

## Über die Selbstinduktion und die Eigenfrequenz von Schwingungskreisen.

Von Prof. Dr. Franz Hochheim in Weißenfels i. S.

Bei der Behandlung der Wechselströme bietet die Einführung der Selbstinduktion gewisse didaktische Schwierigkeiten. Mit dem bloßen „Eintreten und Austreten von Kraftlinien“ ist es dabei nicht getan. Die Phasenverschiebung zwischen dem Strom und den elektromotorischen Kräften macht genaue quantitative Betrachtungen notwendig, die sich nur auf Grund einer scharfen Definition der Selbstinduktion anstellen lassen, und dasselbe gilt für die Formel der Eigenschwingung von Kondensatorkreisen, die als Grundlage der drahtlosen Telegraphie so wichtig ist. Die übliche Definition des Selbstpotentials  $L$  einer Rolle (in Henry) geht bekanntlich von der Magnetinduktion aus: die Stärke des Magnetfeldes (die auf eine bestimmte Fläche treffende Kraftlinienzahl) ist dem Strom proportional ( $\nu = fi$ ); wird letztere geändert, so vermehrt oder vermindert sich die Kraftlinienzahl, „es treten Kraftlinien in die Spule ein oder aus, letztere wird also von Kraftlinien geschnitten“; da die induzierte EMK  $E_s$  der Zahl der in der Zeit  $dt$  „schneidenden“ Kraftlinien ( $d\nu$ ) proportional ist, ergibt sich die Formel  $E_s = -L di/dt$  unter bekannter Berücksichtigung des Vorzeichens. Die Rechnung vollzieht sich also ganz leicht und konsequent, auch die Einführung des Differentialquotienten bietet keine Schwierigkeiten, und ebenso konsequent sind die Definitionen des Selbstpotentials  $L$  als „der Anzahl Volts, die beim Stromgefälle 1 Amp./sek. ( $di/dt = 1$ ) induziert werden“ und seiner Einheit des „Henry“. Aber so konsequent die Definitionen sind, anschaulich sind sie nicht. Denn was ist für den Schüler das Stromgefälle überhaupt und speziell 1 Amp./sek.? Im Grunde führt zum Stromgefälle dieselbe Überlegung wie zur Geschwindigkeit und Beschleunigung in der Mechanik; nur kennen die Schüler Körper, die sich pro Sekunde gleichmäßig um  $v$  cm fortbewegen, so daß allgemein bei gleichmäßiger Bewegung  $v = s/t$  und bei jeder für kurze Zeit als gleichmäßig zu betrachtenden Bewegung  $v = ds/dt$  zu schließen ist; entsprechend bei der Beschleunigung. Bei dem elektrischen Ströme aber fehlt das Bindeglied eines sich gleichmäßig pro Sekunde ändernden Stromes, man ist gezwungen, sofort den Differentialquotienten  $di/dt$  einzuführen, und dies setzt mehr mathematische Vorstellungsgabe voraus, als bei den meisten Schülern erwartet werden kann. Dazu kommt ein anderes: Wohl läßt sich das Stromgefälle mit der Braunschen Röhre<sup>1)</sup> oder dem Oszillographen zeigen, aber nicht direkt messen; man sieht wohl, daß z. B. die Sinuskurve des Wechselstromes in den verschiedenen Punkten verschiedene Steilheit hat, die größte in den Schnittpunkten mit der Zeitachse; aber die Steilheit des Bildes fällt in entsprechenden Punkten bei demselben Ströme verschieden aus bei verschiedener Spiegelgeschwindigkeit, und es dürfte schwer sein, die Geschwindigkeit gerade so zu bemessen, daß dem Stromgefälle 1 Amp./sek. gerade eine Steigung von  $45^\circ$  im Bilde entspricht. So ist der Erfolg meistens der, daß die Definition des Selbstinduktionskoeffizienten gelernt und bald wieder vergessen wird. Haften bleibt

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. diese Zeitschr. 29, S. 1 ff.

die Vorstellung, daß eine Spule von „viel Henry“ viele Windungen oder einen Eisenkern hat und umgekehrt, und befestigen läßt sich die Vorstellung durch Bestimmungen des Selbstpotentials aus dem scheinbaren Widerstande mit Wechselstrom (vgl. unten). Das reicht zwar für ein Verständnis sowohl der Wechselstromerscheinungen als der drahtlosen Telegraphie aus, ist aber schließlich doch nicht das Ideal. Im folgenden möchte ich darum eine andere Einführung der Selbstinduktion empfehlen.

Zunächst ist der Begriff der Fremdinduktion dem Schüler leichter verständlich als der der Selbstinduktion, da bei ersterer die Stromkreise getrennt sind, so daß der Induktionsstrom rein in die Erscheinung tritt. Ich habe darum in den letzten Jahren<sup>1)</sup> die Einführung der Fremdinduktion der der Selbstinduktion im Unterricht vorausgeschickt. Aber auch hierbei tritt naturgemäß sofort der Differentialquotient  $di/dt$  auf. Folgende Betrachtungen führen auf eine leichter verständliche Einführung in den Induktionsvorgang. Für den Fachmann ergibt sich aus der Formel für die EMK der Fremdinduktion:

$$E_{II} = -M \cdot \frac{di_I}{dt} \text{ Volt} \dots \dots \dots (1)$$

wo  $i_I$  der Primärstrom,  $E_{II}$  die EMK des Sekundärstroms ist, wenn  $w_{II}$  der Widerstand des Sekundärkreises,  $i_{II}$  dessen Stromstärke ist,

$$i_{II} = -\frac{M}{w_{II}} \cdot \frac{di_I}{dt} \text{ Ampere};$$

die durch diesen in der Zeit  $dt$  entwickelte Elektrizitätsmenge beträgt

$$dQ_{II} = i_{II} \cdot dt = -\frac{M}{w_{II}} \cdot di_I \text{ Coulomb.}$$

Wächst also der Primärstrom in einer beliebigen Zeit von  $i_{IA}$  bis  $i_{IB}$ , also um  $i_{IB} - i_{IA} = \Delta i_I$ , so wird durch den Widerstand  $w_{II}$  die Coulombmenge

$$Q_{II} = \int_{i_{IA}}^{i_{IB}} i_{II} \cdot dt = -\frac{M}{w_{II}} \int_{i_{IA}}^{i_{IB}} di_I = -\frac{M}{w_{II}} [i_{IB} - i_{IA}] = -\frac{M}{w_{II}} \cdot \Delta i_I \dots (2)$$

gesandt. Die Induktion bewirkt also unabhängig von der Zeit, daß bei einem bestimmten sekundären Widerstande eine bestimmte Coulombzahl in der Sekundärrolle entwickelt wird, wenn der Primärstrom eine gewisse Anzahl Ampere gewinnt oder verliert. Dies läßt sich nun im Unterricht leicht induktiv herleiten und auf dieser Grundlage eine brauchbare Definition des Induktionskoeffizienten gewinnen. Zwei Spulen I und II (ohne Eisenkern) werden aufeinandergesetzt, I mit Gleichstrom  $EI$  unter Vorschaltung einiger paralleler gleichstarker Lampen  $w_I$  und eventuell eines Amperemeters  $A$  beschickt, II durch einen Rheostatenwiderstand  $w_{II}$  mit einem Galvanometer  $G$  verbunden (Fig. 1). Solange der Strom in I gleichmäßig fließt, ist das Galvanometer stromlos. Sobald aber Lampen in  $w_I$  zugeschaltet oder abgeschaltet werden, ergeben sich entgegengesetzte ballistische Ausschläge im Galvanometer, die der Zahl der aus- oder eingeschalteten Lampen direkt, dem Widerstande  $w_{II}$  umgekehrt proportional sind.

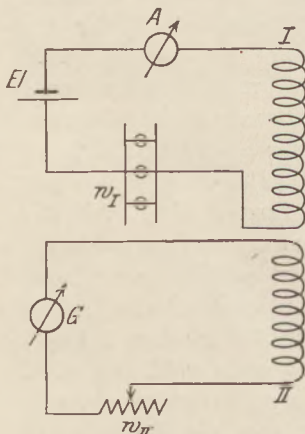


Fig. 1.

Im allgemeinen ziehe ich für quantitative Versuche im Unterricht durch regelmäßige

<sup>1)</sup> Vgl. die Abhandlung in den *Unterrichtsblättern für Math. u. Naturwissenschaften* 22, S. 130, sowie einen soeben in derselben Zeitschrift 24, S. 32 und 56 erschienenen Aufsatz: „Wechselstromtheorie ohne Differential- und Integralrechnung“.



Impulse bewirkte Dauerausschläge<sup>1)</sup> den ballistischen vor: denn ballistische Galvanometer dürfen nicht stark gedämpft sein; bei geringer Dämpfung ist aber die Einstellung in die Ruhelage zu zeitraubend. Erschwert werden nun Dauerausschläge bei Induktionsströmen dadurch, daß Öffnungs- und Schließungsstrom entgegengesetzte Richtung haben, und da auf jede Öffnung eine Schließung folgen muß, daß bei schnell folgenden Unterbrechungen und Schließungen des Primärstromes sich die Wirkungen auf das Galvanometer aufheben. Man muß sich darum eines Mittels bedienen, das immer nur einen dieser Ströme zur Wirkung kommen läßt, den andern ausschaltet. Ich habe hierfür einen Doppelunterbrecher (Fig. 2) anfertigen lassen von folgender Gestalt: Auf derselben Achse sind zwei Walzen aus Holz angebracht, die zu je ein Viertel ihres Umfangs mit Messing belegt sind und an denen je zwei Kontaktfedern schleifen; die Messingbelegungen  $\alpha$  und  $\beta$  liegen

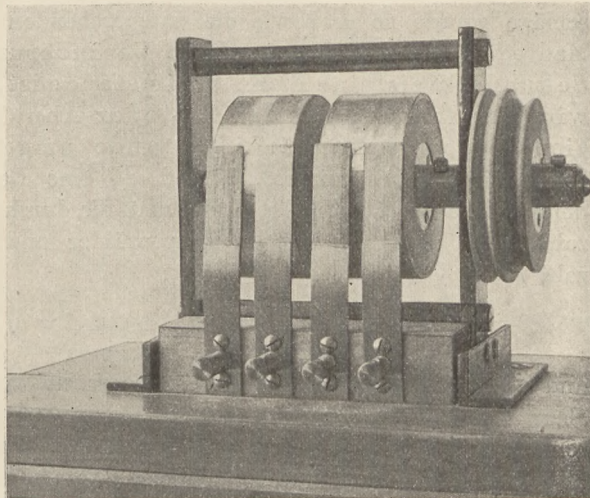


Fig. 2.

so, daß beim Aufhören des Kontaktes der einen ( $\alpha$ ) die andere ( $\beta$ ) eben Kontakt bekommen hat, während  $\beta$  beim Wiedereinsetzen des Kontaktes von  $\alpha$  noch keinen Kontakt hat. Dieser Unterbrecher wird durch Riemenübertragung von einem regulierbaren Elektromotor<sup>2)</sup> betrieben. Wird nun der Kontakt  $\alpha$  in den Primärstrom,  $\beta$  in den Sekundärstrom gelegt, so erfolgen in der Sekundärleitung nur die Öffnungsströme; wird umgekehrt  $\beta$  in die Primär-,  $\alpha$  in die Sekundärleitung gelegt, dann erfolgen in letzterer nur die Schließungsströme, natürlich in entgegengesetzter Richtung wie bei der ersten Schaltung. Nachdem man also durch ballistische Versuche

im wesentlichen nur festgestellt hat, daß das Zustandekommen der Sekundärströme durch Veränderungen des Primärstromes bedingt ist und welche Richtungen beide Induktionsströme bezüglich des Primärstromes haben, ist es nunmehr leicht, die obige Formel (2) im einzelnen experimentell festzulegen und sie als Ausgangspunkt für die Behandlung der Elektroinduktion zu nehmen: ich lege in den Primärstrom (Fig. 3) zwei Lampenwiderstände  $D$  und  $E$  parallel, von denen nur einer ( $E$ ) durch den Unterbrecher ( $\alpha$ ) geöffnet und geschlossen wird; der Kontakt  $\beta$  kommt in den Sekundärstrom. Es zeigt sich sofort beim Betriebe des Unterbrechers, 1. daß die durch das Galvanometer  $G$  angezeigte Coulombzahl der Sekundärleitung der Zahl der in  $E$  periodisch unterbrochenen Lampen proportional

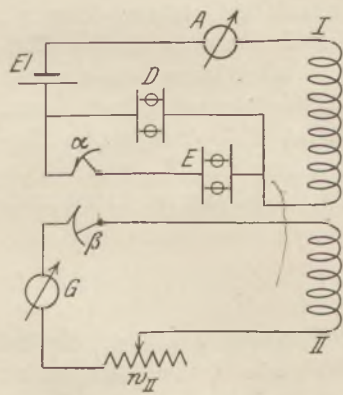


Fig. 3.

und gänzlich unabhängig von der in  $D$  brennenden Lampenzahl ist, also der Differenz der durch die Primärleitung gehenden Ampere proportional ist (Prüfung der

<sup>1)</sup> Wie gut gerade solche Dauerausschläge von den Schülern verstanden werden, habe ich bei Kapazitätsmessungen gesehen. Vgl. diese Zeitschr. 30, S. 113 ff.

<sup>2)</sup> Über die Regulierung von Elektromotoren vgl. z. B. diese Zeitschr. 30, S. 58 ff.

Amperemeterangaben bei Stillstand des Motors und Schließung und Öffnung des Kontaktes  $\alpha$ ), 2. daß die sekundäre Coulombzahl dem Widerstand  $w_{II}$  des Rheostaten (hoch gegen den des Galvanometers und der Spule!) umgekehrt proportional ist. Legt man  $\beta$  in die Primär-,  $\alpha$  in die Sekundärleitung, so werden bei gleichen Lampenzahlen und gleichen Widerständen die durch die Schließungsströme bewirkten Ausschläge gerade so groß wie die entsprechenden Öffnungsströme, nur entgegengesetzt. Man erhält also das Gesetz: Jede Veränderung des Primärstromes erzeugt im Sekundärkreis eine EMK, die imstande ist, eine Anzahl Coulombs zu entwickeln; letztere ist der Zu- oder Abnahme der Primärrampere proportional, dem Sekundärwiderstande umgekehrt proportional. Es ist gut, sofort für ein bestimmtes  $\Delta i_I$  und  $w_{II}$  eine Bestimmung der Coulombzahl vorzunehmen: man erhält dieselbe, wenn man die durch das Galvanometer bestimmte Amperezahl ( $J_{II}^1$ ) durch die mittels Tourenzähler und Stoppuhr feststellbare Umdrehungszahl  $n$  des Unterbrechers dividiert:

$$Q_{II} = \frac{J_{II}}{n} \dots \dots \dots (3)$$

und zwar erhält man *ceteris paribus* auch bei verschiedenen Tourenzahlen des Motors, also verschiedenen Unterbrechungszahlen pro Sekunde ( $n$ ) stets diesen proportionale Ausschläge  $J_{II}$ , d. h. wirklich gleiche Coulombzahlen pro Stromstoß.

Vergleicht man nun verschiedene Spulenpaare miteinander, so zeigt sich, daß bei gleichen Amperezahlen primär und gleichen Widerständen sekundär die Ausschläge doch verschieden sind; auch erweisen sie sich bei demselben Spulenpaar als variabel bei verschiedenen Entfernungen der Spulen, und zwar nimmt der Ausschlag mit zunehmender Entfernung sehr stark ab. Darum führt man eine für ein Spulenpaar bei bestimmter Entfernung charakteristische Größe  $M$ , den Induktions- oder Koppelungskoeffizienten ein, die die Anzahl Coulombs angibt, die durch die primäre Ampereänderung 1 in 1 Ohm sekundär entwickelt wird. Man kann durch Vertauschung der Spulen eines Paares leicht zeigen, daß die Ausschläge *ceteris paribus* unverändert bleiben,  $M$  also wirklich dem Spulenpaar charakteristisch ist, auch wenn beide Spulen ganz verschiedene Windungszahlen haben. Nun läßt sich eine Spulenkombination denken, bei der die primäre Ampereänderung 1 in 1 Ohm sekundär gerade 1 Coulomb erzeugt; für diese heißt  $M$  1 „Henry“, bei  $M$  unter gleichen Umständen entwickelten Coulombs heißt sie  $M$  Henry. Die Definition von  $M$  und das Induktionsgesetz ergeben jetzt sofort die obige Formel (2), die als Grundlage für alles folgende dienen kann.

Wichtig zur Festsetzung des Gewonnenen ist zunächst die praktische Bestimmung von Induktionskoeffizienten: die Beobachtung von  $J_{II}$  und  $n$  gibt nach (3)  $Q_{II}$ ; ist  $w_{II}$  (Rheostat) bekannt und (vgl. oben)  $\Delta i_I$  abgelesen; so kennt man nach (2)  $M$ ; der absolute Wert ist

$$M = \frac{J_{II} \cdot w_{II}}{n \cdot \Delta i_I} \dots \dots \dots (4)$$

Aber der Wert wird ungenau, wenn man  $\Delta i_I$  auf Ablesungen stützt, die bei kontinuierlichem Lampenstrom gemacht sind, da der Widerstand der Lampen zu sehr von der Temperatur abhängt: Da die Temperaturen bei den unterbrochenen Strömen nicht so hoch steigen wie bei kontinuierlichen, sind die aus letzteren gewonnenen Werte von  $\Delta i_I$  bei Metallfadenlampen zu niedrig, bei Kohlenfadenlampen zu hoch;  $M$  wird also bei ersteren zu groß, bei letzteren zu klein. So anschaulich

<sup>1)</sup> Die durch fortgesetzte Stromimpulse — also nicht durch wirkliche Gleichströme! — bewirkten Amperezahlen sollen im folgenden durch große Buchstaben bezeichnet werden. — Es muß natürlich der Reduktionsfaktor des Galvanometers bekannt sein.



die Regulierung mit Lampen für die Demonstration des Induktionsgesetzes ist, wird man darum zweckmäßig bei der Bestimmung  $M$  statt der Lampen einen bekannten Rheostatenwiderstand  $w_I$  vorschalten (statt  $E$  in Fig. 3). Ist dann  $E_I$  die primäre Spannung z. B. einer Akkumulatorenbatterie, so ist der absolute Wert von  $M$

$$M = \frac{J_{II} \cdot w_I \cdot w_{II}}{n \cdot E_I} \dots \dots \dots (4a)$$

Beispiele. 1. Zwei ungefähr gleiche Rollen I und II aufeinandergesetzt;  $E_I = 10$  Volt,  $w_I = 20 + 1,7 \Omega$  (Widerstand der Spule I),  $w_{II} = 100 + 12$  (Galvanometerwiderstand)  $+ 2$  (Spule II),  $i_{II} = 9,7$  Skalenteile, Reduktionsfaktor  $1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{12}$  sek.; gefunden  $M = 5,2 \cdot 10^{-4}$  Henry. Ein entsprechender Versuch mit  $n = \frac{100}{8}$  sek. ergab  $M = 5,1 \cdot 10^{-4}$ . Der Ausschlag und damit  $M$  sinkt auf die Hälfte, wenn die Spulen um 3 cm voneinander entfernt werden. Versuche mit Metallfadenslampen ergeben für  $M$   $6,1 \cdot 10^{-4}$  bei  $n = \frac{100}{11,4}$  und  $5,6 \cdot 10^{-4}$  bei  $n = \frac{100}{7,4}$ , mit Kohlenfadenslampen  $4,35 \cdot 10^{-4}$  bei  $n = \frac{100}{10}$  und  $4,6 \cdot 10^{-4}$  bei  $n = \frac{100}{7,6}$ .

2. Zwei verschiedene Spulen (I primär und eine „grüne“ sekundär) ergeben  $M = 1,71 \cdot 10^{-4}$  bzw.  $1,63 \cdot 10^{-4}$ , nach Vertauschung der Spulen  $1,67 \cdot 10^{-4}$ .

Da der Induktionskoeffizient mit steigender Entfernung stark abnimmt, schiebt man im allgemeinen die Spulen ineinander, um möglichst viele Primärkraftlinien in die Sekundärrolle zu leiten (Induktionsapparate). Der praktisch nicht realisierbare Fall, daß alle Primärkraftlinien die Sekundärspule treffen, würde das Maximum von  $M$  darstellen. Ohne Eisenkern gelingt dies wohl am besten bei den von Schütt (diese Zeitschr. 27, S. 272) angegebenen „biflaren Selbstinduktionsspulen“. Praktisch sucht man es sonst zu erreichen (Transformatoren), indem man beide Spulen auf einen geschlossenen Eisenkern wickelt:  $M$  ist dann zwar sehr groß, aber nicht mehr konstant, da die Sättigung und Hysteresis des Eisens die Wirkung beeinträchtigen.

Beispiel. Kleiner Transformator mit Spulen von wenig Windungen: a)  $E_I = 10$  Volt,  $w_I = 100$ ,  $w_{II} = 511,5$ ,  $i_{II} = 5,2 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{8,6}$ ,  $M = 4,15 \cdot 10^{-3}$ ; b)  $E_I = 10$ ,  $w_I = 50$ ,  $w_{II} = 1012$ ,  $i_{II} = 6,7 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{8,2}$ ,  $M = 5,0 \cdot 10^{-3}$ ; nach Vertauschung der Spulen: c)  $E_I = 10$ ,  $w_I = 100$ ,  $w_{II} = 512$ ,  $i_{II} = 3,9 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{8,6}$ ,  $M = 3,12 \cdot 10^{-3}$ ; d)  $E_I = 10$ ,  $w_I = 50$ ,  $w_{II} = 1012$ ,  $i_{II} = 4,7 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{8,6}$ ,  $M = 3,7 \cdot 10^{-3}$ .

Es bietet jetzt keine Schwierigkeit mehr, die Formel für die EMK der Elektroinduktion bei beliebigen Strömen, also auch bei Wechselströmen, aufzustellen. Verändert der Primärstrom nicht plötzlich seine Stärke, sondern stetig, so kann man annehmen, daß er in einer kleinen Zeit  $dt$  sich um  $di_I$  ändere und dabei die sekundäre Coulombzahl  $dQ_{II}$  entwickelt; für diese ist nach (2)  $dQ_{II} = - \frac{M}{w_{II}} \cdot di_I$ .

Für die kurze Zeit  $dt$  kann man den Sekundärstrom als Gleichstrom auffassen, für den die Amperezahl gleich dem Quotienten aus der Coulombzahl und der Zeit ist; daher ist die sekundäre Amperezahl  $i_{II} = \frac{dQ_{II}}{dt} = - \frac{M}{w_{II}} \cdot \frac{di_I}{dt}$ . Hieraus folgt aber die

Voltzahl durch Multiplikation mit dem Widerstande, also die Formel (1). Die sekundäre EMK hängt also gar nicht von dem Widerstande, wohl aber von dem Differentialquotienten  $di_I/dt$ , dem primären „Stromgefälle“ ab, und man wird gut tun, nunmehr hiervon (Formel 1) eine deutliche Vorstellung zu schaffen. Das beste Objekt hierfür bilden die Bilder des primären (mit Hammer unterbrochenen) und sekundären Rühmkorffstromes, das beste Mittel ein Doppeloszillograph, weil er die gleichzeitigen Vorgänge beider Ströme untereinander zu projizieren gestattet. In Ermangelung des letzteren leistet die Braunsche Röhre gute Dienste<sup>1)</sup>, die aber immer nur einen

<sup>1)</sup> Vgl. diese Zeitschr. 29, S. 5 und 30, S. 32.

Strom gleichzeitig zu sehen gestattet: dem allmählich anwachsenden Primärstrom entspricht der lange andauernde, aber schwach gespannte Schließungsstrom, dem schnell abfallenden Primärstrom der kurz dauernde, aber hochgespannte Öffnungsstrom. Die sekundäre Coulombzahl muß nach (2) dieselbe in beiden Fällen sein, wie auch das Bild deutlich erkennen läßt. Freilich die Erklärung für das allmähliche Ansteigen und plötzliche Abfallen des Primärstromes kann man erst später geben. Dagegen ist die Wechselstrominduktion nunmehr leicht verständlich zu machen, theoretisch mit Hilfe der Differentialrechnung oder eines Kunstgriffes, der Kenntnisse letzterer überflüssig macht<sup>1)</sup>, praktisch mit Hilfe des Oszillographen oder der Braunschen Röhre: man nähert eine von Wechselstrom durchflossene Spule einer sekundären, die mit dem Oszillographen oder den Indikatorspulen einer Braunschen Röhre verbunden ist, und erhält im rotierenden Spiegel die Wechselstromkurve. Will man mit einem Doppeloszillographen Primär- und Sekundärkurven gleichzeitig aufnehmen, so empfiehlt sich, in den Sekundärstrom so viel Ohmschen Widerstand einzuschalten, daß die durch Selbstinduktion bewirkte Phasenverschiebung des Sekundärstromes gegen seine Spannung unmerklich wird: nur dann erhält man eine Phasenverschiebung von  $90^\circ$  zwischen Primär- und Sekundärstrom. — Wenn man so die Elektroinduktion nicht auf theoretische Ableitungen aus der Magnetoinduktion, sondern auf direkte Experimente gründet, so kann man doch nachträglich zeigen, daß die Magnetoinduktion zu demselben Resultate führt, die Elektroinduktion also nur ein besonderer Fall derselben ist, wie dies im Eingang dieser Abhandlung kurz angedeutet ist<sup>2)</sup>.

Für den Schüler, der so auf dem Gebiete der Fremdinduktion heimisch geworden ist, ist es nun nicht mehr schwer, auch die Selbstinduktion zu verstehen, obwohl letztere experimentell schwerer zu verfolgen ist. Der Schluß liegt nahe, daß die Kraftlinien, die eine Induktion in einer fremden Rolle bewirken, auch in der eigenen Spule eine EMK, die Selbstinduktion, auslösen, für die dieselben Gesetze (1 und 2) gelten wie für die Fremdinduktion, nur daß hier an Stelle des Koeffizienten  $M$  ein anderer  $L$  tritt, der das Maximum der Koppelung für zwei kongruente Spulen darstellt. Man wird also sofort als experimentell zu beweisende Behauptung aufstellen können: Jede Veränderung eines Stromes  $i$  in einer Spule bewirkt in dieser selbst eine EMK, die imstande ist, eine Anzahl Coulombs  $Q_s$  zu entwickeln, die der Ampereänderung des Stromes direkt, dem Widerstand  $w_s$ , durch den dieser „Extrastrom“ fließt, umgekehrt proportional ist:

$$Q_s = - \frac{L}{w_s} (i_B - i_A) = - \frac{L}{w_s} \cdot \Delta i \dots \dots \dots (5)$$

Der Faktor  $L$ , das „Selbstpotential“, ist der Spule eigentümlich und stellt die Anzahl Coulombs dar, die durch die Stromzu- oder -abnahme von 1 Ampere in 1 Ohm entwickelt wird: ist diese 1 Coulomb, so heißt das Selbstpotential 1 „Henry“, bei  $L$  Coulomb  $L$  Henry.

Bei der Demonstration der Selbstinduktion liegt zunächst die Schwierigkeit vor, daß der Extrastrom in den eigenen Windungen des ursprünglichen Stromes entsteht, sich also diesem im allgemeinen überlagert. Um ihn von demselben zu trennen, bedient man sich bekanntlich der Brückenschaltung, in der eine Seite ( $c[L]$ ) des Vierecks durch die Selbstinduktionsspule gebildet wird, während die anderen ( $a, b, d$ ) auf Stromlosigkeit der Brücke abgeglichen werden (Fig. 4). In der Brücke treten dann in der Tat nur Ströme auf, die den Extrastromen ihre Entstehung ver-

<sup>1)</sup> Vgl. die in Fußnote 1, S. 198, angegebenen Abhandlungen des Verfassers.

<sup>2)</sup> Für den praktischen Nachweis dieser „quantitativen Induktionsgesetze“ hat Verf. einen Apparat angegeben, der von A. Pfeiffer in Wetzlar gebaut wird; letzterer versendet auch kostenlosen Prospekte desselben mit Beschreibung.



danken und durch das Brückengalvanometer ( $G$ ) ballistisch nachgewiesen werden können: Jede Verstärkung des Hauptstromes (Verminderung des Widerstandes  $w$  z. B. durch Einschaltung einer Lampe) bewirkt dann eine Verstärkung des Stromes in  $c$  und damit einen Stromstoß durch die Brücke von  $ab$  nach  $cd$ . Entsprechend bei Schwächung, Ausschaltung oder Einschaltung des Hauptstromes. Das sind freilich nur qualitative Versuche, die die Richtung des Extrastromes (Vorzeichen in 5) festlegen. Zur quantitativen Bestätigung der Formel (5) ziehe ich wieder Dauerablenkungen vor, indem ich in die Speiseleitung (Fig. 5) den Kontakt  $\alpha$  des rotierenden Doppelunterbrechers lege, in die Brücke den Kontakt  $\beta$ ; letztere kann dann nur die Öffnungsströme leiten. Oder  $\alpha$  kommt in die Brücke,  $\beta$  in die Speiseleitung, dann passieren die Brücke nur Schließungsströme. Dauerablenkungen geben auch bei genügend hoher Unterbrechungszahl viel kräftigere Wirkungen als ballistische und sind angenehmer zu beobachten. Es empfehlen sich aber noch einige besondere Maßregeln. Um möglichst gute Übersichtlichkeit zu erzielen, macht man die Schaltung symmetrisch, d. h.  $a = b$ ,  $c = d$ ; indem man die Brücke durch Variierung des ablesbaren Rheostatenwiderstandes  $d$  auf Stromlosigkeit bringt, erhält man zugleich den Widerstand  $c$  der Spule. Damit ein möglichst großer Teil des Speisestromes nach  $c$  gelangt und hier die Induktion bewirkt, muß  $a$  erheblich  $> c$  sein. Zur Erfüllung dieser Bedingung eignen sich die üblichen Meßdrähte (für  $a + b$ ) wenig, weil ihr Widerstand meist gering ist. Ich benutze für  $a$  und  $b$  je  $20 \Omega$  bzw.  $40 \Omega$  eines Schleifrheostaten von Hartmann & Braun (Listen-Nr. D589 a); um sie einzeln anschließen zu können, habe ich mir Kontaktklammern (Fig. 6) anfertigen lassen, die sich durch Federkraft an den Kontaktknöpfen des Rheostaten<sup>1)</sup>

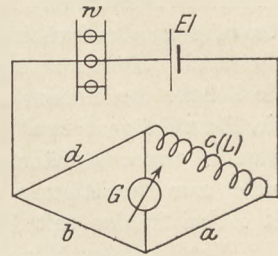


Fig. 4.

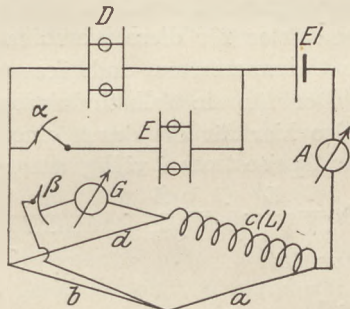


Fig. 5.

befestigen lassen: der Zweig  $d$  wird dann durch die Einer und Zehntel des Rheostaten gebildet. Ist der Widerstand  $c$  z. B.  $1-2 \Omega$ , so gehen bei  $a = b = 20 \Omega$  mehr als  $90\%$  des Speisestromes durch  $c$ . Da der Extrastrom außer dem Wege durch die Brücke noch die Wege  $db$  und (außer bei völligen Unterbrechungen) durch die Speiseleitung hat, wird man den Brückenwiderstand  $\gamma$  klein gegen  $b + d$ , den Widerstand  $w + d$  groß gegen  $a + \gamma$  machen. Hat das Galvanometer daher einen nicht zu vernachlässigenden Widerstand, so wird es in den Nebenschluß zu einem niederen Widerstande ( $1 \Omega$  oder weniger) gelegt; es wird dadurch freilich weniger empfindlich, was indessen kein Nachteil zu sein braucht: bei allzu großer Empfindlichkeit ist nämlich die Einstellung der Brücke auf Stromlosigkeit (Variierung von  $d$ ) sehr mühselig und zeitraubend. Um  $w$  gemäß der obigen Ungleichung groß zu machen, eignen sich niedrigerkerzige Metallfadenlampen (am besten für  $220$  Volt konstruierte): ich schalte wieder einen Zweig  $E$  mit dem Unterbrecher ( $\alpha$  oder  $\beta$ ) in Serie, den anderen  $D$  parallel dazu und in die gesamte Speiseleitung ein Amperemeter ( $A$ ) zur Messung von  $i_A$  und  $i_B$  bei Öffnung und Schließung des Kontaktes ( $\alpha$  oder  $\beta$ ). In der Gesamtgröße des Stromes  $i$  muß man sich Beschränkungen auferlegen, um Erhitzung und Widerstandsvergrößerung von  $c$  und da-

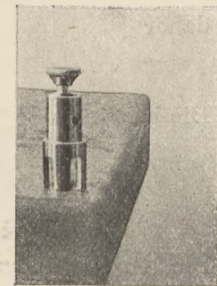


Fig. 6.

<sup>1)</sup> Diese Kontaktklammern haben sich auch bewährt, um an demselben Rheostaten den Spannungsabfall mittels des Quadrantenelektrometers zu zeigen.

mit verbundene Störung in der Stromlosigkeit der Brücke zu vermeiden. Wird nun der Motor in Tätigkeit gesetzt, so erhält man dauernde Galvanometerausschläge, die unabhängig von der Zahl der in  $D$  brennenden Lampen der Zahl der in  $E$  eingeschalteten Lampen proportional sind, und zwar gleichgültig, ob  $\alpha$  im Speisestrom,  $\beta$  in der Brücke liegt oder umgekehrt:  $Q_S$  ist also der Differenz  $i_B - i_A$  proportional. Setzt man andererseits statt  $20 \Omega$  für  $a$  und  $b$  je  $40 \Omega$  (hierbei muß man die Brücke von neuem auf Stromlosigkeit prüfen, eventuell  $d$  etwas ändern), so sinken die Ausschläge (etwa) auf die Hälfte:  $Q_S$  ist also  $w_S$  umgekehrt proportional, da man in erster Annäherung  $w_S \approx a$  setzen kann. Selbstverständlich müssen die Versuche zur Bestätigung von Formel (5) mit Spulen ohne Eisenkern gemacht werden, da  $L$  bei Spulen mit Eisenkern keine Konstante ist.

Von größter Wichtigkeit ist die Bestimmung der Größe  $L$ : das Brückenverfahren mit dem Doppelunterbrecher liefert hierfür ein erstes für den Unterricht brauchbares Mittel, da man schnell und mühelos eine Anzahl hinreichend genauer Bestimmungen machen kann. Natürlich wird man hierbei genauer verfahren als bei der Bestätigung der Formel für die Selbstinduktion. Wegen der Inkonstanz des Lampenwiderstandes wird man zunächst als Widerstand  $w$  (unter Fortlassung des Zweiges  $D$ ) einen bekannten Rheostatenwiderstand nehmen. Ferner wird man hier das Galvanometer nicht zu einem kleinen Widerstand parallel, sondern direkt in die Brücke legen, da man anderenfalls den Reduktionsfaktor für diese Kombination erst bestimmen müßte; der Reduktionsfaktor des Galvanometers und dessen ungefähre Widerstand müssen natürlich bekannt sein. Der für die Selbstinduktion wirksame Strom ist der Strom  $i_c$  in  $c$ , Formel (5) gibt also hier für die durch einen Selbstinduktionsstoß entwickelte Coulombmenge, wenn der Speisestrom  $i$  völlig unterbrochen wird ( $\alpha$  im Speisestrom), den absoluten Wert  $Q_S = \frac{L}{w_S} \cdot i_c = \frac{L}{w_S} \cdot i \cdot \frac{a}{a+c}$ . Ist  $E$  die im Speisestrom wirksame EMK der Batterie, so ist

$$i = \frac{E}{w + \frac{2ac}{a+c}}, \text{ also } Q_S = \frac{L}{w_S} \cdot \frac{E \cdot a}{(a+c) \left( w + \frac{2ac}{a+c} \right)}$$

Der für  $Q_S$  in Betracht kommende Widerstand  $w_S$  ist

$$c + a + \frac{\gamma(b+d)}{\gamma + b + d} = \frac{(a+c)(2\gamma + a + c)}{\gamma + a + c},$$

daher

$$Q_S = \frac{L \cdot E \cdot a (\gamma + a + c)}{(a+c)^2 (2\gamma + a + c) \left( w + \frac{2ac}{a+c} \right)}$$

Die bei einem Selbstinduktionsstoß durch das Galvanometer fließende Coulombmenge ist

$$Q_\gamma = \frac{Q_S \cdot (a+c)}{a+c+\gamma} = \frac{L \cdot E \cdot a}{(a+c)(2\gamma + a + c) \left( w + \frac{2ac}{a+c} \right)}$$

Die am Galvanometer abgelesene Amperezahl ist bei  $n$  Unterbrechungen pro Sekunde  $J_\gamma = nQ_\gamma$ , so daß sich für das Selbstpotential die Formel ergibt:

$$L = \frac{J_\gamma \cdot (a+c)(2\gamma + a + c) \left( w + \frac{2ac}{a+c} \right)}{n \cdot E \cdot a} \dots \dots \dots (6)$$

Für die genaue Ausführung der Messung ist noch folgendes zu beachten: Walzen und Schleiffedern des Unterbrechers müssen dauernd blank gehalten werden (Abreiben mit feinem Schmirgelpapier vor jeder Messung), da ein durch Metalloxyd



verursachter Widerstand einen zu kleinen Wert von  $L$  finden läßt. Der Galvanometerstrom wird ferner zweckmäßig kommutiert und aus den Ausschlägen das Mittel genommen. Der Reduktionsfaktor des Galvanometers werde endlich bei jeder genauen Messung ad hoc bestimmt, indem man durch eine bekannte Widerstandsverzweigung dem Galvanometer so viel Gleichstrom zuführt, daß ungefähr dieselben Ausschläge bei Kommutation entstehen wie bei dem eigentlichen Versuch<sup>1)</sup>.

Beispiele. 1. Spule I (vgl. oben):  $E = 10$ ,  $w = 500$ ,  $a = 40$ ,  $c = 1,87$ ,  $\gamma = 12,8$ ,  $J_\gamma = 6,95 \cdot 2,48 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{200}{24,7}$ . Ergebnis  $L = 7,6 \cdot 10^{-3}$  Henry. Ein entsprechender Versuch ergab ( $n = \frac{200}{16,1}$ ,  $J_\gamma = 11 \cdot 2,48 \cdot 10^{-6}$ )  $L = 7,9 \cdot 10^{-3}$ , so daß als Mittelwert  $L = 7,75 \cdot 10^{-3}$  zu setzen ist.

2. Spule II entsprechend:  $L = 7,7 \cdot 10^{-3}$  (vgl. oben).

3. „Grüne“ Spule:  $L = 1,97 \cdot 10^{-3}$  (vgl. oben).

4. Indikatorspule der Braunschens Röhre ( $2 \times 56$  Windungen):  $E = 10$ ,  $w = 60$ ,  $a = 20$ ,  $c = 1,86^2$ ,  $\gamma = 12,8$ ,  $J_\gamma = 9,4 \cdot 2,42 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{200}{17,1}$ . Ergebnis  $L = 6,4 \cdot 10^{-4}$  Henry.

5. Teslasekundärspule:  $E = 10$ ,  $w = 101$ ,  $a = 200$ ,  $c = 40,5$ ,  $\gamma = 11,5$ ,  $J_\gamma = 9,1 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{10,6}$ ,  $L = 9,4 \cdot 10^{-3}$ ; entsprechender Versuch  $L = 9,1 \cdot 10^{-3}$ , Mittel  $L = 9,25 \cdot 10^{-3}$ .

6. Spule I mit Eisenkern:  $E = 10$ ,  $w = 1000$ ,  $a = 40$ ,  $c = 1,64$ ,  $\gamma = 11,5$ ,  $J_\gamma = 11,5 \cdot 1,81 \cdot 10^{-6}$ ,  $n = \frac{100}{29,8}$ ,  $L = 4,33 \cdot 10^{-2}$ . Bei einem zweiten Versuch ( $w = 400$ ,  $\gamma = 1,3$ ,  $J_\gamma = 10,5 \cdot 1,98 \cdot 10^{-5}$ ,  $n = \frac{100}{11}$ ) ergab sich  $L = 4,25 \cdot 10^{-2}$ . Dagegen ergab ein dritter Versuch mit denselben Widerständen wie im zweiten, bei dem aber (wie in Fig. 5) ein Zweig  $D$  mit 4 Kohlenlampen parallel geschaltet war,  $J_\gamma = 8,6 \cdot 1,98 \cdot 10^{-5}$ ,  $n = \frac{100}{11}$ ,  $L = 3,47 \cdot 10^{-2}$ .

Aus dem 5. Versuch ersieht man, daß sich auch Selbstpotentiale von Spulen höheren Widerstandes leicht nach dem Brückenverfahren bestimmen lassen. Der 6. Versuch zeigt, daß das Selbstpotential bei den geringen Strömen ( $\frac{1}{100}$  und  $\frac{1}{40}$  Amp.) noch ziemlich konstant ist, durch Parallelschaltung von Lampen (zunehmende Sättigung des Eisens) aber herabgedrückt wird.

Wie sich bei der Fremdinduktion die Formel (1) aus der Formel (2) ergab, so läßt sich hier die Formel für die EMK der Selbstinduktion bei beliebigen Strömen ableiten. Ändert sich der Strom  $i$  in der kurzen Zeit  $dt$  um  $di$ , so ist die durch Selbstinduktion entwickelte Coulombzahl nach (5)  $dQ_S = -\frac{L}{w_S} \cdot di$ , die

Amperezahl des Extrastromes  $i_S = \frac{dQ_S}{dt} = -\frac{L}{w_S} \cdot \frac{di}{dt}$ , die Voltzahl

$$E_S = i_S \cdot w_S = -L \cdot \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (7)$$

Durch diese EMK wird bekanntlich die Eigenart des Primärstromes im Induktionsapparat erklärt (vgl. oben). Die wichtigste Anwendung aber findet sie bei der Ableitung des Ohmschen Gesetzes der Wechselströme<sup>3)</sup> und der Formel

$$i_e = \frac{\Delta V_\epsilon}{\sqrt{w^2 + \omega^2 L^2}} \dots \dots \dots (8)$$

in der  $i_e$  und  $\Delta V_\epsilon$  die mit Hitzdrahtinstrumenten meßbaren Effektivgrößen des Stromes und des Spannungsabfalles des Wechselstromes,  $\omega = 2\pi n$  ( $n$  = Wechselstromfrequenz) der sog. Frequenzfaktor ist. Dieses Ohmsche Gesetz der Wechselströme

<sup>1)</sup> Ich benutze Nr. 61394 (Universalnebenschluß) der Preisliste von M. Kohl; es werden vor die Verzweigung 0,001, deren Widerstand etwa 10  $\Omega$  ist, je nach Bedarf 100—1000  $\Omega$  geschaltet und das Ganze an 10 Volt gelegt.

<sup>2)</sup> Davon 1  $\Omega$  vorgeschaltet, um die Einstellung auf Stromlosigkeit zu erleichtern.

<sup>3)</sup> Vgl. die in Fußnote 1, S. 198 zitierten Abhandlungen.

bietet nun eine zweite schulgemäße Methode zur Messung des Selbstpotentials: aus (8) folgt nämlich

$$L = \frac{1}{2\pi n} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta V \varepsilon}{i_\varepsilon}\right)^2 - w^2} \dots \dots \dots (8a)$$

Demgemäß legt man die zu messende Spule  $L$  mit einem Hitzdrahtamperemeter  $A$  in Serie (Fig. 7) und parallel zu dieser Verbindung ein Hitzdrahtvoltmeter  $V$ . Wird

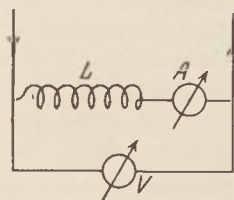


Fig. 7.

durch diese Verzweigung Gleichstrom geschickt, so ist der Quotient  $\frac{\Delta V}{i}$  aus den Angaben der beiden Instrumente der Ohmsche

Widerstand  $w$  (Spule + Amperemeter), wogegen sich bei Beschickung mit Wechselstrom der Quotient  $\frac{\Delta V_\varepsilon}{i_\varepsilon}$  (=  $W$ , Impe-

danz) ergibt. Zur Berechnung von  $L$  bedarf man also nur noch der Wechselstromfrequenz  $n$ . Wird der Wechselstrom im Unter-

richtszimmer selbst durch eine Maschine gewonnen, so kann man an dieser  $n$  mittels Tourenzähler und Stoppuhr leicht feststellen; bei Wechselstrom aus Zentralen ist man dagegen auf die nicht ganz billigen Frequenzmesser (z. B. Hartmann & Braun, Listen-Nr. D Q Nr. 753) angewiesen, wenn man nicht auf akustischem Wege die Frequenz findet. So bequem nun diese Methode zur Bestimmung von  $L$  ist — man kann nacheinander schnell eine ganze Reihe von Messungen ausführen —, so erfordert sie doch einige Umsicht in betreff der Genauigkeit der Resultate. Sie kann nämlich zu erheblichen Fehlern Anlaß geben, wenn die Impedanz  $W$  nicht wesentlich höher ist als der Ohmsche Widerstand. Das ist sehr häufig der Fall, wenn die Spule keinen Eisenkern hat und die Frequenz des Wechselstromes

gering ist. Denkt man sich in 8a  $W = \frac{\Delta V \varepsilon}{i_\varepsilon}$  als Hypotenuse,  $w$  als eine Kathete

eines rechtwinkligen Dreiecks und beide nur wenig verschieden, so sieht man leicht, daß nur geringe Fehler in der Bestimmung von  $W$  oder  $w$  ganz falsche Werte für die Wurzel in 8a, die andere Kathete zur Folge haben müssen. Da Hitzdrahtinstrumente häufig nicht sehr genau zeigen, liegt diese Gefahr vor. Ich halte es darum für zweckmäßig, für  $w$  niemals den nach einer anderen, vielleicht genaueren Methode gefundenen Wert zu setzen, sondern immer  $W$  und  $w$  mit denselben Instrumenten nacheinander zu bestimmen: der Fehler tritt dann wenigstens gleichmäßig bei beiden auf und kann korrigiert werden. Folgendes Beispiel zeige dies. Es ergeben sich auf dem angezeigten Wege  $W = 2 \Omega$  und  $w = 1,7 \Omega$ ,

also  $L \approx \frac{1}{2\pi n} \cdot 1,05$ . Zeigt nun eines der benutzten Instrumente ungenau, so daß die Widerstände etwa 10% zu niedrig gefunden werden, so ist der wirkliche Wert

von  $L$   $\frac{11}{10}$  mal dem berechneten, also  $L = \frac{1}{2\pi n} \cdot 1,16$ . Würde man aber für  $w$  den

genauen Wert in der Brücke ermitteln, der etwa 1,9 wäre, und diesen in 8a einsetzen, so erhielte man  $L = \frac{1}{2\pi n} \cdot 0,63$ , d. h. gegen den wirklichen Wert nicht nur 10%,

sondern etwa 50% ungenau! Bestehen Zweifel an der Richtigkeit eines der Instrumente, so kann man eine Prüfung dadurch vornehmen, daß man einen genau bekannten Widerstand ähnlicher Größe wie  $W$  und  $w$  mit Hilfe derselben Kombination mißt: der Quotient aus dem tatsächlichen durch den so gefundenen Wert des bekannten Widerstandes ist die Zahl, mit der man das gefundene Resultat von  $L$  zu multiplizieren hat, um das wirkliche zu erhalten. Bei genaueren Messungen muß man möglichst genau sinusförmigen Strom verwenden: ist nämlich der Wechselstrom durch starke Oberschwingungen verzerrt, so erhält man einen zu großen Wert für  $L$ , da



die Oberschwingungen für sich einen größeren Wert ( $\omega!$ ) ergeben würden. Der Fehler läßt sich sehr herabdrücken, wenn man vor die Verzweigung in Fig. 7 eine größere Drosselspule (eventuell mit Eisenkern) schaltet, die die Oberschwingungen abdrosselt. Die Messungen mit Wechsel- und Gleichstrom sind möglichst bei gleichen Amperezahlen auszuführen, damit die Ohmschen Widerstände in beiden Fällen (Temperatur!) wirklich gleich sind.

Beispiele. 1. Spule I:  $\Delta V \varepsilon = 3,3$ ,  $i_\varepsilon = 1,35$ ,  $\Delta V = 2,7$ ,  $i = 1,45$ ,  $n = \frac{1000}{31}$ ; Resultat  $L = 7,9 \cdot 10^{-3}$  Henry.

2. Spule II: Entsprechend  $L = 7,7 \cdot 10^{-3}$ .

Sehr bequem ist die Methode für die Messung von hohen Selbstpotentialen geringen Widerstandes mit Eisenkernen, z. B. Transformatorspulen, wobei man freilich infolge der Inkonstanz von  $L$  bei verschiedenen Stromstärken nur einen ungefähren Wert erhält, der aber für Überschlagsrechnungen recht gute Dienste tun kann. In diesen Fällen ist  $w$  meistens so klein gegen  $W$ , daß man direkt  $L \approx \frac{1}{2\pi n} \cdot \frac{\Delta V \varepsilon}{i_\varepsilon}$  setzen kann. Dagegen lassen sich kleinere Selbstpotentiale mit den üblichen Wechselstromfrequenzen nach der Methode nicht mehr bestimmen, da bei diesen die durch die Induktion bewirkten Spannungsabfälle für Hitzdrahtinstrumente zu klein werden. Daß die Methode bei höheren Frequenzen auch im Unterricht sogar zur Messung von sehr kleinen Selbstpotentialen brauchbar ist, soll im folgenden gezeigt werden.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Kenntnis des Selbstinduktionskoeffizienten für die Eigenfrequenz von elektrischen Schwingungskreisen, die sich bekanntlich nach der THOMSONSchen Formel

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots \dots \dots (9)$$

berechnet. So leicht sich die Formel theoretisch ableiten<sup>1)</sup> und durch Experiment qualitativ nachweisen<sup>2)</sup> läßt, so schwierig ist der genaue quantitative Nachweis. Einen gewissen Ersatz für letzteren bietet es, wenn experimentell gezeigt wird, daß die aus Formel 9 gezogenen Folgerungen zu quantitativ richtigen Resultaten führen. Man kann nämlich die oszillierenden Entladungen von Kondensatoren zur Bestimmung von Selbstpotentialen durch Messung von Strom und Spannung wie bei gewöhnlichem Wechselstrom benutzen: stimmen nun die auf diese Weise gefundenen Werte von  $L$ , bei denen der durch Formel 9 gegebene Wert von  $n$  benutzt wird, mit den auf andere Weise gefundenen Werten von  $L$  überein, so ist dies ein indirekter Nachweis für die Gültigkeit der Formel 9. Um die bei den Kondensatorentladungen entstehenden gedämpften Wechselströme zur Messung benutzen zu können, bediene ich mich des in *dieser Zeitschr.* 30, S. 117 angegebenen Stricknadelkontakts  $N$  in Fig. 8. Der Kondensator<sup>3)</sup>  $C$  wird einerseits über die dreifache Klemme  $G$  mit dem einen Pole ( $-E$ ) der Gleichstromzentrale, andererseits mit der Nadel  $N$  verbunden; der andere Pol ( $+E$ ) wird an die eine Kugel des Kontaktes gelegt; die Entladung erfolgt von der anderen Kugel ( $B$ ) des Kontaktes durch die zu messende Spule  $L$  und des Hitzdrahtamperemeter  $A$  zur dreifachen Klemme  $G$ . Die Bewegung der Stricknadel wird auch hier durch eine seitlich angebrachte, von gewöhnlichem Wechselstrom durchströmte Spule  $S_p$  bewirkt. Das Hitzdrahtvoltmeter  $V$  kann durch die Pohlsche Wippe  $KMPQIH$  entweder parallel zur Spule  $L$  (wie gezeichnet, Stellung  $IH$  der Wippe) oder zum ganzen Ent-

1) Vgl. die in Fußnote 1, S. 198 angegebenen Abhandlungen.

2) *Diese Zeitschr.* 29, S. 6.

3) Ich benutze 15 MF eines „Stufenkondensators“ der Physikalischen Werkstätten d. E. d. E. in Göttingen, der sich als richtig geeicht erwies; über die Eichung vgl. *diese Zeitschr.* 30, S. 121.

ladungskreise (Stellung *KM*) geschaltet werden. Bei nicht zu kleinen Selbstpotentialen genügt eine dieser Stellungen, was man daraus erkennt, daß der Voltmeterausschlag sich beim Umlegen der Wippe nicht ändert. Alle Zuführungen (*BD* und *GF*, *DI* und *FH*, *BK* und *GM*, von *P* und *Q* zum Voltmeter) geschehen möglichst bifilar,

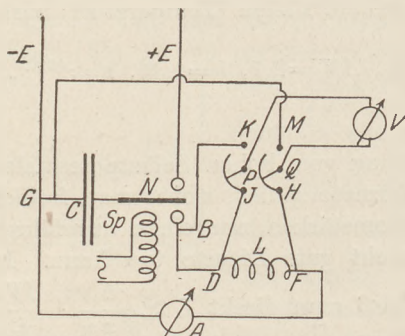


Fig. 8.

um das Selbstpotential des übrigen Stromkreises klein zu halten; die Kapazität der Bifilarzuführungen kommt bei 15 MF nicht in Betracht. Die Entladung erfolgt, wenn der Ohmsche Widerstand des Kreises *BDDLFLAG* klein ist, durch den gedämpften Wechselstrom der Frequenz von Formel 9, worin *L* im allgemeinen das Selbstpotential der Spule bedeutet; daran wird auch durch das parallel geschaltete Voltmeter, dessen Ohmscher Widerstand hoch ist gegen den Gesamt-widerstand der Spule, nichts geändert. Für diesen gedämpften Wechselstrom gelten im wesentlichen dieselben Formeln wie für gewöhnlichen

Wechselstrom, d. h. es ist für die ersten Scheitelwerte von Strom ( $\bar{i}$ ) und Spannungsabfall ( $\Delta\bar{V}$ ) bei kleinem Widerstande, da  $\omega = 2\pi n$  und daher  $\omega L$  groß ist (vgl. 8):

$$\frac{\Delta\bar{V}}{\bar{i}} = 2\pi n L. \dots \dots \dots (10)$$

Die Ausschläge der Instrumente bei Dauerentladungen geben die „Effektivwerte“  $\Delta V_e$  und  $i_e$  für Spannungsabfall und Strom an. Diese wird man aus den Scheitelwerten freilich nicht durch Division mit  $\sqrt{2}$  wie bei gewöhnlichem Wechselstrom erhalten, sondern durch eine viel größere Zahl, da ja die Wechselströme hier an Amplitude schnell abnehmen und die Leitung während längerer Zeit gänzlich stromlos ist. Da aber Strom und Spannung zusammen abnehmen, sind  $\Delta V_e$  und  $i_e$  den  $\Delta\bar{V}$  und  $\bar{i}$  proportional. Es ist also auch hier

$$\frac{\Delta V_e}{i_e} = 2\pi n L. \dots \dots \dots (10a)$$

Eliminiert man nun  $n$  aus (9) und (10a), so folgt

$$L = \frac{\Delta V_e^2}{i_e^2} \cdot C. \dots \dots \dots (11)$$

Diese einfache Formel gestattet in bequemster Weise, Selbstpotentiale bis zu sehr niederem Grade zu bestimmen. Freilich setzt sie voraus, daß der Ohmsche Widerstand (Spule *L* + Amperemeter) gering ist; schon einige Ohm können bei einer Kapazität von 15 MF den Strom aperiodisch und die Formel (11) darum ungültig machen; auch bei noch periodischem, aber allzu stark gedämpftem Strome bedürfte (11) der Modifikation; ein Versuch mit der Braunschen Röhre (ohne rotierenden Spiegel) zeigt übrigens leicht, ob der Strom noch periodisch ist: der Fluoreszenzfleck muß nach beiden Seiten ausschlagen, und man erkennt in der blauen Linie die einzelnen Umkehrpunkte als besonders helle Stellen; Vorschaltwiderstand im Hauptstrom ist also unbedingt zu vermeiden. Eine Gefahr birgt die Formel (11) allerdings, da die Angaben der Instrumente quadratisch vorkommen, daß sich eventuelle Fehler der Instrumente oder der Ablesungen verdoppeln: die Instrumente müssen also genau geeicht oder korrigiert sein, und man wird außerdem möglichst Bereiche der Instrumente benutzen, in denen sie am genauesten zeigen, das ist gegen Ende der Skala der Fall. Bei ca. 60 Aufladungen und Entladungen pro Sekunde (Wechselstromfrequenz ca. 30), die ich bewirken konnte, genügten meist 110 Volt, nur bei ganz kleinen



Selbstpotentialen waren 220 Volt notwendig. In letzterem Falle kam übrigens einige Male Lichtbogenbildung am Kontakt und damit Sprengung der Sicherungen vor, eine unliebsame Störung. Für Spulen mit höherem Widerstande (z. B. Sekundärspulen) eignet sich aus dem oben angegebenen Grunde die Methode nicht, aber auch nicht für Spulen von kleinem Ohmschen Widerstande, aber hohem Selbstpotential (z. B. die oben benutzten Spulen I und II): die Periode der Schwingung ist nämlich bei diesen und 15 MF so lang, daß bei der zeitlichen Kürze des Kontaktes der Stricknadel von einem Ausschwingen der Entladung während des Kontaktes keine Rede mehr ist, wie man sich mittels der Braunschen Röhre (und rotierendem Spiegel) leicht überzeugen kann<sup>1)</sup>; da nun der Hauptstrom und der Voltmeterstrom verschiedene Phase haben, ist dann die Proportionalität der Größen  $\Delta V_\epsilon$  und  $i_\epsilon$  mit  $\Delta \bar{V}$  und  $\bar{i}$  nicht mehr garantiert. Wohl aber eignet sich die Methode vorzüglich zur Messung kleiner Selbstpotentiale bei kleinem Widerstande. Liegt das Selbstpotential unter  $10^{-4}$  Henry, dann muß man allerdings die Formel (11) etwas modifizieren, da sie voraussetzte, daß das zu messende Selbstpotential das einzige für die Frequenz  $n$  nach (9) in Betracht kommende ist. In Wirklichkeit wird aber  $n$  durch das gesamte Selbstpotential  $A$  des Entladungskreises bestimmt, das größer ist als das der Spule  $L$ . Es ist zu setzen

$$n = \frac{1}{2\pi\sqrt{CA}} \dots \dots \dots (12)$$

Legt man das Voltmeter einmal mit der Wippe an  $B$  und  $G$  (Stellung  $KM$ ), so ist für diesen gesamten Spannungsabfall

$$E_\epsilon = i_{1\epsilon} \cdot 2\pi n A, \dots \dots \dots (12a)$$

während für die Stellung  $IH$  der Wippe

$$\Delta V_\epsilon = i_{2\epsilon} \cdot 2\pi n L \dots \dots \dots (12b)$$

ist. Die Elimination von  $n$  und  $A$  aus den drei Gleichungen ergibt

$$L = \frac{E_\epsilon}{i_{1\epsilon}} \cdot \frac{\Delta V_\epsilon}{i_{2\epsilon}} \cdot C \dots \dots \dots (13)$$

Es sind also Volt- und Amperemeter sowohl bei Stellung  $KM$  als  $IH$  der Wippe abzulesen, die Ablesungen in (13) einzusetzen; auch hier dauert die Bestimmung nur wenige Minuten. Zu beachten ist, daß immer Volt- und Amperemeter gleichzeitig abgelesen werden müssen, da der Kontakt kleinen Schwankungen unterliegt. Bei den im folgenden angegebenen Beispielen wurden durchweg Hitzdrahtinstrumente von Hartmann & Braun verwendet, die, wie oben angegeben, erst korrigiert werden mußten. Für die kleinsten Selbstpotentiale reichte das Voltmeter nicht aus, da die Skala nach unten nicht über 5 Volt geht; nach Lösung des Vorschaltwiderstandes war es ebenfalls brauchbar, bedurfte aber erst einer völlig neuen Eichung, da die Ausschläge ohne Vorschaltwiderstand den ursprünglichen nicht proportional zu setzen sind (infolge Widerstandsänderung des Hitzdrahtes mit der Temperatur). Die Eichung geschah mit Gleichstrom, indem das Voltmeter zu dem Amperemeter und bekannten Rheostatenwiderständen parallel gelegt wurde ( $\Delta V = i \cdot w$ ).

Beispiele. 1. Indikatorspule der Braunschen Röhre ( $2 \times 56$  Windungen):  $\Delta V_\epsilon = E_\epsilon = 11$  Volt,  $i_\epsilon = 1,7$  Amp., woraus  $L = 6,3 \cdot 10^{-4}$  Henry; ein entsprechender Versuch ergab  $L = 6,2 \cdot 10^{-4}$ .

2. Oudinsche variable Selbstinduktion (22 Windungen):  $E_\epsilon = 3,52$ ,  $\Delta V_\epsilon = 3,24$ ,  $i_{1\epsilon} = i_{2\epsilon} = 2,1$ ;  $L = 3,88 \cdot 10^{-5}$ .

3. Desgl. mit 15 Windungen:  $E_\epsilon = 2,9$ ,  $\Delta V_\epsilon = 2,57$ ,  $i_{1\epsilon} = i_{2\epsilon} = 2,2$ ;  $L = 2,31 \cdot 10^{-5}$ .

<sup>1)</sup> Vgl. diese Zeitschr. 30, S. 119, Fußnote 11.

4. Primärspule des Teslatransformators:  $E_\varepsilon = 2,9$ ,  $AV_\varepsilon = 2,57$ ,  $i_{1\varepsilon} = i_{2\varepsilon} = 2,2$ ;  $L = 2,31 \cdot 10^{-5}$ .

5. Solenoid des Ampereschen Gestelles:  $E_\varepsilon = 1,64$ ,  $AV_\varepsilon = 1,08$ ,  $i_{1\varepsilon} = 2,23$ ;  $i_{2\varepsilon} = 2,3$ ;  $L = 5,2 \cdot 10^{-6}$ .

6. Einfacher Drahtkreis (Ring der Tangentenbussole):  $E_\varepsilon = 2,96$ ,  $AV_\varepsilon = 0,76$ ,  $i_{1\varepsilon} = i_{2\varepsilon} = 6,5$ ;  $L = 8,0 \cdot 10^{-7}$ .

7. Impedanzbügel zu den Teslaversuchen:  $E_\varepsilon = 2,83$ ,  $AV_\varepsilon = 0,72$ ;  $i_{1\varepsilon} = i_{2\varepsilon} = 5,75$ ;  $L = 9,3 \cdot 10^{-7}$ .

Wie man sieht, gelangt man mit dieser Methode mühelos bis fast zu den kleinsten Selbstpotentialen, die im Unterricht überhaupt benutzt werden: versagt hat das Verfahren erst bei einer einzigen Windung der OUDINSCHEN variablen Selbstinduktion dadurch, daß das Voltmeter auch ohne Vorschaltwiderstand (kleinster ablesbarer Ausschlag 0,5 Volt) den ersten Teilstrich nicht mehr ganz erreichte. Mit einem empfindlicheren Voltmeter oder einem Betriebe des Stricknadelkontaktes mit 50- (statt 30-) periodigem Wechselstrom, vielleicht auch bei Verwendung von mehr als 220 Volt, wenn die Stricknadel des Kontaktes an schwerer schmelzbare Kugeln schlägt, würde man wohl noch kleinere Selbstpotentiale messen können. Auch so ist man aber in der Lage, die elektrischen Schwingungen viel exakter zu verfolgen, als dies bisher der Fall war. Da man nämlich mit dem Stricknadelkontakt auch sehr kleine Kapazitäten messen kann<sup>1)</sup>, ist man im Unterricht bei elektrischen Schwingungen, z. B. Teslaversuchen, Versuchen über abgestimmte Schwingungskreise usw. nicht mehr auf Taxierung der Schwingungszahl oder Mitteilung der von der liefernden Firma angegebenen Zahl angewiesen, sondern kann sie nach Formel (9) berechnen. So hat z. B. die Entladung von zwei Leidener Flaschen, deren Kapazität in Parallelschaltung zu  $1,9 \cdot 10^{-9}$  Farad gemessen ist<sup>2)</sup>, durch die Primärspule des Teslatransformators (vgl. oben 4. Beispiel) die Frequenz  $n \approx 7,6 \cdot 10^5$ . Wird diese Entladung nun durch den Impedanzbügel und eine kleine Kohlenfadenlampe in Parallelschaltung geschickt, so ist in ersterem eine Impedanz von  $2\pi \cdot 7,6 \cdot 10^5 \cdot 9,3 \cdot 10^{-7} \approx 4,5 \Omega$  zu überwinden, während die Glühlampe etwa  $10 \Omega$  Widerstand hat. Durch Parallelschaltung des Bügels zu der Lampe wird also der Strom in letzterer auf etwa den 3. Teil sinken (Verhältnisse wie beim Gleichstrom vorausgesetzt, in Wirklichkeit sinkt der Strom infolge der Phasenverschiebung nicht ganz so weit, etwa auf den  $\sqrt{5}$ . Teil), d. h. die ursprünglich (ohne Bügel) rot brennende Lampe wird fast erlöschen: das ist tatsächlich der Fall. Ersetzt man die Primärspule des Teslatransformators durch die Oudinsche variable Selbstinduktion, in der so viel Windungen eingeschaltet sind, daß sie dasselbe Selbstpotential hat wie die Primärspule (z. B. 15, vgl. obige Beispiele 3 und 4), so ist die Erscheinung natürlich durchaus die gleiche. Bei Verminderung der Windungszahl brennt aber die Lampe bei Parallelschaltung des Bügels merklich heller; denn hierdurch wird das gesamte Selbstpotential des Entladungskreises vermindert, die Frequenz (9) und damit die Impedanz des Bügels erhöht, bei wenigen Windungen der variablen Selbstinduktion ist die Helligkeit der Lampe bei und ohne Einschaltung des Bügels kaum noch zu unterscheiden. Rechnerisch verfolgen läßt sich das allerdings im Unterricht nicht mehr, da einerseits der Einfluß der Phasenverschiebung dann sehr groß wird, andererseits das Selbstpotential der Zuleitungsdrähte bei wenigen Windungen für die Berechnung der Frequenz nicht mehr außer acht gelassen werden darf. Wie in diesem Beispiel kann man natürlich auch bei anderen elektrischen Schwingungen die Frequenz wirklich festlegen, und das halte ich für einen erheblichen didaktischen Vorteil: es ist dies möglich bis zu Frequenzen über  $10^7$ , da der Stricknadelkontakt Kapazitäten bis  $10^{-10}$ , Selbstpotentiale bis  $10^{-6}$  mit Sicherheit zu messen gestattet.

<sup>1)</sup> Vgl. diese Zeitschr. 30, S. 121.

<sup>2)</sup> Vgl. diese Zeitschr. 30, S. 121.



Die in der Wissenschaft meist gebrauchten Methoden zur Bestimmung der Selbstinduktionskoeffizienten<sup>1)</sup> sind in diesem Aufsatze nicht gestreift, da sie zu langsam arbeiten und nicht leichtverständlich sind, sich darum für die Schule nicht eignen; die Nullmethoden erfordern außerdem die Benutzung von Selbstinduktionsnormalen, die sich auch nicht häufig in Schulsammlungen finden dürften. Für die Schule kommt es auch nicht auf große Genauigkeit der Resultate an, sondern darauf, daß die Schüler klare Begriffe und ungefähr genaue Resultate erhalten, die Vorstellungen von der Größenordnung schaffen. Daß im übrigen die hier geschilderten Methoden den berechtigten Anforderungen des Unterrichts genügen, zeige folgende Zusammenstellung von Selbstpotentialwerten, die nach den verschiedenen voneinander unabhängigen Methode ngewonnen, bzw. aus den Dimensionen (Formeln aus E. ORLICH'S Kapazität und Induktivität) berechnet sind: die erste Spalte enthält die in der Brücke mit dem rotierenden Doppelunterbrecher („Brücke“), die zweite die mit Hitzdraht-ampere-meter und -voltmeter unter Verwendung von gewöhnlichem Wechselstrom („W.-Str.“), die dritte die mit denselben Instrumenten und den Entladungen durch den Stricknadelkontakt („Nadel“) gewonnenen Werte.

Spule	Brücke	W.-Str.	Nadel	Berechnet
I . . . . .	$7,75 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$		
II . . . . .	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$		
Indikatorspule der Braunschen Röhre	$6,4 \cdot 10^{-4}$		$6,25 \cdot 10^{-4}$	
Variabele Selbstinduktion, 22 Windungen			$3,88 \cdot 10^{-5}$	$3,78 \cdot 10^{-5}$
Desgl. 15 Windungen . . . . .			$2,31 \cdot 10^{-5}$	$2,27 \cdot 10^{-5}$
Teslaprimärspule . . . . .			$2,31 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^{-5}$
Solenoid des Ampereschens Gestells . .			$5,2 \cdot 10^{-6}$	$5,23 \cdot 10^{-6}$
Drahtkreis (Tangentenbussole) . . . .			$8,00 \cdot 10^{-7}$	$8,6 \cdot 10^{-7}$

In der Übereinstimmung der Werte für die Indikatorspule der Braunschen Röhre liegt zugleich der oben angedeutete Nachweis für die Richtigkeit der Formel (9): Spulen der Größenordnung  $10^{-4}$  Henry dürften also für diesen Nachweis im Unterricht in Betracht kommen, da sie sich gleich gut in der Brücke und mit dem Stricknadelkontakt messen lassen.

Nur in einem Falle hat die Stricknadelmethode kein recht befriedigendes Resultat geliefert, nämlich bei einem geraden Drahte. Da sich die Schüler nur schwer vorstellen, daß ein solcher Selbstpotential besitzt, wäre gerade hier eine Bestimmung wünschenswert; diese ergab bei einem Kupferdraht von 1 m Länge und 1,42 mm Dicke ( $E_e = 4,28$ ,  $\Delta V_e = 0,68$ ,  $i_{1e} = i_{2e} = 6,25$ )  $L = 1,1 \cdot 10^{-6}$ , während die Berechnung  $1,44 \cdot 10^{-6}$  erwarten ließ. Ich schiebe diese Ungenauigkeit darauf, daß es bei einem geraden Drahte unmöglich ist, das Voltmeter bifilar mit den Enden zu verbinden, letzteres also einen induktiven Widerstand hat, der neben seinem Ohmschen in Betracht kommt, also zu niedrig zeigt. Immerhin zeigt auch das gewonnene Resultat, daß der scheinbare Widerstand des Drahtes bei den Kondensatorentladungen viel höher ist als der Ohmsche, und zwar nicht infolge der Stromverdrängung, die bei der benutzten Frequenz ( $1,54 \cdot 10^4$ , wie leicht zu berechnen) noch fast unmerklich ist: während der Ohmsche Widerstand bei Gleichstrom  $1,08 \cdot 10^{-2}$  wäre, ist er bei  $n = 8 \cdot 10^5$  erst 0,04. Dagegen ist die Impedanz  $\frac{\Delta V_e}{i_e} = 1,08 \cdot 10^{-1}$ , also 10mal so groß wie der Ohmsche Widerstand. Instrukтив ist, daß bei bifilarem Zusammenbiegen des Drahtes das Voltmeter ( $\Delta V_e$ ) und damit also das Selbstpotential ganz erheblich sinkt: damit ist in der Tat die Existenz der Selbstinduktion des geraden Drahtes gezeigt.

<sup>1)</sup> Vgl. z. B. Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik, und Ernst Orlich, Kapazität und Induktivität.

Eine weitere Bestätigung der Thomsonschen Formel (9) und für die Richtigkeit der bestimmten Selbstpotentiale und Kapazitäten bietet die Abstimmung von elektrischen Schwingungskreisen aufeinander. Da die Eigenfrequenzformel (9) mit der Resonanzformel übereinstimmt, muß für zwei aufeinander abgestimmte Kreise

$$C_1 L_1 = C_2 L_2 \dots \dots \dots (14)$$

sein. Man wird also gemäß dieser Formel zwei Schwingungskreise berechnen können und aufeinander wirken lassen: jede Veränderung eines derselben muß sich dann in geringerem Ansprechen des Sekundärkreises zeigen. Benutzt wurden als Kapazitäten primär drei parallele Leidener Flaschen, für die sich  $C = 3,63 \cdot 10^{-9}$  Farad ergab, sekundär ein Plattenkondensator (Kohl Nr. 60612), das eine Mal mit 3,5 mm, das andere Mal mit 4,0 mm Plattenabstand. Seine Kapazität ist  $5,15 \cdot 10^{-11}$  bzw.  $4,5 \cdot 10^{-11}$  Farad. Als Selbstinduktion sekundär wurde die Teslasekundärspule von  $9,3 \cdot 10^{-3}$  Henry benutzt, so daß  $C_2 L_2 = 4,76 \cdot 10^{-13}$  bzw.  $4,18 \cdot 10^{-13}$  war. Danach mußte das primäre Selbstpotential  $1,31 \cdot 10^{-4}$  bzw.  $1,15 \cdot 10^{-4}$  sein. Die Koppelung wurde lose gemacht, d. h. die Sekundärspule des Teslaapparates wurde aus der primären genommen und in der Nähe hingelegt. Dagegen wurde in die primäre Teslaspule eine auf einen Glaszylinder gewickelte Spule von 43 Windungen gesetzt und mit ihr verbunden, so daß diese gesamte Spule  $1,08 \cdot 10^{-4}$  Henry hatte. Danach waren primär noch zuzusetzen  $1,31 \cdot 10^{-4} - 1,08 \cdot 10^{-4} = 2,3 \cdot 10^{-5}$  Henry, bzw.  $(1,15 - 1,08) \cdot 10^{-4} = 7 \cdot 10^{-6}$  Henry. Das konnte durch 15 bzw. 7 Windungen der Oudinschen variablen Selbstinduktion geschehen. Die Erregung des primären Flaschenkreises geschah durch einen Ruhmkorff mit Hammerunterbrecher bei mäßigem Strom und kurzer Funkenstrecke. Als Indikator des Sekundärkreises diente ein Vakuumthermoelement, das mit dem Galvanometer verbunden war. Es ergaben sich in beiden Fällen sehr kräftige Ausschläge, die sofort bei jeder Änderung des Plattenabstandes im Kondensator zurückgingen. Natürlich kann man derartige Versuche sehr variieren. Hauptsache ist, daß sie vorher berechnet sind. Darin liegt aber gerade ihr didaktischer Wert.

## Demonstration des Einflusses des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung.

Von

Dr. Karl Bergwitz, a. o. Professor an der Technischen Hochschule zu Braunschweig.

In seinem Buche „Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft“ beschreibt HEINRICH HERTZ eine Versuchsanordnung, mit deren Hilfe der Einfluß des elektrischen Funkens auf einen andern nachgewiesen werden kann.

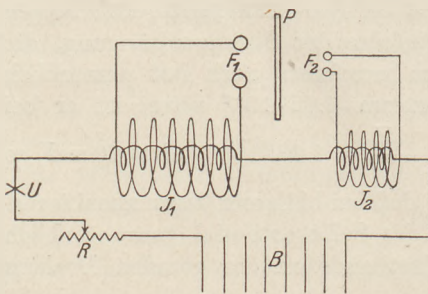


Fig. 1.

Hertz betreibt ein großes und ein kleines Induktorium in Serie durch eine größere Bunsenbatterie. Der Stromkreis wird durch einen eingeschalteten Unterbrecher (Quecksilberunterbrecher) unterbrochen, so daß beide Induktoren zu gleicher Zeit Funken geben. Als Funkenstrecken dienten für den großen Induktor ein allgemeiner Entlader, der auf  $1/2 - 1$  cm maximale Schlagweite eingestellt werden konnte, für das zweite Induktorium ein Rießsches Funkenmikrometer, in dem Funken von 1—2 mm Länge überspringen konnten.

Beide Entlader werden bekanntlich so aufgestellt, daß beide Funkenstrecken sich „sehen“ können. „Wird nun der Interruptor in Tätigkeit gesetzt und das



Funkenmikrometer so weit auseinandergezogen, daß die Funken in ihm eben noch regelmäßig übergehen, so erlöschen diese Funken sofort und vollständig, wenn man eine Platte von Metall, Glas usw. zwischen die beiden Funkenstrecken einsenkt; sie treten sofort wieder auf, wenn die Platte entfernt wird.“

Die Versuchsanordnung von HERTZ ist in nebenstehender Skizze wiedergegeben. In der Zeichnung (Fig. 1) bedeuten:  $B$  die Batterie,  $R$  einen Regulierwiderstand,  $U$  den Unterbrecher,  $J_1$  und  $J_2$  die Induktoren,  $F_1$  und  $F_2$  die Funkenstrecken und  $P$  eine Metall-, Glas- oder Quarz-Platte.

Das Unvorteilhafte dieser Hertz'schen Versuchsanordnung für eine Demonstration des Einflusses des ultravioletten Lichts auf die elektrische Entladung ist unverkennbar. Zunächst müssen zwei Induktoren zur Verfügung stehen, sodann sind rötliche Funken von 1—2 mm Länge, die lediglich die Spannungsdifferenz an den Enden der Sekundärspule des zweiten Induktors ausgleichen, kaum in größerer Entfernung zu erkennen.

Man kann nun diese Versuche von Hertz in bequemster Weise und zugleich in sehr eleganter Form mit einem einzigen Induktor von größerer Schlagweite so anstellen, daß sie in einem großen Auditorium weithin erkennbar sind.

Die Zeichnung der schematisierten Versuchsanordnung gibt die nebenstehende Figur wieder (Fig. 2).

In dieser Figur bedeuten:  $B$  eine Gleichstromquelle,  $R$  einen Vorschaltwiderstand,  $U$  einen Unterbrecher — am besten ist ein rotierender Quecksilberunterbrecher — und  $J$  ein starkes Induktorium.  $C_1$  und  $C_2$  sind zwei Leydner Flaschen von je 2000 cm Kapazität, die sich mit helleuchtenden Schwingungsfunken über die variierbare Funkenstrecke  $F_1$  entladen. Zwischen den beiden Flaschen befindet sich eine Selbstinduktion  $S$ , die aus einigen nicht zu eng gewickelten Windungen Kupferdrahtes besteht. Sie wird über die Funkenstrecke  $F_2$  eines Funkenmikrometers kurz geschlossen.

Man setzt zunächst das Induktorium in Betrieb und reguliert Stromzuführung und Unterbrechung so, daß in  $F_1$  laut klatschende Funken von zirka 2 cm Länge in schneller Folge hellaufluchtend überschlagen. Sodann verstellt man die Schlagweite von  $F_2$  so lange, bis die Folge der leuchtenden Funken von zirka 7—9 mm Länge unregelmäßig werden will. Wird nun eine Glasscheibe ( $P$ ) zwischen beiden Funkenstrecken gehalten, so erlöschen die Funken in  $F_2$  plötzlich, um nach Entfernung derselben mit großer Regelmäßigkeit wieder einzusetzen. Statt einer Glasscheibe kann man auch einen schmalen Glasstreifen, eine Metallschablone, eine Reißschiene, einen Stock, den Finger usw. zum Ablenden des Lichts von  $F_1$  benutzen. Zum Nachweis, daß gerade das ultraviolette Licht die zweite Funkenstrecke beeinflusste, bringe man eine Bleischeibe, eine Uviolglasplatte oder eine Quarz-Scheibe oder -Linse zwischen  $F_1$  und  $F_2$ . Um die Zuschauer nicht durch das grelle Licht der Funken in  $F_1$  zu blenden, verdeckt man die Funkenstrecke  $F_1$  nach dem Auditorium zu und bringt  $F_2$  senkrecht über  $F_1$  an. — Beide Funkenstrecken lassen sich so aufeinander abstimmen, daß selbst ein Leuchtgasstrom aus einem an die Gasanlage geschlossenen Gummischlauch die Funken in der kleinen Funkenstrecke verschwinden läßt. (Vorsicht!)

Auch mit Hilfe einer Influenzmaschine kann man den Einfluß zweier Funken

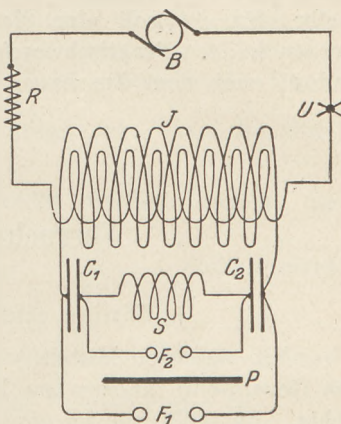


Fig. 2.

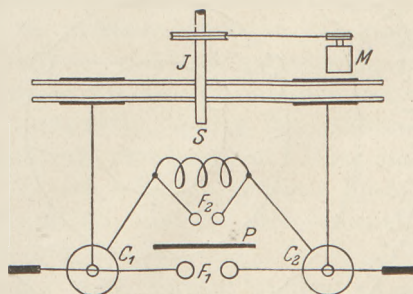


Fig. 3.

aufeinander einem größeren Zuschauerraum sehr bequem demonstrieren. Diese Versuchsanordnung ist in der Figur 3 schematisch angegeben.  $M$  soll einen Motor bedeuten, dessen Tourenzahl sich gut regulieren läßt. Er treibt die Influenzmaschine  $J$  (hier eine Holtzsche Maschine zweiter Art), so daß zwischen den Kugeln ( $F_1$ ) die Kondensatorfunken überspringen.  $C_1$  und  $C_2$  sind die beiden kleinen Leydner Flaschen, deren Innenbelegungen mit den Saugkammern der Maschine verbunden sind. Ihre Außenbelegungen stehen durch die Selbstinduktion  $J$ , die aus 3—4 Windungen Draht e besteht, miteinander in Verbindung. Parallel zu dieser Spule liegt das Funkenmikrometer ( $F_2$ ).  $P$  soll eine Platte bezeichnen, die zwischen  $F_1$  und  $F_2$  eingeschaltet werden kann. Praktischerweise wird man  $F_1$  und  $F_2$  wieder übereinander anordnen und  $F_1$  nach dem Zuschauer zu abblenden.

## Versuche mit der Schwungmaschine.

Von F. Queißer in Tetschen a. E.

### 1. Einige einfache Versuche über die Fliehkraft.

Mit einfachen Mitteln viel zu zeigen an einem Versuche und die Schüler selbst das Gewünschte ablesen zu lassen, ist eine Grundforderung experimentellen Unterrichts. Es trifft, wie ich glaube, auch für folgende Versuchsreihe zu.

Benötigt werden hierzu einige Lagerkugeln gleicher und verschiedener Größe und einige Kugeln aus verschiedenem Material von gleicher Größe (Radius 1 bis  $1\frac{1}{2}$  cm). Die Durchmesser der käuflichen Stahlkugeln für Fahrräder und Automobile fand ich in Vielfachen von 0,7875 mm fortschreitend, und es wird für die Versuche erwünscht sein, diejenigen Nummern auszuwählen, welche dem 4-, 8-, 12- oder 6-, 12-, 18-fachen dieses Einheitsdurchmessers entsprechen, somit entweder 3,15, 6,3, 9,45 mm oder 4,725, 9,45, 14,175 mm zu ihren Durchmessern haben. Zweitens ist erforderlich eine ebene

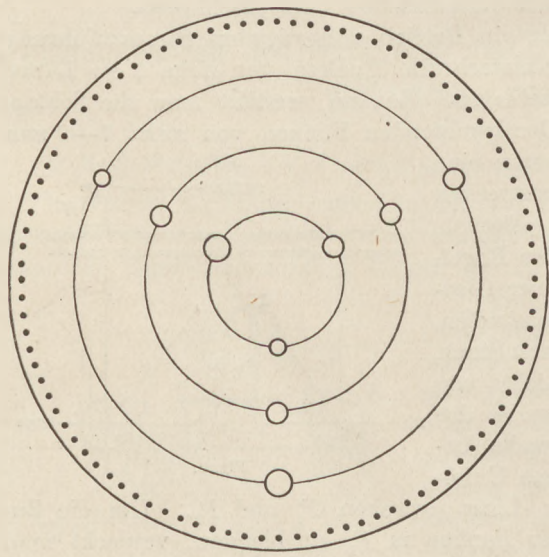


Fig. 1

Metallscheibe von etwa 15 bis 18 cm Halbmesser, welche auf die Schwungmaschine gesetzt werden kann. (Unter Umständen, bloß für qualitative Versuche, genügt auch eine Holzscheibe aus Laubsägeholz, welche durch eine Stricknadel drehbar gemacht wurde.) Die Scheibe, Fig. 1, erhält 9 Bohrungen von der Größe und Anordnung, wie es die Abbildung andeutet, und die recht sauber ausgeführt, insbesondere vollkommen glatte Ränder aufweisen müssen. Die Durchmesser der Bohrungen sind beziehungsweise 3, 6 und 9 mm (mit Spiralbohrern hergestellt) und auf drei Kreisen und Radien so verteilt, daß sowohl gleichgroße Löcher auf verschiedene Radien und Umfänge als auch verschieden große Löcher auf denselben Kreisumfang und Radius zu

liegen kommen. Es mag im folgenden noch bezeichnen:  $\rho$  den Radius einer Bohrung,  $r$  denjenigen einer Lagerkugel und  $R$  die radiale Entfernung einer Kugel von der Drehungsachse. Es läßt sich dann nach dem folgenden Schema mit der beschriebenen



Vorrichtung nachstehend beschriebene Versuchsreihe ausführen, aus welcher die Schüler leicht die entsprechenden Verhältnisse herauslesen können:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
gleich . . . . .	$R, r, \varrho$	$r \varrho$	$Rr$	$R \varrho$	$R$	$\varrho$	$r$	—
verschieden . . .	—	$R$	$\varrho$	$r$	$r \varrho$	$Rr$	$R \varrho$	$Rr \varrho$

1. Indem man also nach I gleichgroße Kugeln in gleichgroße Löcher bei derselben Entfernung von der Achse legt, werden dieselben natürlich gleichzeitig, aber erst bei einer gewissen Geschwindigkeit, herausgeschleudert, dann nämlich, wenn die Resultierende  $R$  aus Schwerkraft  $G$  und Fliehkraft  $F$  ein Drehungsmoment erzeugt, das die Kugel aus dem Lager zu heben vermag (Fig. 2). Erst wenn also die Kugel die entsprechende Kraft  $\frac{mv^2}{2}$ , also genügend großes  $v$  erlangt hat, kann die Hub-

arbeit  $A = G(r - \sqrt{r^2 - \varrho^2}) = Gr \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{\varrho}{r}\right)^2} \right]$  geleistet werden, welche die Kugel freimacht. Solange das Verhältnis  $\frac{F}{G} = \frac{\varrho}{\sqrt{r^2 - \varrho^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{r}{\varrho}\right)^2 - 1}}$  nicht erreicht

ist, bleiben die Kugeln in ihrer Lagern, verlassen dann aber auch gleichzeitig ihre Stellung. Man sieht, daß hierfür besonders das Verhältnis  $\frac{\varrho}{r}$  maßgebend ist.

2. Man lege nun gleichgroße Kugeln aus verschiedenem Material (z. B. Blei, Eisen und Holz) in gleichem Abstände auf gleichgroße Löcher. Gewöhnlich werden bei einer Vorfrage, welche Kugel wohl zuerst herausgeschleudert werde, die Schüler antworten: die schwerste, da sie die größte Schwerkraft besitze. Sie sind dann freilich sehr erstaunt, zu sehen, daß alle drei Kugeln zu gleicher Zeit herausfliegen. Damit ist die Parallele zu dem Satze „Alle Körper fallen gleich schnell“ gewonnen, und gezeigt, daß die Fliehkraft der Masse proportional ist.

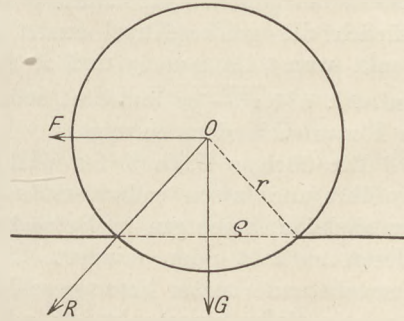


Fig. 2.

3. Nach II liegen jetzt gleiche Kugeln auf gleichen Löchern in verschiedenen Abständen von der Achse. Wie erwartet, fliegt die äußerste zunächst herunter, hernach die anderen; nur ist zu beobachten, daß bei möglichst gleichmäßiger Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit nicht auch das Herausschleudern in gleichen Zeitabschnitten erfolgt, sondern in gegen die Mitte zu wachsenden, woraus der stärkere Einfluß der Umdrehungsgeschwindigkeit oder Umlaufzeit abzulesen ist. Denn da für die drei Kugeln mit den Entfernungen  $R_1, 2R_1$  und  $3R_1$  die gleichen Fliehkräfte nötig sind, sie aus den Lagern zu heben, so müssen sich die erforderlichen Umlaufzeiten  $T_1, T_2$  und  $T_3$  verhalten wie  $\sqrt{1} : \sqrt{2} : \sqrt{3}$ .

Der genauere Beweis kann vielleicht in folgender Weise geführt werden. Am Umfange der oben beschriebenen Scheibe bringe man noch nach Art einer Sirene eine Lochreihe von 96 Löchern an. Mit einem spitz zugeschnittenen Kartonplatte erzeugt man nun während der Drehung der gleichsam als Zahnsirene benutzten Scheibe den Ton. Es läßt sich dann genau feststellen, bei welchen Tönen die einzelnen Kugeln herausfliegen. Zur Festlegung der Tonhöhe dient wohl am besten eine gewiß überall vorhandene Skalenpfeife oder eine Skalenstimmgabel, deren Angaben die Richtigkeit der obigen Behauptung ergeben, indem die relativen Schwingungszahlen der gehörten Töne tatsächlich die Verhältnisse  $\sqrt{6} : \sqrt{3} : \sqrt{2}$  aufweisen. Ich

fand auf diese Weise die Bestätigung stets auf 1<sup>0</sup>/<sub>10</sub> genau. Natürlich könnte man auch umgekehrt zu drei vorgegebenen passenden Tönen die zugehörigen Entfernungen  $R$  bestimmen und danach die Scheibe mit den entsprechenden Bohrungen versehen.

4. III zeigt dann den Einfluß der Lochgröße auf die Hubarbeit der Fliehkräfte. Die drei gleichen Kugeln liegen jetzt in verschiedenen großen Löchern bei gleicher Entfernung von der Achse und fliegen in der Reihenfolge der Lochgröße heraus, was ja zumeist leicht eingesehen wird. Man kann hier an den Begriff der Standfestigkeit anknüpfen und zeigen, daß die Kugel um so sicherer in ihrem Lager ruht, je tiefer ihr Schwerpunkt liegt und je größer ihr Lagerkreis ist. Die umkippende Kraft ist eben hier die Fliehkraft. Es muß wieder das Verhältnis  $\frac{F}{G} = \frac{\varrho}{\sqrt{r^2 - \varrho^2}}$  überschritten werden, ehe die Kugel von der Resultierenden der beiden Kräfte herausgehoben ist.

Auch hier kann die Bestimmung des Tones, bei welchem das Herausfliegen erfolgt, dazu dienen, die Richtigkeit der Fliehkraftsformel zu erweisen.  $F = kmRn^2$  gesetzt, wobei  $m$  die Masse der Kugel,  $R$  ihren Abstand von der Achse,  $n$  die Schwingungszahl des ermittelten Sirentonens bedeutet, muß sich für die drei Löcher der Ausdruck  $\frac{\varrho}{n^2 \sqrt{r^2 - \varrho^2}}$  als konstant erweisen, was bei den Versuchen auch wieder auf 1 bis 2<sup>0</sup>/<sub>10</sub> Fehler stimmte.

5. Das Gegenstück bildet IV, nach welchem verschieden große Kugeln in gleichen Löchern bei gleichem Abstände von der Drehungsachse zu liegen kommen. Hier wird natürlich die größte Kugel zuerst weggeschleudert, da sie am wenigsten tief eingesenkt war. Da nun  $\varrho$  und  $R$  für die drei Kugeln gleich sind, muß jetzt der Ausdruck  $n^2 \sqrt{r^2 - \varrho^2}$  konstant sein, falls der Sirenton mit der Schwingungszahl  $n$  das Herausschleudern anzeigt.

Die übrigen Fälle V bis VIII des Schemas sind nur der Vollständigkeit halber angeführt und lassen selbstverständlich mannigfaltige Abänderungen zu, von denen hauptsächlich diejenigen in Betracht kämen, bei denen ein Faktor den Einfluß eines anderen aufhebt oder mindert. So kann z. B. eine kleinere Kugel in größerem Achsenabstände später herausgeschleudert werden als die nähere größere Kugel, da sie relativ tiefer eingesenkt ist; oder die große Kugel fliegt selbst bei größtem Abstände später heraus als eine kleinere achsennähere, weil sie stabiler liegt. Man wird sich begnügen können, diese Fälle nur qualitativ zu behandeln. Jedenfalls bieten auch diese Versuche Anregung zum Denken.

## 2. Versuche über die Oberflächengestalt rotierender Flüssigkeiten und Gase.

Die Erscheinung, daß die Oberfläche rotierender Flüssigkeiten ein Paraboloid ist, wird in der bekannten Weise mittels eines mit Wasser oder Quecksilber gefüllten, auf die Schwungmaschine gesetzten Gefäßes gezeigt. Nur ist die so geschaffene Oberflächengestalt vergänglich und der Schüler nimmt nur auf guten Glauben die Gestalt als ein Paraboloid hin, ohne sich genauer davon überzeugen zu können. Es war also wünschenswert, den Versuch so zu gestalten, daß die Oberfläche in ihrer Form erhalten blieb und können vielleicht folgende zwei Verfahren dazu dienen. Nach dem ersteren richte man ein passendes Gefäß, am besten eine alte, aber nicht verbeulte Konservenbüchse von etwa 8 cm Durchmesser so her, daß sie, auf die Schwungmaschine gesetzt, genau zentriert rotieren kann. Es empfiehlt sich hierzu eine Art Tischchen, auf das die Büchse mit Siegellack oder Pizein gekittet wird. Man füllt nun das Gefäß bis zu etwa ein Drittel mit eben angerührtem Gipsbrei und setzt die Maschine in möglichst gleichmäßigen Gang solange, bis die Masse soweit erstarrt



ist, daß die Form der entstandenen Rotationsfläche erhalten bleibt. Je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit kann man verschieden geformte, flachere oder steilere Paraboloide entstehen lassen. Nachdem die Gipsmasse genügend hart geworden und getrocknet ist, lötet man die Büchse seitwärts und am Boden auf und kann nun den entstandenen Gipskörper durch einen Achsenschnitt mit einer Säge halbieren, um dadurch die Leitkurve des Rotationskörpers zu bekommen. Eine Ausmessung derselben ergibt angenähert eine Parabel.

Auf eine zweite Art kann folgendermaßen vorgegangen werden. Statt der Konservenbüchse befestige man auf dem obenerwähnten Tischchen ein Becherglas und fülle dasselbe mit nahezu siedendem Wasser. Obenauf gieße man eine dünne Schicht geschmolzenen Paraffins und versetze die Vorrichtung in mäßige Drehung. Die Paraffinschicht wird nun die Gestalt des Rotationsparaboloides auskleiden und in derselben erstarren, wenn man die Maschine so lange bei konstanter Geschwindigkeit in Drehung erhält, bis das Gefäß genügend ausgekühlt ist, was in diesem Falle allerdings längere Zeit erfordert als bei dem oben angegebenen Versuche. Auch ist die erstarrte Oberflächenform jetzt viel zarter und zu weiteren Untersuchungen weniger geeignet.

Daß auch gasförmige Körper in rotierendem Zustande eine paraboloidische Oberfläche annehmen können, ist in folgender Weise sichtbar zu machen. Das sonst mit Wasser gefüllte Rotationsgefäß wird zu diesem Zwecke teilweise mit Kohlendioxyd angefüllt, dessen Vorhandensein in der bekannten Weise durch Salmiaknebel deutlich gemacht wird. Während man in ein Schälchen, das man im Zentrum des Bodens festgeklebt hat, ein wenig von der einen der beiden Flüssigkeiten Salzsäure und Ammoniak eingefüllt hat, gießt man von der anderen einige Tropfen unmittelbar auf den Boden des Gefäßes, in welchem nun der entstandene Salmiaknebel bis zur Grenzschicht von Kohlendioxyd und Luft emporsteigt. Bei langsamer Drehung geht auch hier die zunächst horizontale Oberfläche des Kohlendioxyds in eine paraboloidische über, bis schließlich das Gas mit dem Nebel ähnlich wie eine Flüssigkeit tangential herausgeschleudert wird. Daß die Erscheinung an die Gegenwart des Kohlendioxyds gebunden ist und nicht etwa nur diejenige des Salmiaknebels, zeigt sich, wenn man den Versuch mit dem Nebel allein anstellen wollte. Das Aussehen der wirbelnden Masse ist jetzt ein anderes.

### 3. Gleitende und rollende Reibung bei der Rotation.

Man versetze auf der Schwungmaschine eine glatte, kreisförmige Scheibe, welche man wieder zentrisch auf das obenerwähnte Tischchen aufgekittet hat, in mäßige Drehung. Legt man nun auf die Scheibe während der Rotation einen runden Körper, eine Marmel- oder Elfenbeinkugel (Fig. 3), eine größere Münze (hochkant) u. dgl., so wird er von derselben mitgenommen und verläßt sie in spiralförmiger Bahn. Verhindert man aber dieses Wegfliegen dadurch, daß man ihn entweder mit den Fingern oder, wenn er durchlocht ist, mittels eines Stäbchens zurückhält, so wird er zunächst selbst in Rotation geraten, die natürlich um so rascher sein wird, je weiter er sich von der Achse der Schwungmaschine befindet. Seine Rotationsachse ist natürlich radial gerichtet, so wie etwa auch das Stäbchen zu halten sein wird. Gibt man ihn jetzt frei, so bleibt er an seiner Stelle und verhält sich ganz so wie ein Kreisel. Infolge der geringeren rollenden Reibung wird er jetzt durch diese nicht mehr mitgenommen, sondern unterliegt dem stärkeren Beharrungsvermögen. Durch die Einwirkung äußerer Kräfte (Unebenheiten der Platte, Einfluß der Reibung) gerät die Kugel ähnlich wie der Kreisel in prä-

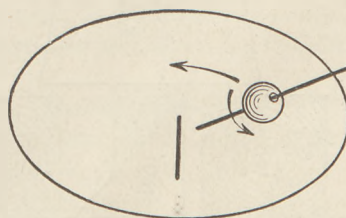


Fig. 3.

zessionsartige Bewegung, auf deren zyklodischer Bahn sie sich meist der Rotationsachse nähert; dabei verringert sich ihre eigene Rotationsgeschwindigkeit, hiermit vermehrt sich wiederum der Einfluß der Reibung, bis sie schließlich infolge der Fliehkraft aus der Mitte der Scheibe in spiralförmiger Bahn hinausgeschleudert wird. So einfach auch der Versuch ist, regt er doch sehr zu Beobachtung und Denken an.

## Zur Messung der Adhäsion.

Von Prof. J. Kleiber in München.

1. Vorbemerkung. Zur Messung der Adhäsion im Unterricht wird ein Versuch angenehm sein, der mit sehr einfachen Mitteln auszuführen ist und bei dem man die Wirkung des Luftdrucks zahlenmäßig in Abzug bringen kann. Diesem Zweck entspricht die folgende Versuchsanordnung, die sich auch zu einem Demonstrationsversuch im großen eignet, da man die kleine Vorrichtung im Lichtkegel des Projektionsapparates leicht als Schattenriß auf dem Projektionsschirm vorführen kann. Unkosten verursacht der Versuch nicht, da wohl in jeder physikalischen Sammlung die zwei rechtwinklig gleichschenkeligen Glasprismen vorhanden sind, die zum Versuch benötigt werden, und die zusammen bekanntlich eine planparallele Platte ergeben. Ich selbst benutze der Bequemlichkeit halber ein kleineres und ein größeres Prisma

( $P_1$ ,  $P_2$  in Fig. 1) mit den Schenkellängen 27 mm und 32 mm, aber es können selbstverständlich auch zwei gleichgroße Prismen benutzt werden.

2. Vorversuch. a) Man setzt das eine (größere) Prisma mit einer Kathetenfläche auf den Tisch (Fig. 1) und läßt darauf (Hypotenusenfläche gegen Hypotenusenfläche) das zweite (kleinere) Prisma lose daran herabgleiten. (Wird im Schattenriß vorgeführt.) — b) Man reibt nun beide Prismen längs ihren Hypotenusenflächen ein paarmal aneinander, wobei man sie zwischeneinander gelegentlich voneinander abreißt, was für das schnelle Gelingen des Versuchs wichtig erscheint. Dann haften bald beide Prismen mehr oder minder stark aneinander. Man setzt sie nun, wie Fig. 1 zeigt, wieder auf den Tisch und belastet das obere Prisma zunächst vorsichtig mit 100 g, 200 g usw., bis endlich ein leichtes Abgleiten des oberen Prismas auf dem unteren stattfindet.

Um die Kanten der wertvollen Prismen nicht zu beschädigen, stellt man zu beiden Seiten des unteren Prismas zwei kleine Sicherheitsklötze von solcher Höhe auf, daß beim

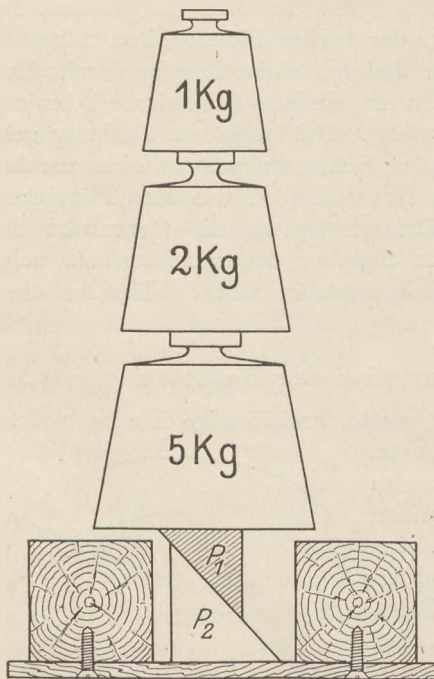


Fig. 1.

Ableiten des oberen Prismas auf dem unteren die darauf liegenden Gewichtsstücke durch die Sicherheitsklötze in ihrer Bewegung gehemmt werden, bevor sie die Kante des unteren Prismas berühren können.

3. Kann dieser Versuch als Adhäsionsversuch gelten oder kommt das Klebenbleiben unter dem Einfluß des übermächtigen äußeren Luftdrucks zustande? Da die Hypotenusenfläche des kleineren Prismas  $\sim 5,5 \text{ cm}^2$  groß war, so preßt der Luftdruck das kleine  $\sim 30 \text{ g}$  schwere Prisma mit der großen Kraft



von  $\sim 5,5$  kg an die Hypotenusenfläche des unteren Prismas. Da die Reibung von Glas auf Glas rund  $13\%$  vom Normaldruck beträgt, so wäre zur Überwindung der Reibung in diesem Falle allein schon eine Kraft von  $0,13 \cdot 5,5$  kg = 715 g nötig, die durch das kleine Eigengewicht von 30 g des oberen Prismas nicht aufgebracht werden kann. Es muß also die Erklärung des Haftenbleibens noch in der Schwebe bleiben; das Wirken der Adhäsion kann man in diesem Falle noch nicht mit Sicherheit nachweisen.

4. Messung der Adhäsionskraft. Hat man die beiden Prismen mit Seidenpapier genügend gereinigt und reibt sie genügend aneinander, unter wiederholt zwischengeschaltetem Abreißen, so zeigen sich zwischen den einander berührenden Hypotenusenflächen der Prismen prächtige Newtonsche Farbenringe; zunächst am Rande sehr schmal aneinander gepreßt; dann bei der öfteren Wiederholung des geschilderten Reibungsverfahrens schnell an Breite zunehmend. Bei guten Versuchen bleibt schließlich in der Mitte der einander berührenden Flächen nur ein kleiner nebeliger Fleck übrig, die einzige Reststelle totaler Reflexion, während an den ihn umgebenden Randstellen beide Prismen so aneinander verschmolzen scheinen, daß dort eine unter dem unteren Prisma liegende Schrift wie durch planparallele Platte hindurch gelesen werden kann. Auf dieser nebeligen Stelle  $N$  kann man den Rest der Newtonschen Farbenringe bei geeigneter Stellung gegen das Licht erblicken, der sich als schwaches gelblich-rotes Mittelfeld (oder durch die andere Kathetenfläche betrachtet als starkes, komplementäres blaues Feld) kundgibt. Sind die Farbenringe auf diesen Rest zusammengeschmolzen, so ist die Vorbereitung auf einen für den Versuch günstigen Stand gekommen. Man spürt beim Aneinanderreiben der Prismen bereits einen Widerstand von beträchtlicher Größe. Man läßt nun am besten die aneinander klebenden Prismen einige Stunden an einem kühlen Ort (z. B. nahe an einem Fenster in einem kühlen Zimmer), wodurch sich wahrscheinlich ein Teil des Wasserdampfes zwischen den Prismen kondensiert und so (durch eine bessere Wirkung des äußeren Luftdrucks?) eine größere Annäherung der Hypotenusenflächen der Prismen bewirkt, oder durch seine Verdichtung eine diese Annäherung hindernde Hemmung fort-schafft. Man hat nun die Prismen gebrauchsfertig für den Versuch.

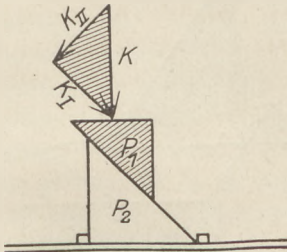


Fig. 2.

In meinem Fall waren nun nicht weniger als 8 kg nötig, um ein Abrutschen des oberen Prismas zu veranlassen (tatsächlich ein wenig mehr). Diese Kraft  $K = 8$  kg zerlegt sich nun (vgl. Fig. 2) in eine Komponente  $K_I = K \cdot \cos 45^\circ$  parallel zur Rutschfläche und in eine Komponente  $K_{II} = K \cdot \sin 45^\circ$  senkrecht zur Hypotenusenfläche, von denen also jede  $K_I = K_{II} \approx 5,657$  kg groß ist.

Da nun, wie schon oben beiläufig erwähnt, der Reibungskoeffizient für Glas/Glas  $\approx 0,13$  ist, so entspricht der das Prisma  $P_1$  bewegendenden Kraft  $K_I$  ( $\approx 5,657$  kg) ein auf das Prisma wirkender Normaldruck  $D = 5,657$  kg:  $0,13 \approx 43,5$  kg.

In diesem Normaldruck  $D$  steckt zunächst der Luftdruck  $L$  (dieser war auf die  $5,5$  cm<sup>2</sup> große Berührfläche  $\sim 5,5$  kg), dann der Druck  $K_{II}$  des Lastgewichtes (es war  $K_{II} \approx 5,7$  kg) und schließlich die Kraft der Adhäsion  $A$ . Um diese zu finden, brauchen wir also nur den Luftdruck  $L$  und den besonderen Druck  $K_{II}$  von  $D$  abzuziehen und es ergibt sich:

$$\text{Adhäsionskraft } A = D - L - K_{II} \approx 32,3 \text{ kg.}$$

Die Adhäsionskraft längs der  $5,5$  cm<sup>2</sup> großen Berührfläche war also  $32,5$  kg. Damit ist in diesem Falle das Wirken der Adhäsion einwandfrei nachgewiesen. Da nun der rund  $1$  cm<sup>2</sup> große nebelige Fleck zwischen den Prismen wohl

verhältnismäßig wenig zur Adhäsion beiträgt, so trifft die ermittelte Adhäsionskraft nach meiner Meinung nur auf die  $(5,5-1)\text{cm}^2 = 4,5\text{cm}^2$  große Randpartie der Berührstelle. Es ergibt sich demnach im Durchschnitt für die Adhäsion auf  $1\text{cm}^2$  für  
 $\text{Glas/Glas} \approx 32,5\text{ kg} : 4,5\text{ cm}^2 \approx 7\frac{1}{5}$  Atmosphären.

Dabei sind, nach den Newtonschen Restfarben auf dem nebeligen Fleck  $N$  zu schließen, an der Randpartie die Hypotenusenflächen der beiden Prismen im Mittel um weniger als um die halbe Wellenlänge des blauen Lichtes voneinander entfernt.

Vielleicht bemüht sich der eine oder andere Herr Fachkollege, die Messung noch etwas genauer zu treiben; ich habe mich mit runden Zahlen begnügt, um so recht den Charakter des Versuchs als Faustversuch im HAHNSchen Sinne hervortreten zu lassen.

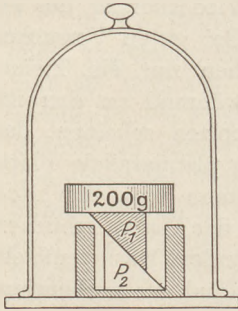


Fig. 3.

5. Schlußbemerkungen. a) Setzt man die Versuchsanordnung, wie sie Fig. 3 zeigt, unter die Rezipienten der Luftpumpe und pumpt die Luft daraus fort (Einschaltung der Barometerprobe!), so kann man zeigen, daß der Luftdruck nicht die alleinige Ursache des Aneinanderhaftens der Prismen ist; sonst müßte ja bei einem leicht feststellbaren Barometerstand das Abrutschen des oberen Prismas eintreten.

b) Den Reibungskoeffizienten  $\mu$  für Glas/Glas bestimmt man am besten schon vor Ausführung des Adhäsionsversuchs durch Ermittlung des Reibungswinkels  $\varphi$  oder vielmehr von dessen  $\text{tg}$ , denn  $\mu = \text{tg } \varphi$ . Man stellt dazu das untere Prisma auf die Kante des rechten Winkels in solcher Schräge auf, daß das zweite Prisma, daraufgesetzt, langsam auf dessen Hypotenusenfläche abrutscht (Fig. 4). (Das Festhalten des Prismas  $P_1$  erfolgt am besten mit einer kleinen hölzernen, auf dem Tisch aufliegenden Schraubenzwinde.) Es ergab sich auf eine Länge  $Z = 46\text{ mm}$  der Prismenhypotense eine Erhebung  $h \approx 6\text{ mm}$ ; also  $\text{tg } \varphi \approx 0,15$ . Damit ist alles zum Versuch Nötige mit ein paar Handgriffen bestimmt.

c) Kritische Belastung. Vor Ausführung des Adhäsionsversuchs tut man gut, sich jene Belastung  $K_0$  zu berechnen, die bei der gegebenen Versuchsanordnung notwendig ist, um den Luftdruck  $L$  allein zu überwinden. Man findet sie auf folgende Weise: Soll ihre Komponente  $K_I = K_0 \cdot \cos 45^\circ$  die Reibung überwinden (die der Normaldruck  $D = L + K_{II}$  hervorbringt), so muß die Gleichung bestehen:

$$K_0 \cdot \cos 45^\circ = \mu (L + K_0 \cdot \sin 45^\circ).$$

Hieraus findet man, wenn man  $\cos 45^\circ = \sin 45^\circ = 0,7071$  und  $\mu = 0,13$  setzt:

$$K_0 = 0,2113 L \approx \frac{1}{5} L.$$

Ist nun die Berührfläche beider Prismen, wie in meinem Falle,  $F = 5,5\text{ cm}^2$ , der Barometerstand  $p = 710\text{ mm}$  Quecks., so ist der Luftdruck, mit dem die beiden Prismen aufeinander gepreßt werden:

$$L = 5,5 \cdot (71,13,6)\text{ g} = 5,311\text{ kg},$$

also die zugehörige kritische Belastung:

$$K_0 = 1,122\text{ kg}.$$

Zeigt sich nun bei einem Versuch, daß die zulässige Belastung  $K$  über diese Grenze  $K_0$  hinausgeht, so hat man den Beweis für das Wirken der Adhäsion sicher erbracht. Eine zu starke Beanspruchung der Prismen zur Erzielung einer auffallend großen Kraft  $K$  sollte übrigens vermieden werden, um Beschädigungen der meist kostspieligen Prismen hintanzuhalten.

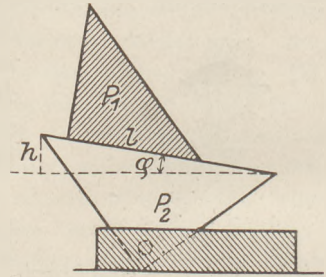


Fig. 4.



## Zur Verwendung von Schalttafelinstrumenten im Unterrichte.

Von Prof. R. Suchanek in St. Pölten (N.-Ö.).

In dieser Zeitschrift (29, 315; 1916) wird beschrieben, wie man die für Stromentnahme aus dem Straßennetze bestimmten Strom- und Spannungsmesser der Schalttafel auch für andere Stromquellen benutzen kann. Unsere Schalttafel ist aus Gründen, die seinerzeit GRIMSEHL<sup>1)</sup> angeführt hat, in dem an den Lehrsaal anstoßenden Vorbereitungsraum untergebracht. In diesem Falle ist die Anwendung des beschriebenen Verfahrens beim Unterrichte nicht möglich. Auch besteht oft der Wunsch, die Instrumente auf dem Experimentiertische aufzustellen und an einer bestimmten Stelle im Versuchsaufbau oder bei Schülerübungen zu verwenden. Dies kann dadurch ermöglicht werden, daß man die Instrumente von der Tafel abnimmt und so einrichtet, daß sie sich jederzeit rasch wieder dort befestigen lassen.

Häufig besitzen die beiden Meßvorrichtungen eine ziemlich hohe Empfindlichkeit, die jedoch an der Schalttafel nicht ausgenützt wird, weil sie hier durch Vorschaltwiderstände oder Nebenschlüsse absichtlich herabgedrückt ist, um den nötigen Meßbereich zu erzielen. Nach Abnahme vom Schaltbrette läßt sich jedoch die ganze Empfindlichkeit ausnützen. Auch ist es dann möglich, durch passende Vorschalt- und Nebenschlußwiderstände die Apparate für verschiedene Meßbereiche so einzurichten, daß man beide sowohl als Strom- wie auch als Spannungsmesser verwenden kann.

Vor Abnahme der Instrumente sucht man zunächst die Anschlußstelle der Stromzuführung auf, die gewöhnlich durch zwei kurze, die Marmorplatte durchsetzende Kabelstücke bewerkstelligt wird, und löst die Verbindung mit diesen. Sodann entfernt man die zwei Schrauben (bei M und N in Fig. 1), mit denen jedes Instrument an der Platte befestigt ist. An die Kabelenden lötet man entweder kurze Kupferstifte oder besser kleine Kabelschuhe aus Messing- oder Kupferblech nach Fig. 2 und verzinnt dieselben. An dem vorspringenden Rande jedes Instrumentes bringt man 2 Klemmen C und D an, die mit den gewöhnlich an der Rückseite befindlichen Zuleitungsschrauben in Verbindung stehen, sonst aber durch Fiberrstücke isoliert sind. An Stelle der Befestigungsschrauben (bei M und N) setzt man in die Marmorplatte zwei Gewindezapfen ein, die von hinten und vorn durch Muttern festgehalten werden. Zur Befestigung an der

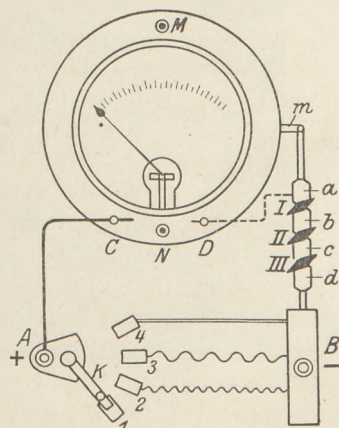


Fig. 1.

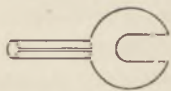


Fig. 2.

Tafel schiebt man einfach das Instrument mit den beiden Löchern M und N über die Gewindezapfen, schraubt auf jeden eine dritte Schraubenmutter, die das Instrument gegen die Marmortafel andrückt, und setzt die Kabelschuhe in die Klemmen C und D ein.

Zur Verwendung des Ampere- und Voltmeters auf dem Tische läßt man vom Tischler zwei solide Sockel aus 2,5 cm starkem Eichenholz nach Fig. 3 herstellen. Jeder Sockel erhält wieder zwei Gewindezapfen, gleich jenen an der Schalttafel. Die Befestigung erfolgt in derselben Weise wie dort. Es läßt sich nun in 1 bis 2 Minuten jedes Instrument mit wenigen Handgriffen vom Schaltbrette abnehmen und an dem Tischsockel befestigen und umgekehrt. Hat man übrigens längere Zeit mit einer Schalttafel gearbeitet, so daß man mit ihrer Hand-

<sup>1)</sup> Grimsehl, Die Unterrichtsräume für Physik. Programm der Oberrealschule auf der Uhlenhorst zu Hamburg. 1903. (Progr. Nr. 842.) Seite 6.

habung recht vertraut geworden ist, so wird man die Meßinstrumente dabei häufig entbehren können, ohne einen Mißgriff befürchten zu müssen. Bei uns werden die beiden Apparate tatsächlich viel häufiger auf dem Tischsockel als am Schaltbrett benützt.

Begnügt man sich mit einem einzigen Meßbereiche für jedes Instrument, so werden ohne weitere Einrichtung die Klemmen *C* und *D* als Zuleitung benützt. Will man aber die beiden Meßvorrichtungen möglichst vielseitig verwenden, so bringt man an dem Grundbrette des Sockels die Nebenschlüsse für die Verwendung als Strommesser und an der aufrechten Wand die Vorschaltwiderstände für die Benützung als Spannungsmesser an. Die Anordnung derselben ist der Hauptsache nach aus den Figuren ersichtlich. *A* und *B* sind die Stromzuführungsklemmen. Die Nebenschlüsse 2, 3 und 4 sind gerade oder schraubenförmig geführte Drähte aus blankem Konstantan in passender Stärke (0,5, 1,2, 3,0 mm). Die Vorschaltwiderstände bestehen aus

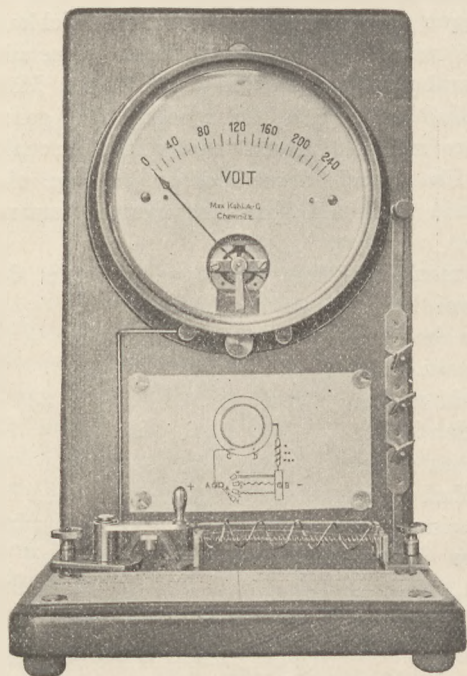


Fig. 3.

dünnen (0,10, 0,15, 0,50 mm), mit Seide umspunnenen Konstantandrähten, welche an der Rückseite des stehenden Brettes über vier Porzellanrollen gelegt sind. Die Enden dieser Drähte stehen in Verbindung mit den 5 mm dicken Messinglamellen *a, b, c, d*. Zum Schutze der feinen Drähte ist auf die Rückwand ein 2,5 cm tiefer Holzrahmen aufgesetzt und die dadurch entstandene Vertiefung mit einer Asbestschieferplatte bedeckt. Das Einschalten der Vorschaltwiderstände erfolgt durch Entfernen der Kontaktstöpsel *I, II* oder *III*. Für die Benützung der Instrumente als Amperemeter bleiben alle drei Stöpsel eingesteckt und die Kurbel *K* wird nach Bedarf auf die Kontakte 1, 2, 3 oder 4 gestellt. Bei Verwendung als Voltmeter wird die Kurbel *K* auf 1 gestellt und einer der drei Stöpsel herausgenommen.

Unsere Schaltafelinstrumente sind beide aperiodische Drehspulinstrumente.

Das Amperemeter hat, wie sich nach Abnahme von der Schalttafel herausstellte, bei direktem Stromdurchgang einen Meßbereich von 30 Milliampere und eine Teilung in halbe Milliampere. Bei Verwendung

auf dem Sockel verfügt man außerdem über Meßbereiche von 1,5, 3 und 15 Ampere. An der Schalttafel liegt es an einem dort eingebauten Nebenschluß und reicht bis 30 Ampere.

Bei Benützung der Vorschaltwiderstände kann man Spannungen bis zu 0,3, 3 und 30 Volt messen. Das Schalttafel-Voltmeter ist bei Verwendung an dem Sockel für die Meßbereiche von 0,25, 2,5 und 25 Ampere, sowie für 0,25, 2,5, 25 und 250 Volt eingerichtet.

An der Schalttafel mißt dieses Instrument bis 250 Volt. Der Widerstand für diesen Meßbereich ist an der Rückseite des Instrumentes angebracht und mit diesem fest verbunden. Für diesen Meßbereich schaltet man also sowohl an der Schalttafel als auch am Sockel bei *C* (oder *A*) und *D* an. Für die anderen Meßbereiche mußte dieser große Widerstand ausgeschaltet werden. Zu dem Zwecke wurde die Anschlußstelle des Widerstandes an das eigentliche Meßinstrument aufgesucht und diese mit einem auf die Rückseite desselben aufgesetzten, wohl isolierten Messingstift ver-



bunden, der sich beim Festschrauben des Instrumentes an den Holzsockel von selbst gegen den federnden Messingblechstreifen *m* anlegt und so die Verbindung mit *B* herstellt. (In Fig. 1 zeigen die voll ausgezogenen Linien die Verbindung bei unserem Voltmeter, die gestrichelte Linie *aD* die Verbindung beim Amperemeter.)

Unter dem Instrument ist an der aufrechten Wand eine kleine Zeichnung entsprechend der Fig. 1 und auf dem Grundbrette die Anweisung zum Gebrauche der verschiedenen Schaltungen angebracht. Dadurch wird einer unrichtigen Handhabung vorgebeugt.

An der Teilung der Instrumente wurde nichts geändert, sondern es wurden die Nebenschlüsse und Vorschaltwiderstände der vorhandenen Teilung angepaßt. Das Feilen bzw. Abpassen der Widerstände erfolgte durch Vergleich mit den Angaben eines sehr genauen Drehspulinstrumentes, welches von einer mit uns in Geschäftsverbindung stehenden elektrotechnischen Firma entliehen wurde, da die Sammlung bisher über ein geeignetes Instrument nicht verfügte.

Damit beim Unterrichte der Vortragende das gegen die Klasse aufgestellte Instrument bequem mit ablesen kann, wird vor demselben ein kleiner (18 : 12 cm) Spiegel unter  $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$  Neigung aufgestellt, in den man von oben hineinsieht. Dieser Spiegel leistet auch sonst in ähnlichen Fällen gute Dienste.

### Kleine Mitteilungen.

#### Herstellung von Doppelhakengewichten für Hebel und Rolle.

Von Hermann Frank in Bielefeld.

Um für Doppelhakengewichte aus Messing, die ich in größerer Zahl für physikalische Übungen benötigte, einen brauchbaren Ersatz zu schaffen, bin ich auf einen einfachen Weg zur Selbstanfertigung gekommen, den ich in Anbetracht des jetzigen Mangels an Kupferlegierungen empfehlen möchte.

In der Eisenhandlung erhält man sogen. Gitterkugeln, die zur Verzierung von eisernen Gartenzäunen Verwendung finden. Diese Hohlkörper aus Eisen werden in verschiedenen Größen geführt; sie sind von annähernd elliptischem oder kreisförmigem Längsschnitt und haben zwei diametral gegenüberliegende Öffnungen; die Wandstärke beträgt etwa 2 mm. Ich benutzte solche von etwa elliptischem Längsschnitt mit 20 mm und 16 mm äußeren Abmessungen (Fig. 1). Mit der einen Öffnung werden die Hohlkörper auf eine Metallunterlage gelegt, dann wird in die obere Öffnung flüssiges Blei gegossen. Da das Blei beim Übergang in den festen Zustand sich stark zusammenzieht, so muß das geschmolzene Blei langsam im dünnen Strahl eingefüllt werden und reichlich überfließen. Nach dem Erkalten läßt sich das überschüssige Blei mit dem Messer oder der Beißzange beseitigen. Der Bleikern wird durch leichtes Hämmern zum bessern Anschmiegen an den Eisenmantel gebracht.

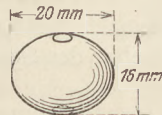


Fig. 1.

Ein solches Gußstück wiegt etwa 30 g. Um das genaue Gewicht herzustellen, wird mit Hilfe einer guten Wage das leichteste herausgesucht. Dieses leichteste Gußstück wird zusammen mit zwei kleinen Schraubhaken, welche Holzgewinde tragen, auf die eine Wagschale gebracht, auf die andere Schale werden 30 g gelegt. Vom Gußkörper wird an den Stellen, wo das Blei zutage tritt, soviel abgefeilt, bis das genaue Gewicht erreicht ist. Dieses Gußstück dient nun als Vergleichsgewicht. Alle übrigen Gußkörper werden in ähnlicher Weise durch Abfeilen (erst Halbschlicht-, dann Schlichtfeile) auf das genaue Gewicht gebracht. Nun wird an zwei gegenüberliegenden Stellen in jeden Bleikern etwa 5 mm tief ein Nagel getrieben, der etwas schwächer ist als das Holzgewinde der Haken. (Dieses Verfahren ist zweckmäßiger als das Ausbohren; denn der Bleikern paßt sich dadurch dem eisernen Mantel noch besser an, das Gewicht des ganzen Körpers ändert sich nicht und man kommt schneller zum Ziele.) In diese Öffnungen werden die Schraubhaken gedreht, welche hinreichend

fest sitzen. Da die Schraubhaken untereinander nicht genau gleich schwer sind, so ist ein letztes Ausgleichen auf der Wage erforderlich. Die Körper werden am Schluß mit einer dünnen Lackschicht überzogen. Das fertige Gewicht zeigt Figur 2.



Fig. 2.

Gewichtsunterschiede von wenigen Milligramm dürfen vernachlässigt werden, obwohl sich der Genauigkeitsgrad ziemlich weit treiben läßt. Die Hakengewichte könnten in einem Klotz von Buchenholz, der zwei Reihen Bohrungen trägt, zu je 12 Stück aufbewahrt werden.

Ich habe zur Herstellung von 60 Stück solcher Doppelhakengewichte etwa vier Stunden gebraucht, wobei eine Schülerin die Wage bediente. Der Preis für diese 60 Gewichte beträgt (einschließlich Schmelzblei) etwa 6 Mark.

Gitterkugeln von 20 mm Durchmesser (kreisförmiger Längsschnitt) habe ich zur Herstellung von Pendelkörpern benutzt. Die Hohlkugeln werden auf der Schwungmaschine mit Schmirgelleinen blank geputzt, mit Blei gefüllt, gehämmert, gefeilt, mit einer kleinen Schrauböse versehen und schließlich mit Lack überzogen. Ein solcher Körper wiegt etwa 35 g (Fig. 3). — Zur Bestimmung von  $g$  (Schwerebeschleunigung) mit Hilfe des Pendels dürften diese Kugeln nicht geeignet sein, da die geometrische Form der Kugel nicht genau genug erreicht wird.

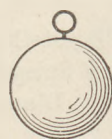


Fig. 3.

Benutzt man andere Größen von Gitterkugeln, so kann man Gewichte und Pendelkörper von etwa 20 g bis 200 g herstellen.

### Für die Praxis.

**Zur Mischung der Spektralfarben.** Von A. Keller in Karlsruhe. Läßt man den durch ein Prisma erzeugten Farbenfächer auf einen ausreichend rasch rotierenden Spiegel fallen, so erscheint in diesem infolge der Vermischung der rasch aufeinander folgenden Farbeindrücke ein weißer Streifen, wie man ihn auch bei Verwendung von unzerlegtem Lichte erhalten würde.

Um die Überlagerung vereinzelter Spektralbereiche zu einer Mischfarbe zu zeigen, blendet man aus dem Fächer des Spektrums die übrigen Farben durch Schirme ab, die zwischen Prisma und Spiegel Aufstellung finden. Die Breite dieser Schirme braucht nicht verstellbar zu sein, denn die Größe des Farbenbereiches, den sie aus dem Fächer des Spektrums herausblenden, ist mit ihrer Entfernung vom Prisma veränderlich.

**Photographien Chladnischer Klangfiguren.** Von E. Petzold in Zittau. Mittels des Violinbogens lassen sich photographische Platten, die in der bekannten, von Weinhold angegebenen Weise eingespannt sind, zum Tönen bringen. Streut man mittels eines Siebes möglichst gleichmäßig Eisenfeilspäne oder irgend ein Pulver, das nicht zu Klumpenbildungen neigt, im Dunkelzimmer auf die Platte, so ordnet es sich beim Anstreichen der Platte je nach den verschiedenen Anstreichstellen zu den bekannten „Klangfiguren“ an. Belichtet man jetzt die Platte mittels eines angezündeten Streichhölchens, so treten nach der Entwicklung die Figuren deutlich hervor. Die entwickelte Platte eignet sich gleichgut für Projektionszwecke, wie auch zur Herstellung von Abzügen. Bei der Belichtung empfiehlt sich, die Platte mit der Glasseite auf eine mattschwarze Unterlage zu legen, da andernfalls infolge der Wirkung reflektierten Lichtes die Bildschärfe beeinträchtigt wird.

**Magnetkraftlinien.** Von E. Greilach in Klagenfurt. Schickt man einen nicht zu schwachen Strom durch einen aufrecht gestellten, etwa 2 oder 3 mm dicken Magnetstab, so setzen sich die radial sich prozidierenden Magnetkraftlinien mit den kreisförmigen des Magneten als Stromleiters derart zusammen, daß sie entsprechend der Maxwellschen Korkzieherregel gekrümmt erscheinen. Pol- oder Stromrichtungswechsel verändern den Sinn der Krümmung.



## Berichte.

### 4. Unterricht und Methode.

**Elektrizitätslehre und Schulbücher.** Über dieses Thema hat FRITZ EMDE, Professor an der T. Hochschule in Stuttgart, einen Aufsatz in der *Zeitschr. f. math. und naturw. Unterr.* (48 S. 358—365, 410—420, 441—446; 1917) veröffentlicht, woran sich eine Entgegnung von Studienrat Dr. F. HOCHHEIM (*ebd.* 49, S. 178—184; 1918) und eine kürzere Äußerung von Prof. Dr. J. HERRMANN, Prof. an der T. Hochschule zu Stuttgart (*ebd.* 49, S. 207—211; 1918) angeschlossen haben.

Herr EMDE glaubt eine starke Differenz zwischen den Lehren der Schule und dem, was die Hochschule an grundlegenden Vorstellungen darbietet, feststellen zu sollen, und schreibt diese Differenz einer schlechten Überlieferung an den höheren Schulen zu. Er wendet sich zuvörderst dagegen, daß in so ziemlich allen Schulbüchern der Physik das Potential als Maß für den Grad des elektrischen Zustandes bezeichnet wird. Er stellt dem entgegen, daß der Zustand vielmehr durch das Potentialgefälle, m. a. W. durch die elektrische Feldstärke gemessen werde, also nicht skalarer, sondern vektorischer Natur sei. Er empfiehlt deswegen, neben der Elektrizitätsmenge die elektrische Feldstärke, d. i. „die Kraft auf den Träger der Menge Eins“, als Fundamentalgröße einzuführen und aus ihr das Potential abzuleiten. „Habe ich erst einmal erkannt, daß das elektrische Feld im Gleichgewichtszustande die Eigenschaft hat, daß die Arbeit für verschiedene Wege zwischen denselben Endpunkten gleich ausfällt, so kann ich offenbar den einzelnen Feldpunkten solche Zahlenwerte zuschreiben, daß die Differenzen dieser Zahlenwerte die jeweilige Überführungsarbeit angeben. Diese Zahlenwerte sind die Potentiale. Da es nur auf ihre Differenzen ankommt, sind sie nur bis auf eine willkürliche additive Konstante bestimmt. Welchem Punkte man das Potential Null zuschreiben will, ist bloß eine Frage der Bequemlichkeit.“ (S. 364.)

In betreff des Ausdrucks „Elektrischer Zustand“ ist zunächst zu sagen, daß es ganz darauf ankommt, durch welche Begriffsfestsetzung man den unbestimmten Ausdruck „Zustand“ zu einem wissenschaftlich scharfen Begriff umgestaltet. Herr EMDE definiert willkürlich den „Zustand“ durch die Feldstärke. Als wir Physiklehrer den von EMDE beanstandeten Begriff des elektrischen Zustandes vor dreißig Jahren (*diese Zeitschr.* 1, S. 89; 3, S. 161) in den Unterricht einführten, ließ sich daran anknüpfen, daß bereits G. S. OHM von „elektrischem Zustand“ gesprochen und G. KIRCHHOFF diesen Zustand

(oder was damit gleichbedeutend ist, die „elektroskopische Kraft“) als identisch mit dem Potential der Elektrizität in einem Leiter angesehen hat. Der erste, der den Begriff des Grades der Elektrizierung bei elektroskopischen Messungen eingeführt hat, ist CAVENDISH (1771) gewesen, und eben diesen Begriff bezeichnet MAXWELL in der Einleitung zu der Gesamtausgabe von CAVENDISHS *Electrical Researches* (1879) als gleichbedeutend mit dem, was wir heute Potential nennen. Endlich hat auch ERNST MACH (*Sitz.-Ber. der Wiener Akademie Bd. 86*) die Funktion  $\varphi$ , die der Differentialgleichung  $\Delta\varphi = 0$  entspricht, als Kennzeichen eines bestimmten „Zustandes“, sei es der Wärme, der Elektrizität oder der Strömung, charakterisiert. Dies alles führe ich nur an, um darzutun, daß wir nicht nach unserm Belieben, sondern auf Grund historischer Tatsachen den Begriff des elektrischen Zustandes in der obigen Fassung dem Unterricht zugrunde gelegt haben. Wenn man daran auf seiten der Hochschule Anstoß nimmt, so zeigt dies nur, daß man sich dort um die geschichtliche Entwicklung nicht viel kümmert, ebenso wenig wie um die Methode des physikalischen Schulunterrichts; andernfalls dürfte es doch nicht schwer fallen, den Übergang von diesem zur Hochschulbehandlung zu finden, wie es auch den Hörern nicht schaden wird, wenn sie denselben Gegenstand von verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten lernen.

Das von uns eingeschlagene Verfahren hat den Vorzug, daß es völlig anschaulich ist und an der Hand des Experiments verläuft. Das von EMDE empfohlene Verfahren dagegen dürfte für den Schulgebrauch zu abstrakt sein; die den einzelnen Feldpunkten zugeschriebenen Zahlenwerte schweben ja völlig in der Luft und entbehren jeder (für den Schüler erforderlichen) anschaulichen Unterlage. Der Vorwurf EMDES, daß es ein Fehlschluß sei, das Potential als Maß des elektrischen Zustandes anzusehen (364), beruht auf der erwähnten unhistorischen Auffassung des „elektrischen Zustandes“ und dürfte damit erledigt sein. Die Nötigung, Potential und Elektrizitätsgrad als übereinstimmend nachzuweisen, ergibt sich daraus, daß das mathematisch definierte Potential mit dem empirisch definierten Zustandsgrad zunächst scheinbar nichts zu tun hat, wie etwa auch KIRCHHOFF (s. oben) die Identifikation beider (vermöge einer genialen Intuition) eigens festzustellen für nötig befunden hat.

Daß in den Lehrbüchern die Erdung des Elektroskops bei der Definition des elektrischen

Zustandes meist nicht besonders erwähnt wird (362), hat seinen Grund darin, daß die Begriffsbestimmung des elektrischen Zustandes nicht durch Beladung mit solchen Nebenbestimmungen unnötig kompliziert werden soll. Es genügt, wenn der Lehrer bei Ausführung der Versuche darauf aufmerksam macht, daß das Gehäuse des Elektroskops mit der Erde verbunden sein muß, und darauf hinweist, daß dadurch Eigenladungen des Gehäuses unschädlich gemacht werden.

EMDE bemerkt in demselben Zusammenhang (361), das Potential könne nicht ein Maß des elektrischen Zustandes sein, denn an einer im Gange befindlichen Influenzmaschine hätten wir durch die Lichterscheinungen einen unmittelbar sinnlichen Eindruck davon, daß der elektrische Zustand an verschiedenen Stellen der Oberfläche eines leitenden Körpers verschieden ausgeprägt sei, daß vor allem die Ecken und Spitzen stärker elektrisch seien als die übrigen Oberflächenteile. Hier operiert EMDE selbst mit ungeklärten Begriffen. Daß an den Kanten und Spitzen ein stärkerer elektrischer Zustand herrsche, also ein höheres Potential vorhanden sei als an anderen Stellen, kann weder aus dem bloßen Augenschein erschlossen werden, noch entspricht es schlechthin dem Sachverhalt. Das Beispiel ist aber auch überhaupt unzutreffend. Denn selbstverständlich können alle die gemachten Festsetzungen zunächst nur für den Gleichgewichtszustand aufgestellt werden, wie auch EMDE selbst an der oben (S. 225) wörtlich angeführten Stelle hervorhebt. Will man sie auf andere Zustände übertragen, so bedarf dies einer Begriffserweiterung und experimenteller Bestätigungen, wie dies z. B. bei der Anwendung auf das Ohmsche Gesetz der Fall ist. Es entspricht aber auch durchaus allgemein anerkannten didaktischen Regeln, daß man einen Begriff nicht sofort in voller Allgemeinheit, sondern zunächst für ein bestimmt begrenztes Gebiet aufstellt und ihn dann nach Bedarf ausdehnt. Ein ähnliches Verfahren wird ja auch in der Mathematik eingeschlagen. —

Eine andere Frage ist diese, ob es sich empfiehlt, den an Leitern definierten Begriff des elektrischen Zustandes bzw. des Potentials auf Stellen eines Kraftfeldes auszudehnen, an denen sich keine Ladung befindet. Die von EMDE angeführten Beispiele, daß sich in der Umgebung der Leitungen eines Wechselstromes von einigen tausend Ampere und rund 100 Volt Betriebsspannung nicht einmal näherungsweise ein Potential angeben läßt, und ebensowenig für das Feld, das eine im Betrieb befindliche Antenne für drahtlose Telegraphie umgibt, diese Bei-

spiele sprechen an sich nicht gegen eine solche Ausdehnung, da man im vorliegenden Falle den Potentialbegriff nur auf ein im „Beharrungszustand“ befindliches Feld auszudehnen braucht. Aber allerdings legen EMDES Bemerkungen von neuem die schon öfter in Fachkreisen erwogene Frage nahe, ob es sich nicht empfiehlt, die Ausdehnung des Potentialbegriffs auf das elektrostatische Feld und damit die Behandlung des letzteren im Beginn der Elektrizitätslehre ganz zu unterlassen. Herr F. HOCHHEIM (a. a. O. S. 179) befürwortet dies und schlägt vor, eine solche Behandlung, falls dafür überhaupt noch Zeit übrig ist, an den Schluß der Elektrizitätslehre zu stellen und sie dann allerdings möglichst in wissenschaftlich strenger Form zu geben. Er hält als Ausgangspunkt nicht das Coulombsche Gesetz, sondern das homogene Feld des Plattenkondensators für geeignet. „Beim Auseinanderziehen der sich anziehenden Platten wird Arbeit geleistet, und in demselben Maße wächst das Potential; zwischen den Platten aber herrscht eine meßbare Feldstärke (Schutzringkondensator). Von diesem einfachsten Beispiel aus wird man durch allmähliche Begriffserweiterung zum Kugulkondensator, Kugel usw. übergehend allmählich die Eigenschaften des elektrostatischen Feldes, den Begriff der Feldstärke  $\mathcal{E}$  (und der Potentialdifferenz  $\int_0^l \mathcal{E} \cdot dl$ ) entwickeln können. HOCHHEIM

selbst zieht indessen vor, statt dessen ziemlich ausführlich die drahtlose Telegraphie zu behandeln, wobei die Errechnung der Frequenzen und Abstimmungsverhältnisse von Kondensatorkreisen den Schülern zum Verständnis gebracht und die Vorgänge in offenen Schwingungskreisen wenigstens plausibel gemacht werden. Das Angemessenste wird demnach sein, daß die Hochschule genaue Kenntnis des elektrostatischen Feldes überhaupt nicht voraussetzt, sondern selbst erst die Grundlagen dafür darbietet.

HOCHHEIM weist u. E. mit Recht darauf hin, daß nach EMDES eigenem Geständnis noch vor etwa 15 Jahren „die Elektrotechniker eine Feldauffassung auf elektrischem Gebiet nicht hatten, da sie sich früher um das elektrische Feld nicht zu kümmern brauchten“, und daß daher der Schule kein Vorwurf gemacht werden kann, wenn sie auf diese Sache heute noch keinen Wert legt, da eine wirkliche Verwendung im Unterricht doch nicht in Frage kommt. Dasselbe läßt sich bezüglich der anderweitigen Unterlassungen sagen, die EMDE an den Schulbüchern rügen zu müssen meint. Dies gilt namentlich von der „Energiedichte“ und dem „Durchflutungsgesetz“, sowie von der Behand-



lung des „erzwungenen Wechselflusses“. Es ver-  
rät doch eine ziemliche Unkenntnis des Bil-  
dungszweckes unserer höheren Schulen, wenn  
man diese für die Elektrotechnik ja höchst  
wertvollen Dinge in den Unterricht eingeführt  
zu sehen wünscht. Ich glaube nicht einmal,  
daß es angebracht wäre, bei einer Gabelung der  
Oberklassen unserer Realanstalten in der natur-  
wissenschaftlichen Abteilung so weit in diese  
Gebiete einzudringen. Dies würde unseren  
höheren Schulen den Charakter von Fachvor-  
schulen geben und ihren allgemeinen Bildungs-  
zielen nicht entsprechen.

Gleichwohl möchte ich ebenso wie HOCH-  
HEIM unseren Fachgenossen dringend empfehlen,  
von den Ausführungen EMDES Kenntnis zu neh-  
men. Es kann der Sache nur nützlich sein,  
wenn unser Blick schärfer auf die jenseits des  
Unterrichtsbetriebes liegenden Dinge eingestellt  
wird und wenn auch von unserer Seite alles ge-  
schieht, um ein Zusammenstimmen von höherer  
Schule und Hochschule herbeizuführen! —

Ein Fachgenosse des Herrn EMDE, Prof.  
Dr. HERRMANN, stimmt jenem zwar darin bei,  
daß sich eine unklare Darstellung des Potential-  
begriffs durch alle Lehrbücher, nicht bloß die-  
jenigen der h. Schulen, fortpflanze. Er wendet  
sich dagegen, daß das Potential als Arbeit de-  
finiert werde und daß man sage: das elektrische  
Potential ist die *Arbeit*, die nötig ist, um die  
Elektrizitätsmenge *Eins* aus dem Unendlichen  
gegen die abstoßenden elektrischen Feldkräfte  
da und dahin zu bringen (S. 208). Das ist ganz  
richtig, Arbeit pro Elektrizitätsmenge 1 ist so  
wenig eine Arbeit, wie Geschwindigkeit = Weg  
pro Sekunde noch ein Weg ist. Dennoch be-  
dient man sich jener abgekürzten Sprechweise,  
und darin liegt nichts Bedenkliches, wenn  
man sich nur klarhält, daß der Quotient eine  
andere Dimension hat als der Dividendus, und  
daß die durch den Quotienten bezeichnete Größe  
von anderer Art ist als dieser selbst. HERR-  
MANN will dagegen den Arbeitsbegriff ganz aus  
der Definition des Potentials ausschließen und  
vielmehr das Potential lediglich als identisch  
mit elektrischer Spannung bezeichnet wissen.  
Demgegenüber scheint uns aber wieder EMDE  
im Recht zu sein, wenn er unter Potentialen  
„Zahlenwerte“ versteht, deren Differenz die  
zwischen zwei Feldpunkten vorhandene Span-  
nung angibt. Wenn solcherart die „Gelehrten“  
noch untereinander uneinig sind, mag man es  
den Lehrbuchverfassern nicht verübeln, wenn  
sie sich ihren eigenen Weg durch die Schwierig-  
keiten gebahnt haben.

Eine andere Bemerkung von HERRMANN be-  
zieht sich auf das Induktionsgesetz, für das

EMDE (S. 418) die Fassung empfohlen hatte:  
„Für jede beliebige Fläche ist der magnetische  
Schwund proportional der elektrischen Rand-  
spannung.“ (Die nähere Bestimmung der hierin  
vorkommenden Bezeichnungen bei EMDE S. 416.)  
HERRMANN gibt dagegen derjenigen älteren,  
„außerordentlich anschaulichen, also für die  
Schule wie geschaffenen“ Form den Vorzug, die  
besagt, daß in einem Kupferstabe von  $l$  cm  
Länge, der durch ein magnetisches Kraftlinien-  
feld von der Dichte  $\mathfrak{B}$  mit der Geschwindigkeit  
 $v$  cm senkrecht zu den Linien hindurchgeführt  
wird, eine EMK entsteht, deren Größe gleich  
 $\mathfrak{B} \cdot v \cdot 10^{-8}$  Volt ist. Gegen EMDES Fassung er-  
hebt er schon aus dem Grunde Widerspruch,  
weil die von ihm gebrauchten Ausdrücke (*Durch-  
flutung*, *Schwund* usw.) noch keineswegs in der  
elektrotechnischen Literatur allgemein anerkannt  
sind, also sicher nicht in ein Schulbuch gehören.  
Selbst gegen die vielbenutzten Ausdrücke *Kraft-  
fluß*, *Induktionsfluß* spreche vom pädagogischen  
Standpunkt das gewichtige Bedenken, daß das  
Wort *Fluß* gerade in der Elektrizitätslehre  
reichlich zu Irrtümern und falschen Vorstellun-  
gen Anlaß gebe. Bei dem Induktionsfluß müsse  
man geradezu die Warnung hinzufügen: „Dieser  
Fluß ist kein Fluß.“ Pädagogisch sei es zweck-  
mäßiger, den Ausdruck *Fluß* ganz zu vermei-  
den; man komme immer mit den Ausdrücken  
*Feld* — *Kraftfeld*, *Feld der Induktionslinien* —  
aus. HERRMANN lehnt endlich auch für den  
Schulunterricht das ab, was EMDE über die  
Behandlung der Dynamomaschinen, über die  
Einführung der Maxwellschen Gleichungen,  
über das elektrische Feld im Innern eines Trans-  
formators und über die Wirbelströme im Eisen-  
kern auseinandersetzt. Als sehr beachtenswert  
auch für den Unterricht möchten wir anderer-  
seits noch hervorheben, was EMDE in seinen  
elektrotechnischen Schlußbemerkungen über den  
vermeintlich „günstigsten Fall“ der Gleichheit  
von innerem und äußerem Widerstand sagt.  
Bei der Schaltung galvanischer Elemente würde  
dies zu bedeuten haben, daß sich auch die  
Joulesche Wärme auf inneren und äußeren  
Schließungskreis gleich verteilt, der Wirkungs-  
grad also nur 50% beträgt, was nicht sehr  
wirtschaftlich ist; handelt es sich um Akkumu-  
latoren, so würde sich bei dem geringen inneren  
Widerstand ergeben, daß der günstigste Betrieb  
der Kurzschluß sei! Solle die Aufgabe tech-  
nischen Wert haben, so müsse sie ganz anders  
gestellt sein, etwa wie folgt: Man hat einen  
Stromverbraucher — eine Glühlampe, einen Mo-  
tor, einen Kochapparat —, der für eine be-  
stimmte Spannung und für einen bestimmten  
Strom eingerichtet ist. Man soll Zahl und Art

der erforderlichen Elemente so bestimmen, daß ein annehmbarer Wirkungsgrad und Preis herauskommt. Soll die Batterie in größerer Entfernung aufgestellt werden, so wird man ihren Strom entsprechend klein und die Spannung

groß wählen müssen. Mit solchen praktischen Winken würde der Verfasser der Sache des Unterrichts mehr dienen als mit zu hoch gespannten Forderungen an die theoretische Behandlung. P.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Musterverzeichnis von Einrichtungen und Lehrmitteln für den physikalischen Unterricht** (Mitteilungen der Kgl. Preuß. Hauptstelle f. d. naturw. Unterricht, Heft 1). 76 S. Leipzig, Quelle & Meyer. 1918. M. 3.—.

Die Kgl. Preußische Hauptstelle hat es als die erste Aufgabe ihrer Veröffentlichungen betrachtet, ein Musterverzeichnis für die Bedürfnisse des physikalischen Unterrichts zu schaffen. Es entspricht dies durchaus der Bedeutung des Gegenstands, und es ist dankbar zu begrüßen, daß das junge Institut in Verbindung mit einem achtgliedrigen Ausschuß des Vereins zur Förderung des physikalischen Unterrichts zu Berlin damit den Physik Lehrern ein außergewöhnlich gediegenes Hilfsmittel für die Gestaltung ihres Unterrichts geschaffen hat. Über die Nützlichkeit eines solchen Verzeichnisses besteht gar keine Meinungsverschiedenheit, dagegen ist die Frage umstritten, ob es sich empfiehlt, ihm bindende Kraft oder auch nur autoritatives Ansehen zu verleihen. In dieser Beziehung „war sich der Ausschuß darüber einig, daß eine solche Auffassung vermieden werden müsse. Vielmehr sei die Freiheit und Selbstbestimmung der Fachlehrer zugleich mit dem Bewußtsein ihrer Verantwortlichkeit auf alle Weise aufrecht zu erhalten und zu fördern. Den noch unerfahrenen Lehrern sollen durch die Vorschläge Möglichkeiten nahegebracht und Richtlinien gegeben werden, mit deren Hilfe sie sich über das in Frage kommende Gebiet unterrichten können.“ Dieser Fassung und Begrenzung der Aufgabe kann man nur zustimmen und seiner Freude über das restlose Gelingen des gewiß recht schwierigen Unternehmens Ausdruck geben. Auch daß das Musterverzeichnis die Angabe von Preisen im Einzelnen und damit die Aufstellung eines Voranschlags vermeidet und nur „am Schluß der Einzelabschnitte wie des gesamten Verzeichnisses Durchschnittszahlen mitteilt“, wird zu billigen sein; ebenso die Beschränkung auf die Bedürfnisse einer Schulgattung, der Oberrealschulen, wobei „die sachgemäße Anwendung auf andere Vollanstalten den Benutzern überlassen“ bleibt.

Über den reichen Inhalt des Heftes wird erst die fleißige Benutzung in der Praxis völlig belehren; an dieser Stelle mag die folgende kurze

Übersicht genügen: im ersten Abschnitt „Bau“ werden wertvolle Winke und Ratschläge mitgeteilt, die dem Lehrer, der mit der Frage eines Neubaus zu tun hat, seine schwierige Aufgabe wesentlich erleichtern können; die weise Beschränkung auf das Notwendige und die knappe, dabei aber doch erschöpfende Behandlung dieses Abschnittes berühren besonders angenehm.

Es folgen dann im zweiten Abschnitt Angaben über die innere Einrichtung der Unterrichts- und Nebenräume, während der dritte die allgemeine Ausstattung in den Unterabteilungen: Geräte, Werkzeuge, Werkstoffe, sehr erschöpfend behandelt. Gerade dieser Abschnitt ist für den Praktiker besonders wertvoll.

Der vierte und letzte Abschnitt bringt alsdann das eigentliche Apparatenverzeichnis in übersichtlicher Anordnung. Die Zerteilung in Notwendiges und Wünschenswertes ist durchaus zu billigen; über die Abgrenzung werden ja gelegentlich die Ansichten auseinandergehen, aber das ist natürlich nebensächlich.

Den Schluß bildet die Kostenübersicht zum dritten und vierten Abschnitt auf Grund der Vorkriegspreise, die freilich jetzt nicht maßgebend ist, aber immerhin wertvolle Anhaltspunkte liefert, und endlich ein sehr ausführliches Sachverzeichnis, das den Gebrauchswert des Heftes wesentlich steigert.

Von den Vielen, die aus diesem Musterverzeichnis, das seinen Titel wirklich nicht mit Unrecht führt, Rat und Belehrung schöpfen, werden wohl die Wenigsten ahnen, welche Unsumme von Erfahrung, Fleiß und Arbeit in diesen Blättern steckt.

Manchen Lesern wird es vielleicht von Interesse sein, daß die Verfasser in dem Verzeichnis den Versuch unternommen haben, die wissenschaftlichen Fachausdrücke, soweit sie Fremdwörter sind, zu verdeutschen; die gute Absicht kann man jedenfalls anerkennen. K. Noack.

**Aus Natur und Geisteswelt.** Nr. 88. M. v. Rohr, Die optischen Instrumente, 3. Auflage (10.—15. Tausend), 137 S. mit 89 Abbild. — Nr. 196. R. Vater, Hebezeuge, 2. Auflage, 98 S. mit 67 Abbild. — Nr. 235. H. Brick, Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in



ihrer Entwicklung, 2. Auflage, 113 S. mit 65 Abbild. — Leipzig, B. G. Teubner, 1918.

Die ausgezeichnete Schrift von M. v. Rohr in Jena gibt auf engem Raum eine sehr reichhaltige Übersicht über die optischen Instrumente und die Grundlagen der Theorie derselben. Neu ist in dieser Auflage die Unterscheidung der Instrumente in verdeutlichende und in wiederholende oder orientierende, je nachdem die Vergrößerungszahl  $> 2$  oder  $\leq 2$  ist. — Die Schrift von R. Vater behandelt die Hebezeuge zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper; unter letzteren sind Pumpen- und Luftverdichtungsmaschinen zu verstehen. Neu hinzugefügt wurde ein Kapitel über Turbogebälde und -kompressoren. — Das Bändchen von H. Brick enthält einen Überblick über die technische Seite des Telegraphen- und Fernsprechwesens. In der neuen Auflage sind auch der Quecksilberdampfgleichrichter, der Maschinentelegraph von Siemens u. Halske und der Fernsprechverstärker von Lieben u. Reiß berücksichtigt. P.

**Die Grundlagen der Photographie.** Von Prof. Dr. W. Scheffer. (Photographische Bibliothek, Bd. 28.) Berlin, Union, deutsche Verlagsgesellschaft, 1917. 123 S. 82 Fig. auf Tafeln. M. 420, geb. M. 5,05.

Jeder, dem die Photographie nicht spielerischer Zeitvertreib ist, der vielmehr ernstlich bemüht ist, schwierigere Aufgaben zu meistern und den Sinn der Rezepte und Arbeitsanweisungen zu erfassen, wird das Scheffersche Buch mit Freude lesen und häufig wieder nachschlagen. Der Verfasser hat vieles gesammelt, was zerstreut veröffentlicht ist, er gibt aber auch aus eigener Erfahrung sehr viel Wertvolles, für das ihm so mancher dankbar sein wird.

Für eine zweite Auflage wäre zu wünschen, daß die vielfach knappe, ja hastige Ausdrucksweise und Darstellung einer behaglicheren Platz mache. Es ist auch nicht ratsam, bei so reichem Inhalt und so geringem Umfang für ganz unkundige Anfänger schreiben zu wollen. Das Vorwort kündigt diese Absicht mit den Worten an „so einfach, daß . . . jeder Vernünftige ohne weiteres verstehen kann“; es kann aber nicht als ihre Verwirklichung gelten, wenn auf der ersten von Optik handelnden Seite (S. 11) die Benennungen Objektraum, Bildraum, zentriertes optisches Instrument, Brennpunkt, Hauptpunkt, Achse ohne jede Erläuterung gebraucht werden. Überhaupt ist die ganze Behandlung der Optik für den physikalisch nicht geschulten Leser reichlich abstrakt. Der hinreichend Kundige aber wird reichen Gewinn aus dem Buche ziehen, es sei deshalb den photographierenden Lesern dieser Zeitschrift angelegentlichst empfohlen. W. Vn.

U. XXXI.

**Lehrbuch der anorganischen Experimentalchemie.** Von Dr. Karl A. Hofmann, ord. Prof. u. Leiter des anorg.-chem. Lab. d. Kgl. Techn. Hochschule Berlin, Geh. Reg.-Rat usw. Mit 128 Abb. u. 6 farb. Spektraltafeln. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn, 1918. XX u. 794 S. M. 18,—, geb. M. 22,—.

Das Erscheinen dieses Lehrbuches ist für die Hochschulmethodik und Lehrbuchliteratur ein Ereignis ersten Ranges. Das Buch ist als ein Ersatz des dem gleichen Verlage angehörenden H. Erdmannschen Lehrbuchs der Chemie zu betrachten, zu dessen gewünschter Neubearbeitung sich der Verfasser des obigen Lehrbuches nicht entschließen konnte; dem Umfange nach kommt es diesem Lehrbuche fast genau gleich, stellt also gegenüber den sonst verbreiteten Lehrbüchern der Chemie ein wesentlich ausführlicheres Lehrbuch dar. Das Ganze ist eine gediegene Arbeit, deren hervorstechendste Merkmale Gründlichkeit und Vielseitigkeit sind. Daß es überhaupt möglich war, es jetzt herauszubringen, ist ein überraschendes Zeichen deutscher Leistungsfähigkeit. Mit großer Klarheit des sprachlichen Ausdrucks legt das Buch in all den vielfältigen Erscheinungen und Einzelfragen der Chemie immer den Kern der Sache bloß. Die neueren Forschungsergebnisse sind weitgehend berücksichtigt, natürlich auch die zahlreichen aus dem eigenen Arbeitsgebiet des Verfassers, z. B. über die starke katalytische Wirkung der Osmiumoxyde, über die Kristallisation gewisser Oxyde und Metalle in geschmolzenem Magnesiumchlorid u. v. a. Auch die chemische Technik, die ja mit der wissenschaftlichen Chemie immer inniger verwächst, kommt gehörig zur Geltung, und wo aus Raumökonomie von spezielleren Verfahren und Vorrichtungen abgesehen wurde, ist überall mit glücklicher Hand das Wesentliche davon gekennzeichnet; alle neueren Verfahren, z. B. die Gewinnung von Stickstoffverbindungen aus der Luft, sind vorzüglich bearbeitet, so daß man auch für die Kriegeschemie Treffliches aus dem Buche schöpfen kann. In historischer Hinsicht ist ebenfalls weitergehenden Ansprüchen genügt; nur ist der Lavoisiersche Grundversuch zur Luftanalyse mittels Quecksilberveralkung insofern nicht richtig wiedergegeben, als L. nicht „die Retorte stärker, bis zum Sieden des Quecksilbers“ erhitzte, wobei „der rote Quecksilberkalk verschwand, und nach raschem Abkühlen die Volumverminderung wieder ausgeglichen“ wurde; L. sammelte vielmehr den Quecksilberkalk sorgfältig ein und behandelte ihn für sich; auch wird das Quecksilberoxyd bei der Siedetemperatur des Quecksilbers noch nicht zerlegt. — Die syste-

matische Stoffanordnung ist die zumeist übliche: es werden erst die Nichtmetalle, dann die Metalle behandelt. Ob es in methodischer Hinsicht nützlich war, mit den so schwierigen und für die Gewinnung der ersten chemischen Grundbegriffe so ungeeigneten Verbrennungserscheinungen bzw. mit dem Sauerstoff zu beginnen, darüber bleibe die Erörterung bis zu der doch einmal notwendigen Auseinandersetzung zwischen Hochschulmethodik und Mittelschulmethodik verschoben. Die Bezeichnung „Hydrür“ (S. 464 ff.) wird wohl besser durch Hydrid ersetzt, entsprechend der Bezeichnung Metallnitrid. — Erstaunlich ist die Reichhaltigkeit des Buches; selbst entlegenere Gebiete, wie die Astrochemie und die chemische Geologie, werden gelegentlich mit treffenden Bemerkungen bedacht. Überhaupt treffen die Ausführungen überall ins Schwarze. So scheint nach allem das Hofmannsche Lehrbuch berufen zu sein, an der Spitze der chemischen Lehrbücher zu marschieren, ja das deutsche Lehrbuch der Chemie zu werden.

O. Ohmann.

**Fragmente zur Theorie und Praxis der Kristalle.** Von Dr. L. Wulff-Parchim. Mit 1 Doppelfigurentafel und 12 Textfiguren. Ge kürzte Ausgabe. Selbstverlag; Kommissionsverlag H. Wehde mann-Parchim, 1918. 32 S. M. 1,—.

Der Verfasser hat die Aufzucht künstlicher Kristalle zu einer seiner Lebensaufgaben gemacht und unter großen Schwierigkeiten Treffliches darin erreicht. In der vorliegenden kleinen Schrift bietet er kurze „Mathematisch-morpho-

logische Mitteilungen“, die die neueren Anschauungen vom Aufbau der Kristalle und ihrer systematischen Einteilung berühren, ferner „Allgemeine naturwissenschaftlich-technische Mitteilungen“ und gibt dann einige Hinweise über „Spezielle Kristallisationsmethoden“ — hauptsächlich von Zucker und Natronsalpeter — und schließlich historische Bemerkungen zur Kristallzucht. Es liegt im Wesen des Fragmentarischen, oft gerade da zu versagen, wo der eine oder andere bestimmte Angaben zur Ausführung weniger, recht sicher verlaufender Versuche erwartet hätte; aber abgesehen hiervon wird doch jeder Leser vieles finden, das ihm wertvoll ist und die Anschaffung der kleinen Schrift vollauf rechtfertigt. O.

**Praktikum der quantitativen anorganischen Analyse.** Von Alfred Stock und Arthur Stähler. 2. veränderte Auflage. Mit 36 Textfiguren. Berlin, J. Springer, 1918. 144 S. Geb. M. 7,60.

Die neue Ausgabe des ausgezeichneten Praktikums, das in dieser Zeitschrift (24, 59) bereits näher besprochen wurde, weist eine vergrößerte Zahl der Gewichtsanalysen auf, so daß nun alle wichtigeren Metalle und Säuren behandelt sind. Die sehr sorgfältig bearbeitete Maßanalyse ist mit Recht an der Spitze der Verfahren verblieben, was besonders in methodischer Hinsicht von Vorteil ist und auch seitens der Übungsleiter an den höheren Lehranstalten beachtet zu werden verdient. Das Buch sei von neuem der allgemeinen Beachtung empfohlen. O.

## Korrespondenz.

„**Funkenstrecke mit polarisierbarer Schwingung**“. Zu der Erwiderung von Chr. Schwantke in Heft 2, S. 71, sandte Herr G. GLAGE im Mai d. J. folgende Bemerkungen ein, deren Abdruck sich infolge ungünstiger Umstände bis jetzt verzögert hat.

„Die jetzt angegebene Änderung der Funkenstrecke liefert zwar Schwingungen unter verschiedenen Azimuten, aber nicht solche, die sich mit unpolarisiertem Licht vergleichen ließen. Von den verschieden langen Einzeloszillatoren gehen Wellen bestimmter unter jedem Azimut verschiedener Wellenlänge aus. In die Optik übertragen würde das heißen: Von der Lichtquelle geht Licht verschiedener Farben aus, von denen jede einzelne unter anderem Azimut linear polarisiert ist.

Es müßte demnach, könnte man den Gitterversuch des Verfassers optisch ausführen, beim Drehen des Gitters (Nikols) ein Farbenwechsel

eintreten, da bei jeder Stellung eine bestimmte Farbe ausgelöscht wird. Dazu kommt noch, daß infolge der Verschiedenheit der Drahtlängen und damit der Kapazität die einzelnen Wellen ganz verschiedene Intensität haben<sup>1)</sup>. Entsprechende Überlegungen gelten für den Empfänger. Schon aus diesen Gründen geht es daher nicht an, diesen Versuch als eine Analogie zu natürlichem Licht zu betrachten oder ihn gar Schülern vorzuführen, da die Gefahr falsche Vorstellungen zu erwecken nahe liegt. Entweder müßten Schwingungen einer Wellenlänge oder aber die verschiedenen Wellen müßten zugleich unter allen Azimuten vorhanden sein.

<sup>1)</sup> Daß die Einzelsender außerdem noch mehr oder weniger gekoppelt sind, und daher auch Koppelschwingungen auftreten, übergehe ich als unwesentlich, da deren Amplitude ebenso wie die der Oberschwingungen nur gering ist.



Weiter kommt hinzu, daß man von einer Vorrichtung, die dem natürlichen Licht entsprechend wirken soll, verlangen muß, daß bei jeder Stellung des Senders zum Empfänger die aufgenommene Energie dieselbe sei. Das ist bei der angegebenen Funkenstrecke nicht der Fall. Stellt man Sender und Empfänger so, daß die Einzeldrähte aufeinander senkrecht stehen, so zeigt der Empfänger ein ausgesprochenes Minimum.

Daß der Gitterversuch mit dem Fritter gelingt, ist kein ausreichender Beweis dafür, daß die ankommende Schwingung natürlichem Licht entspricht, da z. B. circular polarisierte Schwingungen und bei dem nicht quantitativ arbeitenden Fritter auch elliptisch polarisierte denselben Effekt geben, und sogar noch verschiedene Anordnungen (zu ihnen gehört auch die des Verfassers) möglich sind, bei denen ein Vergleich mit natürlichem Licht nicht angängig ist, die aber experimentell dieselbe Erscheinung geben. Es genügen z. B. zwei senkrecht aufeinander stehende Oszillatoren verschiedener Schwingungsdauer und ein linearer Empfänger, dessen Abstimmung zwischen beiden liegt, um unter allen Azimuten vollkommen gleiche Empfangsintensität zu erhalten.

Nicht unbeanstandet möchte ich dann noch das Umbiegen der einzelnen Drähte um die Glasplatte lassen. Es kommt dem Verfasser doch offenbar darauf an, durch die verschiedene Länge der Oszillatoren auch die entsprechenden Wellenlängen zu erhalten. Durch das Umbiegen wird aber Kapazität und Selbstinduktion des Senders und damit die Wellenlänge so verändert, daß sie der Drahtlänge nicht mehr entspricht. Die umgebogenen Drähte verhalten sich, wie sich durch Messung der Wellenlängen mittels stehender Wellen unschwer feststellen läßt, ungefähr so, als ob das umgebogene Stück gar nicht vorhanden wäre.

Alles in allem glaube ich daher zu dem Urteil berechtigt zu sein, daß der Apparat auch in der abgeänderten Form seine Bestimmung nicht erfüllt.

Es bleibt nun noch die Frage offen, ob es überhaupt möglich ist, einen Sender zu konstruieren, der ohne experimentell zu kompliziert zu sein, eine dem natürlichen Licht vergleichbare Schwingung gibt. Dabei ist folgendes zu beachten. Auf eine Darstellung der wirklichen Entstehung natürlichen Lichtes wird man bei verschiedenen Dimensionen und der Kompliziertheit halber verzichten müssen. Es kann sich nur darum handeln, eine Schwingung herzustellen, die in ihrem Verhalten dem des natürlichen Lichtes entspricht. Annähernd und zur Veranschaulichung ausreichend tut dies die rotierende Funkenstrecke. Man vergleiche aber dazu meine frühere Kritik. Eine andere einwandfreie Anordnung läßt sich, da man sich das natürliche Licht aus zwei aufeinander senkrecht stehenden aber voneinander unabhängigen Schwingungen zusammengesetzt denken kann, auf folgende Weise herstellen. Zwei zueinander senkrecht stehende lineare Oszillatoren gleicher Schwingungsdauer, von denen jeder seine eigene Funkenstrecke hat, sind hintereinander (ohne sich zu berühren) angeordnet und werden beide von verschiedenen Quellen erregt. Dadurch, daß beide senkrecht aufeinander stehen, ist eine Koppelung zwischen ihnen vermieden. Bei Anwendung gewisser experimenteller Vorsichtsmaßregeln lassen sich beide auch mit demselben Induktor erregen. So interessant diese Versuche an und für sich sind, glaube ich doch, daß sie aus dem Rahmen des in die Schule gehörigen fallen und gehe daher nicht näher darauf ein.“

*Dr. G. Glage.*

**Astronomische Tafel für 1919.** Die Sonderausgabe der Tafel nebst ausführlicher Erklärung wird voraussichtlich noch vor Schluß dieses Jahres ausgegeben werden können. Sie kann von der Verlagsbuchhandlung für 1,20 M. bezogen werden. Ermäßigung bei Abnahme einer größeren Anzahl kann auch diesmal nicht stattfinden.

### **Druckfehlerberichtigung.**

In der Fußnote 1 zu dem Aufsatz von B. KOLBE in Heft 5, S. 184 ist „wahrscheinlich“ durch „versehentlich“ zu ersetzen.

# Himmelserscheinungen im Dezember 1918 und Januar 1919.

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

MEZ 12 <sup>h</sup>	Dezember						Januar						
	2	7	12	17	22	27	1	6	11	16	21	26	31
♃ {AR D	18 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>	18.16	18.12	17.50	17.22	17.8	17.11	17.26	17.48	18.15	18.44	19.16	19.48
	-26°	-25	-23	-22	-20	-20	-20	-21	-22	-23	-23	-23	-23
♀ {AR D	16 <sup>h</sup> 40 <sup>m</sup>	17.7	17.34	18.2	18.29	18.57	19.24	19.51	20.17	20.43	21.9	21.34	21.59
	-22°	-23	-24	-24	-24	-24	-23	-22	-21	-20	-18	-16	-14
♁ {AR D	16 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	16.53	17.15	17.37	17.59	18.21	18.43	19.6	19.27	19.49	20.10	20.31	20.52
	-21,9°	-22,6	-23,0	-23,3	-23,4	-23,4	-23,1	-22,6	-21,9	-21,1	-20,1	-18,9	-17,6
♂ {AR D	19 <sup>h</sup> 10 <sup>m</sup>	19.27	19.44	20.0	20.17	20.33	20.49	21.5	21.21	21.36	21.52	22.7	22.22
	-24°	-23	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-15	-14	-13	-11
♃ {AR D	7 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>		6.58		6.53		6.47		6.41		6.36		6.31
	23°		23		23		23		23		23		23
♃ {AR D	10 <sup>h</sup> 3 <sup>m</sup>						10.2						
	13°						14						
Sternzeit <sup>1)</sup>	16 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup> 54 <sup>s</sup>	17.1.37	17.21.20	17.41.3	18.0.46	18.20.28	18.40.11	18.59.54	19.19.36	19.39.19	19.59.2	20.18.45	20.38.28
Zeitgl.	-10 <sup>m</sup> 44 <sup>s</sup>	-8.42	-6.28	-4.6	-1.38	+0.52	3.18	5.37	7.45	9.37	11.13	12.31	13.28

Breite von Berlin. Ortszeit

☉ Aufg. Unterg. <sup>2)</sup>	7 <sup>h</sup> 51 <sup>m</sup>	7.57	8.3	8.8	8.11	8.13	8.14	8.13	8.10	8.6	8.1	7.55	7.47
	15 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup>	15.45	15.44	15.44	15.45	15.49	15.53	15.59	16.6	16.14	16.22	16.31	16.40
☾ Aufg. Unterg. <sup>2)</sup>	6 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup>	10.33	12.23	15.39	21.45	2.16	7.19	9.49	11.51	16.54	22.53	3.16	7.5
	14 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	19.48	0.59	7.32	10.28	11.59	15.15	21.28	2.49	7.39	9.26	11.27	16.31

1) Im Stargarder Meridian. 2) Für den Mittelpunkt der Scheibe.

Winters-Anfang MEZ Dezember 22, 16<sup>h</sup> 42<sup>m</sup>.

Mondphasen MEZ	Neumond		Erstes Viertel		Vollmond		Letztes Viertel	
	Dez. 3,	16 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup>	Dez. 11,	3 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	Dez. 17,	20 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	Dez. 25,	7 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>
	Jan. 2,	9 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	Jan. 9,	11 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	Jan. 16,	9 <sup>h</sup> 44 <sup>m</sup>	Jan. 24,	5 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup>

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

Länge	W	S	Z	K	L	J	Wg	Sp	Sz	Sb	Ws	Fs
	25°	55°	85°	115°	145°	175°	205°	235°	265°	295°	325°	355°
Nov.							29,9	2,4	4,8	7,2	9,5	11,6
Dez.	13,7	15,8	17,8	19,9	22,2	24,7	27,2	29,7	1,2	3,4	5,7	7,8
Jan.	9,9	12,0	14,2	16,3	18,6	21,0	23,5	26,0	28,5	30,8	1,9	

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

Tag	♀ Morgenstern		Tag	♀ Abendstern		♂ (Sz, Sb)		♃ (Zwillinge)		♄ (Löwe)	
	vorm.	nachm.		nachm.	nachm.	nachm.	vorm.	nachm.	vorm.	nachm.	
XII 25	7,0 <sup>h</sup>		XI 17			D 5,3	U 6,3	A 7,1	D 6,3	A 11,1	D 6,2
XII 27	A 6,5	D 7,0	XII 7			D 5,1	U 6,2	A 5,7	D 6,8	A 9,8	D 6,6
I 1	A 6,3	D 7,0	XII 27			D 5,2	U 6,4	D 5,1	D 7,0	A 8,4	D 6,8
I 11	A 6,6	D 6,9	I 1		(I 7 4,9 <sup>h</sup> )	D 5,2	U 6,5	D 5,1	D 7,0	A 8,1	D 6,9
I 21	6,9 <sup>h</sup>		I 21	D 5,1	U 5,6	D 5,7	U 6,7	D 5,5	D 6,8	A 6,7	D 6,7
			II 10	D 5,7	U 6,7	D 6,2	U 6,9	D 6,1	U 5,5	D 6,2	D 6,3

A = Aufgang, U = Untergang, D = Dämmerung.

Verfinsterungen der Jupitermonde MEZ. E = Eintritt, A = Austritt. Nachmitt.-Stunden.

Dez. 7,	8 <sup>h</sup> 38,2 <sup>m</sup>	E I.	Jan. 7,	6 <sup>h</sup> 31 <sup>m</sup>	A II.	Jan. 24,	5 <sup>h</sup> 47,9 <sup>m</sup>	A I.
" 20,	8 <sup>h</sup> 55,4 <sup>m</sup>	E II.	" 8,	7 <sup>h</sup> 29,0 <sup>m</sup>	A I.	" 28,	8 <sup>h</sup> 49,9 <sup>m</sup>	A III.
" 23,	6 <sup>h</sup> 55,3 <sup>m</sup>	E I.	" 14,	6 <sup>h</sup> 29,0 <sup>m</sup>	A IV.	" 31,	7 <sup>h</sup> 43,1 <sup>m</sup>	A I.
" 23,	9 <sup>h</sup> 37,7 <sup>m</sup>	E III.	" 14,	8 <sup>h</sup> 37,9 <sup>m</sup>	A II.			
" 30,	8 <sup>h</sup> 49,8 <sup>m</sup>	E I.	" 15,	9 <sup>h</sup> 23,9 <sup>m</sup>	A I.			

M. Koppe.