor der Feldstärke einer ebenen Stromschicht. Die zweite Grundlage ist die Annahme, daß auch eine gerade gerichtete Polarisation magnetische Kraftlinien erzeuge. Hiefür hat E. Koch in den *Sitzber. der Ges. zur Bef. der ges. Naturw. Marburg 1909, S. 235* einen Versuch angegeben, dessen Beschreibung ich wegen der geringen Verbreitung der Quelle hier wiedergebe.

„Die Platten eines Kondensators werden mit den Polen eines Teslatransformators verbunden. In dieses elektrische Wechselfeld werden die zu untersuchenden Dielektrika gebracht. Um letzteres wird ein massiver Holzring gelegt, der mit isoliertem Draht bewickelt wird, in dem durch die magnetische Wirkung der Verschiebungsströme Induktionsströme entstehen. Ihr Vorhandensein wird durch ein angeschlossenes Telephon nachgewiesen. Daß dessen Tönen von den Verschiebungsströmen erregt war, wurde dadurch festgestellt, daß die Stärke des Telephongeräusches zunahm, wenn Dielektrika von wachsender Durchlässigkeit zwischen die Kondensatorplatten geschoben wurden: Luft, Paraffin, Holz, Methylalkohol, Wasser, Paraffin mit Metallkern. Zahlenmäßig wurde dies in der Weise geprüft, daß der induzierte Wechselstrom nach Gleichrichtung durch ein Wehnelt'sches Ventilrohr zu einem sehr empfindlichen Galvanometer geführt wurde. Die Ausschläge ordnen sich nach der Größe der Durchlässigkeit des eingeschobenen Dielektriks.“

Will man den Versuch schon an dieser Stelle des Lehrgangs ausführen, so wird man darauf hinweisen, daß die Ringbewicklung den kreisenden Polarisierungen (vergl. Abs. 8) eine leitende Bahn darbietet, so daß sie zu Strömen zusammenfließen. Der Induktionsbegriff kann so umgangen werden. Die Ausführung erfordert ein kleines Tesla-Instrumentarium (2 Leydenerflaschen von 30 cm Höhe, 1—2 mm Funkenstrecke), Noack'schen Plattenkondensator und eine auf Pappe gewickelte Spule, deren Kern ein flacher Ring von 4 cm Innenhalbmesser, 7 cm Außenhalbmesser mit einem Ansatzstreifen, an welchem er mit Bunsenstativ freischwebend in das Feld des Kondensators gehalten wird, bildet. Die Bewicklung besteht aus 0,2 mm Kupferdraht von 37  $\Omega$  Widerstand. Die Kondensatoröffnung ist etwa 1½ cm; die etwa ½ cm dicke Spule steht also von jeder Platte ebenfalls noch ½ cm ab.

Um die Umformung der üblichen Ableitungen, die sich auf Zylinderwellen beziehen, auf ebene Wellen zu zeigen, ist eine Wiederholung bekannter Dinge hier nicht wohl ganz zu umgehen. Nimmt die dielektrische Erregung  $\varepsilon F$  um  $d(\varepsilon F)$  zu, so wandern Ladungen vom Betrag  $d\sigma = \frac{d(\varepsilon F)}{4\pi}$ ; die Stromstärke auf 1 qcm (Stromdichte) ist also

$$\frac{1}{c} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\varepsilon}{4\pi c} \frac{dF}{dt} \quad (9)$$

Die magnetische Wirkung von Strömen ungleicher Dichte wird durch die von einem Einheitspol bei einer Umkreisung des Stromes auf einer Kraftlinie gewonnene Arbeit summarisch angegeben.



Der Beweis für die Allgemeingültigkeit dieses Verfahrens kann mit den in dieser Arbeit verwandten mathematischen Hilfsmitteln nicht geleistet werden. Man muß sich daher begnügen, dem Schüler zu zeigen, daß bei langem geradem Stromleiter diese Arbeit

$$A = 2r\pi \cdot 2i/r = 4\pi i$$

unabhängig von  $r$  ist, daß also die angegebene Beschränkung der Umkreisungsbahn fallen gelassen werden darf; daß ferner ein  $\infty$  langer gerader Strom im Unendlichen geschlossen gedacht werden kann und damit die Übertragbarkeit des Ausdrucks  $A$  auf beliebige geschlossene Ströme wahrscheinlich gemacht werden kann. Für ihren Beweis kann man auf Grimsehl 4. A., II, § 86 verweisen.

Wendet man diese Rechnung auch auf den in einem Querschnitt  $q$  vorhandenen Verschiebungsstrom an, der auf den Wegelementen der Umkreisung  $ds$  die magnetischen Feldstärken  $H_s$  erregt, so ist

$$\sum H_s ds = q \frac{\varepsilon}{c} \frac{dF}{dt} \quad (10)$$

Nun denke man sich eine sehr große ebene Stromschicht, deren Magnetfeld nach Gleichung (3) überall die Stärke  $2\pi ni$  erlangen muß. Über jedem Quadratcentimeter der Schicht steht beiderseits ein unendlicher Raum, mit der konstanten Energiedichte  $4\pi^2 n^2 i^2 : 8\pi = \frac{\pi}{2} n^2 i^2$  magnetisiert. Da in dem gem der Schicht nur ein endlicher Energieumsatz stattfindet, wäre es eine Durchbrechung des Energieprinzips, wenn das Magnetfeld mit Beginn des Stromfließens augenblicklich den unendlichen Raum erfüllen würde. Es muß sich also mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten.

Ein vergrößertes Bild dieser Ausbreitung liefert folgende Betrachtung:

Eine dünne, der Stromschicht parallele Schicht des Raumes, welche bereits magnetisiert ist, enthält quer zu der Stromrichtung Wirbelfäden an Wirbelfäden. Die elektrische Verrückung vernichtet sich in ihrer Wirkung nach außen zwischen den Fäden und vereinigt sich über und unter ihnen zu einer Gesamtverschiebung in zwei nahen parallelen Ebenen. Um eine zeichnerische Darstellung zu geben, benutze man für diese Verschiebung Rechtecke von passender Höhe, die um ihre Höhe gegeneinander versetzt sind (Fig. 6).

Die gesamte elektrische Ursache des Magnetisierungszustandes läßt sich darstellen durch ein Mauerwerk solcher Rechtecke, welches einerseits einen Stein höher geführt ist. Hört der magnetisierende Leitungsstrom auf, so ist dieselbe Darstellung für die letzte noch magnetisierte Schicht anzuwenden. Wandert dieser Zustand senkrecht zur ebenen Stromschicht beiderseits durch den Raum und trifft auf eine parallele leitende Ebene, so erteilt er ihr zu Anfang und Ende seines Durchtretens zwei gleiche, entgegengesetzte Stöße elektrischer Bewegungsgröße. Hierin besteht das Wesen der Induktion durch ruhende Leiter (Schließungs- und Öffnungsströme)<sup>1)</sup>.



Fig. 6.

Ein genaueres Bild erhält man, wenn man die magnetische Feldstärke anfangs von Null an stetig zunehmen läßt (Fig. 7). Für den nächsten Zweck genügt konstante Zuwachsgeschwindigkeit. Dann bleiben, solange das Anwachsen dauert, die „Mauersteine“ einerseits um einen konstanten Betrag länger als andererseits, d. h. es ist ein der Zunahmegeschwindigkeit des Magnetfeldes  $\frac{dH}{dt}$  proportionaler Über-

<sup>1)</sup> Maxwell stellt in Art. 658 seines Werkes „Electricity & Magnetism“ den Satz auf, daß in einer unendlich ausgedehnten leitenden Ebene durch Induktion keine Potentialdifferenz entsteht. Die Voraussetzung ist jedoch hierbei ein endlicher induzierender Strom, wie aus der Grenzbedingung  $\psi \infty (\text{Potential}) = 0$  hervorgeht. Der Satz ist daher kein Hindernis für die oben angestellte Betrachtung.

schuß an Feldstärke da, solange das Anwachsen dauert. Er verursacht in einer leitenden Schicht, auf die er trifft, in jedem qcm eine Bewegung einer Ladungsmenge, welche von der Zuwachsgeschwindigkeit nicht abhängt; denn wird diese größer, so wird im selben Maße die Zeit des Anwachsens kleiner. Daher ist es nicht nötig, das Zuwachsgesetz (Helmholtzsches Gesetz) zu kennen, obwohl es sich ermitteln läßt<sup>1)</sup>.

Ist die induzierte Feldstärke ungleich verteilt, so beschreibt man das induzierte Feld ebenso wie oben das magnetische Stromfeld mittels der Arbeit, welche ein Einheitspol leisten kann, wenn er sich um den Feldquerschnitt  $q$  herumbewegt. Da für

bloße Verschiebungen die Grundgesetze vollkommene Gleichheit der Form für Elektrizität und Magnetismus aufweisen, kann man die für Umkreisung eines magnetisierten Querschnitts aufgestellte Formel als Muster benutzen, also schreiben

$$\Sigma F_s ds = q \frac{\mu}{c} \frac{dH}{dt}. \quad (11)$$

Nun betrachte man am Kopfe des vordringenden Feldes eine Fläche von der Breite 1 cm und der Höhe  $dz$  und wende auf sie Gl. (10) und (11) an, einmal in der  $H$ -Ebene, dann in der  $F$ -Ebene. Man findet

$$-dH = \frac{\varepsilon}{c} \frac{dF}{dt} dz \quad (12)$$

$$-dF = \frac{\mu}{c} \frac{dH}{dt} dz \quad (13)$$

$dt$  und  $dz$  sind hier unabhängig voneinander; es steht aber, da durch die Eingangsbetrachtung eine endliche Fortpflanzungszeit schon nachgewiesen ist, nichts im Wege.  $dz$  so groß zu wählen wie die in der Zeit  $dt$  vom vordringenden Felde zurückgelegte Strecke. In diesem Falle sind  $dH$  und  $dF$  auch die Zuwächse von  $H$  und  $F$  in einer festen  $HF$ -Ebene in der Zeit  $dt$ . Man darf daher die beiden Gleichungen als simultan behandeln und aus ihnen entnehmen

$$\left(\frac{dH}{dF}\right)^2 = \frac{\varepsilon}{\mu} \quad (14)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{c}{\varepsilon} \frac{dH}{dF} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (15, 16)$$

womit die Bedeutung der früher beschriebenen Messung von  $c$  (33124) nachgewiesen ist.

$dF$  ist in Fig. 7 der kleine Anfangsbetrag, bevor die Konstanz von  $F$  eintritt. Reicht die Zeit aus, so wird man als strenge Ableitung zeigen, daß die Helmholtzsche Formel die Gleichungen (12) und (13) befriedigt, wenn man setzt

$$\sqrt{\mu} H = P(1 - e^{\lambda u}) \quad \text{wo } u = \frac{\sqrt{\varepsilon\mu}}{c} z - t \text{ ist.} \quad (17)$$

$$\sqrt{\varepsilon} F = -P e^{\lambda u} \quad (18)$$

In beiden Gleichungen folgt die Wahl der Konstanten aus dem aus der Figur ersichtlichen Endwert für  $H$  und  $F$ .

Nachdenkenden Schülern fällt auf, daß das Ausziehen einer elektrischen Kraftlinie in ihrer Längsrichtung oder ihr Zusammenschnellen hier nicht als Ausbreitungsvorgang mitbehandelt ist. Beides ist nur dann ein einfacherer Vorgang, wenn er unter dem Einfluß äußerer Kräfte, welche auf die Quellen und Senken der Kraftlinien

<sup>1)</sup> Der Verzicht auf die Helmholtzsche Formel ist nur durch das Bestreben möglicher Stoffbeschränkung veranlaßt. Ihre Ableitung ist in dieser Zeitschrift schon zweimal dargestellt worden; elementar von Münch (22, 269, Ziff. 4), streng von Schütt (32, 148).



wirken, langsam vor sich geht. Fehlen solche Kräfte, so ist nur das Zusammenschnellen möglich und dieses dann wegen der auftretenden magnetischen Krafringe kein einfach zu übersehender Vorgang (vergl. dazu die Bemerkungen von Campbell-Meyer über die begrenzte Analogie der Kraftlinie mit einem Gummifaden, a. a. O.).

Nach diesen Vorbereitungen bleibt später, im Kapitel von der Ausbreitung elektrischer Schwingungen, nur noch zu zeigen, daß auch Sinusformeln, und damit nach dem aus der Akustik den Schülern erinnerlichen Fourierschen Satz beliebige Schwingungsformeln, die Gleichungen befriedigen. Der Satz von der gleichen Verteilung der Energie auf magnetische und elektrische Kräfte gilt nach Gleichungen (17, 18) für die einfache Ausbreitung eines eingeschalteten Stromfeldes nicht; er ist auf Sinusformeln ohne Absorption beschränkt.

Der Strahlungsdruck ergibt sich als Querdruck der Kraftlinien; falls sie auf eine Parallelebene nur einseitig wirken, also auf Körper, welche die Strahlung verschlucken oder zurückwerfen (spiegeln).

Dieses Verschlucken und die Zurückwerfung eines Teiles des sich ausbreitenden Magnetfeldes läßt sich energetisch folgendermaßen übersehen. Der in einer leitenden Parallelebene induzierte Strom erzeugt ein eigenes Magnetfeld, welches sich dem ihn verursachenden überlagert und es zwischen den zwei Ebenen verstärkt (Spiegelung), außerhalb in Richtung der Fortpflanzung schwächt (Verschlucken). Ganz verwickelt würde demnach das Anstiegsgesetz, wenn man es bis auf Zeitunterschiede, welche klein sind gegen die Lichtzeit zwischen den beiden Ebenen, verfolgen wollte. Summarisch übersieht man, daß es länger dauert, bis jenseits der leitenden Ebene, in welcher der Induktionsstrom verläuft und seine aus dem induzierenden Feld stammende Energie in Wärme entartet, eine bestimmte, unter dem stationären Wert liegende magnetische Feldstärke erreicht wird. Je langsamer der Anstieg wird, desto durchlässiger und matter zurückwerfend wird die leitende Schicht; gegen das stationär gewordene Feld verhält sie sich nicht mehr anders als ein Isolator<sup>1)</sup>.

## 7. Übergang zu technischen Leiterformen.

Zwei ebene Stromschichten mit parallelen, entgegengesetzt gleichen Breiten-dichten der Stromstärke  $ni$  im gegenseitigen Abstand  $p$  erzeugen im Zwischenraum bis zur Zeit  $\frac{p}{2c}$  die bis zur Mitte vordringende Feldstärke  $H = 2\pi ni$ ; von da an durch Überkreuzung von der Mitte nach außen dringend  $H = 4\pi ni$ . Außerhalb erzeugen sie das Feld  $\pm 2\pi ni$  von der Zeit 0 bis  $\frac{p}{c}$ ; von da an überlagern sich entgegengesetzte Felder und heben sich auf. Es ist zu beachten, daß hierbei der einseitige Überschuß elektrischer Feldstärke auf Null herabgedrückt, aber nicht umgekehrt wird, solange  $\frac{p}{c}$  kleiner als die Zeit des starken Anwachsens von  $H$  ist.

Ein solches Ebenenpaar stellt einen im Unendlichen geschlossenen Stromkreis dar. Ein solcher sendet also bei Stromschluß für jeden Quadratcentimeter Oberfläche ein endliches Quantum Energie beiderseits senkrecht zu seinen Ebenen in den Raum hinaus, nämlich  $4\pi^2 n^2 i^2 p$ . Beim Ausschalten wiederholt sich der Vorgang mit umgekehrtem Feldvorzeichen, was auf den Energiebetrag keinen Einfluß hat. Die Energie stammt beim Einschalten von der näheren, beim Ausschalten von der von dem getroffenen Außenpunkt aus entfernteren Stromschicht. Obgleich das stationäre Feld

<sup>1)</sup> Man kann vielleicht schon hier die für Sinuswellen gültigen Absorptionszahlen aus Abraham, Theorie der Elektrizität (5. Aufl., I, S. 287) mitteilen, um die Wirkung des Wirbelstromdämpfers am medizinischen Induktorium darauf gründen zu können. „Eine Kupferplatte von der Dicke eines Hundertstel Millimeter läßt praktisch Wellen von 30 cm nicht hindurch; für 3 km Wellenlänge muß die Kupferplatte eine Dicke von 1 mm besitzen, für 300 km einen Zentimeter.“

des Stromes auf den Zwischenraum beschränkt ist, wirkt er beim Ein- und Ausschalten, überhaupt bei Stromschwankungen auch nach außen induzierend, und zwar dort mittels frei durch den Raum eilender Quanten von Energie<sup>1)</sup>.

Bei einer langen geraden Spule haben diese Quanten Hohlprismen- bzw. Hohlzylindergestalt; bei einer Ringspule sind sie begrenzt von den Formen, welche ein Wulst bei Erweiterung seines Meridians annimmt. Letztere Formen werden für die Schule besser in die einzelnen Kraftlinien aufgelöst, welche sich durch ihren Querdruck, da sie an der Materie keinen Halt haben, ins Unendliche hinauserschleudern, während sie zugleich unter dem Zusammenwirken von Querdrücken und Längszügen in weniger leicht zu übersehender Weise ihren Durchmesser ändern. Diese Betrachtung ist für die Schule unentbehrlich, wenn die technischen Transformatoren wirklich verstanden werden sollen. In der üblichen Darstellung, welche nur das stationäre Feld der Transformatoren beschreibt und mit ihrer Windungsfläche rechnet, bleibt ihre Induktionswirkung ein Stück Fernwirkung inmitten der Nahwirkungslehren.

Die wie Wirbelringe durch den Raum geschossenen induzierenden Energiequanten des Ringtransformators bilden die beste Vorbereitung auf die Wirkungsweise der Senderformen der drahtlosen Telegraphie.

#### 8. Quantitative Induktionsversuche mit ruhenden Leitern.

Ich verwende als ballistisches Galvanometer das Donathsche ohne Felderregung, die Spule nur im remanenten Felde schwingend. Für die Theorie reicht gegenwärtig die Kraft meiner Schüler nicht aus; ich lasse es daher empirisch eichen. Vier Papierkondensatoren von Zwietusch, Charlottenburg, zu je 0,4 Mikrofarad werden zunächst auf Gleichheit geprüft und dann summiert benutzt. Ich verwende eine Batterie von 18 Volt (etwas mehr wäre besser) und einen Morsetaster, um auf die Ladung möglichst sofort die Entladung folgen zu lassen. Abgelesen werden die beiden ersten Umkehrpunkte des Lichtzeigers. Die Einzelergebnisse schwanken ziemlich stark; die Mittelwerte geben eine befriedigende Proportionalität mit der Kondensatorenzahl; der Schüler sieht also ein, daß das ballistische Galvanometer Coulomb mißt; eine Meßreihe mit vier Kondensatoren, aber wechselnder Spannung begründet dies noch fester.

Für die Induktionsversuche verwende ich bis jetzt einen auf Holz gewickelten Ringtransformator mit zwei nebeneinander gelegten Bewicklungen von je 208 Windungen; Achsenlänge 26,7 cm, Querschnitt 2 qcm, Widerstand jeder Windung 8 Ohm. Für das Donathsche Galvanometer wäre ein doppelt so großer Ring besser. Die eine Bewicklung wird über einen Stromwender an eine Batterie von 8 und nachher 16 Volt angeschlossen. Es ergibt sich Proportionalität mit der Stromstärke und beim absoluten Nachrechnen des Kraftflusses eine leidliche Bestätigung der Kapazität der Zwietuschkondensatoren. Es folgt eine Permeabilitätsbestimmung mit langer Primärspule auf Glasrohr und kurzer Sekundärspule auf langem Eisenstab, beides in das Glasrohr geschoben.

#### 9. Die Induktion durch Bewegung im Magnetfelde.

Die energetische Berechnung der Induktion durch Bewegung läßt sich, statt auf die Biot-Savartsche Fernwirkung, auch auf die Nahkräfte des Feldes gründen, wenn man wieder von sehr großen Ebenen ausgeht.

<sup>1)</sup> Die Überlegung ist eine Fortführung von Faradays Anschauung über das Hinausdrängen von Kraftlinien bei Stromschluß; die Vorstellung von ihrer Rückkehr, welche schwer ohne Fernwirkung zu vollziehen wäre, ist durch das Aufhören der Überlagerung ersetzt. Mie behandelt die Faradaysche Vorstellung, wohl unter dem Einfluß der Schwierigkeit des Rückkehrgedankens, als Fiktion (Lehrb. der Elektrizität, S. 473); Kaufmann (M. P. IV, 639, 756) zustimmend „trotz gewisser Bedenken“. Durch die vorliegende Fassung dürften alle Bedenken beseitigt und ein brauchbares Bild des Verhaltens des Raumes gewonnen sein.



Eine Stromschicht, Breitendichte  $ni$ , liege gegenläufig parallel einer anderen, Breitendichte  $ni'$ ; die Feldstärke zwischen beiden ist dann nach Gleichung (3)  $2\pi n(i+i')$ , außerhalb beider  $\pm 2\pi n(i-i')$ ; der Überdruck des inneren Kraftfeldes über das außerhalb vorhandene beträgt  $2\pi n^2 ii'$ . Bewegt sich die Schicht  $i'$  mit der Geschwindigkeit  $v$  in Richtung des Überdrucks, so hat dieser Überdruck eine Leistung vom Betrag  $2\pi n ii'v$  zu entwickeln. Dieser Mehrleistung entspricht die für Überwindung der Gegenspannung in der bewegten Schicht. Die Spannung auf 1 cm ist gleich dem Verhältnis der Leistung in 1 qcm zur Breitendichte  $ni'$ ; also  $2\pi n i'v - Hv$ .

Dabei ist vorausgesetzt, daß das Magnetfeld auf gleicher Stärke erhalten wurde. Dies erfordert von beiden Seiten der Stromquelle für die Schicht  $i$  ebenfalls eine Mehrleistung im Betrag  $2\pi n ii'v$ , welche als Raumenergie der vermehrten Magnetisierung im erweiterten Zwischenraum aufgespeichert wird. Man kann somit die Mehrleistung nicht zur Unterscheidung von ruhender und bewegter Schicht verwerten; der Vorgang genügt dem Relativitätsprinzip.

Eine Ableitung mit Umgehung des Energieprinzips hat J. J. Thomson skizziert<sup>1)</sup>.

Die Anwendung auf obigen Fall würde folgendermaßen zu lauten haben:

Der Überdruck des inneren Kraftfeldes über das äußere  $2\pi n^2 ii'$  oder  $Hni'$  würde im Falle eines Ionenstromes lauten  $\frac{Hni'}{w} \cdot w$ , wo  $w$  die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen,  $\frac{ni'}{w}$  ihre elektromagnetisch (in Dekacoulomb) gemessene Ladung auf 1 qcm der Schicht bedeutet. Dieser Druck läßt sich auch auffassen als eine Kraft, welche die Ladung  $\frac{ni'}{w}$  im Magnetfelde  $H$  erleidet, wenn sie sich mit der Geschwindigkeit  $w$  bewegt.

Es ist also zu erwarten, daß diese Kraft auch auf dissoziierte Ionen wirkt, wenn  $w$  die gemeinsame Geschwindigkeit ist, welche sie durch Bewegung der leitenden Schicht als Ganzes miterhalten. Hat  $w$  die Richtung des Lotes der Ebene, so fällt die Krafttrichtung in die Ebene selbst und bewegt die Ionen in ihr als elektromotorische Kraft. Die Elektronentheorie erlaubt diese Ableitung auch auf Metalle auszudehnen.

Mit anderen Worten: durch Bewegung der leitenden Schicht fügt man zu dem das Magnetfeld verursachenden Strompaar oder auch Einzelstrom, wenn in der Schicht noch keiner herrscht, eine Schar weiterer Parallelströme hinzu, welche die Druckbeträge im Raum ändern und deren Rückwirkung erleiden. Ganz allgemein bedeutet jede Bewegung von Materie, auch ungeladener und nicht durchströmter, eine Schar von Wanderungsströmen (Parallelströmen mit und gegen die Bewegungsrichtung, wenn alles im Sinne positiver Ladungen ausgedrückt werden soll), welche in einem Magnetfelde kraft der von ihnen hinzugefügten Feldstärkenunterschiede Drucke erleiden, ohne daß es zu deren Verständnis, außer dem Zusammenhang zwischen Stromstärke und magnetischer Flächenbeanspruchung durch Zug und Druck, anderweitiger Gesetze bedürfte außer denjenigen der Überlagerung von Bewegungen. Der Eintritt der Induktionswirkung ist eine Bestätigung für die Ionen- und Elektronentheoretischen Vorstellungen vom Aufbau der Materie; die Besonderheiten der Induktionsbeträge in erhöht dielektrischen und magnetischen Stoffen sind Folgen der Überlagerungsgesetze und werden durch das erschöpfende Stadium der letzteren aufgeklärt. Dies ist der Standpunkt der Relativitätstheorie zur Induktion<sup>2)</sup>.

Eine Folgerung aus Thomsons Überlegung ist eine kleine Hautwirkung, wonach der Widerstand im Magnetfelde, wenn die magnetischen Kräfte die wandernden Ladungen gegen die isolierende Außenwand drängen, etwas erhöht wird.

<sup>1)</sup> J. J. Thomson, Elektrizität und Materie, Sammlung Vieweg, 3. Heft, S. 19.

<sup>2)</sup> Lane, Relativitätsprinzip, § 19—21; Weyl, Vorles. über allgem. Relativitätstheorie, § 22.

## 10. Induktionsversuche mit bewegten Leitern.

Eine Sirenscheibe als Faradaysche Scheibe im Felde eines Stahlmagazinmagneten mit einer kleinen Drahtkurbel 1—2 mal in der Sekunde oder einer etwas kleineren Zeit nach dem Metronom gedreht gibt für das Donathgalvanometer passende Stromstärken. Einen Schleifkontakt von der erforderlichen Unveränderlichkeit des Widerstands gab eine Messingpinselektrode (die Scheibe ist von Messing) aus einem medizinischen Induktorium. Die beiden Umdrehungssinne können nicht gleich gut verwendet werden; bei gut getroffener Pinselstellung liefert die eine sehr genaue Proportionalität (bis auf 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub>).

Die Bedeutung der Windungsfläche lege ich dar, indem ich von einem Erdinduktor nach Art von M. P. IV, Fig. 690 (um einen Holzrahmen von 60 × 80 cm gewickelt) nach der ersten Versuchsreihe die Hälfte der 16 Windungen abwickle, aber nach wie vor im Stromkreis lasse, so daß sich der Widerstand nicht ändert. Die Mittelwerte der auch hier mehr als man erwarten sollte schwankenden Ausschläge betragen auf 1—2<sup>0</sup>/<sub>0</sub> die Hälfte der ersten Versuchsreihe, z. B. dieses Jahr 93 und 46 Tausendteile. (Die Skalenstriche haben gleiche Bogenentfernung, so daß keine Verbesserung der größeren Zahl in Betracht kommt.) Aus Horizontalintensität und Inklination wird die Vertikalintensität berechnet. Damit ist der beim wagrechten Umlegen auf den Tisch geschnittene Kraftfluß bekannt. So läßt sich aus den Ausschlägen die ballistische Empfindlichkeit des Galvanometers abermals berechnen und damit die Kapazität der in 10 erwähnten Kondensatoren nachprüfen, so daß das Ganze den für Schülerübungen erwünschten praktischen Zweck erhält. Das Ergebnis war befriedigender als mit dem zu kleinen Ringtransformator (5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> Abweichung vom angegebenen Werte).

## Zur Theorie der optischen Instrumente im Unterricht der Mittelschule.

Von Dr. Otto v. Gruber in München.

Die Ableitung der Linsenformel  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$  aus Versuchen bietet in der Regel keine große Schwierigkeit. Dagegen bereitet das Verständnis des Zusammenwirkens mehrerer Linsen, wie es bei nahezu allen optischen Instrumenten der Fall ist, den meisten Schülern großes Kopfzerbrechen. Vor allem gilt dies von den Instrumenten zu subjektivem Gebrauch, den Fernrohren und dem Mikroskop.

Beim ersten Versuch, ein Fernrohr oder Mikroskop aus Linsen selbst zusammenzusetzen, stellt sich nämlich in der Regel heraus, daß das Gesichtsfeld so beschränkt ist, daß an einen Gebrauch des selbstzusammengestellten Instrumentes nicht gedacht werden kann. Es ist klar, daß unter solchen Umständen das Interesse des Schülers bald erlahmen muß, und zwar um so schneller, wenn er im Bau der einzelnen Instrumente keine gemeinsame leitende Idee erkennen kann.

Im folgenden soll versucht werden, in die Theorie der optischen Instrumente so viel von der Lehre der Strahlenbegrenzung aufzunehmen, daß der Schüler instand gesetzt wird, selbst Instrumente zusammenzustellen, deren Gesichtsfeld an Größemäßigen Ansprüchen genügt.

Vorausgesetzt wird, daß die Linsenformel bereits bekannt ist, ebenso auch die Beziehung zwischen absoluter Größe  $y$ , Bildgröße  $y'$ ,  $a$  und  $b$ :  $\frac{y}{a} = \frac{y'}{b} = \operatorname{tg} w$  („scheinbare Größe“ bei Betrachtung vom Hauptpunkt aus). Vorausgesetzt ist weiter, daß alle Linsen als „sehr dünn“ betrachtet werden, d. h., daß nur immer von einer Haupt-



ebene und einem Haupt- und Knotenpunkt gesprochen werden kann. Bekannt sei auch der Begriff der Dioptrie  $= \frac{1}{f}$ , wie auch die Konstruktion eines zu einem Objekt gehörigen Bildes mit Hilfe von Brenn-, Parallel- und Hauptstrahl.

### 1. Der Projektionsapparat.

Der Projektionsapparat bietet die erste Gelegenheit, den Unterschied zwischen bilderzeugenden, bildbegrenzenden und nur der Konstruktion dienenden, gedachten Hilfsstrahlen klar zu machen. Hierzu dienen folgende Versuche und Zeichnungen.

1. *Versuch:* Nach Entfernung des Kondensors wird die Lichtquelle unmittelbar durch die Projektionslinse auf dem Schirm abgebildet. Fig. 1 zeigt den zugehörigen Strahlengang. Vom selbstleuchtenden Punkt  $P_1$  nach allen Richtungen ausgehende Strahlen dienen nur mit dem Teil der Bilderzeugung, der durch die Linsenöffnung hindurchgeht. Darunter befindet sich der Hauptstrahl und der Parallelstrahl. Dagegen kommt dem Brennstrahl nur die Bedeutung eines gedachten Hilfsstrahles zu, da er die Linsenöffnung nicht mehr trifft.

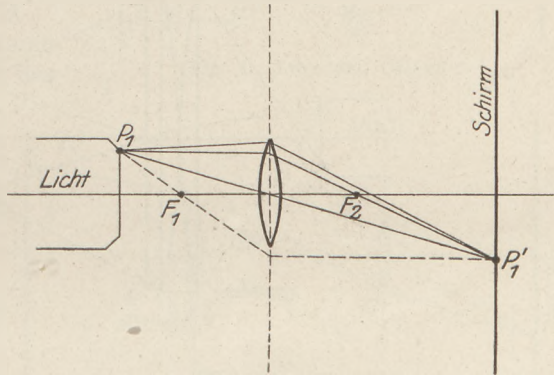


Fig. 1. Abbildung eines selbstleuchtenden Objektes.

2. *Versuch:* Ein Diapositiv wird ohne Verwendung des Kondensors durchleuchtet und auf dem Schirm zur Abbildung gebracht. Ergebnis: Nur ein Teil des Diapositives kommt zur Abbildung, und zwar nur der Teil, welcher von Strahlen durchsetzt wird, die in ihrem weiteren Verlauf noch durch die Linsenöffnung hindurchgehen. Fig. 2 zeigt diese Verhältnisse: Die den Punkt  $P_1$  treffenden Strahlen gehen an der Linse vorbei. Wäre  $P_1$  selbstleuchtend, würde er sich in  $P'_1$  abbilden. Da dies nicht der Fall, so sind die gezogenen Strahlen nur gedacht und kommt eine Abbildung nicht zustande. Der durch  $P_2$  gehende Strahl  $L_1 P_2 L'_1 P'_2$  geht eben noch durch die Linsenöffnung und ist daher bildbegrenzender Strahl. Ihm entspricht auf der anderen Seite  $L_2 P_4 L'_2 P'_4$ . Die zugehörigen Hauptstrahlen sind dagegen nur gedachte Hilfsstrahlen. Die Figur zeigt weiter, daß die von denselben Punkten der Lichtquelle ausgehenden Strahlen sich vor dem Schirm in  $L'$  zum Bild der Lichtquelle vereinigen, daß dagegen die diapositivbilderzeugenden Strahlen von verschiedenen Punkten der Lichtquelle ausstrahlen müssen. So gehen die Strahlen, welche von  $P_3$  das Bild  $P'_3$  erzeugen, von der ganzen Fläche der Lichtquelle zwischen  $L_1$  und  $L_2$  aus. Der Versuch zeigt also die Notwendigkeit, die Beleuchtung so einzurichten, daß die das Diapositiv durchsetzenden Strahlen auch die Linsenöffnung passieren. Dies ist möglich durch Verwendung einer Linse oder eines Linsensystems, welches die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen in der Öffnung der Projektionslinse vereinigt. Eine solche

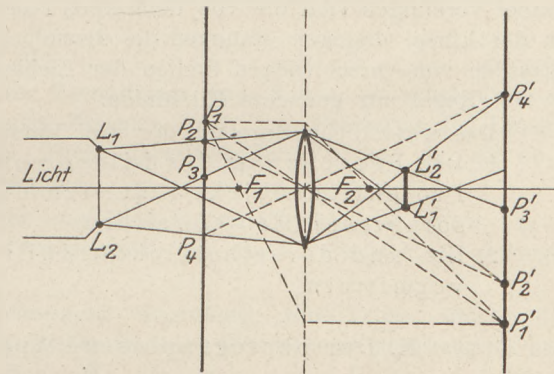


Fig. 2. Abbildung eines nicht selbstleuchtenden Objektes ohne Kondensator.

Vereinigung der Strahlen bedeutet aber Abbildung der Lichtquelle in der Öffnung der Projektionslinse.

3. *Versuch:* Die Lichtquelle wird durch den Kondensator auf die Projektionslinse abgebildet. Ergebnis (Fig. 3): Der Schirm wird in erheblich größerem Maße erhellt, als dies bei der Fig. 2 der Fall war. Bringt man nun unmittelbar hinter den Kondensator das Diapositiv, so werden jetzt alle Strahlen, welche das Diapositiv passieren, auch durch die Linse hindurchgehen. Bei dieser Anordnung findet also eine doppelte Abbildung statt: a) Die Lichtquelle wird durch den Kondensator in der Linse abgebildet, b) das Diapositiv wird durch die Projektionslinse auf dem Schirm abgebildet.

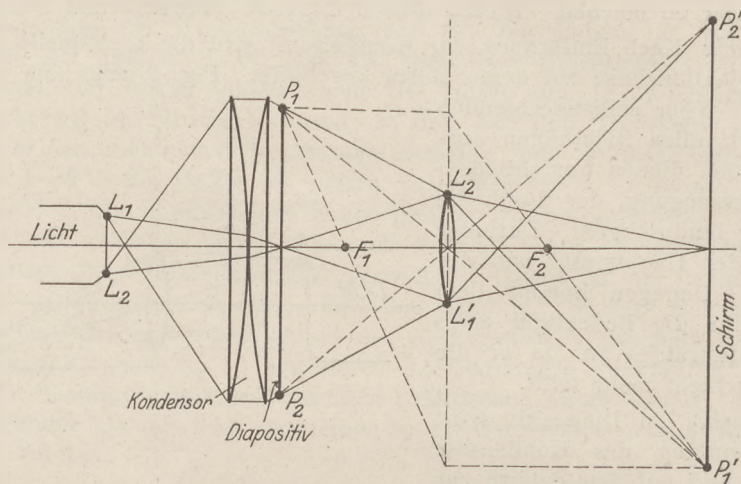


Fig. 3. Abbildung eines nicht selbstleuchtenden Objektes mit Kondensator (Projektionsapparat).

Dabei vereinigen sich die von demselben Punkt der Lichtquelle ausgehenden Strahlen in der Linse, dagegen stammen die denselben Punkt des Diapositivs durchsetzenden Strahlen von verschiedenen Stellen der Lichtquelle. Parallel- und Brennstrahlen sind in der Regel nur gedachte Hilfslinien.

Das wesentliche Ergebnis der drei Versuche ist:

1. Die Begrenzung des Bildes von einem nicht selbstleuchtenden Projektionsobjekt läßt sich durch Anwendung eines Kondensators wesentlich erweitern.
2. Ein und derselbe Lichtstrahl vermag mehrere Abbildungen zu vermitteln.

## II. Der photographische Apparat, Lupe und Auge.

Verwendet man den photographischen Apparat zur Abbildung naher Objekte, so ist seine Wirkungsweise genau die eines Projektionsapparates ohne Kondensator bei selbstleuchtenden Objekten (siehe Versuch 1). Man kann in diesem Fall auch die Größe des Bildes mit der absoluten Größe des Objektes vergleichen. Dies ist nicht mehr möglich, wenn der Apparat dazu verwendet wird, Bilder von „unendlich“ entfernten Objekten zu entwerfen. In diesem Fall tritt an die Stelle der absoluten Größe des Objektes seine „scheinbare“, d. h. der Winkel, unter dem es vom Projektionszentrum aus erscheint. Zwischen Bildgröße  $y'$  und „scheinbarer“ Größe  $w$  besteht die Beziehung  $\frac{y'}{f} = \operatorname{tg} w$ . Einer Verdoppelung der Bildgröße entspricht also — da es sich um kleine Winkel  $w$  handelt — eine Verdoppelung der „scheinbaren“ Größe.

4. *Versuch:* Bringt man in die Brennebene einer Linse ein selbstleuchtendes oder durchleuchtetes Objekt, so werden von jedem Punkt desselben Strahlen ausgehen, die



nach Durchsetzung der Linse untereinander parallel verlaufen. Hiervon überzeugt man sich durch folgenden Versuch: Ein photographischer Apparat wird auf sehr weit entfernte Objekte, d. h. auf unendlich eingestellt. Ohne die Einstellung zu ändern, bringt man nun vor das Objektiv eine Linse und in ihre Brennebene ein Diapositiv. Dieses wird im photographischen Apparat scharf erscheinen. Aus Fig. 4

folgt:  $\text{tg } w = \frac{y_1}{f_1} = \frac{y_2}{f_2} = y_1 \cdot D_1 = y_2 \cdot D_2$   
und für die Beziehung von Objekt und Bild:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

Die Vergrößerung ist bei gegebenem  $f_2$  nur von der Wahl von  $f_1$  abhängig.

Die Entfernung der beiden Linsen voneinander ist für die Entstehung des Bildes und für seine Größe ohne Einfluß. Diese Entfernung bedingt nur die Größe des zur Abbildung gelangenden Objektfeldes. Ist  $w$  (Fig. 5) der Winkel des äußersten Strahles, der eben noch beide Linsen passiert, sind  $r_1$  und  $r_2$  die Radien der Öffnungen beider Linsen,  $t$  die gegenseitige Entfernung beider Linsen, so gilt:

$$\text{tg } w' = \frac{r_1 + r_2}{t}$$

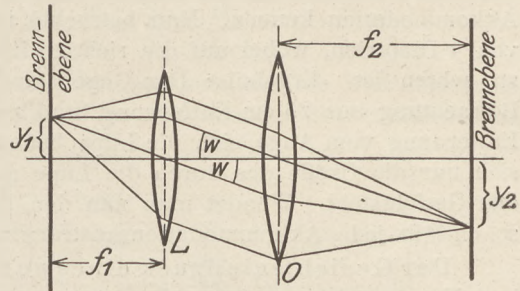


Fig. 4. Lupe und Objektiv.

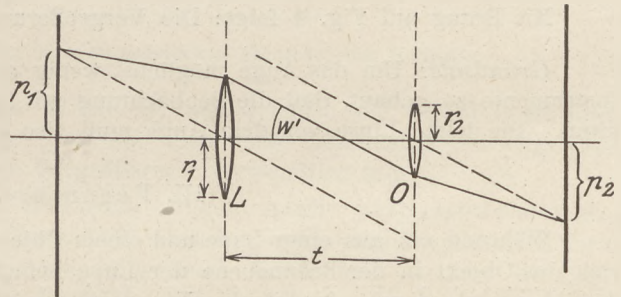


Fig. 5. Bildbegrenzung bei Lupe und Objektiv.

Das Ergebnis des 4. Versuches ist:

1. Befindet sich ein Objekt in der Brennebene einer Linse, so werden die von jedem Punkt des Objektes ausgehenden Strahlen nach dem Passieren der Linse je ein Bündel paralleler Strahlen bilden. Diese Parallelstrahlen wirken so, als ob sie von einem unendlich fernen Objekt kämen.

2. Die „scheinbare“ Größe dieses unendlich fernen Objektes ist außer von der Objektgröße nur abhängig von der Dioptrienzahl der die Parallelstrahlen erzeugenden Linse.

Es werden nun folgende *Bezeichnungen* eingeführt: Eine Linse, welche dazu dient von „unendlich“ fernen Objekten Bilder in ihrer Brennebene zu erzeugen, heiße **Objektiv**. Eine Linse, welche dazu dient, die von einem nahen Objekt ausgehenden Strahlen so zu brechen, daß sie in ihrem weiteren Verlauf den von einem „unendlich“ fernen Objekt kommenden Strahlen gleichen, heiße **Lupe**. Mit diesen Bezeichnungen gilt weiter:

3. Die Wirkung einer Lupe ist der eines Objektivs entgegengesetzt.

4. Eine Vereinigung einer Lupe von  $D_1$  Dioptrien mit einem Objektiv von  $D_2$  Dioptrien wirkt wie eine einzige Linse von  $D_1 + D_2$  Dioptrien und kann auch durch eine solche ersetzt werden.

5. Jede Linse kann durch ein aus einer Lupe und einem Objektiv bestehendes System ersetzt werden. Dabei muß die Gegenstandsweite gleich sein der Brennweite der Lupe, die Bildweite gleich der Brennweite des Objektivs.

Das Auge wirkt wie ein photographischer Apparat. Das brechende System des normalen akkommodationslosen Auges wirkt als „Objektiv“.

5. *Versuch*: Man bringe einen Gegenstand zum Auge auf die nächste Entfernung, auf welche im allgemeinen noch gut akkommodiert werden kann — sie ist zu 25 cm festgesetzt —, und halte den Gegenstand so, daß man bei geringer Drehung des Auges weit entfernte Gegenstände erblicken kann. Beim Wechseln der Blickrichtung von Nah auf Fern lernt man rasch das Gefühl für die Anstrengung der Akkommodation kennen. Man betrachte nun denselben Gegenstand durch eine Lupe von 4 Dioptrien, wobei auf die richtige Entfernung von Gegenstand und Lupe (25 cm) zu achten ist. Ergebnis: Der Gegenstand erscheint genau so groß wie vorher bei Betrachtung aus 25 cm Entfernung, und zwar ist dies der Fall, gleichgültig in welcher Entfernung vom Auge sich die Lupe befindet. Bei Änderung dieser Entfernung ändert sich nur die Größe des durch die Lupe auf einmal zu übersehenden Ausschnittes — das Gesichtsfeld. Wendet man nun den Blick abwechselnd von der Lupe zur Ferne, so entfällt jede Akkommodationsanstrengung.

Der Gesichtseindruck eines normalen, akkommodationslosen Auges bei Verwendung einer Lupe von 4 Dioptrien ist der eines auf 25 cm akkommodierenden Auges.

Mit Bezug auf Fig. 4 folgt: Die Vergrößerung einer Lupe ist gleich  $\frac{D}{4}$ .

*Grundsatz*: Um das Auge möglichst wenig anzustrengen, werden alle optischen Instrumente so gebaut, daß die Beobachtung mit akkommodationslosem Auge erfolgen kann. Die letzte Linse vor dem Auge muß also als Lupe wirken.

### III. Fernrohre.

Während ein aus einer Lupe und einem Objektiv gebildetes System, bei welchem sich das Objekt in der Brennebene der Lupe befindet, als Endergebnis eine objektive Abbildung wie durch eine einzige Linse gibt, wird durch Kombination eines Objektivs mit einer Lupe ein Fernrohr hergestellt, wenn das durch das Objektiv entworfene Bild Objekt der Lupe ist. Oder: Ein Fernrohr entsteht, wenn man das von einem Objektiv entworfene Bild durch eine Lupe betrachtet.

Dabei kann die Lupe sowohl durch eine Sammellinse wie eine Zerstreuungslinse dargestellt werden. Die Gesichtsfeldbegrenzung erfordert in einzelnen Fällen außer Objektiv und Lupe noch das Hinzutreten eines weiteren Elementes. Je nach der Art der Lupe, ob mit positiver oder negativer Brennweite, unterscheidet man die einfachen Fernrohre in A. astronomische, B. Theater-Fernrohre.

A. Das astronomische Fernrohr. Ein astronomisches Fernrohr entsteht, wenn man wie in Fig. 6 das vom Objektiv entworfene Bild durch eine Sammellinse

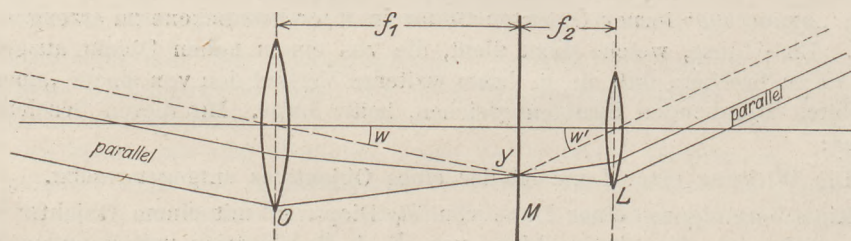


Fig. 6. Astronomisches Fernrohr.

betrachtet, und zwar so, daß die dem Objekt abgewandte Brennebene des Objektivs mit der dem Objekt zugewandten Brennebene der Lupe zusammenfällt. Die von unendlich fernen Punkt kommenden Strahlen sind vor Eintritt ins Objektiv parallel, schneiden sich in der beiden Linsen gemeinsamen Brennebene und sind nach Verlassen der Lupe wiederum parallel. Bei dem Passieren des Fernrohres hat sich die



Richtung der Strahlenbündel (ihre „scheinbare“ Größe) geändert und außerdem die Dichte des Bündels. Die Richtung der Bündel ist bestimmt durch die Winkel  $w$  und  $w'$ . Nach Fig. 6 gilt:  $\text{tg } w = \frac{y}{f_1}$ ,  $\text{tg } w' = \frac{y}{f_2}$ , also:

$$\text{Vergrößerung } V = \text{tg } \frac{w'}{w} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_2}{D_1}.$$

Von den das Objektiv passierenden Strahlen passiert nur ein Teil die Lupe. Dadurch ist außer geringerer Helligkeit die enge Begrenzung des Gesichtsfeldes

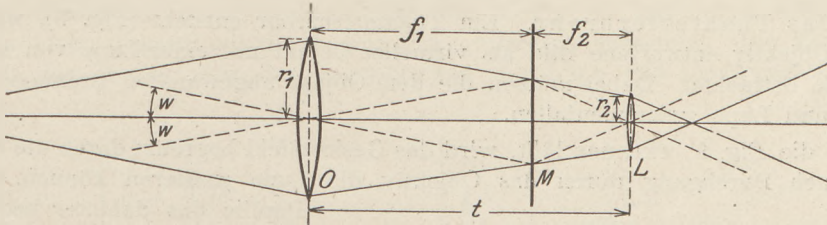


Fig. 7. Gesichtsfeldbegrenzung beim astronomischen Fernrohr ohne Kollektiv.

bedingt. Fig. 7 zeigt den größten Winkel  $w$ , bei welchem ein Strahl eben noch Objektiv und Lupe passieren kann. Das so entstehende Gesichtsfeld ist sehr klein und würde nur bei ganz schwacher Vergrößerung verwendbar sein.

Das vom Objektiv entworfene Bild stellt nun ein nicht selbstleuchtendes Projektionsobjekt dar im Sinn von Versuch 3. Genau so wie beim Projektionsapparat läßt sich das Gesichtsfeld durch Anwendung eines Kondensors — hier Kollektiv genannt — erweitern. Aufgabe des Kollektivs ist, die Strahlen so zu brechen, daß alle das Objektiv passierenden Strahlen auch die Lupe passieren. Dabei soll aber die Lage der Brennebene nicht oder möglichst wenig geändert werden. Diese Aufgabe wird erfüllt durch eine Sammellinse, welche das Objektiv auf die Lupe abbildet

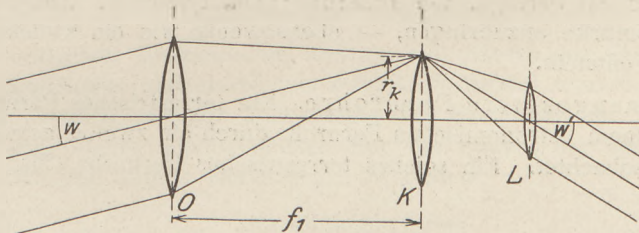


Fig. 8. Normaltyp des astronomischen Fernrohres.

(Fig. 8), deren Brennweite daher so bestimmt ist, daß  $D = D_1 + D_2$ , und die sich in der dem Objektiv und der Lupe gemeinsamen Brennebene befindet. Ein solches Kollektiv sammelt sämtliche Strahlen eines unendlich fernen Punktes, welche das Objektiv passiert haben und vereinigt sie auf der Fläche der Lupe, sofern der unendlich ferne Punkt innerhalb eines Winkels  $w$  liegt, der sich ergibt aus:

$\text{tg } w = \frac{r_k}{f_1}$ ;  $r_k$  ist der Radius der Öffnung des Kollektivs. Die Wirkung ist also eine bedeutende Erweiterung des Gesichtsfeldes und gleichzeitig ein Gewinn an Helligkeit.

Ein solches aus Objektiv, Kollektiv und Lupe bestehendes System möge als Normaltyp des astronomischen Fernrohres bezeichnet werden. Die Gebrauchstypen zeigen kleine Abweichungen davon. Soll nämlich das Fernrohr auch zu Meßzwecken dienen, so muß mit dem vergrößerten Objekt gleichzeitig eine Meßmarke betrachtet

werden können. Diese muß in der Brennebene der Lupe angebracht werden. Es kann sich daher dort nicht zugleich das Kollektiv befinden. Außerdem sollen die Strahlen vom Auge beobachtet werden. Die Fläche der Abbildung des Objektivs wird daher zweckmäßig in die Augenpupille, also etwas hinter die Lupe verlegt. Beide Zwecke werden erreicht durch das Ramsdensche Okular. Bei diesem befindet sich das Kollektiv unmittelbar hinter der Brennebene und hat eine der Lupe gleiche Dioptrienzahl. Eine andere Okularart ist das Huygenssche Okular. Bei diesem befindet sich das Kollektiv vor der Brennebene und hat halb so viel Dioptrien als die Lupe. Da sich die Kollektive beider Okulare nicht in der Brennebene befinden, verändern sie deren Lage sowie auch die Vergrößerung ein wenig.

B. Das Theaterfernrohr. Ein Theaterfernrohr entsteht (Fig. 9), wenn man das vom Objektiv entworfene Bild als virtuelles Objekt mit einer Lupe von negativer Brennweite betrachtet. Dabei müssen die dem Objekt abgewandten Brennebenen von Objektiv und Lupe zusammenfallen.

Wie die Fig. 9 erkennen läßt, wird das Gesichtsfeld begrenzt durch die Strahlen, welche nach Durchgang durch das Objektiv die Lupe passieren können. Da die

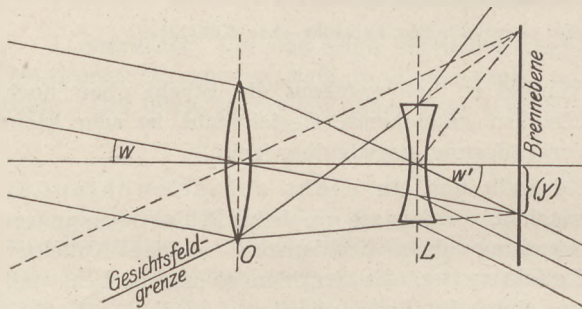


Fig. 9. Theaterfernrohr.

Pupille des dahinter beobachtenden Auges klein ist, braucht auch die Lupe nur geringe Öffnung zu besitzen. Das Gesichtsfeld wird schon aus diesem Grund ziemlich klein sein. Es wird noch verkleinert durch Anwendung stärkerer Vergrößerung, sei es daß diese erzielt wird durch Vergrößerung der Brennweite des Objektivs oder durch Vergrößerung der Dioptrienzahl der Lupe. In beiden Fällen wird die Lupe größeren Abstand vom Objektiv haben als bei geringerer Vergrößerung. Theaterfernrohre können daher nur mit geringer Vergrößerung gebaut werden. Außerdem ist es nicht möglich eine Meßmarke anzubringen, — ebensowenig wie ein Kollektiv —, da keine reelle Abbildung entsteht.

C. Zusammengesetzte Fernrohre. Ein terrestrisches Fernrohr erhält man, wenn man mit einem astronomischen Fernrohr durch ein zweites astronomisches Fernrohr hindurch beobachtet. Ein solches terrestrisches Fernrohr (Fig. 10) besteht also

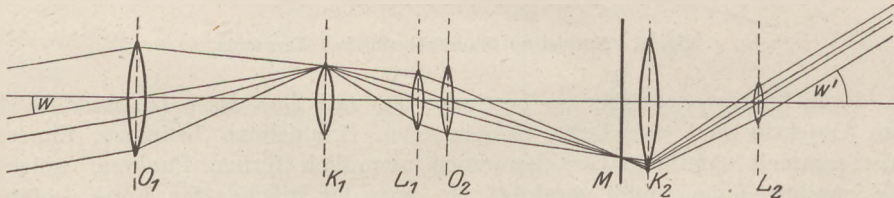


Fig. 10. Schema des terrestrischen Fernrohrs.

aus 2 Objektiv, 2 Lupen, 2 Kollektiven. Dabei bilden die Lupe des 1. Fernrohres und das Objektiv des 2. Fernrohres zusammen ein System wie Fig. 4, indem sie die Brennebene in  $K_1$  auf die Markenebene  $M$  abbilden. Sie können also durch eine einzige Linse ersetzt werden, deren Dioptrienzahl ist:  $D = D_{L1} + D_{O2}$ . Die Vergrößerung eines terrestrischen Fernrohrs ist das Produkt aus den Vergrößerungen der beiden Teilfernrohre.



Richtet man ein Fernrohr nicht auf einen „unendlich“ fernen Punkt, sondern auf ein verhältnismäßig nahes Objekt, so entsteht von diesem das Bild nicht in der Brennebene des Objektivs, sondern ein wenig dahinter. Die Brennebene der dem Objektiv nächsten Lupe muß nun mit der Ebene des entstandenen Bildes zusammenfallen. Zu diesem Zweck muß das Okular etwas nach rückwärts herausgezogen werden. Alle älteren Fernrohre haben deshalb ein verschiebbares Okular<sup>1)</sup>. Außerdem ist die letzte Lupe aller Fernrohre etwas gegen die Markenebene verschiebbar, damit das Instrument auch von nicht normalen Augen ohne Glas benutzt werden kann.

#### IV. Das Mikroskop.

Ein Mikroskop entsteht, wenn man wie in Fig. 11 mit einem astronomischen Fernrohr einen Gegenstand durch eine Lupe hindurch betrachtet. Die Vergrößerung ist dann das Produkt aus der Vergrößerung der Lupe und der Vergrößerung des

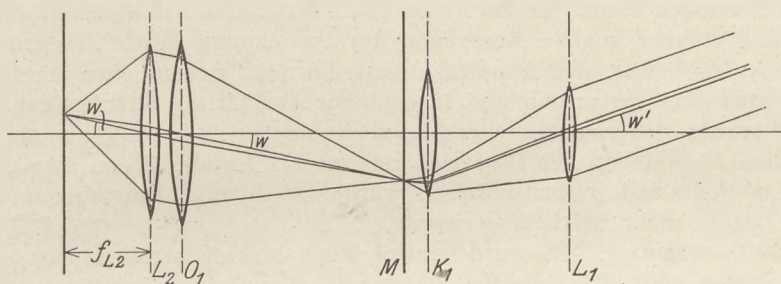


Fig. 11. Schema des Mikroskops.

Fernrohres. Bei dieser Zusammenstellung eines Mikroskopes bilden die dem Objekt nächste Lupe und das Objektiv des Fernrohres wieder ein System nach Fig. 4 und können also durch eine einzige Linse von der Dioptrienzahl  $D = D_{L2} + D_{O1}$  ersetzt werden.

#### V. Zusammenfassung.

Bei den optischen Instrumenten werden die Linsen als Objektive und Lupen einerseits, als Kollektive andererseits verwendet. Während erstere die Abbildung vermitteln, dienen letztere nur zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes. Für die Einteilung der optischen Instrumente sind demnach nur die Zahlen der vorhandenen oder gedachten Objektive und Lupen wesentlich. Es bilden:

1 Lupe		die einfache Lupe,
1 Objektiv + 1 Lupe		das astronomische oder das Theaterfernrohr,
1 „ + 2 Lupen		das einfache Mikroskop,
2 „ + 2 „		das terrestrische Fernrohr.

Bei Fernrohren ist also die Zahl der Objektive und Lupen gleich, bei Mikroskopen ist die Zahl der Lupen um 1 größer als die der Objektive.

<sup>1)</sup> Bei manchen neueren Fernrohren wird zum gleichen Zweck die Brennweite des Objektivs durch eine verschiebbare Linse geändert.

**Kleine Mitteilungen.****Die Messung der Längenänderung beim Erwärmen. Eine Schülerübung.**

Von Dr. Wilhelm Volkmann in Berlin-Steglitz.

Für die physikalischen Übungen der staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht sollte vor längerer Zeit ein Apparat zur Messung der Längenänderung beim Erwärmen angeschafft werden. Er konnte nicht geliefert werden; wir mußten uns also auf andere Weise helfen. Nachdem die Einzelteile der anzufertigenden Vorrichtung besprochen und nach ihrem Einfluß auf das Endergebnis gewertet waren, gingen drei Gruppen von je drei Teilnehmern ans Werk und brachten bald, jede auf etwas andere Weise, Brauchbares zustande. Die Erfahrungen wurden ausgetauscht und dann von mir in einem Apparat vereinigt, den ich zu gelegentlicher strengerer Prüfung beiseite legte. Diese Prüfung hat nun nach meiner Anleitung ein Schüler der hiesigen Oberrealschule durchgeführt und berichtet darüber so:

Der im folgenden beschriebene Apparat ist so einfach, daß ihn jeder ohne besondere Mühe selbst herstellen kann. Er hat neben den Vorzügen der Einfachheit und Billigkeit auch den, daß er sehr genaue Messungen der Ausdehnung durch Erwärmung zuläßt.

Meine Aufgabe war, den Apparat, dessen Form im wesentlichen bereits feststand, auf seine Genauigkeit zu prüfen und in sauberer Ausführung anzufertigen. Zu seiner Herstellung wurde fingerstarkes Glasrohr verwendet, weil es billiger als Metallrohr ist. Außerdem aber dehnt sich Glas weniger aus als Metall. Wenn also der Apparat sich für Glas genügend genau erweisen würde, so könnte man annehmen, daß er für Metalle um so mehr befriedigen werde.

Die Anfertigung. Es wurden zwei fingerstarke Glasröhren von etwa 70 cm Länge genommen und die scharfen Ränder in der Flamme verrundet. Das eine sollte durch eingeblasenen Wasserdampf erhitzt werden, das andere kalt bleiben und als Vergleichsrohr dienen. Die Füße des Apparates sind zwei flach auf dem Tisch liegende Korkspunde. Sie sind wagerecht durchbohrt und die Enden des einen Rohres hindurchgeschoben. Das andere Rohr ist durch zwei zylindrische Korke geschoben, und zwar durch den einen der Länge nach,

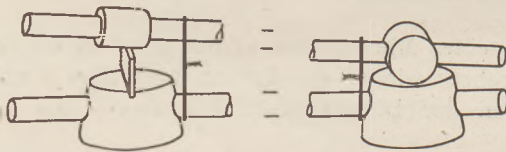


Fig. 1.

durch den anderen aber quer, wie Fig. 1 das zeigt. Beide Rohre wurden nun mit Draht umschlungen und der Draht durch Verdrillen fest angezogen. Dabei lag der quer durchbohrte Kork dem einen Spund unmittelbar auf, der längs durchbohrte aber drückte ein 2 cm breites Streifchen Spiegel gegen den anderen Spund.

Aufstellung. Der Apparat wurde in solcher Höhe aufgestellt, daß man bequem aus einer zum Dampferzeuger umgestalteten Konservenbüchse mittels eines gebogenen Glasrohres Dampf in das obere Rohr des Apparates einblasen konnte. Es geschah dies von der Spiegelseite her, damit nicht etwa Tropfen vom kondensierten Dampf hier herausgetrieben würden und Störungen verursachten. Als Lichtquelle diente eine Taschenglühlampe mit zickzackförmigem Faden. Diese Form erwies sich als sehr vorteilhaft, weil sich das Bild einer Fadenecke so gut auf der Skala verfolgen läßt. Um den Faden des Lämpchens abzubilden, wurde zwischen Lampe und Spiegel ein Brillenglas

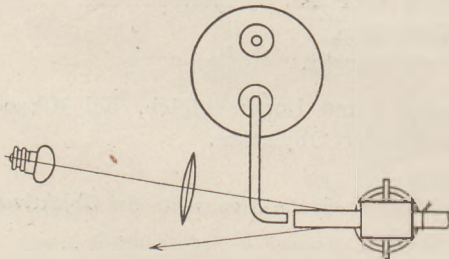


Fig. 2.

etwa 20 cm Brennweite aufgestellt. Fig. 2 zeigt den Aufbau von oben gesehen. Man erkennt, daß die Strahlen etwas schräg auf den Spiegel gerichtet sind, damit sie



nachher an der Linse vorbei auf die Skale gelangen können. Als Lichtzeiger wirksam ist aber nicht die Länge dieses schrägen Strahles von Spiegel bis Skale, sondern der senkrechte Abstand. Dieser wurde deshalb gemessen, er war 215 cm; als Skale diente ein Blatt Millimeterpapier.

Der Versuch. Nachdem der Apparat aufgestellt und seine sichere Lage durch Erschüttern des Tisches geprüft war, stand die Lichtmarke auf der Skale bei 20,06 cm. Die Temperatur des oberen Rohres war  $16,8^{\circ}$  C. Der Dampf wurde jetzt eingeleitet, indem das anfangs beiseite gedrehte Winkelrohr des Dampfentwicklers rasch bis dicht vor die Öffnung des oberen Rohres gedreht wurde. Nach einer knappen halben Minute fing die Lichtmarke an zu wandern, erreichte in zwei Minuten bei 30,45 ihre höchste Stellung und ging dann langsam zurück, in einer weiteren Minute bis 30,40. Dieser Rückgang ist jedenfalls eine Folge der Erwärmung des unteren Rohres durch die vom oberen ausgestrahlte Wärme.

Gegenprobe. Bei der geschilderten Versuchsanordnung wird unzweifelhaft die Rohrwand nicht ganz so warm wie der durchströmende Wasserdampf, weil ein aufsteigender Luftstrom das Rohr von außen abkühlt. Es ist nicht möglich, den Fehler einfach abzuschätzen; um seine Größe aber durch Messung feststellen zu können, war von vornherein das untere Rohr mit einem weiteren Mantelrohr umgeben, das von zwei losen Korkringen gehalten wurde. Es ist in Fig. 1 nicht gezeichnet. Unmittelbar nach dem beschriebenen Versuch, also in der vierten Minute, und nachdem im unteren Rohr der Thermometerstand 17,0 abgelesen war, wurde nun auch das untere Rohr aus einem zweiten Dampfentwickler beheizt. Der erste Dampfentwickler blieb in unverminderter Tätigkeit. Wie wir erwartet hatten, ging die Lichtmarke nun nicht nur in die Anfangsstellung zurück, sondern darüber hinaus und erreichte, langsamer als vorher, in fünf Minuten den Stand 19,80, der sich dann nicht weiter änderte. Für rund  $83^{\circ}$  Erwärmung hatte das untere Rohr 10,65, das obere aber nur 10,39 cm gegeben. Das obere war also gegen das untere um ungefähr  $2^{\circ}$  C zurückgeblieben.

Zur Ergänzung dieses Berichtes sei noch erwähnt, daß mehrfache Wiederholung dieses Doppelversuches an anderen Tagen bis auf weniger als 1 v. H. Übereinstimmung mit dem Mittelwert aller Versuche gab. Das Hüllrohr erwies sich auch als gut, um Störungen durch Luftzug, gegen die das obere Rohr deutlich empfindlich war, zu hindern. Der Temperaturunterschied beider Rohre war im Mittel  $3^{\circ}$  und hängt natürlich von der Wandstärke der Rohre ab.

Die Breite des Spiegels war 1,96 mm, der Abstand vom Spiegel zur Skale 215 cm, die Länge der Rohre von Auflagekante bis Spiegelmitte 61,25 cm, Barometerstand zufällig fast genau 760 mm. Die Ausdehnungszahl im Mittel 0,0000099.

Das bemerkenswerteste Stück an dem Apparat ist die Korkklemmung für den Spiegel, die sich als zuverlässiger Schutz gegen unbeabsichtigte Verrückungen und als nachgiebiges Gelenk für die Spiegeldrehung über Erwarten gut bewährt hat. Die Spiegeldicke von etwa 3 mm stört nicht, wenn nur der Spiegel senkrecht zur Mittellinie der beiden Rohre steht. Wenn nämlich auch der Angriff der drehenden Kräfte tatsächlich an den Enden der Diagonale stattfindet, so greifen die Kräfte dort schief an und die Senkrechte zu den Kräften ist wieder in der Spiegelfläche gelegen. Auch darüber, ob Sinus oder Tangens oder Winkel gemessen wird und in die Rechnung einzuführen ist, braucht man sich nicht zu sorgen, die Abweichung dieser drei voneinander ist viel kleiner als 1 v. H. Die Gegenprobe bringt in sehr erwünschter Weise zum Ausdruck, daß die Schwierigkeit bei Messungen dieser Art nicht in den Längenmessungen liegt, sondern in der zuverlässigen Herstellung und Messung der Temperaturen.

**Die Größe der mechanischen Leistung eines Menschen.**

Von Dr. Ad. Lindemann in Hamburg.

Nach Angabe der meisten Lehrbücher beträgt die Leistung, welche ein kräftiger Arbeiter dauernd abzugeben vermag, etwa  $\frac{1}{8}$  Pferdestärke. Für diese Angabe läßt sich auf folgende Weise ein Anhalt gewinnen:

In Bergsteigerkreisen wird vielfach die vom österreichischen Militär stammende Regel benutzt, daß zur Überwindung von 300 m Steigung<sup>1)</sup> eine Stunde erforderlich ist. Für geringe Steigungen muß die zur Zurücklegung des horizontalen Weges erforderliche Zeit addiert werden, wenn der Gesamtbedarf an Zeit ermittelt werden soll, während für große Steigungen, wo der horizontale Weg vernachlässigt werden kann, die obige Zeitangabe ein ausreichend genaues Resultat liefert. Offenbar läßt sich nun aus dieser Angabe entnehmen, daß der Mensch imstande ist, für längere Zeit sein Gewicht und das des mitgeführten Gepäcks in der Stunde um 300 m zu heben. Rechnet man als Gewicht des Mannes 75 kg, für das Gepäck 15 kg, so ergibt das eine Arbeit von  $90 \times 300$  Meterkilogramm in der Stunde, also 7,5 mkg pro Sekunde. Das ist aber ein Zehntel von 75 mkg, oder eine Leistung von  $\frac{1}{10}$  PS.

Daß etwas weniger herauskommt als  $\frac{1}{8}$  PS., ist nicht überraschend. Es ist bekannt, daß der Mensch durchschnittlich diese Leistung kaum erreicht, wenn die Angabe auch zutreffender ist als die, daß die Leistung eines Pferdes 75 mkg pro Sekunde betrage, eine Zahl, die bekanntlich um etwa 30—50 % zu hoch ist. Auch darf man erwarten, daß beim Bergsteigen, wo die geistigen Kräfte des Menschen nicht ganz auf die zu leistende mechanische Arbeit konzentriert sind, nicht der höchste erreichbare Betrag erzielt wird.

<sup>1)</sup> Baedeker gibt im Handbuch für Tirol etc. an: 1000 Fuß = 320 m, dies würde  $\frac{1}{9,4}$  PS. ergeben.

**Die Abhängigkeit des Widerstandes von Glühlampen von der Stromstärke.**

Von Paul Hanck in Pasewalk.

Verbindet man einen Konstantendraht und ein Amperemeter der Reihe nach mit 1, 2, 3 und 4 Akkumulatoren, so sind nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärken der Spannung, also der Zahl der Akkumulatoren nahezu proportional. Nimmt man aber anstatt des Konstantendrahtes eine Osramlampe von 8 Volt, so erhält man bekanntlich für die jedesmaligen Stromstärken Werte, die auch nicht angenähert in dem Verhältnis 1 : 2 : 3 : 4 stehen. Wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich, bleiben die Zahlenwerte weit hinter den zu erwartenden zurück, weil in diesem Falle der Widerstand des Drahtes durch die erhöhte Stromstärke beträchtlich vergrößert wird. Macht man denselben Versuch mit einer Kohlefadenlampe, so erhält man infolge der Verringerung des Widerstandes der Kohle durch die Erwärmung bedeutend höhere Zahlenwerte. Es fragt sich nun, wie sich der Widerstand der beiden Lampen mit der Stromstärke ändert.

	Konstantan- draht	Osramlampe			Kohlefadenlampe		
		<i>i</i>	<i>e</i>	<i>w</i>	<i>i</i>	<i>e</i>	<i>w</i>
1	0,250	0,455	1,86	4,09	0,074	2,0	27,2
2	0,500	0,672	3,70	5,52	0,187	3,92	21,0
3	0,755	0,851	5,68	6,67	0,320	5,88	18,4
4	1,00	1,00	7,58	7,58	0,445	7,60	17,1

Zur genaueren Untersuchung messen wir den Spannungsabfall an den Klemmen der Lampe für die erwähnten Schaltungen und berechnen nach dem Ohmschen Gesetz

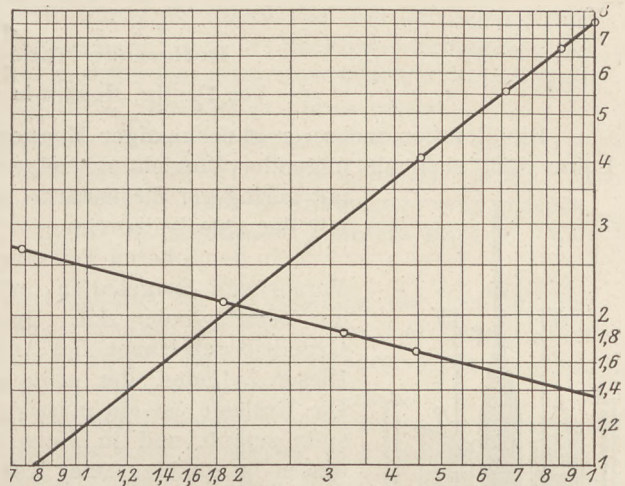


die zugehörigen Widerstände. Die für  $i$  und  $w$  erhaltenen Werte tragen wir in ein logarithmisches Koordinatensystem ein und wir sehen, daß die hierdurch bestimmten vier Punkte (vgl. Figur) sowohl bei der Osramlampe als auch bei der Kohlefadenlampe ziemlich genau auf einer Geraden liegen. Diese Geraden geben also eine Beziehung zwischen Widerstand und Stromstärke an und wir können den zu jeder Stromstärke gehörigen Widerstand sofort aus der Zeichnung entnehmen. An der ersten Geraden erkennen wir, daß der Widerstand stark zunimmt. Ihr Richtungsfaktor ist  $\sim 4/5$ , sie schneidet die horizontale Zahlenreihe im Punkte 0,078. Es besteht also die Gleichung

$$\frac{\log w}{\log i - \log 0,078} = 4/5$$

oder  $w = \left( \frac{i}{0,078} \right)^{5/4}$

$$w = 0,77 i^{5/4}.$$



Wenn man aus dieser Gleichung für  $i = 1$  den Wert  $w = 0,77$  erhält, während in der obigen Tabelle der Wert  $w = 0,76$  angegeben ist, so liegt dies natürlich daran, daß für die Richtungskonstante nur ein Näherungswert eingesetzt ist. Die zweite Gerade zeigt uns, daß der Widerstand abnimmt. Sie hat die Richtungskonstante  $-1/4$  und schneidet die vertikale Zahlenreihe im Punkte 13,6. Wir erhalten also die Gleichung

$$\frac{\log w - \log 13,6}{\log i} = -1/4$$

oder  $w = 13,6 i^{-1/4}.$

Diese beiden die Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke angeben den Gleichungen sind allerdings nur innerhalb gewisser Grenzen gültig. Wenn z. B. bei einer Osramlampe die Stromstärke unter 0,1 Ampere sinkt, besteht die Beziehung nicht mehr. Diese Abweichung ist jedenfalls dadurch zu erklären, daß bei bestimmten Temperaturen in dem Draht molekulare Umwandlungen vor sich gehen, wie sie auch bei anderen Metallen und Legierungen vorkommen. So zeigt die Temperaturkurve des Widerstandes des Eisens bei  $700^{\circ}$  und  $855^{\circ}$  einen Knick. Der Widerstand nimmt bei diesen Punkten viel langsamer mit der Temperatur zu als vorher, ein Umstand, der auf innere Umwandlungen schließen läßt. Tatsächlich wird denn auch Eisen bei einer Temperatur von etwa  $700^{\circ}$  nicht mehr vom Magneten angezogen.

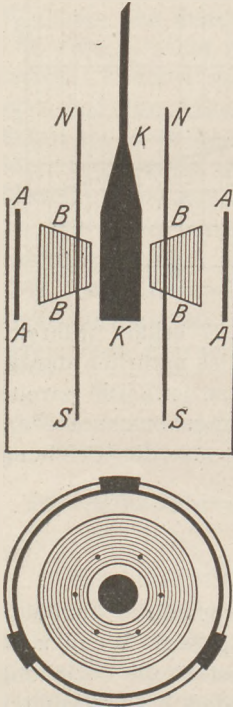
Eine nützliche Anwendung kann man von der Abhängigkeit des Widerstandes von der Stromstärke bei der Erklärung der Nebenschlußdynamomaschine machen. Verbindet man eine passende Kohlefadenlampe mit einer solchen, so wird sie durch den entstehenden Strom zum Leuchten gebracht. Schaltet man dagegen eine Osramlampe von derselben Spannung ein, so bleibt sie dunkel, da der von der Maschine ausgehende Strom wegen des bedeutend geringeren Widerstandes der Osramlampe zum größten Teil durch diese geht und nicht durch die Nebenschlußwicklung der Maschine. Der Anker wird daher nicht genügend erregt und der Maschinenstrom bleibt schwach. Schaltet man aber außerdem einen Widerstand von geeigneter Größe in den Stromkreis ein, so leuchtet die Lampe merkwürdigerweise, denn jetzt geht infolge des größeren äußeren Widerstandes mehr Strom durch die Nebenschlußwicklung und die Folge davon ist eine stärkere Erregung. Schaltet man dann den Wider-

stand aus, so erlischt die Lampe nicht, da sie im Zustande des Leuchtens einen genügend großen Widerstand besitzt, ja sie wird jetzt sogar noch stärker leuchten als vorher, weil der Vorschaltwiderstand nicht mehr vorhanden ist, die Stromstärke also bedeutend vergrößert wird.

### Rotierende Magnete.

Von Dr. Gg. Heußel in Gießen.

Die Rotation mehrerer gleichnamiger Magnetpole um einen stromdurchflossenen Leiter läßt sich mit folgender Vorrichtung zeigen, die wesentlich zuverlässiger und mit geringerer Stromstärke arbeitet als die bekannten Apparate mit der Quecksilberrinne:



In dem oberen Teil eines Elementenglases hängt durch drei Vorsprünge festgehalten, wie beim bekannten Krügerelement, ein Metallzylinder *AA*. (In der Zeichnung ist der Apparat im Grundriß gezeichnet, der Aufriß ist als Achsenschnitt behandelt). Dieser Zylinder, der etwa als Anode dient, besteht aus Blei. Die Kathode ist ein massiver Bleizylinder *KK*, der nach oben spitz zuläuft und in einen dicken Kupferdraht übergeht. An diesen ist ein biegsames Kabel angelötet, das in ein Stativ eingeklemmt wird, so daß also die Kathode sich leicht herausheben läßt. Der „Schwimmer“ *BB* besteht aus einem Korkring, dessen Achsenschnitt sich aus der Zeichnung ergibt. In diesem Ring stecken parallel zu seiner Achse regelmäßig auf einem Kreis angeordnet 6 magnetisierte Stricknadeln (Sorte 10), die Nordpole etwa nach oben. Die obere Hälfte jeder Nadel ist mit grünem, die untere mit rotem Siegelack dick überzogen. Das Gefäß wird mit Akkumulatorensäure soweit gefüllt, daß der Schwimmer die im Bild gezeichnete Lage einnimmt. Beim Durchgang eines Stromes von mindestens 2 Ampère fängt der Schwimmer an zu rotieren. Dabei verhindern die Gasblasen, die sich zwischen *BB* und *KK* empordrängen — darum die Form des Korkrings —, daß der Schwimmer an der mittleren Elektrode hängen bleibt. Setzt man den Schwimmer umgekehrt ein, Südpole nach oben, oder kehrt man die Stromrichtung um,

so ändert sich auch die Richtung der Drehung. Dies kann man wegen der Polarisation auch dadurch erreichen, daß man, nachdem der Apparat eine Zeitlang im Gang war, Anode und Kathode leitend verbindet.

### Drei Regeln über die Richtungen elektrischer Ströme und Kraftlinien.

Von Dr. Ruß in Ludwigsburg.

Bei der „Rechten-Faust-Regel“ und der erweiterten Rechten-Faust-Regel besteht der Übelstand, daß das eine Mal die gekrümmten Finger in der Richtung der Kraftlinien, das andere Mal aber in die Richtung des Stromes zu bringen sind; bei der Dreifingerregel Flemings, daß bald die linke Hand, bald die rechte zur Entscheidung beigezogen werden. Diesen Übelstand zeigen nicht die folgenden Regeln, bei denen immer nur die rechte Hand zur Verwendung kommt.

**A. Die Daumenregel.** Die Finger der rechten Hand werden immer um den Leiter herum zur Faust geschlossen und sodann der senkrecht ausgestreckte Daumen an den Leiter gelegt.



Regel 1. Die gekrümmten Finger geben die Richtungen der Kraftlinien, vorausgesetzt, daß die Richtung des Daumens in die Stromrichtung gebracht wurde.

Diese Regel liefert sofort die Art der Ablenkung des Nordpols einer Magnetonadel und die Art der Pole eines Elektromagneten; denn der Strom übt auf einen Nordpol im Felde einen Druck in der Richtung der durch den Pol gehenden Kraftlinie aus und die Kraftlinien ordnen aus diesem Grunde die Elementarmagnete des unmagnetischen Eisens derart, daß an der Eintrittsstelle der Kraftlinien ins Eisen Südmagnetismus, an der Austrittsstelle Nordmagnetismus entsteht.

Regel 2. Wird die Zahl der Kraftlinien, die durch einen schleifenförmigen Leiter gehen, vermindert (vermehrt), so entsteht im Leiter ein Induktionsstrom im (gegen) Sinn der Richtung des Daumens, vorausgesetzt, daß die gekrümmten Finger in die Richtung der Kraftlinien gebracht werden. (Man beachte die beiden  $i$  bzw. die beiden  $e$ !)

**B. Die Dreifingerregel.** Es handelt sich hier um die Richtung der Bewegung, um die der Kraftlinien und die des Stromes; sie bilden die drei Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems. Gegeben sind zwei dieser Richtungen, darunter die der Kraftlinien und gesucht die dritte Richtung.

Man hat den Zeigefinger als Z-Achse, den Mittelfinger als Y-Achse, den Daumen als X-Achse senkrecht auszustrecken, da dies meist un bequem, so stecke ich in einen Kork drei kleine Stricknadeln als Achsen und markiere die X-Achse blau, die Z-Achse rot.

Regel 3. Die X-Achse wird immer in die Richtung der Kraftlinien gebracht (X und K im Schriftzug beinahe gleich), die Y-Achse in die weitere gegebene Richtung und nun gibt die Z-Achse die gesuchte dritte Richtung.

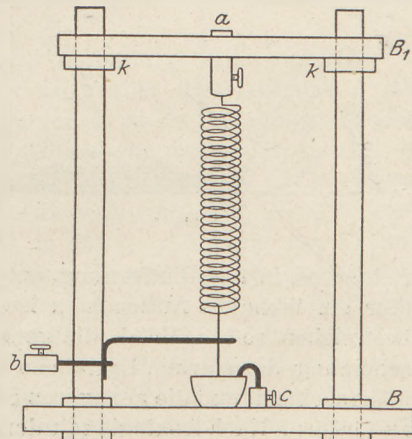
### Nachweis der Selbstinduktion mit der Rogetschen Spirale.

Von Prof. E. Hensel in Villingen (Baden).

In Anlehnung an den im Lehrbuch von MÜLLER-POUILLET (9. Aufl. III. S. 254 ff.) beschriebenen physiologischen Nachweis der Selbstinduktion möchte ich darauf hinweisen, daß derselbe Versuch im wesentlichen auch

mit der Rogetschen Spirale angestellt werden kann. Man kann zu diesem Zwecke dem bekannten Apparat die aus der beigegebenen Figur ersichtliche Form geben. In einem Grundbrett  $B$  stecken zwei Glasröhren, auf denen zwei Korkstücke  $K$  mit Reibung sich verschieben lassen, so daß sich ein zweites Brett  $B_1$  mit ihnen leicht höher oder tiefer stellen lassen kann. Die Spirale (als solche ist beispielsweise eine der von HAHN in seinen Schülerübungen verwendeten Spiralfedern zu empfehlen) taucht in ein in das Grundbrett eingelassenes, mit Quecksilber gefülltes Porzellanschälchen, aus dem ein Aluminiumdrahtstück zu der Klemme  $c$  führt. Die andere Anschlußklemme ist bei  $a$ . Ferner ist an der einen Glasröhre ein Kupferstreifen befestigt, der eine feine Öffnung besitzt, durch die das untere Ende der Spirale mit leichter Reibung hindurchgeht.

Über dem Quecksilber des Schälchens liegt eine Schicht Petroleum. Legt man nun an die Klemmen  $a$  und  $b$  als Nebenschluß zwei Handgriffe und den menschlichen



Körper, so geht bei jeder Stromunterbrechung der Öffnungsextrastrom durch den so hergestellten Stromkreis: Spirale — Körper. Bei kräftigem Anfassen der Handgriffe ist die Wirkung deutlich erkennbar. Sie wird, worauf schon SPIES (d. Zeitschr. X S. 30) hingewiesen hat, durch Einhängen eines Eisenstabes erheblich verstärkt.

### Die Gewinnung von Alumincarbid zwecks Darstellung von Grubengas.

Von Prof. O. Ohmann in Berlin.

In dieser Zeitschrift (10, 174; 1897) zeigte ich, wie man durch Reduktion des Kohlensäuregases mittels Mg auf leichteste Weise beliebige Mengen freien Kohlenstoffs erhalten könne. Die dortige Apparatur habe ich inzwischen dahin vereinfacht und vervollkommenet, daß an Stelle der eingespannten Glocke ein kräftiges Standglas (Batterieglass 16:20) verwendet wird und die Zuleitung des Kohlendioxyds von oben her mittels des Glasrohrs *G* (Fig. 1) geschieht, so daß auch ein direktes Aufleiten des Gases auf die gerade erglühende Stelle des Metalles ermöglicht ist<sup>1)</sup>. Dieselbe Anordnung dient auch dem nachstehend beschriebenen Versuch mit Aluminium.

Die Bodenfläche des Batterieglasses ist mit einer Scheibe dickerer Asbestpappe *A* bedeckt; auf diese legt man ein weiteres viereckiges Stück ausgeglühter Asbestpappe *B*, das an zwei gegenüberliegenden Rändern nach unten gefaltet wird, damit eine schützende Luftschicht entsteht. Erst auf diese Platte bringt man die das Metall tragende ausgeglühte Asbestpappe *C*. Das Batterieglass wird mit der Asbestplatte *D* bedeckt, die einen Ausschnitt für das Glasrohr *G* besitzt. Diese Ausrüstung benutze ich, seit längerer Zeit ausschließlich, auch für die „Versuche über die Verbrennung von Metallen“ (ds. Zeitschr. 11, 226 ff.; 1898). Der Apparat hat sich sehr bewährt und wird stets gebrauchsfertig gehalten.

1. Die Gewinnung von Aluminiumcarbid. Wir nehmen vom fertigen Apparat die oberste Asbestpappe *C* heraus, tariieren sie ab und geben 4 g feinstes Al-Pulver darauf, dem wir seitlich eine Messerspitze Eisenschießpulver ( $\text{KClO}_3 + \text{Fe}$ ) hinzufügen (*F*, Fig. 1); bei sehr wirksamem Al genügt auch ein Zündhölzchenkopf. Dieses Ganze legen wir vorsichtig auf *B* zurück, füllen mit Kohlensäuregas aus kräftig wirkendem Kipp-

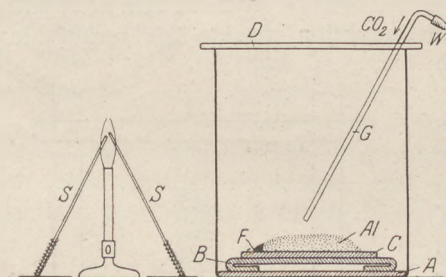


Fig. 1.

schen Entwickler oder besser aus der Stahlflasche, unter Einschaltung einer Drehselschen Waschflasche bei *W*; der brennende Holzdraht gibt genau den Grad der Füllung an. Das Glasrohr *G* belassen wir im Gefäß, steigern den Gasstrom eher noch ein wenig, führen die bereitstehende Glühnadel *S* durch einen Spalt an das Eisenschießpulver *F* heran, ergreifen *G* und richten es, in 1 cm Entfernung, auf die soeben erglühende Stelle des Al-Pulvers, wodurch hier ein lebhaftes Aufleuchten hervorgerufen wird, gehen zur Nachbarstelle über und bestreichen so allmählich die ganze Oberfläche mit dem Kohlensäuregasstrom. Die Erscheinung des starken Erglühens in dem sonst so feuerfeindlichen Gase wirkt jedesmal überraschend, und die genaueren Überlegungen sind sehr geeignet, das chemische Denken zu fördern. Nach Analogie mit dem Mg erwartet man sammetschwarzen Kohlenstoff; das erkaltete Produkt zeigt aber beim Zerbrechen nur eine graugelbliche Färbung. Das Kohlendioxyd wird zwar von einem Teile des Aluminis unter Bildung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  voll-

<sup>1)</sup> Vgl. O. Ohmann, Einige Grundversuche mit Selterswasser und Kohlensäuregas. „Monatshefte“ Bd. XI, S. 140; 1918.



ständig reduziert, — wobei die große Bildungswärme dieser Verbindung zur Geltung kommt — der Kohlenstoff in statu nascendi verbindet sich aber sogleich mit einem anderen Teile des Alumins zu  $Al_4C_3$ . Unabhängig von der Verwendung des Produktes ist diese imposante Verbrennung von Al in  $CO_2$  auch als selbständiger Versuch durchaus lohnend.

2. Die Gewinnung von Grubengas aus Alumincarbid. In methodischer Hinsicht sei bemerkt, daß man das Grubengas — das in erster Linie als Naturkörper von großer Bedeutung zu kennzeichnen ist — am besten sogleich mit dem Leuchtgas verknüpfen wird, von dem es ja einer der beiden Hauptbestandteile ist. Die Leuchtgasgewinnung mittels der mit Steinkohle beschickten Retorte bildet dann den Hauptversuch, und es genügt, das Grubengas bei dem ersten Kennenlernen in kleiner Menge darzustellen. Diesem Zwecke dient die Gewinnung aus dem selbsthergestellten Al-Carbid mittels Wasser. Der theoretisch leicht verständliche Versuch ( $Al_4C_3 + 6 H_2O = 3 CH_4 + 2 Al_2O_3$ ) ist im aufbauenden Lehrverfahren ein willkommener Ersatz für die Gewinnung aus Natriumacetat, die natürlich an dieser Stelle des Lehrganges ausgeschlossen ist. — Das gewonnene Produkt wird in kleinem Porzellanmörser zerstoßen und in das Probierglas *P* (Fig. 2) geschüttet, das mit seitlichem Tubus versehen ist und durch einen Stopfen mit Hahntrichter *H* verschlossen wird (im Notfall genügt bei vorsichtigem Erwärmen auch ein einfaches Probierglas, das mit einmal durchbohrtem Kork nebst Abzugsrohr verschlossen wird). Durch *H* fügt man soviel dest. Wasser hinzu, daß die Masse gut bedeckt ist. Die Erwärmung geschehe freihändig, mit kleinerer, nur knapp entleuchteter Flamme, die man bei lebhaft werdender Gasentwicklung zeitweise entfernt. Wohl infolge der Durchsetzung mit  $Al_2O_3$  wirkt das entstandene Al-Carbid auf Wasser nicht mit solchem Ungestüm ein, wie es sonst vom technisch hergestellten gilt. Zur Aufnahme des Gases dient ein kleinerer, schmaler (mensurierter) Fußzylinder in der Gaswanne. Die Ausbeute ist nur gering, einige 70 cem; doch genügt die Gasmenge vollständig, um beim Entzünden mit dem Holzdraht die schwach leuchtende bläuliche Flamme des Methans erkennen zu lassen. Mit einer zweiten Gasmenge kann man noch die bei kleinen Mengen mäßige, bei großen so verheerend wirkende Explosivität des Grubengas-Luft-Gemisches (Optimum: knapp 10 Rt. Luft auf 1 Rt. reines Methan, Grenzen:  $\sim 6$  und 14 Rt. Luft) zur Anschauung bringen.

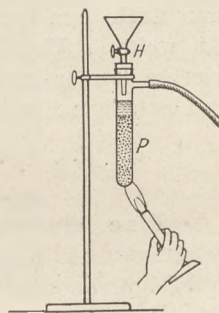


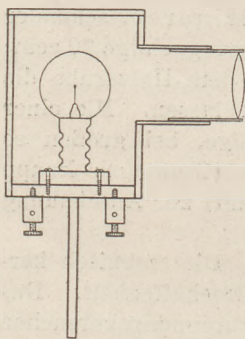
Fig. 2.

Über das Material ist noch eine Bemerkung notwendig. Die technisch hergestellten Aluminiumpulver sind leider von recht ungleicher Beschaffenheit. Das billige, aus gestampftem Al hergestellte schaumige Pulver ist zu Verbrennungsversuchen fast ganz unbrauchbar. Von Kahlbaum (Berlin-Adlershof) bezog ich 1918 ein schaumiges Al-Pulver, das zwar zu dem von mir früher beschriebenen, mit intensivem Aufleuchten verknüpften Verbrennungsversuch (*ds. Zeitschr.* 11, 230, Nr. 13), sowie zu dem Versuch des Fortglühens unter Wasser (*14, 5, Nr. 7, „Leitfaden der Chemie“* 1921, S. 62) nicht zu brauchen ist, das aber zu obigem Versuch gerade noch genügt. Von R. Schering (Berlin N, Chausseestr. 19) bezog ich lange Zeit vor dem Weltkriege ein vorzügliches Material, offenbar feinste Aluminiumfeile, das all den eben erwähnten Versuchen zugrunde lag; erhielt aber später (1917) von dort ein minderwertiges Material, das auch zu dem Carbidversuch nicht hinreichte. Jetzt (Ende 1920) bezog ich aber von Schering wieder ein Material, das dem zuerst bezogenen fast gleich kommt und mit dem sich meine Aluminiumversuche wieder gut ausführen lassen. So ist man beim Beziehen des Materials nahezu auf den Zufall angewiesen. Der Preis dieser letzten feinen Aluminiumfeile ist freilich sehr hoch; 100 g kosten 16 M.

## Für die Praxis.

**Zur experimentellen Behandlung des Jouleschen Gesetzes.** Von B. Reismann in Hattingen (Ruhr). Die Lehrbücher der Physik empfehlen zur Ableitung des Jouleschen Gesetzes durchweg das von Joule selbst gewählte Verfahren: Man weist nach, daß die Arbeitsleistung (Wärmemenge) proportional  $i^2$  ist und überdies proportional  $w$ . Der Einfluß des Widerstandes ist aber kaum vorauszuahnen, und in der Tat empfindet der Schüler hier leicht Schwierigkeiten. Natürlicher ist es darum,  $A$  oder  $Q$  als  $f(e, i)$  zu betrachten. Um den Funktionscharakter experimentell zu bestimmen, hält man jeweils die eine Variable konstant und variiert die andere, am einfachsten, indem man eine Anzahl Spiralen von verschiedenem Widerstand (z. B. 1, 2, 5, 10  $\Omega$ ) in getrennten Kalorimetern einmal in Reihe schaltet ( $i$  konstant), ein anderes Mal parallel schaltet ( $e$  konstant). Die einzelnen Spannungen und Stromstärken berechnet man nach dem Ohmschen Gesetz, wenn  $i$  bzw.  $e$  an der Schalttafel gemessen sind. Ein weiterer Vorteil ist darin zu erblicken, daß die in diesem Falle besonders langwierige Demonstrationstätigkeit des Lehrers sich in Gemeinschaftsarbeit von Lehrer und Schülern auflöst.

**Eine einfache Beleuchtungslampe für Spiegelgalvanometer.** Von Ludwig Bergmann in Wetzlar. Bei der heute immer größer werdenden Verwendung von Spiegelgalvanometern oder anderen Instrumenten mit Spiegelablesung ist es erwünscht, ein einfache Beleuchtungslampe zu besitzen, die einen hellen und schmalen Lichtstreifen auf die Ableseskala wirft. Die im folgenden beschriebene elektrische Lampe dürfte wohl den meisten Ansprüchen vollauf genügen, indem sie zum Betriebe nur



eine Spannung von 4 Volt benötigt und leicht selbst hergestellt werden kann. Als Lichtquelle dient eine der heute überall erhältlichen niedervoltigen Azolampen. Diese Lampen werden für Spannungen von 4, 6 und 8 Volt gebaut und haben eine Kerzenstärke von 16—32 Kerzen. Der Glühfaden hat die Form einer sehr dünnen etwa 5 mm langen Spirale. Eine solche Glühlampe wird in einem viereckigen Holzkästchen (siehe die Figur) mittels einer Fassung so angebracht, daß der Glühfaden parallel einer Seitenwand des Kästchens verläuft. In diese Seitenwand ist eine runde Öffnung eingeschnitten, worin eine Röhre befestigt ist, in der sich eine einfache Sammellinse so verschieben läßt, daß sie von dem glühenden Faden ein scharfes Bild auf der Skala entwirft. An den Boden des

Lampenkastens ist ein Metallstift angesetzt, der es ermöglicht, die ganze Lampe in der Klemme eines Bunsenstatives in jeder beliebigen Stellung zu befestigen. Die Lampe stellt man am besten etwa 30 cm vom Spiegelgalvanometer entfernt auf; es genügt bereits ein Spiegel von etwa 5 mm Durchmesser, um auf der Skala ein im nicht verdunkelten Zimmer gut sichtbares Bild des Glühfadens zu entwerfen. Als Stromquelle können Akkumulatoren dienen oder beim Vorhandensein einer Wechselstromlichtleitung ein kleiner Klingeltransformator, der jedoch nicht mehr als 1 Amp. verträgt<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Anmerkung der Schriftleitung. Beim Einsetzen einer neuen Lampe wird auch die Fassung in anderer Stellung befestigt werden müssen, damit die Spirale der Kastenwand parallel bleibt. Zum Abzug der Wärme muß der Kasten mit Luftlöchern versehen sein.



## Berichte.

### 2. Forschungen und Ergebnisse.

**Aus der Akustik.** 1. Hieb-, Spalt- und Schneidentöne. Von F. KRÜGER, zum Teil in Verbindung mit E. SCHMIDTKE<sup>1)</sup>. Die durch strömende Luft oder Flüssigkeit an einem Stabe hervorgerufenen Hiebtöne hatten schon früher F. KRÜGER und A. Lauth auf Wirbelablösung zurückgeführt. Die von Strouhal gemessene Höhe dieser Töne wurde aus den Beobachtungsdaten der von v. Kármán und Rubach aufgenommenen Wirbelbilder einer strömenden Flüssigkeit hinter einem Stabe in guter Übereinstimmung berechnet. Aus der Theorie ergab sich das schon empirisch gefundene Gesetz  $N \cdot D U = \text{konst.}$ , wo  $N$  die Schwingungszahl,  $U$  die Strömungsgeschwindigkeit,  $D$  die Dicke des Stabes bedeuten. Für akustische Schwingungen in Luft war  $N \cdot D/U = 0,19$  gefunden worden; für strömendes Wasser hatte Lord Rayleigh dagegen weit kleinere Werte gefunden. KRÜGER wiederholte dessen Versuche mit einem „Wasserrundlauf“, in dem das Wasser durch einen Propeller in Strömung versetzt wurde. Die dadurch in Schwingung versetzten Stäbe tauchten senkrecht in das Wasser ein. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde so lange reguliert, bis die Eigenfrequenz der Stäbe in Resonanz war mit der Wirbelablösung. Mit drei verschiedenen Stäben erhielt KRÜGER  $N \cdot D/U = 0,192$ , ein Wert, der mit den akustischen Messungen gut übereinstimmt.

Große Analogie mit den Hiebtönen zeigen die Spalttöne, die man beim Ausströmen der Luft durch Spalte erhält. Die Kurven, welche bei diesen die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Spaltbreite, bei jenen von der Stabdicke darstellen, sind ganz ähnlich verlaufende gerade Linien. Es liegt daher nahe, die Theorie der Wirbelablösung auch auf die Spalttöne anzuwenden. In den Wasserrundlauf wurden zwei unter einem Winkel von  $70^\circ$  geneigte Zinkbleche eingesetzt, so daß das strömende Wasser den von ihnen gebildeten, verstellbaren Spalt passieren mußte. Die durch Lycopodium sichtbar gemachten und photographisch aufgenommenen Wirbel zeigten den gleichen Charakter wie die Wirbel hinter dem schwingenden Stabe. Bei hinreichender Spaltbreite wurde auch hier das Gesetz  $N \cdot D/U = K$  bestätigt. Die Konstante  $K$  wurde zu  $0,046$  bestimmt, was mit dem akustisch gefundenen Wert  $0,044$  gut übereinstimmt. Durch Vergleich der für Hieb- und Spalttöne gefundenen Konstanten ergab sich, daß

bei Gleichheit von Spaltweite und Stabdurchmesser die Hiebtöne rund 4–5mal höher sind, als die Spalttöne.

Auch die Schneidentöne, wie sie durch das Strömen eines Gases gegen eine scharfkantige Schneide entstehen, lassen sich durch den analogen Vorgang bei strömendem Wasser untersuchen. In dem Rundlauf wurde dem aus einem Spalt ausströmenden Wasser ein Zinkkeil von  $52^\circ$  Keilwinkel entgegengestellt. Bei einer Entfernung von  $1,3$  cm des Spaltes vom Keil begann die austretende Flüssigkeit zu pendeln, anfangs schnell, dann langsamer; bei  $2,5$  cm Entfernung sprang die Frequenz plötzlich auf das Doppelte. Die Ursache des Pendelns lag auch hier in der Bildung von Wirbeln, die ganz analog denen bei Spalttönen gefunden wurde, nur daß der Abstand der Wirbel von dem Schneidenabstand abhing. Für die erste Periode waren beide Abstände ziemlich gleich, für die zweite Periode war der Wirbelabstand gleich dem halben Schneidenabstand. Der Ausdruck  $N \cdot f/U$  ( $f =$  Schneidenabstand) war konstant  $= 0,4$ . So fand die von KRÜGER entwickelte Wirbeltheorie auch bei den Schneidentönen ihre Bestätigung.

2. Die Zungenpfeife als gekoppeltes System. Von H. VOGEL<sup>1)</sup>. Untersuchungen über die Zungenpfeife sind von W. Weber und etwas später von dem Engländer Willis angestellt worden. Weber benutzte eine Zungenpfeife, bestehend aus Windrohr, Zunge und Ansatzrohr. Bei verlängertem Ansatzrohr wurde der Ton bis zu einer Oktave tiefer und schlug bei einer Länge  $a$  plötzlich in den Ton ohne Ansatzrohr um. Bei weiterem Verlängern wurde er wieder tiefer, sprang bei  $2a$  wieder um usw. Weber fand die Tonsprünge bei Vielfachem von  $\lambda/2$ , Willis dagegen bei ungeradem Vielfachen von  $\lambda/4$ ; auch sonst zeigten sich in den Ergebnissen beider Forscher Unterschiede. VOGEL betrachtete die Zungenpfeife als gekoppeltes System von Zunge und Ansatzrohr und wandte auf dieses die Wienschen Untersuchungen an, nach denen sich gekoppelte Systeme verschieden verhalten, je nachdem die Koppelung oder die Dämpfung überwiegt. Indem der die Schwingungen unterhaltende Luftstrom durch die Zunge reguliert wird, entsteht eine erzwungene Schwingung in der Periode der weniger gedämpften der beiden Koppelungsschwingungen. In der Umgebung der Resonanz von Zunge und Röhre, wo beide Dämpfungen merklich gleich sind, müssen bei enger Koppelung labile Zustände bezüglich der Ton

<sup>1)</sup> Ann. d. Physik **60**, 279, 701, 715 (1919); **62**, 673 (1920).

<sup>1)</sup> Ann. d. Physik **62**, 247 (1920)

höhe auftreten. Ist die Röhre etwas zu hoch gestimmt, so wird der Ton der Zunge und der Pfeife vertieft. Beim Überschreiten der Resonanz erfolgt eine mehr oder weniger plötzliche Erhöhung des Tones, der sich bei weiterer Rohrverlängerung wieder vertieft. Die Größe der Tonänderung hängt von der mehr oder weniger engen Koppelung zwischen Zunge und Rohr ab. Bei noch weiterer Verlängerung tritt die Tonänderung an der Resonanzstelle zwischen Zunge und erstem, zweitem usw. Oberton der Röhre, d. h. in Abständen von  $\lambda/2$  ein. Diesen theoretischen Folgerungen entsprach das Verhalten der Pfeife durchaus. Indem an den Pfeifenkopf neben der Öffnung zu der Röhre noch eine zweite frei in die Luft mündende Öffnung angebracht wurde, gelang es, die Koppelung zwischen Rohr und Zunge willkürlich zu ändern. Je größer diese Öffnung im Verhältnis zur Röhrenöffnung gemacht wurde, um so loser war die Koppelung und um so kleiner und weniger steil der Tonsprung. Bei gedeckten Röhren waren die Erscheinungen die gleichen; nur waren die Resonanzstellen um  $\lambda/4$  verschoben. Die Widersprüche in den Beobachtungen von Weber und Willis erwiesen sich als bedingt durch Verschiedenheiten der Röhrenweite. Bei engen Röhren von 11,5 mm Weite waren die Tonsprünge wie bei Weber, bei Röhren von 29 mm Weite waren sie wie bei Willis. Das oft auftretende völlige Aussetzen des Tones an der Resonanzstelle erklärt sich daraus, daß bei Resonanz die Koppelungsschwingung so hoch ist, daß die Entstehung des Tons an der Resonanzstelle verhindert wird. Bei loserer Koppelung spricht die Pfeife wieder an. Bei langsamer Verlängerung oder Verkürzung des Rohres gelang es, das Umspringen des Tones etwas zu verzögern; man bemerkte dann ein „Ziehen“ des Tones.

Die Erscheinungen, die bei gekoppelten Schwingungen an der Zungenpfeife auftreten, konnten H. VOGEL und M. WIEN in der gleichen Weise an gekoppelten Röhrensendern nachweisen<sup>1)</sup>. Die Ergebnisse der Versuche an der Zungenpfeife ließen sich sogar zahlenmäßig durch elektrische Systeme wiedergeben. Ebenso wie im akustischen System die Schwingungszahl dem Grade der Koppelung folgt, ist im elektrischen System die Schwingungszahl des Audionkreises als Funktion der Wellenlänge der Antenne von der Koppelung abhängig; die beiderseitigen Kurven verlaufen völlig gleichartig. Bei den Versuchen wurde der übliche Schwingungskreis benutzt, der Ton mittels eines Telephons beobachtet. Es wurde der Einfluß der Koppelung zwischen Schwingungskreis und Sekundärkreis, dann die Änderung der Tonkurven mit der

Dämpfung und endlich der Einfluß der Rückkoppelung, der Heizung der Glühkathode und der Anodenspannung untersucht. Auch hier entstand der Tonsprung; der Einfluß der Koppelung zeigte sich darin, daß die einmal vorhandene Schwingung noch ein Stück über den Resonanzpunkt bestehen blieb, also ein „Ziehen“ des Tones eintrat. Je loser die Koppelung, um so schwächer war das Ziehen. Einen entsprechenden Einfluß zeigte Veränderung der Dämpfung, Verstärkung der Rückkoppelung der Anodenspannung und der Heizung. Durch Wahl der Konstanten der elektrischen Schwingungskreise konnte die Form der Tonkurven in weiten Grenzen abgeändert und den Tonkurven der Zungenpfeifen nachgebildet werden. Auch die Bevorzugung der höheren oder der tieferen Koppelungsschwingung bei der Zungenpfeife und eine damit verbundene Unsymmetrie der Zieherschleife ließ sich bei elektrischen Systemen dadurch herstellen, daß neben der gewöhnlichen Rückkoppelung durch den Primärkreis eine zweite Rückkoppelung durch den Sekundärkreis eingeführt wurde. Bei ausschließlich sekundärer Rückkoppelung trat nur eine der beiden Koppelungsschwingungen auf, so daß kein Umspringen und Ziehen des Tones erfolgte.

3. Schallausbreitung in Luft und Wasser. Die günstigste Senderfrequenz für Schallanlagen suchte F. AIGNER zu bestimmen<sup>1)</sup>. Sie hängt ab von der Empfindlichkeit des Ohres, der Mediumabsorption und der Energieabsorption des Empfängers. Die größte Empfindlichkeit des Ohres hatte M. WIEN in Luft für 2300 Schwingungen gefunden. Die Mediumabsorption wird in Luft durch Viskosität und Wärmeleitung gleich stark, in Wasser fast allein durch die erstere beeinflusst. Der Schallschwächungskoeffizient ist bei gleicher Tonhöhe für Luft 1000 mal größer als für Wasser. Für die Energieabsorption von Empfängern liegt die Beobachtung von LICHTER vor, daß resonierende Schallempfänger eine dem Quadrat der Frequenz verkehrt proportionale Energieabsorption aufweisen. Bei unmittelbarem Ohrenempfang in nächster Nähe der Schallantenne ist der kleinste Aufwand an strahlender Energie auch für die Schwingungszahl 2300, bei 10 km Reichweite etwa für 1000. Für ein Wasserschallfeld kommt bei unmittelbarem Gehörempfang auch 2300, bei mittelbarem 1000 Schwingungen als günstigste Frequenz in Betracht. In der drahtlosen Telegraphie werden aus ökonomischen Gründen ebenfalls 2300 Perioden verwendet.

Die Reichweite des Schalls im freien Meerwasser fanden H. BARKHAUSEN und H. LICHTER viel geringer als man bisher geglaubt

<sup>1)</sup> Ann. d. Physik 62, 649 (1920).

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Physik 1, 161 (1920).



hatte<sup>1)</sup>. Zu den Versuchen dienten zwei elektrisch betriebene Schallsender, große Telephone, die bei Resonanz starke Schwingungen aussandten, deren Energie sich durch den Wattverbrauch genau messen ließ. Als Empfänger dienten wasserdicht eingeschlossene Mikrophone, die an Kabeln beliebig tief in das Wasser eingesenkt werden konnten, später ebenfalls Telephone. Die Sendestation befand sich an Land, die Empfangsstation auf Schiffen; oft auch beide auf Schiffen. Für jeden Abstand vom Sender wurde die Lautstärke für verschiedene Stromstärken bestimmt und daraus die Lautstärke pro Ampere-Sendestrom gebildet. Die ersten Versuche erfolgten in der Eckernförder Bucht in Entfernungen von Kilometer zu Kilometer. Es zeigte sich eine Abnahme der Lautstärke nicht nach einem quadratischen Gesetz, sondern mit einer Absorption von 2,3:1 pro Kilometer. Für 3 km war 0,4 Watt, für 5 km 10 Watt, für 8 km 1 Kilowatt aufgewandte Leistung erforderlich. Bei dieser Abnahme würden bei 14 km schon 10000 Kilowatt erforderlich sein. Nahe der Oberfläche und in flachem Wasser war die Lautstärke sehr geschwächt; dagegen war sie in Tiefen von 100 und 200 m kaum verschieden. Ungleichförmigkeiten in Temperatur und Salzgehalt beeinflussen im Wasser die Schallgeschwindigkeit fast ebenso stark wie Temperatur und Wind in der Luft. Bei horizontaler Schichtung erfolgt eine Krümmung der Schallstrahlen, verbunden mit einer Abwanderung der Energie nach unten oder oben. Das erste tritt im Sommer ein, wenn das Wasser oben wärmer ist, das zweite im Winter. Da die Oberfläche den Schall fast vollkommen reflektiert, so ist die Reichweite im Sommer kleiner als im Winter; in der freien Ostsee betrug sie im Sommer 10, im Winter 20 km. Jede vertikale Wand verschiedener Beschaffenheit bewirkt ebenso eine Reflexion oder Zerstreuung des Schalles. Daraus erklären sich die verschiedenen Reichweiten, die bald wenige, bald über 100 km betragen. Die Größe der Dämpfung war innerhalb des untersuchten Bereiches unabhängig von der

Frequenz. Die Reichweite ist hiernach praktisch nicht von den Apparaten, sondern nur von dem Zustande des Wassers abhängig.

Wie W. HAHNEMANN und H. LICHTÉ ausführen, wurden von der Signalgesellschaft in Kiel für die Wasserschalltechnik besonders geeignete Sender und Empfänger konstruiert, mit denen man zu Reichweiten von über 100 km gelangte<sup>1)</sup>. Sie werden vorteilhaft in große Tiefen gelegt, da hier der Temperatureinfluß durch den Druckeinfluß kompensiert wird. Besonders eignen sie sich für die Orientierung bei Nebel, ferner im Lotsendienst und beim Aufsuchen havariierter Schiffe. Durch Beobachtung des direkten und des vom Boden zurückgeworfenen Schalles ließ sich ein akustisches Lot herstellen; nach demselben Prinzip können Eisberge oder begegnende Schiffe aus der Ferne angezeigt werden. *Schk.*

**Bestimmung der absoluten elektrischen Widerstandseinheit und der Lichtgeschwindigkeit.** Eine neue in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt von E. GINNEISEN und E. GIEBE ausgeführte Bestimmung, die sich auf die Ermittlung des Verhältnisses einer absoluten Induktivität zu der in intern. Henry gemessenen gründet, ergab

$$1 \text{ int. Ohm} = 1,00051 \text{ abs. Ohm,}$$

während eine englische im National Physical Laboratory von F. E. SMITH nach dem Prinzip der im Magnetfeld rotierenden Scheibe ausgeführte Bestimmung zu dem Wert 1,00052 abs. Ohm führte, so daß nach einer wegen des benutzten Standardohms erforderlichen Korrektur die beiden Bestimmungen sich nur um  $\frac{1}{100000}$  unterschieden.

Aus der neuen Bestimmung ergeben sich auch Änderungen an den Werten des Wärmeäquivalents und der Lichtgeschwindigkeit. Es wird

$$1 \text{ g cal. } 15^{\circ} = 4,186_3 \text{ Joule (statt } 4,184_2) \\ c = 299790 \text{ km/sec,}$$

während nach

$$\text{Michelson } c = 299850^4 \text{ km/sec} \\ \text{Newcomb } c = 299860 \text{ " } \\ \text{Perrotin } c = 299880 \text{ " } \quad P.$$

<sup>1)</sup> Die Naturwissenschaften 8, 871 (1920).

### 3. Geschichte und Erkenntnislehre.

#### Zur Geschichte des Beharrungsgesetzes<sup>1)</sup>.

Der seither verstorbene EMIL LAMPE hat in dem *Sitzungsber. der Berliner Math. Ges., XVI, Stück 3, 1918* den Inhalt eines von ihm gehaltenen Vortrages unter dem Titel „Merkstellen zur Geschichte der Mechanik“ veröffentlicht. Er macht darin Mitteilung über eine Abhandlung von

<sup>1)</sup> Wegen bisherigen Raummangels kommt obiger Bericht erst jetzt zum Abdruck.

R. Giacomelli in der *Atti della R. Accademia delle scienze fis. e mat. di Napoli* (2) 15, Nr. 10 über eine von Favaro aufgedundene Schrift eines Zeitgenossen Galileis, des Guiseppe Ballo, aus dem Jahre 1635, die den Titel „De foecunditate Dei“ trägt. Ein Anhang zu dieser Schrift, dem heiligen Dionys gewidmet, hat den Titel: *De motu corporum naturali nondum audita ratio depromitur ac demonstratur*. Es findet sich darin zunächst eine Auseinandersetzung darüber, daß

Fallbewegung und Gewicht die Wirkungen ein und derselben „Hinneigung“ (*propenduntia*) seien, und daß ein Körper, wie ein Schiff auf dem Wasser, durch eine Kraft in beliebiger Richtung bewegt werden könne. Es sei aber ein Axiom, daß ein Körper, nachdem er eine Bewegung einmal aufgenommen habe, diese niemals aufgebe, solange er ihrer nicht durch Gewalt oder entgegengesetzte Einwirkung beraubt wird. Mit diesem Axiom hat Galilei einen entscheidenden Schritt über Galilei hinausgetan, der das Beharrungsgesetz auf die Bewegung in wagerechter Ebene (bzw. auf der Oberfläche der Erde) beschränkte. Es war, wie schon Wohlwill ausgeführt hat, für die Schüler und Nachfolger Galileis nicht schwer, diesen Schritt zu tun, der bisher dem Baliani (*De motu* 1646) zugerechnet wurde. Aber er war doch entscheidend für die Grundlegung der späteren klassischen Mechanik.

[Es wird meist behauptet, daß Galilei durch sein Vorurteil für den Vorzug der Kreisbewegung, die bei den Alten als vollkommene Bewegung angesehen war, daran verhindert worden sei, sich von der erwähnten Beschränkung frei zu machen. Die Sache dürfte aber doch etwas anders liegen. Für Galilei war entscheidend seine auf astronomischen Gründen beruhende Überzeugung von der Umdrehung der Erde um ihre Achse. Hier hatte er ein Beispiel einer immerwährenden Kreisbewegung, er übertrug es aber auch auf eine Marmorkugel, die sich um eine Achse dreht, wenn man von der Reibung in den Lagern absieht. Und da er bei der abwärts gerichteten Bewegung eine Zunahme der Geschwindigkeit, bei der aufwärts gerichteten eine Abnahme beobachtete, so ließ er die gleichförmige Fortdauer der Bewegung nur in wagerechter Richtung, d. h. längs der Oberfläche der Erdkugel, gelten. Nicht ein von den Alten überkommenes Vorurteil also, sondern eine vorsichtig am Leitfaden der Erfahrung sich haltende Denkweise verhinderte ihn an dem Schritt, den andere, weniger streng der Wirklichkeit sich anpassend, unbedenklich taten. Es lag ja in der Richtung des von den Alten überkommenen wissenschaftlichen Denkens, rasch von einzelnen Tatsachen zu allgemeinen Prinzipien aufzusteigen. Will man von einer Befangenheit in überkommenen Denkformen reden, so wird man nicht Galilei, sondern zuerst den Gallo und Baliani, den vermeintlichen Neuerern, eine solche Befangenheit nachsagen müssen. Es ist auch bezeichnend, daß Gallo im übrigen sich völlig auf theologischem Gebiet betätigt hat; so veröffentlichte er 1640 ein Werk über die Eucharistie. An einen Ausbau der Bewegungslehre, wie Baliani ihn auf Galilei fußend in Angriff nahm, scheint er nicht gedacht zu haben. Man wird seine mehr als geistreiche Einfälle auftretende

Bemerkung in der Geschichte der Wissenschaft nicht allzu hoch bewerten dürfen.]

Etwas anders liegt die Sache bei einer zweiten von LAMPE vorgebrachten Prioritätsfrage. Man wußte längst, daß Descartes schon in jungen Jahren (1620) die allgemeine Form des Beharrungsgesetzes als „Meinung“ eines Unbekannten ausgesprochen hat, ohne daß er damals selber dazu klar Stellung genommen hat. LAMPE weist darauf hin, daß zufolge einer Fußnote in der neuesten Ausgabe der *Oeuvres de Descartes* (10, 219) jener Unbekannte der Holländer Isaac Beekmann (geb. 1588) gewesen sei.

Das Tagebuch Beekmanns, in das er seit seinem 16. Lebensjahre alle ihm bemerkenswert scheinenden Gedanken eingetragen hat, ist 1905 von einem jungen Mittelburger Studenten aufgefunden worden, und alle Stellen, die sich darin auf Descartes beziehen, sind im 10. Bande der schon genannten Ausgabe der Werke des Descartes abgedruckt worden. In dem Tagebuche erscheint im Jahre 1613 auch der Satz *Mota semel nunquam quiescunt, nisi impediuntur*. In der Ausführung dazu wird gesagt, daß die Aufhebung der Bewegung nur durch ein äußeres Hindernis erfolgen könne; je schwächer dieses sei, desto länger dauere die Bewegung. Auf diese Bemerkung Beekmanns bezieht sich die obige Mitteilung von Descartes vom Jahre 1620. Descartes hat den Satz später auch in seine *Principia philosophiae* 1644 aufgenommen, aber auch hier tritt er nicht als ein an der Hand der Erfahrung gewonnenes Prinzip, sondern als ein Grundsatz, der auf rationalistischem Wege aus der Vollkommenheit Gottes als der ersten Ursache der Bewegung abgeleitet wird, auf; denn „die selbe Menge der Bewegung und der Ruhe, die Gott einmal der Materie eingepreßt hat, erhält er auch bei ihrem Zusammenstoß“. Man sieht, wie weit Descartes noch von der induktiven Methode Galileis entfernt ist, wie nahe er vielmehr noch der Methode der Scholastik steht. Das Verdienst Galileis als Begründer der neuen Naturauffassung bleibt auch durch diese Leistung des Descartes unangetastet, die überdies ebenfalls nur auf dem Fundament der Galileischen Entdeckungen aufgebaut ist. Erst nach dem Bekanntwerden dieser Entdeckungen entschloß sich Descartes, jener alten Anregung Beekmanns Folge zu geben und das Prinzip in sein großes Werk aufzunehmen. Es war aber ein glückliches Zusammentreffen, daß die Erweiterung des Galileischen Gesetzes, die durch seine Schüler vollzogen wurde, mit dem rationalistisch begründeten Prinzip von Beekmann und Descartes zusammentraf; dadurch kam es zu der allgemeinen Annahme des Prinzips, das schließlich in dem ersten der drei Bewegungsgesetze Newtons seinen klassischen Ausdruck fand.



#### 4. Unterricht und Methode.

Der sächsische Lehrplanteilwurf für den physikalischen Unterricht<sup>1)</sup>. Ein neuer Lehrplan für Mathematik und Naturwissenschaften ist seit Ostern 1920 an den sächsischen höheren Schulen in probeweisem Betrieb. Ihm liegt folgende Stundenverteilung zugrunde:

A. Humanistisches Gymnasium.			
U II	O II	U I	O I
2	2	{ 2 5 Math.	{ 2 5 Math. <sup>2)</sup>
Übungen: —	—	1½	1½.
B. Realgymnasium älterer Art.			
U II	O II	U I	O I
2	3	a) 2 b) 3	a) 2 b) 3
Übungen: —	1½	—	1½.

Ähnlich ist die Verteilung an den Reformgymnasien nach Dresdner und nach Plauener Ordnung.

Dem Lehrplan selbst sind folgende allgemeine Richtlinien vorausgeschickt: „Der Unterricht in der Physik hat an Versuchen und Erscheinungen des täglichen Lebens die Sinne des Schülers zum Beobachten zu erziehen und die Ergebnisse der Beobachtungen zu verarbeiten. Die gefundenen Gesetze sollen zu Hypothesen führen, die in ihrer Gesamtheit ein Bild der Vorgänge in der unbelebten Welt geben. [Diese Auffassung des Verhältnisses von Gesetz und Hypothese ist mindestens ungewöhnlich.] Leistungen der Technik müssen dabei ihre Erklärung finden“. Ferner ist für Erdkunde und Naturkunde zugelassen, daß physikalische und chemische Kenntnisse im Bedarfsfall auch in diesen Fächern vorweggenommen und „durch einfache Versuche vorläufig erarbeitet werden“.

Die Restverteilung ist in folgender Übersicht zusammengestellt:

U II. (2 St.) *Einleitung in die Physik. Wärmelehre:* Thermometer. Ausdehnung. Kalorie. Spezifische Wärme. Schmelz- und Verdampfungswärme. Sättigung. *Elektrizitätslehre:* Magnetik, das Wichtigste aus der Elektrostatik, Stromerzeugung. Wirkung des Stromes, Abmessung desselben. *Optik:* Spiegelung, Brechung, Linse (geometrische Konstruktionen), Spektrum. — *Mechanik:* Lehre von der gleichförmigen und gleichförmig beschleunigten Bewegung. Kraft. Masse. Arbeit. Energiengesetz. Anschluß allgemeiner

<sup>1)</sup> Vgl. den Bericht von R. Danneberg in der Zeitschr. f. d. math. u. naturw. Unterricht 1919, Heft 10/11.

<sup>2)</sup> Die Klammer deutet an, daß die dadurch verbundenen Stunden auch in anderer Verteilung verwendet werden dürfen.

abschließender Betrachtungen. — *Zusatzstunde:* Ausbau der Einleitung.

O II. (3 St.) Momentensatz und seine Anwendungen. Grundbegriffe über Temperatur und Wärme. Flüssigkeiten und Gase; Dämpfe. Das Hauptsächlichste aus der Wetterkunde. Molekül, Atom, Gastheorie, Wärme und Arbeit, Kraftmaschinen. Statische Grunderscheinungen der Elektrizität. Der Strom und seine Abmessungen.

U I. (3 St.) Durchgang des Stromes durch flüssige, gasförmige und feste Leiter. Die spezifische Ladung. Kathodenstrahlen. Atomistische Struktur der Elektrizität. Beziehungen zwischen Wärme und Elektrizität. Magnetisches Kraftfeld, Induktion, technische Anwendungen. — Schluß der Mechanik Kreisbewegung. Keplersche Gesetze, harmonische Bewegung. Die Welle. Experimentelles aus den Erscheinungen der Akustik.

O I. (3 St.) Die elektrischen Schwingungen und ihre Anwendung. Optik. Die übrigen Strahlungen im Äther. Ausdehnung der elektromagnetischen Schwingungen über das gesamte Spektrum. Das Elektron als Erreger des Äthers. Das Atom und sein Zerfall.

*Physikalische Schülerübungen* sollen in Lehrgängen im Anschluß an den Unterricht stattfinden, und zwar vom Winterhalbjahr in Obersekunda bis mit Sommerhalbjahr in Oberprima. In diesen Übungen ist der Hauptwert auf Einzelbeobachtungen zu legen, wenn sich auch gelegentliche Versuchsreihen nicht vermeiden lassen werden.

An diesem Plan fällt zunächst auf, daß der physikalische Vorkursus sehr spät (erst in U II) einsetzt, während er sonst meist schon in O III seinen Anfang nimmt. Ein innerer Grund hierfür ist nicht ersichtlich; der deutsche Ausschuß für den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht legt in seinen neuesten Vorschlägen sogar aus guten Gründen den Anfang des Physikunterrichts nach U III! In dem einjährigen Vorkursus der U II mit 2½ Stunden soll nach dem vorliegenden Plan ein großes Gebiet, nämlich Wärmelehre, Magnetik, Elektrizität, Optik, Mechanik, sogar „mit Anschluß allgemeiner abschließender Betrachtungen“ erledigt werden. Dabei soll der Schüler selber „die wesentlichsten Tatsachen aus den Experimenten ablesen“. Die Erläuterungen deuten selbst die Befürchtung an, daß dieser Einleitungslehrgang zur kinematographischen (vielmehr kaleidoskopartigen) Vorführung werden könnte. Man höre: Von Ostern bis Pfingsten sollen die Maßeinheiten und die Wärmelehre „erledigt“ sein. Allerdings wird in Rücksicht gezogen, daß es sich im wesentlichen um Zusammenfassung und Erweiterung des in der O III Gelernten und auch in den Nachbar-

fächern Erdkunde und Naturkunde „durch grobe Empirie Erworbenen“ handle. „Von Pfingsten bis Michaelis kann die Elektrizität, von da bis Mitte November die Optik behandelt sein“ usf. Man kann nur sagen, daß diese Art des Durchhaltens einer höheren Lehranstalt, die auf Erziehung zum wissenschaftlichen Denken ausgeht, unwürdig ist. Alle schönen Worte von reicher experimenteller Behandlung können darüber nicht hinwegtäuschen. Und der Grund für dieses Vorgehen: Besonders am Realgymnasium verlassen viele Schüler nach der ersten Prüfung, also von U II, die Anstalt, diese sollen einigermaßen einen Einblick in die Physik getan haben. Man kann diesen Standpunkt nur als veraltet bezeichnen. Er hatte eine gewisse Berechtigung, solange die höheren Lehranstalten mit einer großen Zahl solcher nur bis zur Erlangung des Einjährigenscheins die Schule besuchender Schüler rechnen mußte. Diese Rücksicht fällt fort, sobald man mit dem Gedanken der Einheitsschule Ernst macht, der die höhere Schule von vornherein nur den dafür hinreichend Begabten vorbehält. Dem Vernehmen nach hat gerade dieser Vorkursus in U II bei der praktischen Erprobung während des jetzt zu Ende gehenden Schuljahres die meisten Bedenken hervorgerufen.

Für den Lehrplan der Oberklassen ist als leitender Grundsatz aufgestellt, daß die Physik nicht nach der üblichen Einteilung: Mechanik, Akustik, Wärme usw. zerrissen werden solle. Ein physikalischer Vorgang zeige gewöhnlich mehrere wichtige Energieformen zugleich. Daher sei z. B. bei der Betrachtung der Gase die Volumenänderung durch Druck und Wärme zugleich zu behandeln. Gleichzeitig sei dadurch ein zweiter Grundsatz erfüllt: „Keine der üblichen Abteilungen, Wärme, Elektrizität usw. soll in einer Klasse allein behandelt werden“. „Aus diesem Grunde ist auch die Mechanik zerrissen und in die einzelnen Stufen verteilt worden“.

Diese Grundsätze werden schwerlich allgemeine Billigung finden. Die Naturvorgänge sind verwickelt und mannigfach verschränkt. Das Ziel der Wissenschaft besteht gerade darin, die Tatsachen zu entwirren, die Elementartatsachen zu isolieren und an diesen die Grundgesetze zu ermitteln. Man weiß, wieviel Mühe es der Forschung gemacht hat, auf gewissen Gebieten die „reinen“ Erscheinungen überhaupt erst festzustellen. Darum hat auch im Unterricht die Behandlung der Elementartatsachen und damit die Vorführung gewisser geschlossener Gebiete ihren guten Sinn; nur die isolierten Tatsachen lassen sich in ein System einordnen, das dann naturgemäß eine gewisse homogene Struktur haben muß. Sache des Unterrichts wird es sein, nach und nach eine Synthese der durch Isolation gewonnenen Erkennt-

nisse herzustellen und damit schließlich ein Bild der Wirklichkeit in ihrer Vielgestaltigkeit und Zusammengesetztheit zu gewinnen.

Drittens wird gefordert, daß die Physik auch in der Schule dem Schüler die neuesten Errungenschaften nahe bringen soll. Weil die meisten Schüler nach der Schule nichts wieder von Physik hören! Gibt es nicht heute mehr als je zuvor Fortbildungsmöglichkeiten und eine reiche populäre Literatur? Denen also, die Interesse für die Physik haben, kann leicht geholfen werden, auch ohne daß die Schule ihnen bereits alles „worüber der Gebildete Bescheid wissen muß“ vorgeführt hat. Die aber kein Interesse haben, für die ist auch das etwa auf der Schule ihnen Verabfolgte von geringem Belang und fällt dem Vergessen anheim. Ernsthafter zu nehmen ist ein anderer Grund; nämlich der: „Da bei den modernsten Erscheinungen das physikalische Denken am meisten zur Anwendung kommt, ist das Eingehen auf diese Stoffe zu fordern“. Doch ist vielmehr zu sagen, daß das physikalische Denken hier in seiner zwar vollkommensten, aber auch kompliziertesten Form auftritt. Man denke an die beständige Kombination mathematischer und experimenteller Untersuchung in der neuesten Atomtheorie oder in der Theorie der Spektrallinien. Ganz das Gegenteil hat Höfler in seinem immer noch gültigen Ausspruch befürwortet, daß in der Physik „an dem denkbar einfachsten Stoff die denkbar exaktesten Methoden zur Anwendung kommen“. Dies wird immer ein Vorzug des Physikunterrichts bleiben, wir wollen uns das Verweilen bei dem einfachsten Stoff nicht durch die Sucht nach dem Allerneuesten beeinträchtigen lassen.

Bei dieser Gelegenheit wird auch eine Bemerkung in meiner Didaktik angefochten, aber in einer irreführenden Weise angeführt, als ob ich gesagt hätte, daß die Einführung der Elektronentheorie im Unterricht sich bei der Neuheit der Sache nicht empfehle. Es wird im Gegenteil (a. a. O. S. 403) gesagt: „Besonderes Interesse beanspruchen die Kathodenstrahlen, die zur Besprechung der Elektronen führen“. Es ist also die Elektronentheorie von mir nicht aus dem Unterricht ausgeschlossen worden. Allerdings habe ich hinzugefügt: „Im Unterricht schon bei den vorhergehenden Abschnitten von der Elektronentheorie Gebrauch zu machen . . . empfiehlt sich bei der Neuheit der Sache nicht, wohl aber an dieser Stelle ein Blick auf die neuen Erklärungsmöglichkeiten, die sich damit eröffnen“. Ich bin auch heute noch der Ansicht, daß man nicht bei den Grunderscheinungen der Elektrostatik schon von Elektronen reden sollte, schon deswegen nicht, weil die Erklärung der positiven Elektrizität durch die Elektronentheorie noch immer nicht befriedigend gelungen ist. Betrachtet



man dagegen, wie a. a. O. angedeutet, die Erscheinungen hintennach vom Standpunkt der Elektronentheorie, so führt dies unfraglich zu einem tieferen Einblick in die Entwicklung physikalischer Theorien und die damit verknüpfte Problematik, als wenn man von vornherein sich auf den modernsten Standpunkt stellt. Auch daß hier ein typisches Beispiel wissenschaftlicher Hypothesenbildung vorliegt, habe ich ebenda bereits hervorgehoben.

In bezug auf das Mathematische im Physikunterricht kann ich eine erfreuliche Übereinstimmung mit dem Verfasser der Erläuterungen zu den Lehrplänen feststellen, wenn er sagt, daß größere mathematische Ableitungen nur Ausnahmen darstellen sollen. Der Verfasser will dies freilich auch auf die Linsenformel angewandt wissen. Es sei völlig überflüssig, die Linsenformel unter allerhand Vernachlässigungen abzuleiten, sie müsse experimentell gefunden werden. Hierüber kann man verschiedener Meinung sein und sollte keinesfalls „von oben herab“ ein bestimmtes Verfahren vorschreiben. Einerseits ist die experimentelle „Ableitung“ doch etwas künst-

lich, andererseits die mathematische Ableitung so einfach, daß sie Schülern der Oberstufe unbedenklich zugemutet werden kann. Wichtiger ist allerdings, darin hat der Verfasser Recht, daß der Schüler den Gang der Lichtstrahlen richtig erfaßt, daß er die Achromasie ihrem Wesen nach versteht, daß apochromatische und astigmatische Linsensysteme verstanden werden. Der Verfasser fordert andererseits zwangsweise Angliederung von Zusatzstunden, in denen die mathematischen Gesetze abgeleitet werden können. Mehr Wert ist indessen doch wohl den praktischen Übungen experimenteller Art beizumessen.

Auf diese praktischen Übungen wird besonderer Nachdruck gelegt, wie schon der Lehrplan erkennen läßt, der am RG. in O II und O I 1½ Stunden für solche Übungen ansetzt (am h. G. in UI und O I). Doch darf ein Schüler nicht an zwei naturwissenschaftlichen Übungen teilnehmen, obwohl er neben einer solchen Übung etwa noch Griechisch als wahlfreies Fach belegen darf. Hierin muß mit Recht eine unbillige Beeinträchtigung der Naturwissenschaften erblickt werden.

P.

### 5. Technik und mechanische Praxis.

Die Großfunkstation Nauen<sup>1)</sup>. Am 29. September 1920 fand die Einweihung der Großfunkstelle Nauen statt. Dabei übergab die Erbauerin, die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, weltbekannt unter dem Namen Telefunken, die Station an die „Drahtlose Übersee-Verkehr A. G.“, abgekürzt Transradio. Damit ist Nauen offiziell in den öffentlichen Verkehr übergegangen, nachdem es schon vorher uns in den Kriegsjahren wertvolle Dienste geleistet hatte. Jetzt, nach der Wegnahme unserer Kabel, wird uns Nauen eine wesentliche Stütze beim Wiederaufbau unseres Landes sein. Das Hauptverdienst an der Errichtung dieser größten Funkstation der Erde gebührt den Mutterfirmen A.E.G. und Siemens-Halske, Telefunken und Transradio und ihren Mitarbeitern. Damit ist ein physikalisches Problem nach 15jähriger Arbeit von Laboratoriumsversuchen in Nauen bis zu seiner technischen Ausgestaltung in der größten Funkstelle der Erde zum vorläufigen Abschluß gebracht.

Die erste Nauener Funkstation wurde 1906 errichtet. Als primäre Energiequelle diente eine Lokomobile von 35 PS, die in einer Wechselstrommaschine Wechselstrom von 75 Perioden und 500 Volt erzeugte. Dieser wurde auf 150 000 Volt herauftransformiert und zur Aufladung einer Batterie von 360 mannshohen Leidener Flaschen verwandt, die sich unter kanonenschußähnlichem

Knaß über eine Zinkfunkenstrecke entluden und den Braunschen Schwingungskreis und weiter die mit diesem gekoppelte Antenne erregten. Als junger Student hatte ich Gelegenheit, die Station im Betrieb zu sehen. Ich erinnere mich noch gut, wie wir alle — lauter Physiker — in dem damaligen Fachwerkbau von der Funkenstrecke „voller Hochachtung“ möglichst weit zurücktraten, als bei der Aufladung der Leidener Flaschen der Raum zu dröhnen anfang und mit unheimlichem Krachen Funken übersprangen. Die Antennenenergie betrug 10 kW, die Antennenhöhe 100 m und die Reichweite 3600 km (Teneriffa).

Einen erheblichen Fortschritt brachte das System der tönenden Funken mit der Wienschen Löschfunkenstrecke von 1909 ab. Die Antennenenergie stieg auf 35 kW, die Reichweite fast aufs Doppelte, so daß wir unabhängig vom englischen Kabelnetz mit unsern Kolonien in Verkehr treten konnten. Von 1911 bis 1916 stieg die Antennenhöhe auf 260 m, die Energie auf 100 kW. Die für den Betrieb benötigte elektrische Energie wird vom Elektrizitätswerk Spandau als hochgespannter Drehstrom herangeführt; dieser wird dann nach Umformung durch eine Dynamo vom Induktortyp in mittelfrequenten Wechselstrom von rund 500 Perioden umgewandelt, auf die der Zahl der Funkenstrecken entsprechende Spannung herauftransformiert und dem Sender zugeführt. Dabei entspricht jedem Wechsel ein Wellenzug in der Antenne, so daß gewissermaßen der „Ton 1000“ ausgestrahlt wird, wie er jedem Feldfunker aus

<sup>1)</sup> Nach der Festschrift zur Einweihung der Großfunkstelle Nauen am 29. 9. 20.

dem Nauener Pressedienst und den Zeitsignalen bekannt ist. Entfernte Gegenstationen waren für diese Zeit Togo und Sayville bei New-York.

Der letzte Abschnitt ist durch die Entwicklung der ungedämpften Maschinensender gekennzeichnet. Zunächst wurde in Nauen eine Hochfrequenzmaschine für 100 kW gebaut, der 1915 eine von 200 kW folgte. 1916 wurde eine Maschine für 400 kW entworfen und 1918 in Betrieb genommen. Die Hauptwelle dieser Anlage hat die Länge von 12600 m. Sie wird durch ruhende Frequenzwandler aus einer Grundperiode von 6000 durch zweimalige Verdoppelung erzeugt. (Näheres über die Frequenzerhöhung siehe weiter unten.)

Die Antenne für diesen Sender ist T-förmig in nord-südlicher Richtung gespannt. Sie wird von 2 Masten von 260 m und 4 Masten von 125 m Höhe getragen. Die Länge der Antennendrähte beträgt 1200 m, die Gesamtlänge 2500 m, die Kapazität 30000 cm und die Eigenschwingung 5000 m.

Daneben sind noch zwei andere Sender zum gleichzeitigen Betrieb bereit. Ein 130 kW-ungedämpfter-Maschinensender für den Europadienst. Seine Anfangsfrequenz beträgt 8000 Perioden, die auf 64000 Perioden entsprechend rund 4700 m Wellenlänge in ruhenden Frequenzwandlern in 3 Stufen erhöht werden. Außerdem wird noch ein tönender Sender für den Zeit- und Wetterdienst benutzt mit der Wellenlänge 3900 m, Ton 1000 und 100 kW Antennenleistung. Diese beiden Sender arbeiten auf eine Fächerantenne mit 2 Masten von 150 m und mehreren kleineren Masten.

Die große 400 kW-Anlage ist für den Überseedienst bestimmt. Ihre Reichweite beträgt 20000 km, so daß die Wellen „von beiden Seiten“ im Gegenpunkt der Erde aufgenommen werden können. (Telefunkenstation Awanui in Neuseeland.) Der Amerika-Verkehr wird z. Z. mit Marion (New-York) abgewickelt, während die Nauener Empfangsanlage sich in Geltow bei Potsdam befindet. Augenblicklich werden täglich mehrere Tausend Worte gegeben und empfangen. Nach Eintritt des Friedenszustandes mit Amerika sollen folgende voneinander unabhängige Funkverbindungen Deutschland-Amerika eingerichtet werden: Nauen I—Long Beach (New York), Eilvese—Marion (in Interessengemeinschaft Telefunken-Hochfrequenzmaschinen-A. G.), Nauen II—Long Island. Daneben sind Telefunkenverbindungen nach Mexiko, Columbien, Argentinien, Japan, China, Holland-Java im Bau oder fertig. Durch diese Verbindungen ist uns die Möglichkeit gegeben, unter Ausschaltung der englischen Kabelzensur mit ganz Amerika und Ostasien in Verbindung zu treten und umgekehrt

kann Amerika direkt mit uns und durch unsere Vermittlung mit den angrenzenden Ländern verkehren.

Die Perioden-Transformation. Zur Erzeugung der in der drahtlosen Telegraphie benötigten hohen Periodenzahlen mit Hochfrequenzmaschinen entsprechend Wellenlängen von etwa 5000–13000 m, auf die Großstationen mit Rücksicht auf die Reichweite und andere Einflüsse angewiesen sind, haben bis jetzt 3 Maschinen Eingang in die Praxis finden können. Die Maschine von Alexanderson nach dem Induktortyp, die bei 200 kW und 12 km Wellenlänge an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angelangt ist. Die Goldschmidt-Maschine kommt mit geringerer Umlaufgeschwindigkeit aus, dafür besitzt der Rotor eine Wicklung und ist vielfach unterteilt, also mechanisch größeren Gefahren ausgesetzt. Die Erzeugung der Hochfrequenz aus der Grundperiode geschieht durch Reflexion zwischen Rotor- und Statorwicklungen in der Art, daß die als Schwingungskreise ausgebildeten Wicklungen bei jeder Rückwirkung aufeinander die Periode um die Grundperiode erhöhen. Die Telefunken-Maschine, über die hier eingehender berichtet werden soll, benutzt zur Erzeugung der Grundfrequenz eine verhältnismäßig langsam laufende Induktormaschine, während die Periodenvervielfachung außerhalb der Maschine in ruhenden Periodenvervielfachern vorgenommen wird; dabei geschieht aber die Vervielfachung nicht rein additiv wie bei Goldschmidt, sondern nach Potenzen von zwei, wobei für jede Verdopplungsstufe ein besonderer Verdopplungstransformator benutzt wird. In neueren Ausführungen und bei in der Einführung begriffenen Typen findet sogar eine Frequenzverdrei- ja sogar eine Vervier- und Verfünfachung in einem einzigen Transformator statt.

Die Erzeugung der Grundperiode. Der Hochfrequenzgenerator nach der Induktortype zur Erzeugung der Grundschwingung von 6000 Perioden besteht aus einem massiven Stahlgußkörper ohne jede Wicklung, dessen Umfangsgeschwindigkeit bei 1500 U/min 130 m/sec. beträgt. Gewicht über 7 t. Er läuft im Innern des Stators, welcher eine Gleichstrom- und die Hochfrequenzwicklung trägt. Die Gleichstromwicklung liegt konzentrisch im Stator und magnetisiert Stator und Rotor in der Art, daß die eine Seite nord-, die andere süd magnetisch wird. Ferner sind in Stator und Rotor die gleiche Anzahl Zähne gefräst, hier  $\frac{6000 \cdot 60}{1500} = 240$ , wobei die Hochfrequenzwicklung um die Statorzähne gewickelt ist. Wenn der Rotor läuft, durchfließt ein magnetisches Wechselfeld Rotor- und Statorisen, je nachdem die Rotorzähne auf Lücke



doer den Statorzähnen gegenüberstehen. Infolge des magnetischen Wechselfeldes entsteht in der Hochfrequenzwicklung ein Wechselstrom. Der Nauener Generator liefert bis 450 Volt und 1200 Amp.

Die Frequenzsteigerung. Um die 6000 Perioden zu vervielfachen, muß man durch geeignete Schaltungen eine stark von der Sinus-

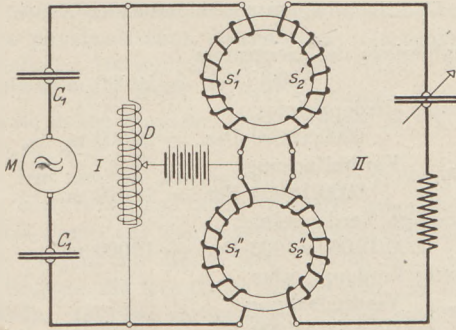


Fig. 1.

form abweichende Wellenform in der Grundfrequenz hervorbringen, was nach FOURIER als eine Überlagerung mehrerer sinusförmiger Wechselströme von verschiedenen Periodenzahlen aufgefaßt werden kann. Aus den verschiedenen Periodenzahlen wird dann durch abgestimmte Schwingungskreise eine Oberwelle, z. B. die zweite harmonische, deren Auftreten man durch die Art der Schaltung besonders begünstigt, her-

kreis I bilden. Beide Sekundärwicklungen  $s_2'$  und  $s_2''$  sind gegeneinander geschaltet und bilden mit dem Nutzwiderstand (nächster Transformator oder Antenne) und einem veränderlichen Kondensator einen Schwingungskreis II, in dem die doppelte Periodenzahl, hier 12000, zu standekommt. Gleichzeitig können beide Transformatoren mit Gleichstrom bis fast zur Sättigung des Eisens erregt werden, entweder durch eine besondere dritte Wicklung oder, wie in der Figur, durch die Primärwicklungen, wobei der Gleichstrom zur Fernhaltung der Hochfrequenz über Drosselspulen  $D$  zugeführt wird. Ohne die Gleichstromerregung heben sich die an den  $s_2$  induzierten Spannungen wegen der Gegeneinanderschaltung gegenseitig auf. Anders bei Gleichstromerregung. Läuft in der einen Wicklung der Wechselstrom gegen den Gleichstrom, so wird die magnetisierende Wirkung des Gleichstroms geschwächt, die magnetische Kraftlinienzahl im Eisen nimmt stark ab, infolgedessen tritt große Spannung an Transformator auf. Läuft aber der nächste Wechsel mit dem Gleichstrom, so kann sich die Kraftlinienzahl nur noch wenig ändern, da das Eisen ohnedies fast gesättigt ist. Infolgedessen treten nur kleine Spannungen auf.

Wir wollen nunmehr die Vorgänge in beiden Transformatoren nacheinander für einen Stromwechsel verfolgen. In  $s_1'$  möge der Gleichstrom und der Wechselstrom dieselbe Richtung haben, dann treten im „eingestrichenen“ Transformator geringe Spannungen auf. Für denselben Strom

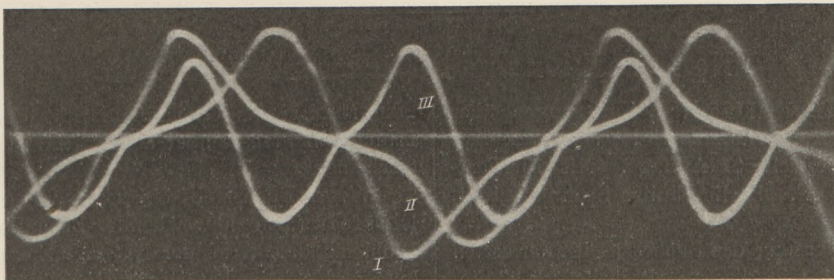


Fig. 2.

ausgehoben, während andere gleichzeitig auftretende Periodenzahlen unterdrückt werden.

Im folgenden schließe ich mich eng an REIN, Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie<sup>1)</sup>, an, in dem das Schema der Verdopplung außerordentlich übersichtlich angegeben ist. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, arbeitet die 6000 Perioden Maschine  $M$  auf die hintereinander geschalteten Primärwicklungen  $s_1'$  und  $s_1''$  zweier gleichen Transformatoren, die mit den Kondensatoren  $C_1$  einen auf die Grundschiwingung abgestimmten Schwingungs-

wechsel fließt aber der Gleichstrom im anderen Transformator entgegengesetzt, folglich treten im „zweigestrichenen“ Transformator große Spannungen auf. Für je einen Stromwechsel treten demnach abwechselnd in beiden Transformatoren starke Änderungen des Kraftlinienflusses auf in der Art, daß bei einem Wechsel in einem Transformator der Kraftlinienfluß zuerst stark abnimmt und dann wieder zunimmt. Beim nächsten Wechsel ist dasselbe Spiel im andern Transformator, so daß auf je einen Wechsel der Grundperiode ein zweifacher Wechsel des magnetischen Kraftflusses und damit der Spannungen im Kreise II erfolgt.

<sup>1)</sup> Berlin, J. Springer 1917; ds. Ztschr. 30, 163.

Ferner ist ersichtlich, daß bei jedem Wechsel der Grundperiode abwechselnd die beiden Transformatoren Energie an Kreis II abgeben.

Infolge des Zusammenwirkens von Gleich- und Wechselstrommagnetisierung wird die Grundschwingung stark verzerrt, es treten Oberschwingungen auf, von denen die zweite harmonische bevorzugt ist.

Am besten übersieht man die Verhältnisse bei dem vorstehenden Oszillogramm (Fig. 2), das ebenfalls aus REIN entnommen ist. In ihm stellen die Kurven I und II den zeitlichen Verlauf der Spannungen am oberen und unteren Transformator dar. Kurve III stellt die auf Kreis II wirkende zweite Harmonische dar, deren Augenblickswerte sich unmittelbar durch Subtraktion der zusammengehörigen Ordinatenwerte der Kurven I und II ergeben.

Ist die zweite Harmonische besonders ausgeprägt, so gilt für die Augenblickswerte der Spannung an einem Transformator

$$e_t = E_v \sin \omega t + E_{2v} \sin \omega t.$$

Sind beide Transformatoren hintereinander geschaltet, so wird dadurch eine Phasenverschiebung von  $180^\circ$  zwischen den beiden Sekundärspannungen  $e'$  und  $e''$  hervorgerufen. Demnach ist die auf Kreis II wirkende Gesamtspannung

$$e' + e'' = E_v \sin \omega t + E_{2v} \sin 2\omega t + E_v \sin(\omega t + 180^\circ) + E_{2v}(\sin 2\omega t + 2 \cdot 180^\circ) = 2 E_{2v} \sin 2\omega t.$$

Hierin ist  $\nu$  die Periodenzahl,  $e$  die effektive Spannung,  $E$  die Spannungsamplitude und  $\omega = 2\pi\nu$  die Kreisfrequenz.

Weiterhin ist es Telefunken gelungen, sämtliche drei Wicklungen in einer einzigen zu vereinigen, wodurch die Eisenverluste erheblich herabgemindert werden. Ebenso gelang die Erzeugung von höheren Vielfachen, bis zum Fünffachen der Grundwelle, in einem gleichstrommagnetischen Transformator. Der 400 kW Sender in Nauen arbeitet mit 4 festen Wellen (den letzten), die nach folgendem Schema entstehen (nach DORING. Der Hochfrequenzmaschinen sender Nauen):

Grundperiode des Generators	6000 Per. = 50000 m Welle
einmalig Verdoppelung	6000/12000 Per. = 25000 m "
"    Verdreifachung	6000/18000 Per. = 16670 m "
zweimalige Verdoppelung	6000/12000/24000 Per. = 12500 m "
einmalig Verdoppl. plus	"    Verdreifachung
"    Verdreifachung	6000/12000/36000 Per. = 8335 m "
dreimalige Verdoppelung	6000/12000/24000/48000 Per. = 6250 m "

Dabei beträgt

die Antennenenergie bei	410 kW	der Nutzeffekt
12600 m Welle		66%
8400 m " "	345 "	56%
6300 m " "	330 "	53%

Die Antennenstromstärke beträgt bei der 12600 m Welle 400 Ampere, die Spannung 80000 Volt.

F. Keutel.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Raum, Zeit, Materie.** Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. Von HERMANN WEYL. 4. erweiterte Auflage. Mit 15 Textfiguren. 300 S. Berlin, Julius Springer, 1921. M. 48,—.

Die Bedeutung des Buches ist bei der ersten Auflage (1918) in dieser Zeitschrift 32, 30 eingehend gewürdigt worden. Das Erscheinen der vierten Auflage nach so kurzer Zeit zeigt, wie groß das Bedürfnis nach tiefergehender nicht bloß populärer Aufklärung in weiten Kreisen ist. Das Buch hat diesmal wieder, wie schon in der vorigen Auflage, eine Reihe von Änderungen und Zusätzen erfahren: Das Raumproblem hat eine tiefere gruppentheoretische Formulierung gefunden: für einen Satz über den Krümmungsskalar im Riemannschen Raum ist ein Beweis gebracht; die neuen auf die Rel.-Th. bezüglichen Beobachtungsergebnisse sind berücksichtigt worden; entgegen der Mieschen Auffassung der Materie wird eine andere aufgestellt, wonach

„die Materie als Grenzsingularität des Feldes Ladung und Masse aber als Kraftflüsse im Felde erscheinen“.

WEYLs Buch stellt eine eigenartige, von der Einsteinschen abweichende Behandlung des Problems dar. Auf der Naturforscherversammlung zu Nauheim hat Einstein erklärt, daß er eine solche „lediglich aus mathematischen Symmetrieforderungen“ aufgebaute Relativitätstheorie nicht anerkennen könne. Indem sie auf die empirisch begründete Zuordnung einer Abstandsgröße  $ds$  zu zwei benachbarten Weltpunkten verzichte, beraube sie die Theorie einer ihrer solidesten empirischen Stützen und Prüfungsmöglichkeiten. Der allzuformalistische Charakter der Weylschen Theorie ist schon in ds. Ztschr. (a. a. O.) hervorgehoben worden. Wenn aber Einstein denselben Vorwurf erhebt, bedient er sich eines Arguments, das von anderer Seite gegen ihn selbst geltend gemacht wird, und sägt gleichsam den Ast ab, auf dem er selber sitzt.



Die eine Theorie wie die andere sind großartige Gedankenschöpfungen, deren Zusammenstimmen mit der Wirklichkeit noch nicht ausgemacht ist. WEYL ist überzeugt, daß seiner Theorie der gleiche Wahrheitswert zukommt, wie der Einsteinschen Gravitationstheorie; das Problem der Materie liegt auch bei ihm „noch ganz und gar im Dunkel“, aber er ist beglückt von der inneren Logik und Harmonie seines Systems. P.

**Die Relativitätstheorie Einsteins und ihre physikalischen Grundlagen.** Gemeinverständliche Darstellung von MAX BORN. Mit 129 Abb. und einem Porträt Einsteins. 242 S. Berlin, Julius Springer, 1920. Brosch. M. 34,—, geb. M. 42,—.

Die meisten gemeinfaßlichen Darstellungen der Einsteinschen Lehre vermögen schon ihrer Kürze wegen nur eine ungefähre Vorstellung von den Fragen, um die es sich handelt, und den Antworten, die Einstein auf sie gibt, zu vermitteln. In dem vorliegenden, etwas ausführlicheren Buche gibt der Verf. einen ziemlich vollständigen Bericht über die grundlegenden Tatsachen, und führt auch ihre philosophische Erörterung weiter als üblich durch. Die mathematischen Grundlagen der Theorie sind, soweit sie sich in elementarer Form darstellen lassen, klar und verständlich auseinandergesetzt.

Den ersten Hauptteil des Buches bilden drei Abschnitte, die mit dem Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik in Zusammenhang stehen: Geometrie und Kosmologie, Grundgesetze der klassischen Mechanik, das Newtonsche Welt-system. Der Verf. bringt hier häufig Dinge, die in den elementaren Lehrbüchern stehen, oder aus anderen Gründen eine Kürzung vertragen hätten, z. B. die eingehende Erörterung von Begriffen, wie Beschleunigung, Ableitung der Zentrifugalformel und der Dimensionsformeln für fast alle physikalischen Größen. Eine etwaige Raumerparnis hätte dem Abschnitte zugute kommen können, der sich — immerhin auf etwa 100 Seiten — mit den Gesetzen der Optik und Elektrodynamik beschäftigt. Zum Teil entspringt die Breite der Darstellung dem Wunsche, eine methodische Vorbereitung zu Minkowskis Bewegung im vierdimensionalen  $x, y, z, t$ -Raume zu geben. Dazu stellt BORN bereits die geradlinige, also eindimensionale Bewegung graphisch in einer  $x, t$ -Ebene dar und die Bewegung in der Ebene entsprechend im  $x, y, t$ -Raum. So soll der Gedanke vorbereitet werden, daß Raum und Zeit, die Erlebnis-inhalte ganz verschiedener Qualität sind, als objektive physikalische Maßgrößen gar nicht scharf geschieden werden können, sondern zu einer höheren Einheit in jenem vierdimensionalen Raume verschmolzen werden müssen. Einsteins Entdeckung besteht eben darin, daß

„Raum und Zeit noch ganz und gar am Ich kleben, und daß das Weltbild schöner und großartiger wird, wenn man diese Grundbegriffe einer Relativierung unterwirft“.

Die angedeutete allgemeine Begründung, die BORN der Relativitätslehre gibt, entspricht sicherlich der Anschauung Einsteins, und sie findet in dem Buche einen formvollendeten, schwungvollen Ausdruck. Unbestreitbar wertvoll, besonders auch für die Leser dieser Zeitschrift, ist der in den folgenden Abschnitten „Optik“ und „Elektrodynamik“ gebotene Bericht über wichtige hierher gehörige Tatsachen. So wird auf den von Maxwell ausgesprochenen Gedanken hingewiesen, daß durch Beobachtung der Jupitermondverfinsterungen eine Bewegung des Sonnensystems gegen den Weltenäther nachweisbar sein müßte. Die von Olaf Römer festgestellten Unterschiede beruhen auf einer Änderung der Entfernung Jupiter—Erde und müßten überlagert werden von anderen Schwankungen, nämlich Verfrühungen, wenn der Jupiter bei jener Bewegung vorn, Verspätungen, wenn er hinten steht. Die Tatsache, daß man keinen derartigen Einfluß gefunden hat, bedeutet eine ernste Schwierigkeit für die Äthertheorie. Sie wiederholt sich bei anderen bekannten und weniger bekannten optischen und elektrodynamischen Erscheinungen, die zu den oft phantastischen Vorstellungen über die Natur des Äthers geführt haben. Wie ist es hiernach zu verstehen, daß ein Forscher wie Lorentz, in dessen neuerer Äthertheorie die Erscheinungen so ablaufen, daß geradlinige, gleichförmige Bewegungen gegen den Äther nicht erkennbar sind, sich dennoch lange gescheut hat, die Leerheit der Äthervorstellung zuzugeben? Die Antwort lautet bekanntlich, daß wir den Äther als Vermittler bei der Ausbreitung der Lichtschwingungen nicht entbehren zu können glauben. Schwingungen ohne etwas, was schwingt, erscheinen undenkbar. Dem wird von BORN entgegengehalten, daß Licht immer nur an der Materie nachweisbar ist, daß also die Behauptung, auch im leeren Raume seien feststellbare Schwingungen, über jede mögliche Erfahrung hinausgeht. Ref. glaubt, daß die konsequente Verfolgung solcher Gedankengänge zu einer weitgehenden Skepsis gegenüber der Außenwelt führen muß; doch ist hier nicht der Ort, darauf weiter einzugehen.

Aus dem Gesagten dürfte erhellen, daß das BORNsche Buch etwa in der Mitte steht zwischen den populären „Einführungen“ und den wissenschaftlichen Werken, z. B. dem von v. Laue, die den ganzen Apparat des mathematischen Rüstzeuges spielen lassen. Die Lektüre des Buches wird vielen unserer Leser Freude bereiten. Sp.

**Einführung in die Relativitätstheorie.** Von Dr. VIKTOR ENGELHARDT. 48 S. mit 3 Abb. Volkstümlich-wissenschaftliche Lehr- und Lernbücher des Volkshochschul-Verlags „Humboldt-Hochschule“, Charlottenburg 1920.

Das Büchlein kann und will nicht mehr sein als eine erste Einführung und eine Anregung zu weiterem Studium. Diesem Zwecke wird es gerecht durch eine klare, verständliche Sprache, durch gute Einteilung in Haupt- und Unterabschnitte und durch Zusammenfassung des Inhalts jedes Teiles in eine knapp formulierte Überschrift. Wenn der Verf. gleich vielen anderen Autoren solcher Schriften glaubt „zu einer ruhigen und sachlichen Würdigung der Relativitätstheorie in Laienkreisen beitragen“ zu können, so kann ihm dies zugestanden werden — soweit dieses Ziel durch kurze Schriften oder Vorträge überhaupt erreichbar ist. Referent zieht entsprechend den einleitenden Worten der vorstehenden Besprechung des Bornschen Buches diese Möglichkeit in Zweifel. *Sp.*

**Das Raum-Zeit-Problem bei Kant und Einstein.** Von Dr. ILSA SCHNEIDER. Berlin, Julius Springer, 1921. 75 Seiten. M. 12,—.

Durch genaue Analyse der Einsteinschen Theorie und Vergleich mit zahlreichen Worten Kants bestätigt I. SCHNEIDER die schon mehrfach vertretene Ansicht, daß durch die Relativitätstheorie wohl Newtons, nicht aber Kants Raum-Zeit-Lehre widerlegt ist. Von den bereits erschienenen Arbeiten unterscheidet sich die neue Schrift dadurch, daß sie 1. neben den rein-philosophischen Büchern Kants sehr ausführlich die „Metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft“ heranzieht, 2. aber die Einsteinsche Behandlung der Frage nach der Endlichkeit der Welt berücksichtigt. Bei dem letzteren Problem geht Einstein von der Newtonschen Lösung aus. Würde nämlich die Newtonsche Gravitationstheorie genau gültig sein, so müßte man annehmen, daß wir uns auf einer „Materieinsel“ im leeren Raum befinden. Die Energie dieser „Insel“ würde dann allmählich in den leeren Raum abwandern, mit anderen Worten, der leere Raum würde als physikalische Ursache auftreten. Dagegen wendet sich Einstein. Er macht daher die entgegengesetzte Annahme wie Newton: er setzt das Universum als im Mittel homogen erfüllt voraus — und leitet aus seinen Grundgleichungen ab, daß dann das Weltall endlich geschlossen, aber unbegrenzt angenommen werden muß. — I. SCHNEIDER zeigt nun, daß auch Kant den Raum als physikalische Ursache ablehnt, daß auch er den Vorzug einer homogenen Erfüllung des Universums besprochen hat, und daß auch er sich gegen die „empirische Möglichkeit“ wendet, absolute Grenzen im Weltall zu setzen. *Sellien.*

**Das Naturbild der neuen Physik.** Von ARTHUR HAAS, a. o. Professor a. d. Univ. Leipzig. 114 S. Mit 6 Fig. im Text. Leipzig, Verein. wissensch. Verleger, 1920. M. 10,—.

Der Verfasser bietet in Vorträgen, die zuerst vor Laien in der Wiener Urania, dann vor Studierenden aller Fakultäten in Leipzig gehalten worden sind, zusammenfassende Darstellungen folgender Gegenstände der neuesten Forschung: Die elektromagnetische Theorie des Lichtes, die Molekularstatistik, die Elektronentheorie, die Relativitätstheorie, die Quantentheorie. Für Laien dürfte diese Kost teilweise schwer verdaulich sein, dem Lehrer der Naturwissenschaften bietet die Schrift eine knappe Übersicht der Forschung der letzten beiden Jahrzehnte. *P.*

**Mechanik. I: Grundbegriffe der Mechanik.** Von Prof. Dr. GEORG HAMEL. Mit 38 Fig. (Aus Natur u. Geisteswelt. 684. Bd.) 132 S. Leipzig, B. G. Teubner, 1921. M. 2,80, geb. M. 3,20 + 100 % T.-Z.

Diese auf drei Bändchen berechnete Einführung in die Mechanik verspricht eine der ausgezeichnetsten Darstellungen des Gegenstandes zu werden, weil sie sich nicht auf die theoretische Seite beschränkt, sondern die Frage der Beziehungen zur Wirklichkeit in besonders eingehender Weise berücksichtigt. Das Ziel ist keineswegs niedrig gestellt. In diesem ersten Bändchen wird vom Energieprinzip ausgegangen, daraus das Newtonsche Grundgesetz und die Gesetze der Planetenbewegung, sowie Schwerpunkts- und Momentensatz hergeleitet. Als Beispiele spezieller Flächenkräfte werden Reibung, Luftwiderstand und Stoß vorgeführt. In einem besonders beachtenswerten Anhang wird die Relativbewegung, dabei auch u. a. die Coriolissche Kraft behandelt. Lichtvolle Bemerkungen enthalten auch die auf wenige Seiten zusammengedrängten Bemerkungen über die quasigeometrische Gestalt der Mechanik in der Jacobischen und der Einsteinschen Form. Manchen wird es überraschen zu hören, daß auch die Einsteinsche Theorie schließlich wieder auf die Idee eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit führt. Ebenso bemerkenswert ist der Hinweis, daß Schwerfelder durch Koordinatenänderung wohl erzeugt, aber nicht immer weggeschafft werden können. *P.*

**Die Starre. Von HERMANN HAHN. Die Schraubenfeder.** Von KURT FISCHER. Heft 4 der Mitteilungen der Preußischen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Leipzig, 1920. Quelle & Meyer. 20 M.

Unter Starre einer Schraubenfeder versteht HAHN die Belastungsänderung, welche die Feder um 1 cm dehnt. Er zeigt in seinem Aufsatz zunächst, wie dieser Begriff als ein Bedürfnis der



Einführung in die Lehre von den Kräften und ihren Wirkungen aus den von ihm geleiteten Übungen herausgewachsen ist und welche umfassende Bedeutung diese Größe, auch in ihrer Übertragung auf andere elastische Körper, für die Gleichgewichtslehre hat. Es ist besonders reizvoll, diesen Entwicklungsgang und das Ringen nach Klärung der Begriffe an der Hand von HAHNS Darlegungen zu verfolgen, die den ersten Teil seines Aufsatzes bilden.

Im zweiten Teil wird die schwingende Schraubenfeder behandelt. Es wird zunächst gezeigt, wie die methodische Behandlung von Schwingungsbewegungen im Unterricht mit logischer Notwendigkeit auf den in der Gleichgewichtslehre gewonnenen Begriff der Starre zurückführt. Daran schließen sich eine Untersuchung über die Stellung der Federschwingungen in der Bewegungslehre und Vorschläge für die mathematische Behandlung der Schwingungslehre im Unterricht. Es wird alsdann gezeigt, wie der Begriff der Starre bei den Torsionsschwingungen, aber auch bei allen anderen Arten von Schwingungen, die gleiche maßgebende Bedeutung hat.

Es ist ganz unmöglich, im Rahmen einer kurzen Besprechung dem methodischen Wert dieser Untersuchung einigermaßen gerecht zu werden. Sie ist nicht leicht zu lesen, sondern erfordert, wenn sie Nutzen bringen soll, ein sorgfältiges Studium, aus dem aber für jeden Lehrer der Physik reiche Anregung und Förderung herauspringen wird.

Im zweiten Aufsatz behandelt KURT FISCHER die Schraubenfeder im besonderen. Nach einer kurzen Vorbemerkung über die Herstellung einer Schraubenfeder wird ihr Verhalten beim Dehnen eingehend untersucht; es wird gezeigt, daß hierbei das Drahtmaterial eine Drillung, aber keine Biegung im Sinne der axial wirkenden Kraft erfährt, und es wird der Zusammenhang von Federverlängerung und Drahtdrillung nachgewiesen; es wird dann die Änderung der Windungszahl bei der Beanspruchung der Feder untersucht und gezeigt, wie eine dabei auftretende Krümmung der Federachse vermieden oder vermindert werden kann.

An diesen vorbereitenden Teil schließt sich ein Abschnitt, in dem die Starre aus den elastischen Konstanten des Drahtes und den geometrischen Verhältnissen der Feder abgeleitet wird. Die zusammenfassende kritische Darstellung der hierüber veröffentlichten Untersuchungen sowie die eingehende Diskussion der Resultate sind um so wertvoller, als sie dem Leser das Aufsuchen der z. T. schwer zugänglichen Originalarbeiten ersparen.

Es folgt nun der dritte Hauptteil über die Schwingungen der Schraubenfeder, in dem zu-

nächst die Versuchsanordnung geschildert wird. Daran schließt sich eine Untersuchung der Ursachen für die Abweichungen vom einfachen Sinusgesetz; als solche ergeben sich die Veränderlichkeit der Starre, die eingehend untersucht wird und zwar mit dem Ergebnis, daß zwischen der Starre im Ruhezustand der Feder und bei Schwingungen grundsätzlich zu unterscheiden ist; ferner wird der Einfluß der Dämpfung untersucht und ihre Ursachen festgestellt und zuletzt das Auftreten gekoppelter Schwingungen behandelt, die häufig Störungen bei Schwingungsversuchen mit Schraubenfedern veranlassen. Im Anschluß an diese Untersuchungen wird eine neue Gleichung für die Schwingungsdauer aufgesucht, die dem Umstand Rechnung trägt, daß Geschwindigkeit und lebendige Kraft der einzelnen Windungen der schwingenden Feder sich von Windung zu Windung ändern. Diese Absicht wird dadurch erreicht, daß in der bekannten Formel für die Schwingungsdauer Masse und Starre der Feder mit Faktoren multipliziert werden, die vom Verhältnis der angehängten Masse zur Federmasse abhängig sind. Den Schluß bildet eine experimentelle Prüfung und Bestätigung der errechneten Gleichung und ein Hinweis auf ihre Bedeutung für andere Schwingungsvorgänge z. B. auch elektrische Schwingungssysteme.

Beide Aufsätze bilden ein Ganzes, denn sie ergänzen sich in methodischer, experimenteller und theoretischer Hinsicht in glücklichster Weise und sind geeignet, dem Leser nach vielen Richtungen hin Anregung und Förderung zu bringen. Schade nur, daß der hohe Preis des Heftes den Leserkreis stark beschränken muß. *K. Noack.*

**Lehrbuch der Experimentalphysik** für technische Lehranstalten und zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. K. DÜSING. Mit 385 Abb. und 1 Spektraltafel. 269 S. Leipzig, Dr. Max Jänecke, 1920. M. 15,60.

Das Buch gibt die einfachsten Lehren der Physik in ganz elementarer Darstellung, nur in der Wärmelehre geht es darüber hinaus durch Berücksichtigung des Carnotschen Kreisprozesses und des 2. Hauptsatzes. Auf technische Bewertungen geht das Buch fast nicht ein; die im Vorwort hervorgehobenen Gegenstände: Kreiselpompe, Gradlaufapparat, Schiffskreisel sind doch zu dürftig behandelt, als daß darauf Wert zu legen wäre. Der Verfasser hat im übrigen darin Recht, daß die Physik auch auf den technischen Schulen als ein allgemein bildendes Fach anzusehen sei und sich nicht nur auf das, was zur Technik in Beziehung steht, beschränken solle. Die Darstellung selbst geht nicht über das Herkömmliche hinaus und beschränkt sich vielfach auf dogmatische Mitteilung. Was z. B. über

Stromarbeit und über das Ohmsche Gesetz gesagt ist, ist doch recht unzureichend. P.

**Essai d'un traité élémentaire de physique selon les théories modernes.** Par J. TILIEUX. Avec 698 figures, 8 planches hors texte et 7 planches en couleurs. 2. édition. 793 p. Paris et Liège, Librairie Ch. Béranger, 1921.

Das Buch ist behördlich zugelassen für Schulbibliotheken und zur Preisverteilung an Schüler. Schon der Umfang läßt erkennen, daß es weit über den Rahmen eines Schulbuches hinausgeht. Wie alle nach französischem Vorbilde verfaßten Lehrbücher ist es durch eine straff systematische Gliederung des Stoffes ausgezeichnet, die im vorliegenden Fall sogar ausgesprochenermaßen darauf gerichtet ist, einen einheitlichen logischen Zusammenhang des ganzen Gebiets herzustellen, der bei den Bewegungen der Weltkörper beginnt und bei den Wirbeln des Äthers endet. Dabei tritt das induktive Prinzip stark zurück, vorherrschend ist die Deduktion. An die Statik und Dynamik der Welten schließen sich als besondere Fälle die Mechanik der irdischen Körper und danach die Mechanik der Moleküle an. Die Wärmelehre erscheint als Statik und Dynamik der Atome, die Elektrizitätslehre als Statik und Dynamik der Korpuskeln, die Optik als Lehre von den elektromagnetischen Wellen (den Anfang macht das Huygenssche Prinzip). Die beiden großen Abschnitte „Le Pondérable“ und „L'Impondérable“ sind getrennt, erscheinen aber schließlich doch verbunden durch die Möglichkeit, daß das Ponderable nur eine Modalität des Imponderablen ist.

Auf Einzelheiten kann hier nicht eingegangen werden. Die Verdienste deutscher Forscher werden mehrfach anerkannt, seltsamerweise wird Otto von Guericke als holländischer Physiker bezeichnet (wohl weil sein berühmtes Werk in Leiden gedruckt ist). P.

**Grimsehls Lehrbuch der Physik.** Für Oberlyzeen usw. bearbeitet von Dr. P. SCHAUFF und Dr. B. ALBRECHT. (Leipzig, B. G. Teubner, 1920, geb. M. 9, -.)

Eine freie Bearbeitung des bekannten Werkes von GRIMSEHL für die Oberstufe höherer Lehranstalten. Die Lehrpläne der höheren Mädchenschulen sind nur nebenher berücksichtigt, das soll aber kein Tadel sein. Mit dem Original teilt die Bearbeitung die formalen Vorzüge: Reichliche Ausstattung mit guten Bildern, leichtverständliche und anschauliche Darstellung, Benutzung aller Hilfsmittel der modernen Experimentier-technik. Das Buch verfährt streng induktiv und berücksichtigt die technischen Anwendungen in weitestem Maße. Wenn Referent es als Ganzes trotzdem ablehnen zu müssen glaubt, so hat das inhaltliche Gründe. Nicht daß es alte sachliche

Fehler wiederholte, im Gegenteil, man merkt auch hier die erfreuliche Wirkung der modernen Kritik, so z. B. in der von Poske übernommenen Ableitung der Zentrifugalkraft oder der Einführung des Widerstandsbegriffes auf Grund des Energieverlustes u. dgl. Verbesserungsbedürftig erschienen mir nur ein paar Stellen (S. 148 mechanische Wärmetheorie = kinetische Theorie, S. 291 Ladungsgrad = Potential u. a.). Aber man höre folgendes: 9 Seiten Dynamomaschine, 7 Seiten Elektromotor und Energieübertragung, 4 + 6 Seiten Hertzsche Wellen- und Funkentelegraphie usw. Demgegenüber für Ionen- und Elektronentheorie bei der Elektrolyse, den Kathodenstrahlen, dem Radium, in einigen Absätzen so nebenbei erwähnt, im ganzen reichlich eine Seite. Nichts von den allgemeinen Gesetzen der Ionisierung der Gase, nichts vom Verhältnis  $e/m$ , nichts von Wilsons Versuchen, nichts von Rutherfords Zählung der  $\alpha$ -Teilchen (Grimsehl bringt sogar ein Photogramm), nichts vom Röntgenspektrum, von Moseleys Gesetz und der Ermittlung der Kristallgitter usw. Warum? Es gibt nur eine Erklärung: Die Verfasser haben absichtlich alles Theoretische, ich meine nicht das Mathematische, sondern das konstruktive, die Erkenntnis wirklich vorwärts bringende Element der physikalischen Theorien, ausgeschlossen. Was das Grimsehlsche Werk, besonders seit Hillers' Neubearbeitung, so besonders wertvoll macht, daß es ohne große mathematische Hilfsmittel auf so viele Gipfel der Forschung führt, gerade das haben die Bearbeiter ängstlich ausgemerzt und damit leider die kaum sich wieder in diesem Maße bietende Gelegenheit verpaßt, ein wirklich modernes Lehrbuch für die Schule zu schreiben. Die Schülerin, die dieses Buch studiert, mag über Löschfunken und Turbodynamos Bescheid wissen, von dem, was die große Mehrzahl der lebenden Physiker in Aten hält, weiß sie so gut wie nichts. — Schuld an diesem Versagen ist die im Schlußwort des Buches zum Ausdruck kommende (Machsche) „Hypotheseophobie“. Es gibt ja freilich auch heute noch viele, die alles „Hypothetische“, ganz besonders in der Schule, ablehnen. Solche werden nicht leicht ein ihren Wünschen besser entsprechendes Lehrbuch finden. Meiner Auffassung vom Zweck des physikalischen Unterrichts läuft diese Tendenz gerade entgegen.

Bavink.

**Die Auskunft.** Eine Sammlung lexikalisch geordneter Nachschlagebücher über alle Zweige von Wissenschaft, Kunst und Technik, herausgeg. von Dr. FRANZ PÄHLER. Heft IV: Physik, von Dr. FRANZ PÄHLER. 91 S. M. 3,60 + Sort.-T.-Z.

Auf knappem Raum werden etwa 800 Stichwörter aus der Physik behandelt, selbst die neuesten Fortschritte fehlen nicht, und auch biographi-



sche Daten über berühmte Physiker sind beigegeben. Die Erklärungen sind verständlich gehalten und geben auch den Laien wenigstens eine Vorstellung, worum es sich bei einem bestimmten Gegenstand oder Begriff der Physik handelt. Auch dem Fachmann wird manche Auskunft über ein ihm ferner liegendes Gebiet willkommen sein, besonders aber kann es Schülern als Nachschlagebuch empfohlen werden.

Andere Bändchen derselben Sammlung behandeln: Anorganische Chemie nebst Mineralogie (139 S.), und Geologie (206 S.). Letztere wird von fachmännischer Seite wegen ihrer Vollständigkeit und Gründlichkeit besonders gerühmt.

P.

**Einführung in die moderne drahtlose Telegraphie und ihre praktische Verwendung.** Von Dipl.-Ing. Dr. phil. HUGO MOSLER. 240 S. 218 Abb. Braunschweig, Vieweg u. Sohn, 1920. M. 24,—.

Das vorliegende Buch ist die erste zusammenfassende Darstellung dieses Gebietes nach dem Kriege, das jetzt zu einem ersten Abschluß gelangt ist. Unter Vermeidung mathematischer Entwicklungen und Zurückstellung der theoretischen Gesichtspunkte hebt das Buch die praktische Seite hervor. Es wendet sich daher an die Leser, die theoretischen Erörterungen über die Vorgänge in der drahtlosen Telegraphie ferner stehen, die aber einen Einblick und Überblick gewinnen wollen wegen der überragenden Bedeutung, welche die drahtlose Nachrichtenübermittlung für uns im Verkehr mit dem Auslande und im inneren Funk- und Fernsprechbetrieb hat. Für eingehendes Studium verweist der Verfasser selbst auf die ausgezeichneten Lehrbücher von ZENNECK und REIN, die leider beide einer bis auf den heutigen Stand herangeführten neuen Ausgabe bedürfen. Inhaltlich gliedert sich das Buch in XIX Abschnitte: Zunächst werden die Entladungsvorgänge, Abstimmung, Koppelung dargestellt. Darauf kommen die Stationsbestandteile, die einzelnen Sendeverfahren, die Empfänger und Verstärker. Hieran schließen sich Abschnitte über den Einfluß des Zwischenmediums, über Richtstationen, über die technische Einrichtung einer Station mit Meßinstrumenten, Kraftquellen, Mastbau, dann Stationen für Spezialzwecke und schließlich ein Abschnitt über den praktischen Betrieb, von dem heute die Ausführungen über Schnell- und Duplexbetrieb von besonderem Interesse sind.

Das Buch hält, was es im Vorwort verspricht: es will eine Einführung geben. Diese wird auch dem Physiker, der diesem Spezialgebiet ferner steht, gute Dienste leisten. Auch unter den alten Feldfunkern wird es viele Leser finden, da darin einer von den ihrigen seine Erfahrungen aus

vier Jahren Feldfunkerei niederlegen konnte. Für eine Neuauflage wäre eine eingehendere Darstellung der Elektronenröhren und Ausführungen über Hochfrequenztelephonie längs Leitungen erwünscht, die bereits zur praktischen Einführung durch die Post gelangt ist.

F. Keutsl.

**Leitfaden der technischen Wärmemechanik.** Kurzes Lehrbuch der Mechanik der Gase und Dämpfe und der mechanischen Wärmelehre. Von Prof. Dipl.-Ing. W. SCHÜLE. 2. verb. Aufl. Mit 93 Textfig. u. 3 Tafeln. Berlin. Julius Springer, 1920. M. 18,—.

Wer ein Bild davon gewinnen will, in welchem Maße die Prinzipien der Thermodynamik in der Theorie der Wärmemaschinen heute zur Anwendung gelangt sind, der greife zu diesem inhaltreichen Buche, das rechnermäßig durchgeführte Darstellungen der Wirkung der Gase und Dämpfe in den kalorischen Maschinen enthält. Besonders bemerkenswert ist die Rolle des Entropiebegriffs, dessen Diagramme seit dem Auftreten der Dampfturbinen große praktische Bedeutung gewonnen haben, hauptsächlich weil sich mit ihrer Hilfe auch der Einfluß der Strömungswiderstände auf die Zustandsänderungen in Düsen und Turbinenkanälen übersichtlich verfolgen läßt. (Die Entropie wird dadurch eingeführt, daß ihr Zuwachs ( $dS$ ) für die Wärmeenergie dasselbe bedeutet, was der Weg- oder Volumzuwachs für die mechanische Energie, daß also  $dQ = TdS$  analog ist zu der Energiegleichung  $L = pdv$ .) Neu aufgenommen sind in diese Auflage die Grundlagen der Lindschen Luftverflüssigung.

P.

**Naturgeschichte einer Kerze** von M. FARADAY. Sechs Vorlesungen für die Jugend. Herausgegeben von RICHARD M. MEYER. Nebst einem Bildnis FARADAYS und 35 Abb., 7. Auflage, 253 S., Leipzig, QUELLE u. MEYER 1920. Geb. M. 8,—.

Das Büchlein ist seit der 2. Auflage von RICHARD M. MEYER herausgegeben und von diesem mit einer trefflichen Lebensbeschreibung FARADAYS versehen worden, die für die Jugend ungemein anregend ist und ihr seine vorbildliche Persönlichkeit nahebringt. Die Vorlesungen selbst gehören zu den klassischen Schätzen unserer volkstümlichen Literatur. Ein großer Teil der von FARADAY beschriebenen Versuche ist allerdings seither in den eisernen Bestand unserer Schulchemie übergegangen. Auch sollte die Jugend all die schönen Versuche nicht nur aus der Beschreibung kennen lernen, sondern selbst sehen, womöglich selbst anstellen. Erst wenn das Buch hierzu den Anlaß gibt, ist es für die Jugendbildung von nachhaltigem Wert.

P.

**Kurzes Lehrbuch der Chemie** von Prof. Dr. WERNER MECKLENBURG. Zugleich 12. Auflage von Roscoe-Schorlemmers Kurzem

Lehrbuch der Chemie. Mit 100 Abbildungen und 1 Spektraltafel. Braunschweig, Fr. Vieweg u. Sohn, 1919. XIX u. 756 S. M. 21,—, geb. M. 25,—.

Das früher sehr geschätzte Lehrbuch, das 1898 zuletzt aufgelegt worden war (vgl. *ds. Zeitschrift* 12, S. 184, 1899), hat nunmehr eine durchgreifende Umgestaltung erfahren. Sie ist mit vielem Geschick und tüchtiger Sachkenntnis erfolgt, so daß ein wirklich modernes Buch entstanden ist. Es ist vom Geiste der allgemeinen und physikalischen Chemie durchtränkt; aber auch die speziellen Teile der anorganischen wie organischen Chemie kommen zu ihrem Recht, und man findet auch über die Hauptverfahren der technischen Chemie gute Auskunft. Welches Kapitel des Buches man daher auch aufschlägt — Phasenregel wie elektrolytische Dissoziation, Halogene wie radioaktive Elemente, heterozyklische Systeme wie Kohlehydrate, Technik des Eisens wie Explosivstoffe usw. —, stets ist man von dem reichen Inhalt, der systematischen Anordnung und der klaren Darstellung befriedigt. Irrtümer, wie die Bezeichnung der Bildung von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  als Rosten des Eisens (S. 69), finden sich selten. Die geschichtlichen Angaben sind knapp und sachgemäß; jedoch muß der zweimal aufgestellten Behauptung (S. 2 u. 18), daß das Gesetz von der Erhaltung des Stoffes vor Lavoisier unbekannt war, widersprochen werden. Jedenfalls darf das auch in der Ausstattung zu lobende Buch jedem, der eine streng wissenschaftliche und dabei elementare Übersicht über das Gesamtgebiet der Chemie sucht, warm empfohlen werden.

J. Schiff.

**Ad. Stöckhardts Schule der Chemie** oder erster Unterricht in der Chemie, versinnlicht durch einfache Versuche. 22. Auflage, bearbeitet von Prof. Dr. LASSAR-COHN. Mit 200 Abbildungen und einer farbigen Spektraltafel. Braunschweig, Friedr. Vieweg u. Sohn, 1920. XXVI u. 533 S. M. 24,—, geb. M. 32,—.

Während W. Ostwalds „Schule der Chemie“ kaum noch an den alten, zu seiner Zeit allbekannten „Stöckhardt“ erinnert, hat LASSAR-COHN das Buch zwar gründlich, den Anforderungen der Zeit entsprechend, umgearbeitet, aber doch seinen Charakter gewahrt (vgl. *ds. Zeitschr.* 22, S. 65). Es stellt daher — insbesondere in der vorliegenden, inhaltlich vielfach verbesserten Auflage — eine durchaus zweckmäßige, leicht verständliche und doch gründliche Einführung in die chemische Wissenschaft und Technik, verbunden mit einer vorzüglichen Anleitung zum Selbstexperimentieren, dar. So ist der neue Stöckhardt geblieben, was der alte war, d. h. kein Schulbuch, aber eine wirkliche „Schule der Chemie“, die allen denen, die Selbstbelehrung in ernster Weise erstreben, aufs wärmste empfohlen werden kann.

J. Schiff.

**Lehrbuch der Mineralogie.** Von Dr. P. NIGGLI, Prof. d. Mineralogie u. Petrographie a. d. Techn. Hochsch. u. Univ. Zürich. Mit 560 Fig. im Text. Berlin, Gebr. Bornträger 1920. XII u. 694 S. 8°. M. 80.—.

Das Buch faßt die neueren Forschungen auf dem Gebiet der allgemeinen Mineralogie zu einem eigenartigen und groß angelegten Gesamtbilde zusammen. Für das Hochschulstudium bestimmt, wird es doch nicht verfehlen, auch auf den Unterricht der höheren Lehranstalten befruchtend einzuwirken. Hier wird nicht nur der Chemiker und Geologe, sondern auch der Physiker und Mathematiker tiefgehende Belehrungen schöpfen. Den Mathematiker werden besonders anziehen die allgemeinen Ableitungen über die Raungitter und die diskontinuierliche Struktur der Materie, die in lichtvoller Weise zu den Symmetrieklassen hinführen, den Physiker die gesamte Kristalloptik mit ihren überraschend neuartigen bildlichen Darstellungen, sowie die Bestimmung der Kristallstruktur mit Hilfe der Röntgenstrahlen, die das besondere Arbeitsgebiet des Verfassers bildet, der indessen auch noch auf anderen Gebieten mit in vorderster Front tätig ist. Den Chemiker, Mineralogen und nicht zuletzt den Geologen werden zudem noch besonders interessieren die eingehenden Darlegungen über die Pseudomorphosen, sowie über die Genesis und Paragenese der Mineralien überhaupt. Denn die Lehre der Mineralien ist hier in großen Zügen mehr als historische Wissenschaft behandelt, gerade das Werden wird vorzüglich zur Anschauung gebracht und alle Ausführungen darüber sind durchdrungen von dem Geiste der neueren Chemie. Wenn wir die drei Hauptteile des Buches angeben, nämlich: „1. Allgemeine Lehre von den Kristallen“, 2. dgl. „von den sog. amorphen Mineralien“, 3. dgl. „von der Entstehung und dem Zusammenvorkommen der Mineralien“, so geschieht dies, damit man erkennt, daß hier ein Hauptteil der sonstigen Lehrbücher, nämlich die spezielle Physiographie der Mineralien nur kurz behandelt ist. Dafür wird eine großzügige Neuaufstellung der allgemeinen Mineralogie geboten, die dennoch eine Unsumme speziellster Angaben zu den einzelnen Mineralien enthält. Bei den zahlreichen kolloidchemischen Anwendungen in dem Kapitel von den amorphen Mineralien wird auch der interessante „rhythmischen Fällungen“ gedacht, doch vermißt man dieses Stichwort im Sachregister. Dringend erwünscht wäre auch ein Namenregister. Die Entdeckung der Röntgenstrahlen fällt nicht in das Jahr 1885, sondern 1895. Die Ausstattung des Buches verdient höchstes Lob; zumal die Figuren zeichnen sich durch kraftvolle Linienführung und stattliche Größe aus. Kurz, das Ganze ist kein sedimentär entstandenes Kon-



glomerat von zusammengetragenen und nur verkitteten wissenschaftlichen Forschungsergebnissen, sondern ein magmatisches Produkt größter Vielseitigkeit des Materials, mit klar auskristallisierten Bestandteilen, die alle einzeln betrachtet, den einheitlichen Ursprung aufweisen und einmal von gleicher Glut erfaßt waren. O. Ohmann.

**Legierungen.** Von Dr. M. v. SCHWARZ, Privatdoz. a. d. Techn. Hochsch. München. Mit 45 Abb. Stuttgart 1920, F. Enke. 99 S. gr. 8°. Geh. M. 16.—

Die Schrift, ein Sonderabdruck des vom Verfasser neubearbeiteten Abschnittes „Legierungen“ aus Dr. O. DAMMERS „Chemische Technologie der

Neuzeit“, wird vielen willkommen sein. Ihr Hauptwert liegt auf dem Gebiete der Technik, doch ist sie auch für den Unterricht wertvoll. Sie belehrt über die neueren Auffassungen von der Natur der Legierungen, wobei auch das Wesen des Eutektikums näher gekennzeichnet wird, enthält einen interessanten geschichtlichen Abschnitt und vor allem eine ausführliche Übersicht aller zur Zeit bekannten Legierungen, von der die zahlreichen Aluminlegierungen bemerkenswert sind, und aus der z. B. der Biologe nähere Angaben über Injektionslegierungen entnehmen kann. Zahlreiche instruktive Diagramme unterstützen die Darstellung. Die Schrift ist warm zu empfehlen. O.

### Korrespondenz.

**Bemerkung zu dem Aufsatz von K. Rosenberg** (ds. Ztschr. 33 [1920], 3) „Über einige einfache physikalische Schulversuche“. Von Prof. Dr. GEORG WALLENBERG.

In Nr. 9 („Ein Versuch aus der physiologischen Optik“, S. 91) des oben angeführten Aufsatzes sagt Rosenberg: „Im zweiten Bande meines Experimentierbuches habe ich auf S. 471 (Fig. 534) einen freihändig mit einer Stecknadel und einer Visitenkarte ausführbaren Versuch beschrieben, dessen ursprünglichen Autor ich damals nicht anzugeben wußte. Nachträglich fand ich dann in dem Buche „Physikalische Apparate und Versuche aus dem Schäffermuseum“ (von H. Bohn, Berlin, Salle, 1902) auf S. 80 unter 210 eine einfache Vorrichtung unter dem Namen des „Le Catschen Apparates“ beschrieben, mit welcher der erwähnte Freihandversuch — besonders für Schüler — leichter ausführbar sein dürfte.“ — Hier scheint eine Namenverwechslung (oder ein Druckfehler?) vorzuliegen: es handelt sich nämlich offenbar um den „Le Catschen Apparat“. Le Cat (*Traité des sens. Rouen 1740*, S. 298) beschreibt einen Versuch, der dem Prinzip nach die Methode der Untersuchung der „entoptischen Erscheinungen“ (vergl. v. Helmholtz, *Handbuch der physiologischen Optik*, 2. Aufl. [1896], § 15, S. 184 ff.) vollständig enthält, indem er das umgekehrte Schattenbild einer dicht vor das Auge gehaltenen Nadel im Zerstreuungskreis eines kleinen Lichtpunktes wahrgenommen hat. Nach einer Bemerkung des bekannten Historikers der Augenheilkunde Hirschberg hat übrigens bereits H. Fabri (*Synopsis optica*, Lyon 1667) die richtige Erklärung für diesen Versuch gegeben. — Laqueur („Über pseudentoptische Gesichtswahrnehmungen“, Graefes

Archiv, 36 (1) (1890), S. 62—82) hat einen kleinen, mit Linsen ausgestatteten Apparat, von ihm „Pseudentoptoskop“ genannt, konstruiert, mit dem es ungemein leicht ist, die beschriebene Erscheinung zu beobachten; die Schärfe der mit demselben (bis zu ca. 25facher Vergrößerung) pseudentoptisch wahrgenommenen Objekte (z. B. eines Mückenflügels) ist überraschend.

Verf. hat in einer kleinen Abhandlung „Der Le Catsche Versuch und die Erzeugung farbiger Schatten auf der Netzhaut“ (*Pflügers Archiv*, 48 [1890], S. 537—543) im ersten Teil die vollständige Theorie des Le Catschen Versuches entwickelt, während im zweiten Teil die Versuchsanordnung derart verändert wird, daß neben dem weißen, im Zerstreuungskreis erscheinenden Punkte das ganze übrige Gesichtsfeld farbig erleuchtet wird: das Schattenbild der Nadel erscheint dann in dieser Farbe, was durch einen objektiv angeordneten Versuch bestätigt und erklärt wird. — Jedenfalls verdient der Fabri-Le Catsche Versuch mindestens mit demselben Recht wie der bekanntere Scheinersche Versuch, im physikalischen Unterricht eingebürgert zu werden; gibt es doch wertvolle Aufschlüsse über die Art und Weise, wie unsere Gesichtswahrnehmungen zustande kommen.

**Berichtigung.** In meiner Arbeit „Über die Bestimmung des Nullpunkts bei der Wage“, Bd. 33, S. 54, 1920, sind auf Seite 56  $\varepsilon_2$  und  $\varepsilon_4$  versehentlich mit dem umgekehrten Vorzeichen eingesetzt. Demzufolge ist der Satz „Auch das positive  $k_4$  und das negative Glied mit  $\varepsilon_2 - \varepsilon_4$  werden sich teilweise kompensieren“ wegzulassen. Das Resultat wird jedoch im wesentlichen nicht beeinflusst.

H. Greinacher, Zürich

# Himmelserscheinungen im Mai und Juni 1921.

12<sup>h</sup> = Mittag, 0<sup>h</sup> und 24<sup>h</sup> = Mitternacht. (Berliner Zeit = MEZ - 0,1<sup>h</sup>).

MEZ 0 <sup>h</sup>	Mai							Juni					
	1	6	11	16	21	26	31	5	10	15	20	25	30
♄	AR 1 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	2.30	3.12	3.56	4.40	5.21	5.59	6.30	6.56	7.15	7.26	7.29	7.24
	D 12 <sup>o</sup>	14	18	22	24	25	26	25	24	23	21	20	19
♀	AR 1 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	1.29	1.26	1.27	1.32	1.39	1.49	2.1	2.15	2.30	2.46	3.3	3.22
	D 14 <sup>o</sup>	13	11	10	9	9	10	10	11	12	13	14	15
♃	AR 2 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	2.50	3.9	3.29	3.49	4.9	4.29	4.49	5.10	5.31	5.52	6.12	6.33
	D 14,8 <sup>o</sup>	16,3	17,7	18,8	20,0	21,0	21,8	22,9	23,0	23,3	23,4	23,4	23,2
♂	AR 3 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	3.51	4.5	4.20	4.35	4.49	5.4	5.19	5.34	5.49	6.3	6.18	6.33
	D 20 <sup>o</sup>	21	21	22	23	23	23	24	24	24	24	24	24
♃	AR 10 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>		10.44		10.45		10.48		10.51		10.55		11.0
	D 9 <sup>o</sup>		9		9		9		9		8		8
♄	AR 11 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>				11.19				11.20				11.24
	D 7 <sup>o</sup>				7				7				6

A = Sternzeit - mittl. ☉ Zeit, Zeitgl. = mittl. ☉ Zeit - wahre ☉ Zeit.

Zeitgl.	2 <sup>h</sup>		3.		4.		5.		6.		7.		
	33m 21s	53.4	12.46	32.29	52.12	11.55	31.37	51.20	11.3	30.46	30.29	10.11	29.54
	-2m 53s	-3.25	-3.44	-3.48	-3.39	-3.16	-2.41	-1.54	-0.59	+0.2	1.6	2.11	3.13

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☉-Randes.

Aufg.	4 <sup>h</sup> 29 <sup>m</sup>	4.21	4.12	4.3	3.56	3.49	3.44	3.40	3.37	3.36	3.36	3.37	3.40
Unterg.	19 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	19.35	19.42	19.50	19.58	20.5	20.12	20.17	20.22	20.25	20.27	20.27	20.27

Breite von Berlin. Ortszeit. Je 5. Aufgang und folgender Untergang des oberen ☾-Randes.

MEZ	☾	Aufgang		10. 6.20		15.12.20		20.18.28		25.22.45		31. 0.55	
		5 <sup>d</sup> 3 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	5 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup> 47 <sup>m</sup>	10.22.30	16. 1.35	21. 3.56	26. 8. 2	31.13.20					
Mai													
Juni	☾	Aufgang	5 <sup>d</sup> 3 <sup>h</sup> 20 <sup>m</sup>	10. 8.50	15.15. 7	20.20. 6	25.22.39						
		Untergang	5 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	10.23.12	16. 1.26	21. 4.54	26.10. 1						

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	Mai 7 <sup>d</sup> 22 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup>	Mai 14.16.25	Mai 14.16.25	Mai 21.21.15	Mai 21.21.15	Mai 29.22.45	Mai 29.22.45	Mai 29.22.45
	Juni 6 <sup>d</sup> 7 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	Juni 12.22.0	Juni 12.22.0	Juni 20.10.41	Juni 20.10.41	Juni 28.14.17	Juni 28.14.17	Juni 28.14.17

Der Mond tritt zu folgenden Zeiten (MEZ) in die abgerundeten Sternbilder des Tierkreises:

Sternbild	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
Länge	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°
Mai	6,3 <sup>d</sup>	8,5	10,7	12,7	14,8	16,9	19,2	21,5	23,9	26,3	28,9	31,3
Juni	2,7 <sup>d</sup>	4,9	7,0	9,0	11,1	13,2	15,4	17,8	20,2	22,7	25,2	27,7
Juni	30,1 <sup>d</sup>	2,3									1,6 <sup>d</sup>	4,0

Tägliches Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Ortszeit. Breite von Berlin.

Tag	♃ Abendstern nachm.	Tag	♀ Morgenstern vorm.	♂ unsichtbar	♃ (Löwe) nachm. vorm nachm.	♄ (Löwe) nachm. vorm nachm.
Mai 23	9,4 <sup>h</sup>	Mai 20	A 2,8 <sup>h</sup> D <sub>m</sub> 3,1 <sup>h</sup>	—	D <sub>a</sub> 9,4 U 1,8 <sup>v</sup>	D <sub>a</sub> 9,6 U 2,1 <sup>v</sup>
30	D <sub>a</sub> 9,6 <sup>h</sup> U 10,1	Juni 9	A 2,1 <sup>h</sup> D <sub>m</sub> 2,7 <sup>h</sup>	—	D <sub>a</sub> 9,8 U 0,5 <sup>v</sup>	D <sub>a</sub> 10,2 U 0,8 <sup>v</sup>
Juni 9	D <sub>a</sub> 9,8 <sup>h</sup> U 10,2	29	A 1,4 <sup>h</sup> D <sub>m</sub> 2,8 <sup>h</sup>	—	D <sub>a</sub> 10,1 U 11,2 <sup>n</sup>	D <sub>a</sub> 10,3 U 11,5 <sup>n</sup>
17	10,0 <sup>h</sup>					

A = Aufgang; U = Untergang; D<sub>a</sub> = Abend-Dämmerung; D<sub>m</sub> = Morgen-Dämmerung.

Verfinsterungen der Jupiter-Monde (MEZ). Nachmittags-Stunden. E = Eintritt. A = Austritt.

Mai 10, 8<sup>h</sup> 57<sup>m</sup> A I

Juni 24, 9<sup>h</sup> 53<sup>m</sup> A II

Sommersanfang Juni 22, 1<sup>h</sup> MEZ.

Venus als Morgenstern im größten Glanz Mai 28, sichtbar 0,4 Stunden. *M. Koppe.*

Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagshandlung gestattet.